



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
IZTACALA

EL USO DE SENSORES REMOTOS PARA LA
CUANTIFICACION DE EROSION DE ZONAS
ARIDAS Y SEMIARIDAS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A :
FRANCISCO SANCHEZ VICENTE



LOS REYES IZTACALA, MEX.

1992



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.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Carlos Morales Topete, Director General de Política Agrícola, Ing. Alejandro Trueba Carranza, Director de Ingeniería Agrícola; por las facilidades prestadas en la culminación del presente trabajo. Por su amistad y confianza.

Al Ing. José de Jesús Romo Santos; por sus oportunos consejos que permitieron iniciar y estructurar este trabajo de investigación y por su magnífica dirección y su apoyo incondicional.

Al Dr. Benjamín Figueroa Sandoval por el valioso apoyo y asesoramiento en la elaboración del presente trabajo.

A los M. en C.: Diódoro Granados Sánchez, Carlos Rojas Zenteno, Daniel Muñoz Iniestra, Francisco López Galindo, por sus valiosas sugerencias y revisión del escrito final de este trabajo.

A Alejandra Martínez Moreno y Felipe Angeles Ordóñez, por su brillante trabajo en la captura de la información.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Braulio Sánchez Luis y
María Vicente Sánchez

Por todo su amor, comprensión
y dedicación en mi educación
y culminación de mis estudios.

A MI ESPOSA Y A MIS HIJOS:

Trinidad de la Cruz López
Emmanuel Sánchez de la Cruz
Erick Sánchez de la Cruz

Con su cariño y ternura,
alegría y apoyo que me han
brindado siempre, me ha
motivado a superarme más
en la vida diaria.

CON PROFUNDO AGRADECIMIENTO,
RESPECTO Y CARIÑO PARA:

Mis hermanos.
Mis maestros, compañeros y
amigos.

EL USO DE SENSORES REMOTOS PARA LA CUANTIFICACION DE EROSION
DE ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS.

	C O N T E N I D O	PAGINA
I.-	INTRODUCCION.	1
II.	OBJETIVOS E HIPOTESIS	2
III.	MARCO CONCEPTUAL	4
	3.1. DEFINICION DE EROSION	4
	3.2. MECANICA DE LA EROSION	5
	3.2.1. TIPOS DE EROSION	5
	3.2.2. AGENTES DE LA EROSION	5
	3.2.3. FORMAS DE LA EROSION	5
IV.	REVISION DE LITERATURA.	10
	4.1. CARTOGRAFIA DE LA EROSION MEDIANTE IMAGENES DE SATELITE LANDSAT EN MEXICO.	10
	4.2. CARTOGRAFIA DE LA EROSION MEDIANTE EL USO DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO (E.U.P.S.).	14
V.-	MARCO GEOGRAFICO.	20
	5.1. LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.	20
	5.2. PROVINCIAS Y REGIONES FISIOGRAFICAS.	20
	5.3. HIDROGRAFIA.	26
	5.4. CLIMA.	27

C O N T E N I D O

	PAGINA
5.5. SUELO.	28
5.6. USO ACTUAL DE SUELO Y VEGETACION.	32
VI. - MATERIAL Y EQUIPO.	34
6.1. MATERIAL.	35
6.2. EQUIPO.	36
VII. METODOLOGIA.	37
7.1. INVENTARIO DE AREAS EROSIONADAS.	37
7.1.1. RECONOCIMIENTO.	37
7.1.2. IDENTIFICACION.	39
7.1.3. ANALISIS.	41
7.1.4. CLASIFICACION.	42
7.1.5. PLANO DE EROSION ACTUAL	43
7.2. RIESGO DE EROSION.	43
7.2.1. PLANO DE INDICE DE EROSIVIDAD (R).	43
7.2.2. PLANO INDICE DE ERODABILIDAD. (K).	48
7.2.3. PLANO DE INDICE DE INCLINACION Y LONGITUD DE LA PENDIENTE (LS).	60
7.2.4. PLANO DE RIESGO DE EROSION.	62
VIII. - RESULTADOS Y DISCUSION.	63
8.1. CUANTIFICACION DE AREAS AFECTADAS POR GRADOS DE EROSION Y EL RIESGO DE EROSION.	63 68
8.2. COMPARACION, ENTRE METODOS UTILIZADOS.	
8.3. ANALISIS DE LA SOBREPOSICION DE PLANOS DE EROSION Y RIESGO DE EROSION.	70
IV. - CONCLUSIONES.	75
X. - BIBLIOGRAFIA.	78
XI. - ANEXO.	83

I N D I C E D E C U A D R O S

CUADRO NO.		Página
1	INSTITUCCIONES QUE HAN REALIZADO ESTUDIOS DE EROSION.	11
2	CLASIFICACIONES SOBRE EROSION.	12
3	CLASIFICACION FAO DE AREAS EROSIONADAS (1954).	15
4	DINAMICA APARENTE DE LA COBERTURA VEGETAL.	38
5	LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES CLIMATOLOGICAS Y SUS COORDENADAS, ESTADOS Y EL FACTOR EROSIVIDAD DE LA LLUVIA (R).	46
6	CLASIFICACION DE LAS UNIDADES DE SUELOS, SEGUN FAO/UNESCO, EN TRES CLASES DE ERODABILIDAD.	51
7	VALORES DE K PARA LOS SUELOS DEL AREA EN ESTUDIO.	56
8	CLASES DE PENDIENTES, FAO.	60
9	RANGOS DE DISTANCIAS.	61
10	SIMBOLO, CLASES Y RANGO NUMERICO DE RKLS.	63
11	CUANTIFICACION DE LOS GRADOS DE EROSION EN EL AREA DE ESTUDIO.	65
12	CUANTIFICACION DEL RIESGO DE EROSION EN EL AREA DE ESTUDIO.	68
13	ANALISIS COMPARATIVO DE EROSION Y RIESGO DE EROSION.	69

CUADRO NO.

Página

14	SOBREPOSICION DE LOS PLANOS DE EROSION Y RIESGO DE EROSION.	72
15	CUANTIFICACION DE SOBREPACION DE EROSION Y RIESGO DE EROSION.	73
16	ALTERNATIVAS DE MANEJO Y RECOMENDACIONES.	74

I N D I C E D E F I G U R A S

FIGURA NO.		PAGINA
1	REGIONALIZACION FISIOGRAFICA DEL AREA DE ESTUDIO.	40
2	CLASIFICACION DE LA DINAMICA AFARENTE DE LA REGION FISIOGRAFICA Li4.	44
3	CLASIFICACION POR GRADOS DE EROSION DE LA REGION FISIOGRAFICA Li4.	45

I N D I C E D E T A B L A S

TABLA NO.		PAGINA
1	COEFICIENTE DE TEXTURA	50
2	CLASE DE ERODABILIDAD	50

EL USO DE SENSORES REMOTOS PARA LA CUANTIFICACION DE EROSION EN ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS.

I. - INTRODUCCION:

Los trabajos orientados para el inventario de áreas erosionadas en México son escasos y muchos de ellos inéditos, lo cual dificulta apreciar la magnitud del problema; así como, valorar la eficiencia de las técnicas ensayadas.

Actualmente, se han iniciado esfuerzos por diferentes Instituciones para determinar la gravedad del fenómeno erosivo a través de un inventario, utilizando como material base fotografías aéreas e imágenes del Satélite Landsat. Debido a los diversos objetivos y la escala de trabajo perseguidos por diferentes Instituciones para precisar la magnitud del fenómeno, la extinta Dirección General de Conservación del Suelo y Agua conjuntamente con la Universidad Autónoma de Chapingo, desarrollaron su propia metodología para el inventario de áreas erosionadas en el Estado de Guanajuato en 1979, esta metodología consistió en la interpretación multitemporal de las imágenes, tanto de la época seca como para la época de lluvias (por el método visual), obteniendo un 86 % de confiabilidad del estudio, más tarde, la misma Institución en coordinación con el Centro Científico Latinoamericano (IBML), aplicaron la misma metodología, utilizando el sistema automático o computarizado llegándose a la misma conclusión, al comparar el resultado con el método visual la confiabilidad de los dos métodos ha sido satisfactoria para la cuantificación del inventario de áreas erosionadas en nuestro país.

La finalidad del presente estudio es la de evaluar la metodología propuesta por la extinta Dirección General de Conservación del Suelo y Agua en (1979), ya que en los estudios anteriores se ha observado que en algunas áreas no existe una relación entre la reflectancia de la cobertura vegetal y el grado de erosión actual del terreno como lo

supone dicha metodología.

En las regiones áridas y semiáridas, las rocas están expuestas por la acción del viento y la precipitación errática de tipo torrencial que se da en esta área, cuando el suelo se encuentra desprovisto de vegetación es cuando este fenómeno adquiere su carácter erosivo; además se ha observado que las rocas sedimentarias son más susceptibles al proceso erosivo comparadas con los otros tipos.

Asimismo, la metodología no considera la pendiente del terreno que ejerce su influencia en los diversos tipos y grados de erosión, independientemente de que el suelo sea resistente o no al fenómeno erosivo, los suelos localizados en pendientes fuertes, están expuestos en mayor o menor grado al arrastre de sus partículas según sea la inclinación del terreno.

Por otro lado, es importante juzgar y evaluar el riesgo de erosión actual con fines de manejo.

II. - OBJETIVO E HIPOTESIS.

1. - OBJETIVOS GENERALES.

- Evaluar la metodología propuesta por la extinta Dirección General de Conservación del Suelo y Agua de la S.A.R.H. en 1970, para cuantificar los diferentes niveles de afectación del suelo por erosión en zonas áridas y semiáridas.
- Comparar los niveles de erosión detectados en campo mediante el uso de esta metodología y los resultados obtenidos al calcular el riesgo de erosión para las mismas áreas.

2. - OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Obtener los niveles de afectación por erosión de acuerdo a la metodología propuesta de la extinta Dirección General de Conservación del Suelo y Agua en un plano a escala 1:250,000 para la zona de influencia del Centro Regional de zonas áridas y semiáridas del Colegio de Posgrados en Salinas, San Luis Potosí (CREZAS).
- Obtener un plano a escala 1:250,000 de riesgo de erosión de acuerdo la metodología de la FAO (1980) para la misma zona.
- Comparar los resultados obtenidos por ambos métodos para identificar los procesos de erosión.

3. - HIPOTESIS:

- La metodología propuesta por la extinta Dirección General de Conservación del Suelo y Agua para el inventario de áreas erosionadas es adecuada para su aplicación en las zonas áridas y semiáridas.
- Las diferencias entre el plano de inventario de erosión y el plano de riesgo de erosión se deben principalmente al uso del suelo.
- No existen diferencias significativas al comparar el plano de grados de erosión con el plano de riesgo de erosión.

III.- MARCO CONCEPTUAL.

3.1. Definición de Erosión.

La erosión es el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes del intemperismo, principalmente por el agua y el viento que al actuar sobre su superficie provocan el tipo de erosión hídrica y eólica respectivamente (Colegio de Postgraduados, 1977).

La erosión hídrica es el resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre la tierra y al fluir sobre la superficie de los terrenos (Colegio de Postgraduados, 1977).

El proceso de la erosión involucra dos fases principales:

- 1.- El desprendimiento de las partículas del suelo de la superficie del mismo.
- 2.- El transporte de las partículas desprendidas.

La erosión eólica o erosión causada por el viento, es un fenómeno que ocurre generalmente en regiones planas y de poca lluvia, en donde la vegetación natural crece escasamente y no ofrece una protección adecuada al suelo y en donde además, soplan vientos de velocidad considerable.

También se presenta con frecuencia en regiones húmedas en las cuales existen períodos prolongados de sequía (Suárez, 1979).

3.2. Mecánica de la Erosión.

3.2.1. Tipos de Erosión.

En la superficie terrestre existen dos tipos de erosión: la geomorfológica que resulta sólo de fuerzas de la naturaleza, y la erosión inducida o acelerada que se presenta cuando a la acción de los agentes naturales se agrega la actividad del hombre. La erosión es uno de los aspectos del constante proceso de cambios que sufre la superficie terrestre.

Es fundamental para la formación de suelos transportados y rocas sedimentarias, la actividad del hombre rara vez retrasa o detiene el proceso y lo más normal es que lo acelere.

3.2.2. Agentes de la Erosión.

Los agentes principales que intervienen en el proceso erosivo del suelo son: El agua, el viento, los cambios de temperatura y los procesos biológicos, de los cuales los dos primeros son los que revisten mayor importancia, sobre todo el primero por lo cual es el que se analizó en el presente estudio.

3.2.3. Formas de la Erosión.

Según el Manual de Conservación del Suelo y Agua (1977), existen las siguientes formas de erosión.

Erosión por las gotas de lluvia o erosión por salpicamiento. La erosión por las gotas de lluvia, consiste en la dispersión de agregados del suelo como resultado del impacto directo de dichas gotas sobre la superficie del terreno. La energía que confieren las gotas de lluvia al llegar al terreno, provoca desplazamientos de las partículas del suelo que alcanzan alturas hasta de 61 cm. y distancias laterales de 152 cms. en terrenos planos

(Schwab Etal., 1971). Además del salpicamiento del suelo, las gotas de lluvia mantienen el material fino en suspensión, lo que facilita su acarreo por las aguas de escurrimiento.

Se ha observado que la cantidad de suelo salpicado por las gotas de lluvia es de 50 a 90 veces más grande que la cantidad de suelo arrastrado por el flujo superficial (Smith, D. D. y Wischmeir W. H., 1962).

Se estima que en un suelo desnudo, las lluvias fuertes salpican mas o menos 25 toneladas de suelo por hectárea. En terrenos planos este salpicamiento por las gotas de lluvia no es serio, pero en lugares con pendiente, la cantidad de suelo salpicado es mayor hacia las partes bajas que hacia las partes altas del terreno.

Erosión laminar y en canales. La erosión laminar es el resultado de una remoción uniforme del suelo, en capas delgadas de los terrenos en pendiente, que resulta de la saturación del suelo y su deslizamiento superficial por la pendiente.

En estudios realizados sobre la mecánica de la erosión y por medio de fotografías de alta velocidad, se ha podido observar que esta forma de la erosión raras veces ocurre como un deslizamiento uniforme de una capa de suelo, ya que casi simultáneamente con el primer salpicamiento y movimiento del suelo se forman pequeños canales. El cambio constante de posición y la tendencia a formar meandros de estos canalillos, origina un falso concepto de erosión laminar.

La acción de golpeteo repetido ejercida por las gotas de lluvia, combinado con el flujo superficial, provoca el canaleo inicial. Desde un punto de vista dinámico, la fuerza erosiva de las gotas de lluvia es más importante que la de los escurrimientos superficiales, ya que las gotas de

lluvia adquieren velocidades de caída que varían de 2.7 a 9.5 m. por segundo, mientras que el flujo superficial apenas alcanza velocidades cercanas a 1 m. por segundo (Laws, 1941). Las gotas de lluvia desprenden las partículas del suelo y aumentan la cantidad de material en suspensión, lo que provoca una disminución en la infiltración, debido al sellado de los poros del suelo. El poder de transporte y erosión del flujo laminar varía en función de la magnitud y velocidad de escurrimiento para un tipo dado de agregados o partículas del suelo, la pendiente del terreno y la longitud del tramo de escurrimiento.

La erosión en canales es la remoción del suelo por el agua en pequeños surcos o arroyuelos cuando existe una concentración de flujo superficial. Convencionalmente se dice que ocurre erosión por canales cuando éstos se han vuelto lo suficientemente grandes y estables para poder ser observados; sin embargo, pueden ser borrados por las labores agrícolas normales. Esta forma de erosión por canales es subestimada frecuentemente, pero se presenta en la mayoría de los suelos.

La erosión por canalillos o canales aumenta con la longitud y grado de la pendiente, siendo mayor en áreas con pendientes fuertes y especialmente en la parte baja de los terrenos, mientras que la erosión por gotas de lluvia ocurre a todo lo largo de la pendiente del terreno.

Erosión por Cárcavas. La erosión por cárcavas es una forma más avanzada de la erosión por canales, donde la profundidad alcanzada por éstos es mayor que en el caso de la forma antes discutida y no siempre pueden ser cruzadas por la maquinaria agrícola.

Erosión en Pedestales. Cuando se protege a un suelo fácilmente erosionable del impacto de las gotas de lluvia, por medio de rocas o raíces de un árbol, quedan "pedestales" aislados, coronados con el material

resistente. Se ha demostrado que la erosión de terrenos adyacentes a los pedestales es debida principalmente, a las gotas de lluvia más que al flujo superficial, ya que en la base del pedestal no existe socavación o es muy reducida.

Esta forma de erosión se desarrolla lentamente a través de los años y se localiza generalmente en manchones desnudos de terrenos con vegetación aislada. Puede presentarse también en terrenos arables que hayan sufrido una erosión excesiva durante una tormenta excepcional.

Su importancia estriba en que es posible calcular aproximadamente la profundidad del suelo que ha sido erosionado, mediante un exámen de la altura del pedestal.

Es importante diferenciar los pedestales de los montículos de pastos que frecuentemente tienen el nivel del suelo más elevado de la superficie del terreno circundante. Tales elevaciones de nivel del suelo, pueden mostrar su nivel original por haber sido erosionado el suelo que los rodeaba, aunque es más común que el nivel del montículo de pasto se haya elevado por efectos de la acumulación de las partículas de suelo salpicadas de los sitios circunvecinos, en algunas partes de México se les denomina "TLATELES" a dichas elevaciones de terrenos.

Erosión en Pináculos. Esta forma de erosión se asocia siempre con canales verticales profundos a los lados de las cárcavas que profundizan rápidamente hasta que se juntan y dejan al pináculo aislado. Una capa más, resistente de grava o piedra, a menudo corona al pináculo, como en la erosión de pedestales. Los Pináculos son relictos de la condición natural del relieve provocados por socavaciones del agua que fluye, y a menudo asociado con erosión tubular.

El control de las cárcavas o cualquier intento de recuperación de los suelos en estas condiciones, es difícil

cuando se presenta la erosión que manifiesta pináculos. El uso agropecuario de Areas con este problema, es limitado por el alto costo de conformación de la superficie y la reducida cantidad de nutrientes del suelo. Por otra parte, la construcción de estructuras de tierra, concreto u otros materiales, es restringida por la rápida socavación a que están sujetas.

Erosión Tubular. La formación de tubos continuos y canales subterráneos, es común en los tipos de suelos sujetos a erosión por pináculos. Esta forma de erosión ocurre cuando el agua que fluye se infiltra a través de la superficie del suelo y se mueve hacia abajo hasta encontrar una capa menos permeable. Esta agua tiende a moverse sobre las capas poco permeables hacia una salida, si es que existe; por lo tanto, es posible que el material fino del suelo sea arrastrado por el agua. Esto, a su vez permite un flujo más rápido con aumento en la erosión lateral y en ocasiones todo el flujo superficial penetra a un tubo vertical y continúa su recorrido bajo la tierra, antes de reaparecer. Afortunadamente, la erosión tubular está restringida la mayoría de las veces a terrenos agrícolas de poco valor, por lo que su control es poco común.

Erosión por Caída o Remontante. Esta forma de erosión es un proceso geohidrológico que se presenta en las paredes de las cárcavas, sin ninguna intervención del hombre, la caída que se forma en la orilla de la cárcava, arroja el material salpicado contra la parte baja de esta cara, la cual se erosiona, dejando la parte superior sobresaliendo; cuando el peso de la parte sobresaliente es grande, ésta se desprende, dando lugar a una nueva cara vertical, comenzando de nuevo el ciclo erosivo. Otros casos semejantes de hundimiento se deben a la erosión en las orillas de ríos y a la erosión costera.

IV. - REVISION DE LITERATURA.

4.1.- Cartografía de la Erosión mediante imágenes de Satélite Landsat en México.

Actualmente se han realizado esfuerzos por diferentes instituciones, para determinar la gravedad del fenómeno erosivo a través de un inventario, para el cual se han utilizado, como material base principalmente fotografías aéreas e imágenes de satélite; asimismo, las escalas empleadas no se han uniformizado, lo cual ha dado como resultado un amplio rango de apreciación y consecuentemente diferencias significativas en la información generada. En el cuadro 1, se presenta un resumen del material base y las escalas utilizadas en la cartografía de erosión por diferentes instituciones.

Dada la diversidad de objetivos de las diferentes instituciones, difícilmente se puede observar congruencia en los trabajos, por tal motivo la extinta Dirección General de Conservación del Suelo y Agua se avocó, conjuntamente con la Universidad Autónoma de Chapingo, a revisar las principales clasificaciones existentes sobre erosión, las cuales se presentan en el cuadro 2.

Como se aprecia, existen fundamentalmente dos conceptos para determinar la afectación del proceso erosivo; el primero sobre una base cualitativa, que no establece rangos de clases para determinar el grado de afectación; y el segundo cuantitativo, que sí establece esos rangos, aunque algunas clasificaciones de tipo cuantitativo se realizan en base a la pérdida porcentual de los horizontes del suelo y otras se fundamentan en la pérdida de la capa superficial de éste y el área afectada.

Las clasificaciones que establecen rangos, son las empleadas por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (actualmente Instituto Nacional de Estadística

CUADRO No. 1 INSTITUCIONES QUE HAN REALIZADO ESTUDIOS DE EROSION

ORGANISMO	MATERIAL UTILIZADO	ESCALA DE TRABAJO	CLASIFICACION
DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA Y TERRITORIO NACIONAL	FOTOGRAFIA AEREA	1:50,000	8 CLASES DE CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA
SUBDIRECCION DE AGROLOGIA	FOTOGRAFIA AEREA	1:200,000	4 GRADOS DE EROSION (LEVE, MODERADA, GRAVE, SEVERA)
COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO	IMAGEN DE SATELITE	1:1'000,000	3 NIVELES DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION
CARTOGRAFIA SINOPTICA	IMAGEN DE SATELITE	1:500,000	AREAS DESPROVISTAS DE VEGETACION
COLEGIO DE POSTGRADUADOS DE CHAPINGO	IMAGEN DE SATELITE	1:500,000	5 CLASES DE EROSION (SUBJETIVAS)
INVENTARIO NACIONAL FORESTAL E IBM	IMAGEN DE SATELITE	1:50,000	5 CLASES DE EROSION (SUBJETIVAS)

CUADRO No. 2 CLASIFICACIONES SOBRE EROSION

CLASIFICACION	AUTOR	CLASES	CONCEPTOS
CAPACIDAD DE USO DE LOS TERRENOS	KLINGEBIEL Y MONTGOMERY	8	NO ESTABLECE RANGOS, SOLO LA CALIFICACION CUALITATIVA
USO POTENCIAL	DETENAL	8	ESTABLECE RANGOS PORCENTUALES DE LA PERDIDA DE HORIZONTES A Y B
CLASIFICACION DE TERRENOS EROSIONADOS (ESPAÑA)	AZGARATE	8	NO ESTABLECE RANGOS, SOLO CALIFICATIVOS CUALITATIVAMENTE: ALGO SUSCEPTIBLE, SIN MAYOR PELIGRO, ETC.
CLASIFICACION DE TERRENOS EROSIONADOS	D. G. C. S. A. 1962	6	ESTABLECE RANGOS PORCENTUALES DE LA PERDIDA DE HORIZONTES A Y B
CLASIFICACION PARA EROSION	FAO-1954	5	ESTABLECE RANGOS PORCENTUALES DE PERDIDA DE SUELO DE LA CAPA SUPERFICIAL Y EL PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE AFECTADA
CLASIFICACION POR EROSION	SOIL CONSERVATION SERVICE USDA 1977	5	ESTABLECE RANGOS CON PERDIDA DE SUELO DE LA CAPA SUPERFICIAL

FUENTE: D.G.C.S.A. 1979.

Geografía e Informática). La cual toma como la clasificación del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de 1977.

De éstas, la clasificación usada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional considera la afectación por erosión como un factor limitante entre 10, que se utilizan para clasificar la capacidad de uso del suelo, considerando además factores como topografía, profundidad del suelo, salinidad, etc., las tres clasificaciones restantes, consideran la erosión como unico factor de clasificación, y por lo tanto, son las que ofrecen mayor congruencia para ser empleadas en la realización de un inventario de áreas erosionadas.

De las tres clasificaciones, la de la extinta Dirección General de Conservación del Suelo y Agua de 1962, es la que tiene mayor numero de clases (seis clases) y considera los rangos de erosión con base en la pérdida de los horizontes A y B, los que no siempre existen en todos los suelos y por consiguiente, puede dar lugar a errores, además que presupone la existencia de estudios agrológicos por lo menos a nivel semi-detallado.

Las clasificaciones de la FAO y del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos de 1977, son más objetivas.

A este respecto, ya que no obstante que solo consideran cinco clases, no se refieren a horizontes específicos, sino a la remoción de la capa superficial del suelo, lo cual es más congruente de verificar en campo; sin embargo, la clasificación FAO va más allá que la del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos, ya que además considera el porcentaje de la superficie afectada, razón por la cual se considera que es la más apropiada para realizar el inventario de áreas erosionadas.

En el cuadro 3 se presenta la clasificación FAO para erosión (1954) con las especificaciones para los parámetros que considera. Es importante destacar que la clasificación para erosión de la FAO, se diseñó originalmente para ser empleada a partir de fotografías aéreas, ya que en esa época (1954) aún no se empleaban los satélites y mucho menos se había diseñado un sistema de recolección de datos terrestres. La parte correspondiente a México en el mapa de erosión de la FAO realizado en 1954, se hizo a partir de un mapa de asociación de suelos escala 1:1'000,000 elaborado en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos; sin embargo, el sistema de clasificación es compatible con la información generada por el Satélite Landsat, ya que permite su interpretación visual mediante proyecciones apoyadas en el uso de un aparato retroproyector (Mini-Addcol Viewer) a escalas principalmente de 1:1'000,000, 1:500,000 y 1:250,000.

4.2.- CARTOGRAFIA DE LA EROSION MEDIANTE EL USO DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO (E.U.P.S.).

Esta ecuación universal de pérdida de suelo tuvo como antecedente el trabajo de campo, que se inicia en 1940 en Corn Belt, U.S.A.

El procedimiento para estimar la pérdida de suelo, en aquella región, entre 1940 y 1956, ha sido referido generalmente como método de la pendiente-práctica. Zingg en 1940 publicó una ecuación relacionado con la tasa de suelo perdido, con el porcentaje y longitud de la pendiente ($E = S \times L$), Smith en 1941 adiciona a la ecuación las prácticas de cultivo y las prácticas de conservación como factores de la ecuación, e introduce el concepto de un límite de pérdida de suelo específico, para

CUADRO No. 3 CLASIFICACION FAO DE AREAS EROSIONADAS, 1964

CLASE	NOMBRE DE LA CLASE	DEFINICION DE LA CLASE
A	EROSION NO MANIFIESTA	AQUEL QUE HA PERDIDO MENOS DEL 25% DE LA CAPA DEL SUELO SUPERFICIAL, PERO QUE ADMITE UN 10% DE SU SUPERFICIE TOTAL CON GRADOS DE EROSION DEL B O C
A/B	EROSION LEVE	AQUEL QUE HA PERDIDO MENOS DEL 15% DE LA CAPA DEL SUELO SUPERFICIAL, PERO QUE ADMITE UN 10% DE SU SUPERFICIE TOTAL CON GRADO DE EROSION DE B O C.
B	EROSION MODERADA	AQUEL QUE HA PERDIDO DEL 25-75% DE LA CAPA DEL SUELO SUPERFICIAL PERO QUE ADMITE UN 10% DE SU SUPERFICIE TOTAL CON GRADO DE EROSION DE A O C.
B/C	EROSION SEVERA	AQUEL QUE HA PERDIDO DEL 25 AL 75% DE LA CAPA DEL SUELO SUPERFICIAL, PERO QUE TIENE DE UN 10% A UN 25% DE SU SUPERFICIE TOTAL CON GRADO DE EROSION DE A O C.
C	EROSION MUY SEVERA	AQUEL QUE HA PERDIDO MAS DEL 75% DE LA CAPA DEL SUELO SUPERFICIAL PERO QUE ADMITE UN 25% DE SU SUPERFICIE TOTAL CON GRADO DE EROSION A O B.

desarrollar un método geográfico con el objeto de determinar las prácticas de conservación de suelos, en el medio oeste de los Estados Unidos ($E = S \times L \times \text{Prácticas de conservación} \times \text{prácticas de labranza}$).

Browing Et-Al 1947 agregaron los factores de suelo y manejo, y prepararon un conjunto de tablas para simplificar el uso de la ecuación en campo en el Estado de Iowa. Investigaciones científicas y operacionales del personal del servicio de Conservación (Hudson 1982 y Kirkby Et-Al), de suelos (S.C.S.) en los Estados del Norte-Centro, trabajaron en el desarrollo de la ecuación pendiente-Práctica, para emplearla fuera de Corn Belt.

En Ohio en 1946 se estableció un Comité Nacional para adaptar la ecuación de Corn Belt a terrenos de cultivo en otras regiones. Este Comité, recalculó los valores de los factores de la ecuación y adicionó un factor de lluvia. La fórmula resultante se conoce como la ecuación de Musgrave:

$$E = T.S.L.P.M.R.$$

donde:

E = Erosión

T = Tipo de suelo

S = Pendiente del terreno

L = Longitud de la pendiente

P = Práctica agrícola

M = Prácticas de conservación

R = Lluvia

Esta ecuación ha sido usada exitosamente para realizar aproximación gruesa de la erosión en cuencas. La solución gráfica a la ecuación se publicó en 1952 y se utilizó por el Servicio de Conservación de Suelos en los Estados del Noreste. (Hudson 1982 y Kirkby Et-Al 1984).

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, recibe este nombre para diferenciarla de la ecuación regional (base) de pérdida de suelo, esta fue desarrollada en el Centro Nacional de datos de escurrimiento y pérdida de suelo, establecido en 1954 por la Administración de Ciencia y Educación (Formalmente Servicio de Investigación Agrícola), en cooperación con la Universidad de Purdue. La cooperación Federal y Estatal en los proyectos de investigación en 49 localidades contribuyó con más de 10,000 años lote de datos básicos de escurrimiento y pérdida de suelo, para su utilización por este centro, al ser considerados en los análisis estadísticos.

En 1960 los simuladores de lluvia fueron utilizados en campos experimentales de 16 estados, para llenar algunos huecos en los datos necesarios para la evaluación de los factores.

El análisis de este gran conjunto de datos básicos provee de un mayor número de mejoras en la Ecuación, como:

- 1). Un índice de erosividad de la lluvia, evaluado de las características locales de la misma.
- 2). El factor erodabilidad cuantitativo que es evaluado directamente de datos sobre las propiedades del suelo y que es independiente de la topografía y las diferencias en la lluvia.
- 3). Un método de evaluación de los efectos de cultivo y manejo, en relación a las condiciones climáticas locales.
- 4). Un método para cuantificar los efectos de interacción entre sistemas de cultivo, nivel de productividad, prácticas de labranza y manejo de residuos, (Espinoza 1984).

Desarrollada desde 1965, la EUPS ha expandido su uso mediante la investigación continua, con énfasis en la obtención de un mejor entendimiento de los principios básicos y los procesos de erosión hídrica y sedimentación y el desarrollo de modelos fundamentales capaces de predecir la pérdida de suelo y la depositación de una tormenta específica.

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo fue desarrollada, en condiciones locales de los Estados Unidos de América y corroborada en lotes de escurrimiento de 2 metros de ancho, por 10 y 25 metros de largo, dando como resultado la cuantificación de la pérdida de suelo, en ton/ha/año; sin embargo, su aplicación puede realizarse tanto a nivel puntual como a grandes escalas, mediante métodos cartográficos paramétricos, aunque esta última resulta especialmente problemática para ciertos factores, por lo que se han desarrollado variantes en la aplicación de la fórmula a grandes escalas donde los resultados se presentan en forma cartográfica cualitativa.

Las variaciones en la utilización de dicha fórmula, se reducen básicamente al número de parámetros utilizados en el desarrollo del trabajo y al ajuste en el cálculo de otros, adecuándolos a las condiciones del lugar en que se utilizará la metodología, y a la disponibilidad en información.

Los datos utilizados para establecer los índices de la EUPS están basados en lotes y mediciones detalladas de erosión en varios sitios de los Estados Unidos, por lo que dichos índices presentan un alto grado de confiabilidad en ese país. No obstante otros países como México pueden beneficiarse eventualmente de este extenso grupo de investigaciones ya que la Ecuación tiene el carácter de Universal y cada uno de los parámetros que la integran pueden estudiarse independientemente.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo se representa mediante la fórmula:

$$A = RKLSP$$

donde:

A = Pérdida de suelo (ton/ha/año)

R = Factor de Erosividad de la lluvia (MJ x mm/ha x hr x año)

K = Factor de erodabilidad del suelo (ton x ha. x hr/ha x MJ x MM)

L = Factor de longitud de la pendiente

S = Factor grado de la pendiente

C = Factor de cobertura vegetal ✓ 84 87 91

P = Factor de prácticas de conservación 10

En México se han realizado varios estudios de aplicación de la Ecuación Universal y algunos otros tratando de probar la adaptación de índices alternativos a las condiciones de México. Dentro de los primeros trabajos, se han desarrollado algunos en el Instituto de Ingeniería y la Facultad de Filosofía y Letras (Colegio de Geografía) de la UNAM, en la Universidad Autónoma de Chapingo, el Colegio de Postgraduados, la Extinta Dirección General de Conservación del Suelo y Agua de la SARH y en algunas compañías privadas.

En relación a la adaptación de métodos alternativos para el cálculo de los factores de la ecuación, pocos trabajos se han realizado en el país, encontrándose entre ellos el cálculo del índice e Erosividad a nivel nacional elaborado por Estrada Et-al, en 1981, Figueroa Et-al 1991, la Comparación de índices de Erosividad realizada por Figueroa Et-al en 1982, y la determinación del factor de erodabilidad con fines cartográficos elaborado por el mismo autor.

V. - MARCO GEOGRAFICO.

5.1. Localización Geográfica de la Zona de estudio.

La zona en estudio cubre una superficie aproximada de 24,150 Kms.², esta comprendida entre los paralelos 21°45'00" y 23°00'00" de latitud norte y 101°00'00" y 102°45'00" de longitud oeste al meridiano de Greenwich. Esta área incluye parte de los siguientes estados: San Luis Potosí, Aguascalientes, Zacatecas, Guanajuato y Jalisco, y corresponde a el área de Estudio del Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y semiáridas del Colegio de Posgraduados (CREZAS-CP), con sede en Salinas, S.L.P.

5.2. Provincias y Regiones Fisiográficas.

La zona en estudio se localiza dentro de dos provincias terrestre, según Cunalao et al (1980). La Provincia Terrestre (K) que corresponde a la altiplanicie Septentrional, con sedimentos calcáreos del Terciario fuertemente plegados y materiales no consolidados del cuaternario, esta provincia se subdivide en 3 regiones fisiográficas que son: Región de Mathuala, Región Villa de Coss y la Región de Charcas; la provincia Terrestre (L) que corresponde a la Sierra Madre Occidental, con materiales ígneos extrusivos del Cenozoico, principalmente riolitas y andesitas, al norte y oeste intrusiones de rocas metamórficas esta provincia se subdivide en 9 regiones fisiográficas que son: Región del Sur de San Luis Potosí, Región de Lagos de Moreno, porción Oeste de la Sierra Madre Occidental, Región de San Juan de los Lagos, Región de Chicomostoc, Región de Aguascalientes, Región de Jalpa, Región de Ojuelos y la Región de Tepetalillo.

A continuación se describen las características de cada una de las regiones fisiográficas:

Kb1.- Región de Matehuala.

Geología superficial: Rocas ígneas intrusivas y extrusivas; rocas sedimentarias clásticas, calizas, lutitas, areniscas, margas, limonitas, yesos, conglomerados y materiales detríticos.

Geformas: Cuestas, cordilleras anticlinales, valles sinclinales y planicies de depósitos.

Suelos: Litosol, Xerosol cálcico, Rendzina, Castañozem lúvico.

Vegetación: Matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, matorral crasicaule, pastizal, chaparral, bosque de encino, bosque de pino encino.

Kc1.- Región Villa de Cos.

Geología Superficial: Rocas ígneas; rocas sedimentarias y materiales detríticos.

Geformas: Cordilleras, cuestas, valles sinclinales, áreas montañosas aisladas y lomeríos.

Suelos: Castañozem cálcico, Litosol, Xerosol cálcico, Castañozem háplico.

Vegetación: Matorral desértico micrófilo, matorral crasicaule, pastizal y matorral desértico rosetófilo.

Ke1.- Región de Charcas.

Geología superficial: Rocas sedimentarias lutitas, margas, areniscas, calizas, yesos, limonitas, rocas clásticas y materiales detríticos.

Geoformas: Cordilleras anticlinales, planicies de depósito, cuevas y valles.

Suelos: Litosol, Castañozem cálcico, Castañozem háplico y Xerosol cálcico.

Vegetación: Pastizal, matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo, chaparral, matorral crasicaule, bosque de pino encino.

La4. Región del Sur de San Luis Potosí.

Geología superficial: Rocas ígneas riolitas, ignimbritas, tobas, arenas volcánicas y andesitas.

Geoformas: Montañas, cañadas, barrancas y planicies.

Suelos: Regosol eútrico, Xerosoles y Litosol.

La5. - Región de Lagos de Moreno.

Geología superficial: Rocas ígneas basaltos, ignimbritas, riolitas, andesitas, tobas; rocas sedimentarias materiales detríticos.

Geoformas: Montañas disectadas, cañadas y barrancas.

Suelos: Castañozem lúvico, Litosol, Castañozem, Rendzina, Castañozem háplico.

Vegetación: Pastizal, mezquital, bosque de encino, bosque de pino encino.

La6. - Región porción Oeste de la Sierra Madre Occidental.

Geología superficial: Rocas ígneas, tobas, brechas, andesitas, basaltos, riolitas, granitos, granodioritas, pórfidos; rocas sedimentarias, rocas clásticas; rocas metamórficas filitas, esquistos cuarcitas y pizarras.

Geformas: Cordilleras, cañones, cañadas, montañas y valles.

Suelos: Luvisol órtico, Castañozem lúvico, Litosol, Andosol vítrico y Nitosol eútrico.

Vegetación: Bosque de pino encino, selva baja caducifolia, bosque de encino y pastizal.

Lc2. - Región de San Juan de Los Lagos.

Geología superficial: rocas ígneas; rocas sedimentarias depósitos clásticos, rocas volcánicas, conglomerados, areniscas y materiales detríticos.

Geformas: Montañas, valles, mesetas, cuevas.

Suelos: Castañozem lúvico, Litosol, Castañozem háplico, Rendzina y Cambisol eútrico.

Vegetación: Pastizal.

Lc5. - Región de Chicomostoc.

Geología superficial: Rocas ígneas derrames riolíticos, tobas, basaltos y dacitas.

Geformas: Mesa, barrancas y cañadas, montañas.

Suelos: Castañozem lúvico, Litosol, Castañozem cálcico, Castañozem háplico.

Vegetación: Bosque de pino encino, matorral crasicaule.

Ld2. - Región de Aguascalientes.

Geología superficial: Rocas ígneas derrames riolíticos, ignimbritas, tobas, arenas volcánicas, andesitas; rocas sedimentarias calizas, lutitas, areniscas y materiales detríticos.

Geformas: Cordilleras, planicies o llanuras y montañas.

Suelos: Castañozem lúvico, Litosol, Castañozem cálcico, Xerosoles, Castañozem háplico.

Vegetación: Pastizal, matorral crasicaule, matorral desértico micrófilo, selva baja caducifolia y chaparral.

Lb2. - Región de Jalpa.

Geología superficial: Rocas ígneas riolitas, tobas, dacitas, basaltos andesíticos brechas; rocas sedimentarias, rocas clásticas y materiales detríticos.

Geformas: Cordilleras disectadas, barrancas.

Suelos: Litosol, Castañozem lúvico, Andosol vítrico y Luvisol crómico.

Vegetación: Selva baja caducifolia, bosque de pino encino y pastizal

Li3.- Región de Ojuelos.

Geología superficial: Rocas ígneas lavas, brechas, tobas, basaltos, andesitas y riolitas; rocas sedimentarias, materiales detríticos.

Geformas: Planicie, montañas, cuevas, mesetas disectadas y cañadas.

Suelos: Castañozem lúvico, Litosol, Rendzina y Regosol eútrico.

Vegetación: Pastizal, matorral desértico micrófilo, matorral crasicale y bosque de pino encino.

Li4.- Región de Tepetalillo.

Geología superficial: Rocas ígneas lavas, brechas, tobas, basaltos, andesitas y riolitas; rocas sedimentarias rocas clásticas y materiales detríticos.

Geformas: Planicie y lagunas.

Suelos: Castañozem lúvico, Litosol, Castañozem háplico, Vertisol pélico y Rendzina.

Vegetación: Pastizal.

5.3. - Hidrografía.

Los principales rios que se localizan en el Area de estudio son: Aguascalientes, Calvillo y Juchipila.

El rio Aguascalientes nace en la Sierra Fria de Zacatecas con el nombre de San Pedro y al internarse en Jalisco, después de pasar por Aguascalientes cambia de nombre al de Rio Verde.

Vierte sus aguas en el rio grande y sus principales afluentes son:

Rio Pabellón sobre el que existen aprovechamientos consistentes en la presa derivadora de Pabellón, donde por medio de un túnel de derivación, se envían los excedentes del rio Pabellón hacia rio Santiago para que entren aguas abajo a la Presa Calles.

Rio Santiago sobre este existen dos presas que son calles con 351.2 millones de M^3 de capacidad total, construida en 1932, a 10 km. aguas abajo de la Presa Calles, existe la presa llamada Jocoqui, que por la ribera izquierda a través de un túnel se le da salida al caudal aprovechando los excedentes de la Presa Calles.

El Río Calvillo está formado por los afluentes Labor y Texas recorriendo la zona más fértil de Aguascalientes (Calvillo), y se une al Juchipila.

Río Juchipila nace en la Serranía de Zacatecas con cauce de Norte a Sur y riega las tierras del llamado Cañón de Juchipila, Jerez, Tlaltenango, Valparaiso; por último, se encuentra el Río Grande o Aguanaval.

En el resto del área las corrientes son poco significativas ya que se forman por lo regular en época de lluvias y su curso es sumamente reducido, el agua de estos

escurrimientos desaparece en las llanuras en corto tiempo debido a infiltraciones y altas tasas de evaporación originadas por las temperaturas altas.

5.4. Clima.

De acuerdo a la clasificación climática de Koeppen Modificada por Enriqueta García se encontró el grupo de climas secos, con los siguientes tipos:

<u>Clave</u>	<u>D e s c r i p c i ó n</u>
BSl.kw	Clima semiseco templado, con lluvias de verano por ciento de precipitación invernal entre 5 y 10.2
BSl.hw	Clima muy seco semicálido con lluvia de verano, por ciento de precipitación invernal entre 5 y 10.2
BW.hw	Clima muy seco, semiseco con lluvias de verano, por ciento de precipitación invernal entre 5 y 10.2
BSohw	Clima seco, semicálido, con lluvias de verano, por ciento de precipitación invernal entre 5 y 10.2
BSokw	Clima seco templado, con lluvias de verano, por ciento de precipitación invernal entre 5 y 10.2

La precipitación media anual varía entre 400 a 600 mm y la temperatura media anual varían entre 16 y 18° a excepción de las áreas cerriles con una temperatura media anual que oscila de 14 a 16°C.

5. Suelos.

De acuerdo con el sistema de clasificación de suelos FAO/UNESCO, empleado por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional, en el área de estudio se localizan ocho unidades genéticas de suelos:

Xerosoles (X), Regosoles (R), Luvisoles (L), Castañozem (K), Litosoles (I), Planosoles (W), Rendzinas (E) y Feozem (H). A continuación se describen las características más importantes de cada una de ellas.

Xerosol (X).

Son suelos que se localizan en las zonas áridas y semiáridas del Centro y Norte de México. Se caracterizan por tener una capa superficial de color claro y muy pobre en humus. Debajo de ella puede haber subsuelo rico en arcillas, o bien muy semejante a la capa superficial. Muchas veces presentan, a cierta profundidad manchas, polvo o aglomeraciones de cal, cristales de yeso, o caliche de mayor o menor dureza.

Dentro de esta unidad se encuentra las subunidades háplico, lúvico y cálcico con asociaciones de Litosol, Planosol, Regosol, Feozem y Fluvisol, con textura media; se localiza en el Centro, Norte, Noreste, Sur y Este del Área en estudio.

Regosol (R).

Se caracteriza por no presentar capas distintas, ser claros en general; se parecen bastante a la roca que tienen debajo cuando no son profundos. Se encuentran en las playas, dunas, y en mayor grado en las laderas de todas las sierras mexicanas, provienen de materiales

inconsolidados, excepto los depósitos aluviales recientes o de arenas ferralíticas. Su fertilidad es variable, y su uso agrícola esta principalmente condicionado a su profundidad y a la pedregosidad, ya que frecuentemente son someros y pedregosos, dificultando su manejo.

En esta unidad se encuentran las sub-unidades eútrico, cálcico y districo con asociaciones de Luvisol, Xerosol, Litosol, Rendzina, Castañozem y Planosol, con textura que varía de gruesa a media, se localiza al Este, Sur, Oeste y Noroeste de la zona en estudio.

Luvisol (L).

Son suelos derivados de calizas y lutitas, con modo de formación "in situ", estando en desarrollo inmaduro. Se caracterizan por tener, a semejanza de los Acrisoles, un enriquecimiento de arcilla en el sub-suelo, pero son más fértiles y menos ácidos que éstos. Frecuentemente son rojos a claros, aunque también presentan tonos pardos o grises que no llegan a ser muy oscuros.

En esta unidad se encuentra la sub-unidad ocrico con asociaciones de Litosol y Cambisol con texturas media estos suelos están ocupados de encino-pino y matorral subtropical; se localizan al Suroeste de la zona.

Castañozem (K).

Estos suelos tienen su origen en los depósitos de aluvión y suelos residuales del cuaternario; su modo de formación es mixto y son de edad reciente. Se caracterizan por tener una capa superior de color pardo o rojizo oscuros, rica en materia orgánica y nutrientes: acumulación de caliche suelto o ligeramente segmentado en el subsuelo.

En esta unidad se encuentran las sub-unidades háplico y

lúvico, con asociaciones Fluvisol, Luvisol, Xerosol y Litosol, con textura media, se localiza en la porción Suroeste, Noroeste y Noreste.

Litosol (I).

Son suelos poco desarrollados, que están limitados en profundidad por una roca dura continua y coherente dentro de los primeros 10 cm. de la superficie. Su modo de formación es "in situ" de edad reciente, su génesis está relacionada en proporción alta con rocas sedimentarias del Cretácico y en menor grado con rocas ígneas extrusivas del Cenozoico, tales como calizas, margas, lutitas, areniscas, riolitas, andesitas, tobas y arenas volcánicas.

Esta unidad presenta asociaciones de Cambisol y Planosol con textura media y se localiza en la parte Suroeste del área en estudio.

Planosol (W).

Son suelos que en nuestro país, generalmente se presentan en climas semiáridos, se caracterizan por tener, debajo de la capa más superficial una capa delgada de un material claro que es siempre menos arcilloso que las capas de arriba y de abajo de él. Esta es infértil y ácida puede llegar a impedir el paso de las raíces. Debajo de ésta se presenta un sub-suelo muy arcilloso e impermeable o bien, roca o tepetate.

Esta unidad presenta la sub-unidad eútrico, con asociaciones Xerosol, Cambisol y Luvisol con textura media, se localiza en la parte Suroeste del área en estudio.

Rendzina (E).

Son suelos que se presentan en climas cálidos o templados, con lluvias moderadas o abundantes, cuya vegetación natural es de matorral, selva o bosque. Se caracteriza por presentar un horizonte Melánico, no mayor de 50 cm. de espesor, y contener o encontrarse inmediatamente arriba de un material calcárico que tiene más del 40 % de carbonato de calcio equivalente, y no se presenta dentro de los primeros 25 cm. de la superficie.

Esta unidad presenta asociaciones de Regosol, Litosol, y Fluvisol, con texturas media y se localiza al Este de la zona.

Feozem (H).

Son suelos abundantes en nuestro país y se encuentran en varias condiciones climáticas, que van desde semi-áridas, templadas o tropicales muy lluviosas; así como en diversos tipos de terrenos, desde plano hasta montañosos; pueden presentar cualquier tipo de vegetación en condiciones naturales.

Se caracteriza por una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, semejantes a las capas superficiales de los Chernozem y Castañozem, pero sin las capas ricas en cal que presentan estos dos suelos.

Esta unidad presenta la sub-unidad háplico, con asociaciones de Xerosol, Fluvisol, Litosol y Planosol con textura media y se localizan al Sureste y Suroeste del área de estudio.

5.6. Uso actual del Suelo y Vegetación.

La vegetación original que cubría los suelos del área en estudio ha venido sufriendo cambios sustanciales, debido principalmente a la apertura de tierras a la agricultura y a la ganadería.

Según el estudio de uso del suelo y vegetación, realizado por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional en 1981, reportan lo siguiente:

La agricultura de riego más representativa se localiza en el Estado de Aguascalientes y en pequeñas áreas en los siguientes poblados como: Ojo Caliente, Luis Moya, Zac., Villa Hidalgo, Zac., Ojuelos, Jal. y Ahuatulco, S.L.P.; en relación con la agricultura de temporal se encuentra en el área de influencia de la capital de Zacatecas y Aguascalientes y en el resto del área se encuentra en forma deseminada.

Pastizal natural: se caracteriza por la dominancia de especies gramínoideas y cuyo desarrollo es el producto de la interacción del clima, suelo y biota de la región. Es equivalente al zacatal. Se localiza al Oeste y Noreste de la zona.

Pastizal natural-huizachal: comunidad vegetal herbácea caracterizada por la asociación de especies gramínoideas y *Acacia schaffneri* (huizache), se desarrolla en terrenos planos o con poca pendiente en la parte Sur de la zona de estudio, se encuentra en contacto con el pastizal natural y difiere de este por su fisonomía tipo sábana, limita además con el matorral crasicale y con el matorral subtropical.

Matorral crasicale: tipo vegetativo dominado fisonómicamente por cactáceas grandes con tallos aplanados

o cilíndricos, se desarrolla principalmente en las zonas áridas y semiáridas incluyendo las asociaciones de plantas comunmente conocidas como Nopalera y cardonales (Nopales, Cardenches, Cholla, Tasajillo, Alicoche, etc.) *Opuntia spp.*

Esta comunidad se distribuye a lo largo de las coordenadas 22° y 23° de latitud Norte.

Matorral desértico micrófilo: tipo de vegetación formado por elementos arbustivos de hoja o foliolo pequeño que se desarrolla principalmente sobre terrenos aluviales de las zonas áridas y semiáridas y se divide en 4 categorías por su fisonomía.

Matorral inerme que está formada por plantas sin espinas, como los Matorrales de *Larrea tridentata* (gobernadora), *Flourenzia cernua* (hojasen), *Cordia greggi* (Nagua blanca o trompillo) *Ambrosia dumosa* (hierba del burro).

Matorral sub-inerme que esta compuesto por plantas espinosas e inermes.

Matorral espinoso formado por plantas espinosas, entre los matorrales de este tipo son frecuentes los de *Prosopis spp* (mezquite), *Mimosa spp* (uña de gato), *Acacia amentacea*, *A. vernicosa* (chaparro prieto).

Matorral con izotes que esta formada por la asociación de palmas o izotes, en terrenos aluviales principalmente, siendo los mas frecuentes los de *Yucca filifera* y *Yucca decipiens* (palma china), y se localiza en la porción Norte y Noreste del área de estudio.

Matorral submontano. - Comunidad formada principalmente por elementos inermes y caducifolios por un breve periodo; se desarrolla entre los límites de los matorrales áridos, bosque de encino y selva baja caducifolia. Algunos de los

componentes más frecuentes son: *Helietta parvifolia* (barreta), *Neopringlea integrifolia* (corva de gallina), *Cordia boissieri* (anacahuita), *Pithecelobium brevifolium* (tenaza), *Zanthoxylum fogara* (Brasil), *Acacia amentacea* (gavia) *Gochnatia hypolenea* (ocotillo) *Flouencia laurifolia* (hoja ancha), *Karwinskia spp.* (coyotillo), *Leucophyllum spp.* (cenizo).

Bosque de pino-encino: formados por diferentes especies de *Pinus spp* (pino) y *Quercus spp* (encino) esta asociación se localiza al Sur de la Capital de San Luis Potosí.

Bosque de encino: este bosque formado por especies del género *Quercus* (encino, roble) en muy diferentes condiciones ecológicas, se localiza al Oeste de la zona.

Chaparral arbustivos resistentes al fuego: formados principalmente por *Quercus spp* (encinos) y/o *Adenostoma spp*; *Aretosfaphylos spp* (manzanita), *Cercocarpus spp* (rosa de castilla), y otras especies. Se localiza al Oeste y en pequeños manchones al Sur y Sureste del área.

Los tipos de vegetación que predomina en el área de estudio son: Matorral crasicaule con asociaciones de nopalera y cardonales, matorral desértico micrófilo (inermes, sub-inermes, espinoso, izotes), pastizal natural con asociaciones de huizachal y en pequeñas porciones de matorral sub-montano, bosque pino-encino y bosques de pino.

VI. MATERIAL Y EQUIPO.

El material y equipo que se utilizó en el presente estudio en gabinete y en campo es el siguiente:

6.1. MATERIAL:

- Seis imágenes del Satélite Landsat de las épocas seca y húmeda.
- Información con respecto a lluvias, de 51 estaciones climatológicas.
- Cartas topográficas, claves F 13-3, F 13-6, F 13-9, F 14, F 14-4, F 14-7, escala 1:250,000 editada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (DGGTN).
- Cartas topográficas claves F14-A31, F14-A.32, F14-A33, F14-A-41, F14-A-42, F14-A-43, F14-A-51, F14-A-52, F14-A-53, F14-A-61, F14-A-62, F14-A-63, F14-A-71, F14-A-72, F14-A-73, F14-A-81, F14-A-82, F14-A-83, F14-C-11, F14-C-12, F14-A-13, F14-D.17, F14-D-18, F14-D-19, F13-B-37, F13-B-38, F13-B-39, F13-B-47, F13-B-48, F13-B.49, F-13-B-57, F13-B.58, F13-B-59, F13-B-67, F13-B-68, F13-B-69, F13-B-77, F13-B-78, F13-B-79, F13-B-87, F13-B-88, F13-B-89, escala 1:50,000 editada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.
- Mapa del Uso Actual del Suelo del área de estudio escala 1:500,000 formulada por Cartografía Sinóptica (S.A.R.H.) 1976.

Carta de Climas del área de estudio escala 1:500,000 formulada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.
- Mapa Fisiográfico de la República Mexicana preparado por el Centro de Edafología del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo, 1980. Escala 1:2'000,000.

Mapa de carreteras del área de estudio escala 1:800,000 elaborado por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1980).

6.2. EQUIPO:

- 1 Proyector para analizar imágenes multiespectrales marca Mini-Addcol, modelo 6040, serie 009.
- 1 Balanza analítica modelo H-22 de precisión.
- 1 Barrera agrológica de tubo.
- 1 Mochila pedológica.
- 1 Martillo edafológico.
- 1 Pala
- 1 Pico
- 1 Clisímetro marca Keuffel y Esser.
- 1 Cinta métrica.
- 1 Estereoscopio de espejo Zeiss con 3 aumentos 3 X.
- 1 Altimetro.
- 1 Escalímetro.
- 1 Manual de descripción de perfiles de la FAO
- 1 Vehículo marca Ford tipo Pick-up.
- 1 Piseta.
- 1 Lupa de 10 aumentos.
- 1 Carta de colores Munsell.

VII. METODOLOGIA.

7.1 Para la obtención del inventario de áreas erosionadas se utilizo la metodología propuesta por la Dirección General de Conservación del Suelo y Agua y la Universidad Autónoma de Chapingo, la cual esta basada en el análisis multitemporal de las imágenes de Satélite Landsat y se desarrolla en 4 etapas, siendo éstas: Reconocimiento, Identificación, Análisis Sistemático y Clasificación respectivamente.

7.1.1. Reconocimiento.

En esta etapa se alboró un plano preliminar de la dinámica de la vegetación, haciendo énfasis en la información de la cobertura vegetal, obtenida de las dos épocas del año; la seca y la húmeda. La interpretación se hace proyectándose cada una de las imágenes simultáneamente en falso color en sus bandas 4, 5, 6 y 7, a la esc. 1:250,000 haciendo uso de un aparato óptico denominado Mini Addcol Viewer y diferenciando tres clases de cobertura del terreno sobre la imagen.

1. Areas desprovistas de vegetación (S)
2. Areas con vegetación escasa (M)
3. Areas con vegetación permanente o densa (V)

Esta interpretación se hizo para las imágenes de la época seca y las de las épocas posteriores a las lluvias.

El siguiente paso consiste en sobreponer los dos planos resultantes de cada una de las clasificaciones anteriores, para obtener un tercer plano, conteniendo nueve clases diferentes de densidad vegetal, resultado de las combinaciones de las tres clases identificadas en cada una de las épocas, como se presenta en el cuadro 4, denominado dinámica aparente de la cobertura vegetal.

DINAMICA APARENTE DE LA COBERTURA VEGETAL

EPOCA SECA-HUMEDA	AREAS DESPROVISTAS DE VEGETACION (S)	AREA CON VEGETACION ESCASA O RALA (M)	AREAS CON VEGETACION PERMANENTE O DENSA (V)
AREAS DESPRO- VISTAS DE VEGE- TACION (S)	1	2	3
AREAS CON VEGE- TACION ESCASA O RALA (M)	4	5	6
AREAS CON VEGE- TACION PERMA- NENTE O DENSA (V)	7	8	9

Este plano de nueve clases es en realidad el comportamiento dinámico de la vegetación sobre el terreno.

7.1.2. Identificación.

El proceso de identificación establece la relación entre las nueve clases resultantes de la etapa anterior y los grados de erosión que se pueden presentar en el terreno. Esta etapa comprende cuatro fases que son:

- a). En gabinete se localizan los linderos de las regiones fisiográficas y son transferidas al plano de nueve clases. El punto de partida en esta etapa es la delimitación de las regiones fisiográficas, por ser áreas que mantienen patrones homogéneos de topografía, clima, suelo, uso y manejo del mismo. Para este estudio se adoptó la clasificación de Provincias y Regiones Terrestres de México, elaborado por el Centro de Edafología del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo, que se muestra en la figura 1.
- b). Tomando a cada una de las regiones fisiográficas como marco de muestreo, se ubicaron áreas de forma rectangular con una superficie mínima de 156.25 ha. (0.625 x 2.5 km.), de manera tal que sea posible muestrear en el campo todas las clases de cobertura vegetal identificadas en esa región en particular. Por esta razón el número de áreas de muestreo es variable para cada región fisiográfica, ubicando 46 áreas en total para la zona en estudio que representan el 0.30 %.
- c). En los recorridos de campo, en cada una de las zonas de muestreo se realiza un perfil al suelo dentro del área menos perturbada, verificando profundidad de la capa superficial, textura, color y pedregosidad, posteriormente se realizan transectos de donde se toman los datos de las barrenaciones para determinar la profundidad de esa clase en particular, para que se relacione el tipo de cobertura

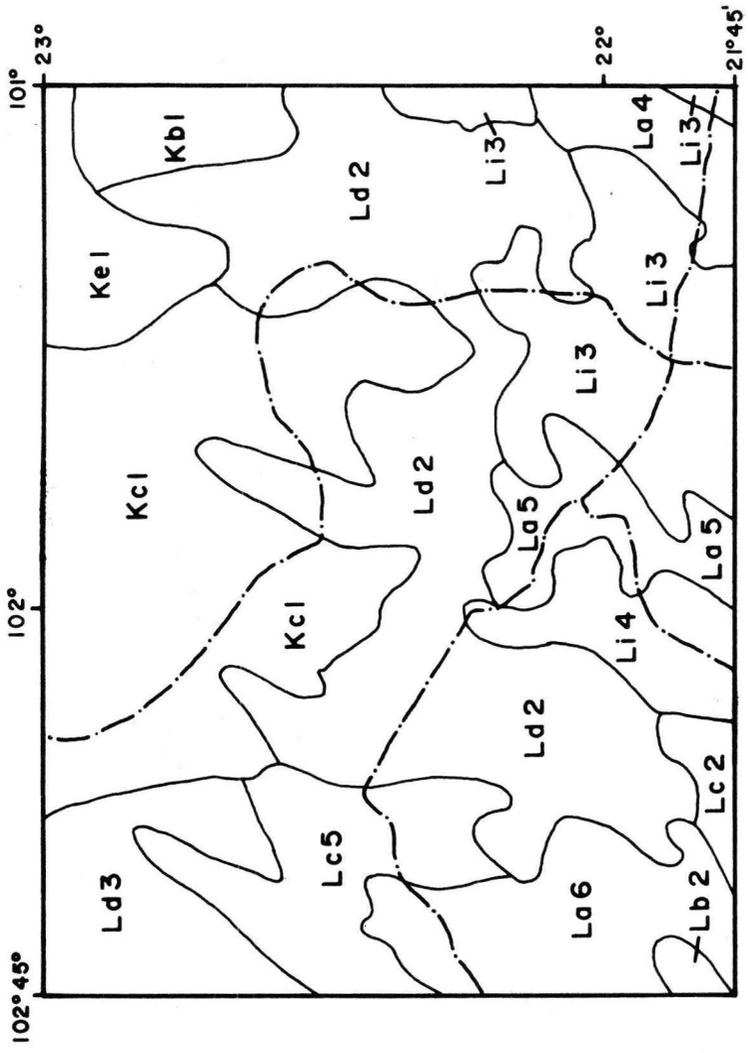


Fig. 1 REGIONALIZACION FISIOGRAFICA DEL AREA DE ESTUDIO

vegetal con los grados de erosión en el terreno.

- d). El cuarto paso consiste en clasificar por grado de erosión a cada una de las zonas de muestreo, utilizando la clasificación FAO (1954) empleada en el estudio de Areas Erosionadas en América Latina, la cual se presenta en el cuadro 3, que contempla cinco clases de erosión basadas en la pérdida de la capa superficial del suelo.

7.1.3. Análisis Sistemático.

Consiste en obtener dentro de cada región fisiográfica el grado de erosión modal y la variación observada para cada clase de densidad vegetal, anteriormente presentada en el cuadro 4.

Para realizar este análisis se aplicaron dos alternativas:

- I.- Cuando a una clase le corresponde un solo grado de erosión, se tomaron los datos de las barrenaciones y del perfil (profundidad de la capa superficial del suelo) para determinar la moda y asignar el grado de erosión de esta clase, en particular en toda la región fisiográfica.
- II.- Cuando a una clase le corresponden dos o más grados de erosión en diferentes áreas de muestreo para una misma región fisiográfica, se tomaron en cuenta dos criterios de asignación:
- a). Se toma como clase representativa la que tiene mayor porcentaje de área, y se le asigna el grado de erosión correspondiente a dicha clase.
- b). Para determinar el grado de erosión representativa de una clase de cobertura que aparezca con diferentes grados de erosión dentro de una misma región fisiográfica, se efectúa un análisis

estadístico de las barrenaciones con objeto de definir entre que rangos se establecen los diferentes grados de erosión. Posteriormente, por medio de una gráfica se relaciona el número de observaciones y se obtienen gráficas de porcentaje de frecuencia para hacer la asignación final a dicha clase para toda la región fisiográfica.

Finalmente para el criterio de clasificación representativa de la clase, según el caso, se opta por cualquiera de las dos siguientes opciones:

- 1.- Cuando el porcentaje de frecuencias observadas de los grados de erosión fue mayor que el modal hasta el 25 % del total, se consideró el valor modal como grado de erosión representativo de la clase.
- 2.- Cuando el porcentaje de frecuencias observadas de los grados de erosión fue mayor que el modal y excedió el 25 % del total, se consideró como representativo de la clase el grado de erosión siguiente al modal, que normalmente es el intermedio entre el grado de erosión modal y el siguiente hacia el lado crítico.

7.1.4. Clasificación.

Consiste en asignar a las clases los grados de erosión correspondiente, obtenidos del análisis sistemático. De tal manera que al plano de nueve clases de cobertura vegetal se le asignaron los grados de erosión por regiones fisiográficas. Por ejemplo, en la Región Li4 que corresponde a la Región de Tepelatillo, se ubicaron 7 áreas de muestreo conteniendo las siguientes clases de cobertura vegetal: 1,3,4,5,8 y 9, mediante el análisis sistemático se encontró que a la clase 3, 8 y 9 les correspondió el grado de erosión A; a las clases 1,4 y 5

A/B; y a la clase 2, el B. Cuando dos o más clases de clasificación con el mismo grado de erosión, se eliminaron los linderos entre éstas, conservando una sola unidad, como se muestran en las figuras 2 y 3.

7.1.5. Plano de Erosión Actual.

Como resultado del análisis previamente descrito se obtuvo el plano de erosión actual de la zona en estudio que se presenta en el anexo.

7.2. Riesgo de Erosión.

El riesgo de erosión es el producto de la influencia de los factores activos (erosividad de la lluvia R) y pasivos (erodabilidad del suelo K, longitud de la pendiente L, y grado de la pendiente S) de la ecuación universal de pérdida de suelo, en un sitio determinado, que representa la predisposición de una zona a la pérdida del suelo.

Una vez delimitada el área de estudio y mediante el apoyo de material cartográfico, se construye un plano base de la zona, posteriormente se calcula el riesgo de erosión, construyendo planos a escala 1:250,000 de los factores siguientes:

- a). Erosividad de la lluvia (R)
- b). Erodabilidad del suelo (K)
- c). Longitud y grado de la pendiente (LS)

A continuación se especifica como se obtienen los valores numéricos de los factores antes mencionados.

7.2.1. Plano de Índice de Erosividad (R).

Para obtener el plano de erosividad de la lluvia, se analizó la información pluviométrica en 51 estaciones meteorológicas ubicadas en los Estados de Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, San Luis Potosí y Zacatecas, así como las que se ubican a una distancia no mayor de 25 km. en la periferia del área, cuadro 5.

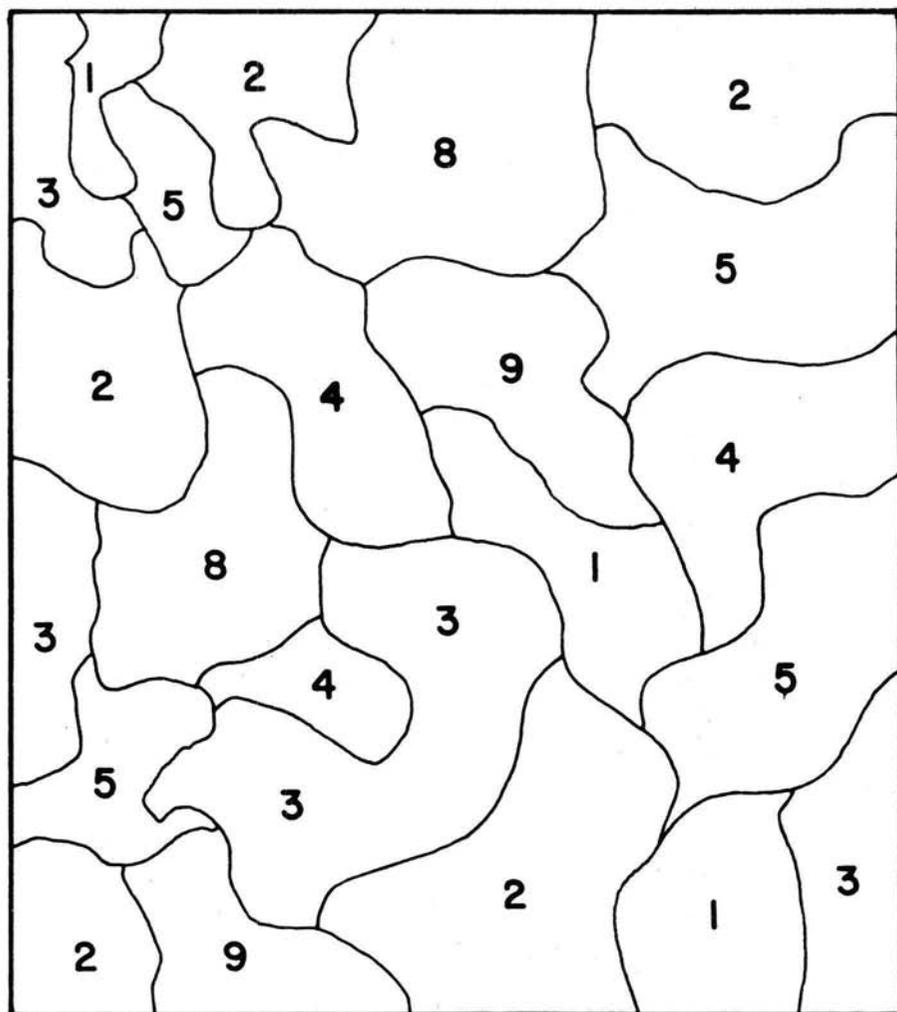


Fig. 2 CLASIFICACION DE LA DINAMICA APARENTE DE LA VEGETACION DE LA REGION FISIOGRAFICA LI 4

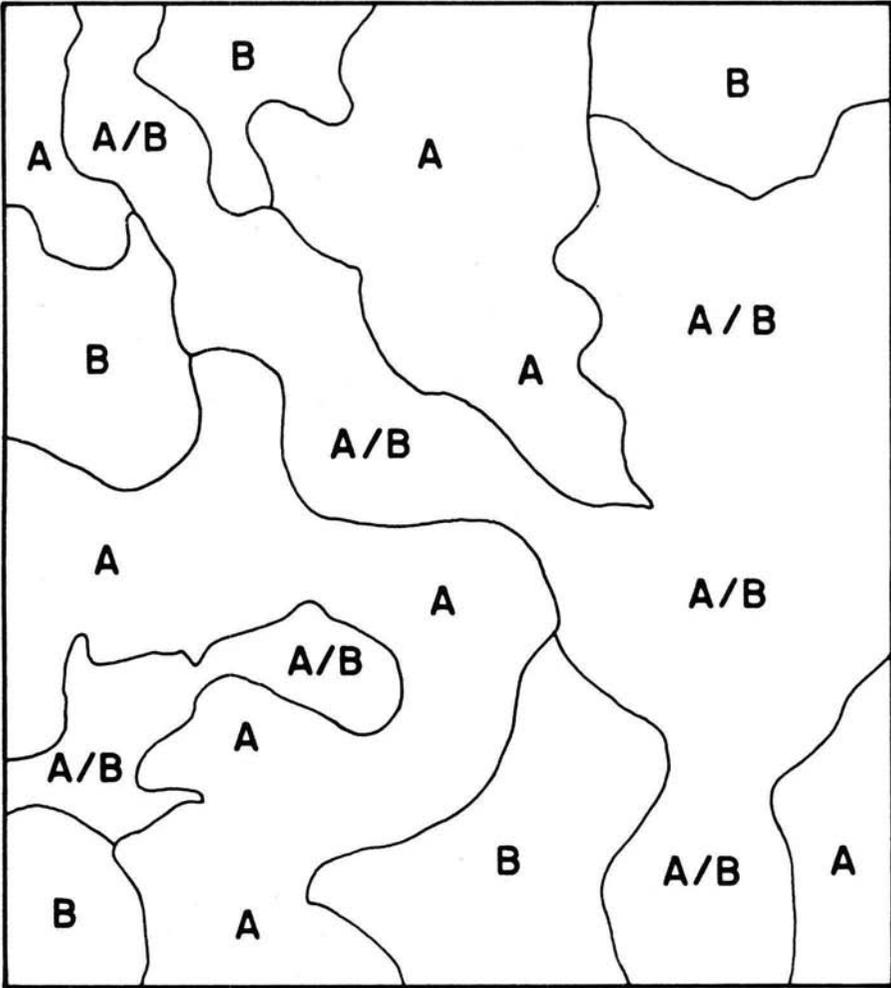


Fig. 3 CLASIFICACION POR GRADOS DE EROSION DE LA REGION FISIOGRAFICA LI 4

CUADRO No 5

ESTACIONES Y EL FACTOR EROSIVIDAD DE LA LLUVIA (R)

ESTACIONES Y ENTIDADES	COORDENADAS		FACTOR R MM
	LATITUD	LONGITUD	
1.- VILLA JUARES, AGS.	22° 07'	102° 04'	243.24
2.- EL TULE, AGS.	22° 04'	102° 06'	424.09
3.- VENADERO, AGS.	21° 53'	102° 28'	269.22
4.- TEPEZALA, AGS.	22° 13'	102° 09'	357.59
5.- LA TINAJA, AGS.	22° 19'	102° 32'	455.97
6.- SAN FRANCISCO, AGS.	21° 56'	102° 09'	397.66
7.- SANDOVALES, AGS.	21° 56'	102° 06'	343.56
8.- SAN FRANCISCO DE ROMO, AGS.	22° 15'	102° 17'	221.70
9.- RANCHO VIEJO, AGS.	22° 07'	102° 25'	279.66
10.- SAN BARTOLO, AGS.	21° 45'	102° 13'	370.17
11.- PRESA POTRERILLOS, AGS.	22° 14'	102° 26'	191.36
12.- CONCEPCION, AGS.	22° 12'	102° 08'	491.76
13.- PRESA JOCOQUI, AGS.	22° 08'	102° 24'	337.66
14.- PALO ALTO, AGS.	21° 55'	101° 58'	364.22
15.- PRESA CALLES, AGS.	22° 08'	102° 26'	302.01
16.- EL CALVILLO, AGS.	22° 02'	102° 01'	380.75
17.- PABELLON DE ARTEAGA, AGS.	22° 09'	102° 17'	174.78
18.- MESILLAS, AGS.	22° 19'	102° 12'	393.96
19.- NIAGARA, AGS.	21° 48'	102° 22'	314.77
20.- LA LABOR, AGS.	21° 58'	102° 42'	341.36
21.- MEDIA LUNA, AGS.	21° 48'	102° 48'	327.12
22.- JESUS MARIA, AGS.	21° 57'	102° 21'	334.25
23.- LOS CONOS, AGS.	21° 54'	102° 00'	390.17
24.- LAS FRAGUAS, AGS.	22° 03'	101° 56'	576.63
25.- MALPASO, AGS.	21° 51'	102° 40'	226.34
26.- CAÑADA HONDA, AGS.	22° 00'	102° 11'	259.19
27.- AGUASCALIENTES, AGS.	21° 53'	102° 18'	355.69
28.- CALVILLO, AGS.	21° 53'	102° 43'	263.89
29.- ALMOLOYA, GTO.	21° 36'	101° 14'	369.02

CUADRO No 5

ESTACIONES Y EL FACTOR EROSIVIDAD DE LA LLUVIA (R)

ESTACIONES Y ENTIDADES	COORDENADAS		FACTOR R MM
	LATITUD	LONGITUD	
30.- OJUELOS, JAL.	21° 52'	101° 35'	337.68
31.- PRESA LA DUQUESA, JAL.	21° 45'	101° 52'	380.40
32.- EL TECUAN, JAL.	21° 41'	102° 01'	450.41
33.- RAMOS, S.L.P.	22° 51'	101° 56'	375.54
34.- VILLA DE ARISTA, S.L.P.	22° 39'	100° 51'	490.19
35.- SOLEDAD DE DIAZ, S.L.P.	22° 11'	100° 56'	153.20
36.- S.L.P., S.L.P.	22° 09'	100° 58'	192.99
37.- SANTIAGO, S.L.P.	21° 53'	101° 16'	403.58
38.- LOS PILARES, S.L.P.	22° 27'	101° 05'	205.02
39.- RINCON DEL PORVENIR, S.L.P.	22° 17'	101° 05'	275.81
40.- PEÑON BLANCO, S.L.P.	22° 38'	101° 43'	407.05
41.- MOCTEZUMA, S.L.P.	22° 45'	101° 06'	203.47
42.- EL GRITO, S.L.P.	22° 39'	101° 08'	391.17
43.- VILLA GARCIA, ZAC.	22° 09'	101° 57'	365.03
44.- TAYHUA, ZAC.	22° 05'	102° 52'	268.99
45.- TRONCOSO, ZAC.	22° 44'	102° 20'	334.54
46.- EL RUSIO, ZAC.	22° 25'	101° 46'	443.73
47.- PALOMAS, ZAC.	22° 17'	102° 51'	278.18
48.- OJO CALIENTE, ZAC.	22° 35'	102° 14'	293.23
49.- LORETO, ZAC.	22° 18'	101° 59'	348.04
50.- PRESA EL CHIQUE, ZAC.	22° 00'	102° 54'	242.57
51.- FRESNILLO, ZAC.	23° 10'	102° 51'	257.48

De la información pluviométrica de las diferentes estaciones, se seleccionaron los años con registros completos, así como las estaciones que cuenten con información mínima de cinco años. Con esta información se calcula el índice de erosividad para cada estación, que es una modificación propuesta por FAO (1980), del índice de FOURNIER, el cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$R = \sum_{i=1}^{12} p^2/P$$

donde;

p^2 = Precipitación mensual máxima (mm)

P = Precipitación media anual (mm).

Una vez obtenidos los índices apropiados, en el plano base se localizan las estaciones analizadas con sus valores calculados y mediante interpolación a 50 unidades, de acuerdo a la diferencia entre los valores de las estaciones, se elabora el plano mediante isolíneas de erosividad como se muestra en el ejemplo de cálculo del factor (R).

7.2.2. Plano Índice de Erodabilidad (K).

El índice de erodabilidad se calculó siguiendo el criterio establecido por FAO (1980) que consiste en multiplicar los valores numéricos asignados a los factores de textura y unidad de suelo según la clasificación FAO/UNESCO, las texturas que se consideran son las siguientes:

- 1.- Textura gruesa (< 18 % de arcilla y > 65 % de arena)
- 2.- Textura media (< 35 % de arcilla y < 65 % de arena o < 18% de arcilla y < 82 % de arena)

EJEMPLO DE CALCULO DEL FACTOR (R) EROSIVIDAD DE LA LLUVIA, PARA LA ESTACION VILLA JUAREZ, AGUASCALIENTES.

MES	PRECIPITACION MAXIMA MENSUAL (mm) (p)	P^2	PRECIPITACION MEDIA ANUAL (mm)	P^2/p
ENERO	18.2	331.24	413.73	0.80
FEBRERO	12.5	156.25	413.73	0.38
MARZO	9.5	90.25	413.73	0.22
ABRIL	13.5	182.25	413.73	0.44
MAYO	39.9	1,592.01	413.73	3.85
JUNIO	69.9	4,886.01	413.73	11.81
JULIO	144.0	20,736.00	413.73	50.12
AGOSTO	199.5	39,800.25	413.73	96.19
SEPTIEMBRE	148.4	22,022.56	413.73	53.22
OCTUBRE	90.9	8,262.81	413.73	19.97
NOVIEMBRE	4.8	23.04	413.73	0.05
DI CIEMBRE	50.6	2,560.36	413.73	6.19
			SUMA	<u>243.24</u>
R = 243.24				

3.- Textura fina (>35 % de arcilla)

o, en su defecto, la roca madre.

El valor textura se divide en 4 grupos y se le asigna un coeficiente, de acuerdo a la Tabla 1; en lo que respecta a las unidades de suelo, se les asigna una clase de erodabilidad según el Cuadro 6 y también un coeficiente de erodabilidad, de acuerdo a la Tabla 2.

Tabla 1 Coeficiente de Textura

TEXTURA	COEFICIENTE
Gruesa	0.2
Media	0.3
Fina	0.1
Fase pedregosa	0.5

Tabla 2 Clase de Erodabilidad

Erodabilidad	Coeficiente
Ligera (I)	0.5
Moderada (II)	1.0
Alta (III)	2.0

Procedimiento.

- 1.- Se elabora un mapa de la zona en estudio, conteniendo únicamente su delimitación.

CUADRO NO. 6

CLASIFICACION DE LAS UNIDADES DE SUELOS, SEGUN FAO/UNESCO,
EN TRES CLASES DE ERODABILIDAD

UNIDAD	SUB-UNIDAD	VALOR DE ERODABILIDAD
Acrisol A	férico f	II
	gléyico g	I
	húmico h	II
	ortico o	I
	plintico p	II
Cambisol B	crómico o	III
	dístico d	II
	ferralico f	II
	gléyico g	I
	húmico h	II
	vértice v	II
	gético x	III
Chernozem C	gléyico g	I
	háplico h	I
	cálcico k	I
	lúvico l	I
Podzolúvisol D	dístico d	III
	eútrico e	III
	gléyico g	III
Rendzina E		I
Ferrasol F	acríco a	I
	húmico h	I
	ortico o	I
	plintico p	I
	ródico r	I
	xántico x	I

CUADRO NO. 6

CLASIFICACION DE LAS UNIDADES DE SUELOS, SEGUN FAO/UNESCO,
EN TRES CLASES DE ERODABILIDAD

UNIDAD	SUB-UNIDAD	VALOR DE ERODABILIDAD
Gleysol G	Calcárico c	I
	dístico d	II
	eútrico e	II
	húmico h	I
	mólico m	I
	plítico p	II
	gético x	III
Podzol P		III
	férico f	III
	gléyico g	III
	húmico h	II
	lúvico l	II
	órtico o	III
	plácico p	III
Arenosol Q		I
	albico a	I
	cambico c	I
	ferrálico f	I
	lúvico l	I
Regosol R		II
	calcárico c	I
	dístico d	II
	eútrico e	II
	gético x	III
Solonetz S		III
	gléyico g	III
	mólico m	II
	órtico o	III
Andosol T		II
	humico h	I
	mólico m	I
	órtico o	II
	vitrico V	II
Ranker U		I

CLASIFICACION DE LAS UNIDADES DE SUELOS, SEGUN FAO/UNESCO,
EN TRES CLASES DE ERODABILIDAD

UNIDAD	SUB-UNIDAD	VALOR DE ERODABILIDAD
Feozem H	Calcárico C	I
	gléyico g	I
	háplico h	I
	lúvico l	I
Litosol I Fluvisol J		I
		II
Castañozem K	calcárico c	I
	dístrico d	II
	eútrico e	II
	tiónico t	III
		II
Luvisol L	háplico h	II
	cálcico k	II
	lúvico l	II
		II
Molisol M	albico a	III
	crómico c	II
	férrico f	I
	gléyico g	II
	cálcico k	II
	órtico o	II
	plíntico p	II
	vértico	III
Nitrosol N	acríco a	II
	gléyico g	II
Nitrosol N		I
	dístrico d	I
	eútrico e	I
	húmico h	I

CLASIFICACION DE LAS UNIDADES DE SUELOS, SEGUN FAO/UNESCO,
EN TRES CLASES DE ERODABILIDAD

UNIDAD	SUB-UNIDAD	VALOR DE ERODABILIDAD
Histosol O	dístico d	I
	eútrico e	I
	géllico x	I
Xerosol X		III
	háptico h	III
	cálcico k	III
	lúvico l	III
	gypsico y	III
Yermosol Y		III
	háptico h	III
	cálcico k	III
	lúvico l	III
	gypsico y fakirico f	III
Solonchack Z		II
	gléyico g	II
	mólico m	I
	órtico o	II
	fakirico f	III
Vertisol V		III
	crómico c	III
	pélico p	III
Planosol W		III
	dístico d	III
	eútrico e	III
	húmico h	II
	solódico s	III
	géllico x	III

- 2.- Se sobrepone a las cartas edafológicas para pasar los linderos o áreas de las diversas unidades de suelos encontradas, con sus respectivas texturas.
- 3.- Enseguida a cada unidad de suelo se le multiplica su coeficiente por el de su correspondiente valor textural, de acuerdo a las Tablas 1 y 2 y al Cuadro 6, el valor obtenido será el de dicha área, así por ejemplo si una zona presenta Castañozem lúvico + Fluvisol eútrico, en ambas unidades con textura media, al suelo le corresponde una erodabilidad moderada de $1.0 + 1.0 = 2/2 = (1)$, a la textura un coeficiente de 0.3 y el valor resultante que es $(1 \times 0.3) = 0.30$. corresponde al valor de K. En este caso, a las unidades asociadas de suelos se promediaron sus coeficientes y el resultado es el valor del área formada por la combinación de las unidades.
- 4.- De esta manera se obtiene el plano de erodabilidad, K.

Para determinar las unidades de suelos, con sus respectivas clases texturales de la zona en estudio, se utilizaron las cartas edafológicas de la ex-Dirección General de Geografía, y se localizaron las unidades y subunidades que se presentan en el Cuadro 7, así como sus valores de K.

CUADRO 7. VALORES DE K, PARA LOS SUELOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Unidad de suelo	Erodabilidad	Resultado	Coefficiente de Textura	Valor K
$\frac{Kl+Je}{2}$	2.0/2	1.0	0.3	0.30
$\frac{Xl+Xh+Xk}{2}$	6.0/3	2.0	0.3	0.60
$\frac{Xh+Rc+I}{2}$	3.0/3	1.0	0.3	0.30
$\frac{Xh+I+Xk}{2}$	4.5/3	1.5	0.3	0.45
$\frac{Rc+Xk+Kl}{2}$	3.5/3	1.17	0.3	0.35
$\frac{Rc+I+Xl}{2}$	3.3/5	1.17	0.3	0.35
$\frac{Xh+Xl}{2}$	4/2	2.0	0.3	0.60
$\frac{Xh+Yh}{2}$	4/2	2.0	0.3	0.60
$\frac{Xl+Kl}{2}$	3/2	1.5	0.3	0.45
$\frac{Kl+Xl+Xh}{2}$	5/3	1.67	0.3	0.501
$\frac{Xh+Rc+Kl}{2}$	3.5/3	1.17	0.3	0.35
$\frac{Xh+I+Kl}{2}$	3.5/3	1.17	0.3	0.35
$\frac{Xh+I+Xk}{2}$	4.5/3	1.5	0.3	0.45
$\frac{Xh+Xl+Kl}{2}$	5.0/3	1.67	0.3	0.501

CUADRO 7. (Cont.)

Unidad de suelo	Erodabilidad	Resultado	Coefficiente de textura	Valor K
$\frac{Xk+Xh+I}{2}$	4.3/5	1.5	0.3	0.45
$\frac{Xh+I+Kh}{2}$	4.5/3	1.5	0.3	0.45
$\frac{Xh+Hl}{2}$	2.5/2	1.25	0.3	0.38
$\frac{Re+I+Yh}{2}$	3.5/3	1.17	0.3	0.35
$\frac{E+Jc+Yh}{2}$	4.5/3	1.5	0.3	0.45
$\frac{Rc+E+I}{2}$	3.0/3	1.0	0.3	0.3
$\frac{Rc+Xh}{2}$	2.5/2	1.25	0.3	0.38
$\frac{Hc+Xh}{2}$	2.5/2	1.25	0.3	0.38
$\frac{E+I}{2}$	2.5/2	1.25	0.3	0.38
$\frac{Rc+I+E}{2}$	3.0/3	1.0	0.3	0.30
$\frac{Rc+I+Xh}{2}$	3.0/3	1.0	0.3	0.30
$\frac{Rc+I}{2}$	1.0/2	0.5	0.3	0.15
$\frac{E+Rc+Je}{2}$	3.5/3	1.17	0.3	0.35
$\frac{E+I+Rc}{2}$	1.5/3	0.5	0.3	0.15
$\frac{Kh+Jc+I}{2}$	2.0/3	0.67	0.3	0.20

CUADRO 7. (Cont.)

Unidad de suelo	Erodabilidad	Resultado	Coefficiente de textura	Valor K
$\frac{Xk+Jc+I}{2}$	3.0/3	1.0	0.3	0.30
$\frac{E+Rc+I}{2}$	0.3/3	0.5	0.3	0.15
$\frac{Xh+Rc+I}{2}$	3.0/3	1.0	0.3	0.30
$\frac{Xh+I+Xk}{2}$	4.5/3	1.5	0.3	0.45
$\frac{Xh+Je+I}{2}$	3.5/3	1.17	0.3	0.351
$\frac{E+I+Rc}{2}$	1.5/3	0.5	0.3	0.15
$\frac{Xh+Xh}{2}$	4/2	2.0	0.3	0.60
$\frac{Xk+Hh}{2}$	2.5/2	1.25	0.3	0.375
$\frac{Xk+Xg}{2}$	4/2	2.0	0.3	0.60
$\frac{E+Rc+I}{2}$	1.5/3	0.5	0.3	0.15
$\frac{Rc+I}{2}$	1.0/2	0.5	0.3	0.15
$\frac{Xh+Bc+I}{2}$	3.5/3	1.17	0.3	0.35
$\frac{Xh+I+Yk}{2}$	4.5/3	1.5	0.3	4.5
$\frac{Xk}{2}$	2/1	2.0	0.3	0.60
$\frac{Rc+I}{2}$	1/2	0.5	0.3	0.15

CUADRO 7. (Cont.)

Unidad de suelo	Erodabilidad	Resultado	Coefficiente de textura	Valor K
$\frac{Xh+Xk+Xh}{2}$	6/3	2.0	0.3	0.60
$\frac{Rc+I+Xh}{2}$	3/3	1.0	0.3	0.30
$\frac{Hh+I+Kl}{2}$	2/3	0.67	0.3	0.201
$\frac{Rc+Hh+I}{2}$	1.5/3	0.5	0.3	0.15
$\frac{Xl+Xl+I}{2}$	4.5/3	1.5	0.3	0.45
$\frac{Xh+Rc+I}{2}$	3/3	1.0	0.3	0.30

7.2.3 Plano de índice de inclinación y longitud de la pendiente (LS).

En el presente estudio para fines cartográficos el factor de índice de inclinación y longitud de la pendiente, LS se calculó con base a la metodología FAO que propone la utilización de tres clases de pendientes y sus combinaciones, las clases consideradas son las siguientes: llana o suavemente ondulada (a) fuertemente ondulada a cerril (b) y fuertemente disectada o montañosa (c) a las cuales asigna los coeficientes LS presentados en el Cuadro 8.

CUADRO 8. CLASES DE PENDIENTES, FAO.

Clase del Declive	a	b	c
Declive dominante	0-8	8-30	30
Valorización LS	0.35	3.5	11.0

Para los suelos Fluvisoles, Gleysoles y fase gleyica, propone un valor de 0.15.

Los rangos de pendientes seleccionados en el presente trabajo son por lo tanto: a) 0-8 %; b) 8-30 % y c) > 30 % a cada rango se le asignó la literal a, b y c respectivamente y el valor que asignó la FAO.

Los rangos de pendiente se determinaron de la siguiente manera:

Para este estudio se utilizó la escala de trabajo de 1:250,000 y las curvas de nivel se presentan a una equidistancia vertical de 100 m., por consiguiente a un mm en el mapa le corresponden 250 m. en el terreno y un centímetro equivale a 2500 m.; Para obtener los porcentajes de pendiente, primero se mide la distancia horizontal o separación entre curvas de nivel, el resultado en centímetros, se multiplica por 2500 para conocer su equivalente en m. de terreno, el resultado será el divisor de 100 que corresponde a la equidistancia vertical constante de las curvas de nivel.

De esta forma, una separación horizontal entre curvas de nivel de 0.5 representa 1250 m. de terreno, al dividir 100 entre 1250, obtenemos un valor de 0.08 que multiplicado por 100 nos da un porcentaje de pendiente de 8 %.

A partir de este método se calcula la distancia que deben de tener las curvas para representar pendientes de: 8, 8-30 y > 30 % respectivamente, de acuerdo a los rangos previamente establecidos por FAO.

En el Cuadro 9, se observan los rangos y distancias calculadas en este estudio.

CUADRO 9. Rangos de Distancias.

Litoral	Rango	Distancias (Cm)
a	0 - 8	> 0.5
b	8 - 30	0.5 - 0.13
c	> 30	< 0.13

Con las distancias calculadas por el procedimiento anteriormente mencionado se adecua una escala gráfica y se sobreponen en la carta topográfica con el propósito de

identificar áreas con igual distancia horizontal entre las curvas de nivel, a las cuales se les asignaron los valores LS previamente definidos.

7.2.4. Plano de Riesgo de Erosión

Considerando que en la Ecuación Universal de pérdida de suelo, intervienen factores causales del proceso erosivo, divididos en factores activos como la erosividad de la lluvia y pasivos como la erodabilidad del suelo y longitud y grado de la pendiente, además del factor atenuante de la erosión, como la cubierta vegetal, (c) y prácticas de conservación (p), se considera que la influencia combinada de los cuatro primeros (RKLS) representa la pérdida máxima potencial o riesgo de erosión al que puede estar sujeta una zona determinada, considerando que el área se encuentra libre de de vegetación y sin prácticas de control de la erosión.

Para la elaboración del plano de riesgo de erosión, se sobreponen los planos previamente elaborados de los factores R, K, y LS, el plano generado, es el resultado de la multiplicación de los valores de R por los de K y por los de LS.

Como resultado de esta multiplicación de valores, las cantidades obtenidas representarán la pérdida máxima potencial de cada nueva área en ton/ha/año. Los productos así obtenidos definen zonas con cantidades muy heterogéneas por lo que se agrupan en 5 clases cartográficas, la definición de las clases, y el símbolo y rango numérico del producto RKLS, se representan en el CUADRO 10.

CUADRO 10. Símbolo, Clases y Rango Numérico de RKLS.

Símbolo	Clase de Riesgo	Rango Numérico del Producto RKLS *
I	Muy Bajo	0 - 15
II	Bajo	15.1 - 50
III	Moderado	50.1 - 200
IV	Alto	200.1 - 1000
V	Muy Alto	> 1000

* Pérdida máxima potencial de suelo considerando que el área se encuentra libre de vegetación y sin prácticas de conservación de suelos (en ton/ha./año).

VIII. - RESULTADOS Y DISCUSION.

8.1. Cuantificación de áreas afectadas por grados de erosión.

Plano de Erosión-

Realizando un análisis de los resultados del plano I de erosión, en el cuadro II, se puede apreciar que el grado de erosión no manifiesta "A" cubre una superficie de 170,506 hectáreas que representan el 7.06% con respecto a la superficie total del área en estudio. Esta clase de erosión se localiza en el Estado de Aguascalientes y en pequeñas porciones en Zacatecas y San Luis Potosí, a esta le corresponde básicamente la agricultura de riego y una porción de bosque de encino, la que por pendiente y manejo de suelo, requieren solamente de prácticas vegetativas para su conservación.

La erosión leve "A/B" ocupa una superficie de 468,773.31 hectáreas que equivale el 19.41% del área total en estudio. Esta clase se encuentra distribuida en todo el área en pendientes planas, onduladas y cerriles, donde predomina la agricultura de temporal, matorral, cardonal, nopalera, mezquital, izotal, pastizal, cultivado, que comienzan a erosionarse debido a la falta de prácticas de conservación del suelo.

Erosión Moderada "B" cubre una superficie mayor y es de 1'602,520 hectáreas la cual representa el 66.36 % del área total; esta clase de erosión se distribuye en todo el área en estudio. Las áreas afectadas por este fenómeno se encuentran en una etapa de transición hacia la pérdida total del suelo, y por lo tanto son las que requieren de mayor atención y control inmediato para su conservación, mediante la aplicación de prácticas mecánicas, tales como el control de sedimentos y construcción de terrazas, así como de prácticas vegetativas, y el establecimiento de especies perennes.

Erosión severa "B/C" ocupa una superficie de 167,913.74 hectáreas, que representa el 6.95% del área total en estudio. Esta clase se encuentra en las áreas de matorrales muy perturbadas, así como en las sierra y cerros, por lo que se considera que en áreas con esta clase de erosión es recomendable realizar obras de conservación con fines de recuperación de suelos.

Erosión muy Severa "C" ocupa una superficie de 5,286.95 hectáreas, que representa el 0.22% del área total en estudio. Esta clase de erosión se encuentra en sierras y cuevas muy degradadas donde aflora la roca. En esta clase de erosión no se recomienda la implementación de ningún tipo de programa de conservación del suelo y agua, porque se necesitaría de una inversión muy fuerte para recuperar estos suelos.

CUADRO II. Cuantificación de los Grados de Erosión en el área de estudio.

CLASE	NOMBRE DE LA CLASE	SUPERFICIE EN (HA.)	PORCENTAJE
A	Erosión no manifiesta	170,506.00	7.06
A/B	Erosión leve	468,773.31	19.41
B	Erosión moderada	1'602,520.00	66.36
B/C	Erosión somera	167,913.74	6.95
C	Erosión muy severa	5,286.95	0.22
T O T A L		2'415,000.00	100.00

Plano de Riesgo de Erosión.

Basándose en el análisis de los resultados del plano 2 de riesgo de erosión, en el cuadro 12 se puede apreciar que el riesgo de erosión muy bajo (I), es el que abarca menor superficie dentro de la zona de estudio con 12,230.93 ha. que representa el 0.51% con respecto a la superficie total del área, en este tipo de riesgo de erosión pueden llegar a presentarse pérdidas de suelo de 0-15 ton/ha/año, esta pérdida de suelo representa una lámina de 0-1.25 mm/ha./año.

Este grado de erosión se localiza principalmente en áreas planas o ligeramente onduladas, con pendientes que varían de 0-4% se ubica al poniente del poblado Moctezuma y al Sur de San Luis Potosí. Las unidades de suelo encontradas en estos terrenos son los Castañozems, Fluvisoles y Feozem con textura media. Sobre estos suelos se practica básicamente la agricultura de temporal.

Riesgo de Erosión bajo (II) es el que ocupa mayor extensión con 1'287,275.60 ha., equivalente al 53.30% del área total en estudio.

Para este tipo de erosión su pérdida de suelo puede ser hasta de 15.1-50 ton/ha./año de suelo que representa una lámina de 1.2-4.2 mm/ha/año de suelo perdido.

Esta clase de erosión se encuentra distribuida a lo largo y ancho de la zona en estudio en áreas planas con ondulaciones. con pendientes que varía de 0 al 10%. Las unidades de suelos encontradas en estos terrenos son los Xerosoles, Castañozem, Regosoles, Feozem, Planosoles, litosoles, con textura media, estas unidades se dedican a la agricultura de temporal y riego, principalmente encontrando además zonas con vegetación de tipo matorral inerme, espinoso, chaparral, cardonal, nopalera, mezquital y pastizal natural, inducido y cultivado.

Riesgo de erosión moderado (III), cubre una superficie de 720,016.37 ha., que representa el 29.82% del área total en estudio, en esta clase su pérdida de suelo varía de 50.1-200 ton/ha./año de suelo perdido que equivale a una lámina que varía de 4.2-16.6 mm/ha./año.

Este tipo de erosión se localiza básicamente en áreas onduladas a cerriles, con pendientes que varían del 10 al 20%, la mayor superficie de esta clase se localiza al Centro, Sur, Norte y Noreste del área en estudio y en pequeñas porciones al Oriente. Las unidades de suelo encontradas son los Xerosoles, Planosoles, Feozems, Rendzinas, Litosoles y Regosoles con textura media, en éstas unidades se desarrolla la asociación vegetal de matorral inerme, espinoso, chaparral, cardonal y mezquital y en pequeñas porciones el pastizal perturbado y la agricultura de temporal.

Riesgo de erosión alta (IV), ocupa una superficie de 293,518.70 ha., que corresponde al 12.15% del área total, para este tipo de riesgo de erosión su pérdida de suelo varía de 200.1-1000 ton/ha/año.

Esta pérdida de suelo representa una lámina de 16.6-83.3 mm/ha./año.

Esta clase de erosión se localiza en áreas cerriles con pendiente mayor al 15%, y se ubica al Oriente, Poniente y al Sur de la zona en estudio. Las unidades de suelo son los Xerosoles, Regosoles, Feozem, Luvisoles y Litosoles con textura media, en estas unidades se desarrolla la asociación vegetal de matorral, chaparral, bosque de encino y enebro.

Riesgo de erosión muy alto (V), cubre una superficie de 101,958.39 Has. que representa al 4.22% de la superficie total, esta clase de riesgo de erosión presenta una pérdida de suelo mayor de 1000 ton/ha./año es decir, esta pérdida equivale a una lámina mayor de 83.3 mm/ha/año de suelo perdido. Este tipo de erosión se ubica principalmente en áreas cerriles a escarpadas con pendientes mayores del 20%, localizándose al Oeste y Suroeste de la zona en estudio, los suelos dominantes son Regosoles, Litosoles, Luvisoles y Planosoles de textura media. La comunidad vegetal que sustentan estos suelos es el bosque de encino, enebro y matorral muy perturbados.

**CUADRO 12. Cuantificación del Riesgo de Erosión en el
Area de Estudio.**

CLASE	CLASE DE RIESGO	SUPERFICIE (A)	PORCENTAJE
I	Muy bajo	12,230.73	0.57
II	Bajo	1'287,275.60	53.33
III	Moderado	720,016.37	29.82
IV	Alto	293,518.70	12.15
V	Muy alto	101,958.39	4.22
T O T A L		2'415,000.00	100

8.2. Comparación entre Métodos utilizados.

En términos generales existe una relación entre la erosión no manifiesta (A) y el riesgo de erosión muy bajo (I), ya que como se puede observar en el cuadro 13, la erosión no manifiesta cubre una superficie mayor que la del riesgo de erosión muy bajo; esto es básicamente debido a que en el riesgo de erosión no se considera el manejo de la cubierta, también se encontró otra relación entre la erosión severa (B/C) contra el riesgo de erosión alto (IV), ya que la primera presenta valores más bajos que el riesgo de erosión, lo cual se atribuye a que el factor que esta influyendo es la cubierta vegetal y mientras se mantenga ésta se espera que no sean mayores las superficies erosionadas, ya que actúa como un amortiguador de la energía cinética de la lluvia protegiendo al suelo del golpeo directo de ésta y a la vez impide el arrastre. Al igual sucede con el grado de erosión muy severa (C) ya que la superficie del riesgo de erosión potencial muy alto (V) es mayor comparado con el de erosión. Donde no se encuentra una explicación (lógica) de acuerdo a las cifras presentadas, es en la relación que existe entre las áreas

CUADRO No. 13

ANALISIS COMPARATIVO DE EROSION Y RIESGO DE EROSION

CLASE		SUPERFICIE		PORCENTAJE	
EROSION	RIESGO	EROSION	RIESGO	EROSION	RIESGO
A EROSION NO MANIFIESTA	I MUY BAJO	170,506.00	12,230.93	7.06	0.51
A/B EROSION LEVE	II BAJO	468,773.31	1,287,275.61	19.41	53.30
B EROSION MODERADA	III MODERADO	1,602,520.00	720,016.37	66.36	29.82
B/C EROSION SEVERA	IV ALTO	167,913.74	293,518.70	6.95	12.15
C EROSION MUY SEVERA V	V MUY ALTO	5,286.95	101,958.39	0.22	4.22
	TOTAL	2,415,000.00	2,415,000.00	100.00	100.00

con erosión actual leve (A/B) y riesgo de erosión ~~muy~~ bajo (II) ya que gran parte de la superficie que se clasificó como con riesgo de erosión leve se encuentra actualmente con una erosión moderada (B), lo que se puede atribuir principalmente a un mal manejo del suelo en el desarrollo de actividades agrícola, pecuaria y forestal. Esto es muy probable que se debe asimismo a la ecuación universal de pérdidas de suelo, ya que ésta es una metodología predictiva de pérdidas de suelo por erosión hídrica y la zona de trabajo se caracteriza por estar dentro de una región semiárida en donde la erosión eólica puede ser un proceso causante de pérdidas de suelo que no fue contemplado en la metodología utilizada.

Otro factor de diferencia al realizar el análisis comparativo entre la erosión y el riesgo de erosión son la unidades de medida que se utilizan en el inventario de áreas erosionadas y la ecuación universal de pérdidas de suelo, ya que la primera considera la pérdida de la capa superficial del suelo que es la más rica en nutrimentos que son indispensables para la vegetación en general y la segunda considera pérdidas de suelo en TON/HA/AÑO.

8.3. Análisis de la Sobreposición de Planos de Erosión y Riesgo de Erosión.

Esta etapa consistió básicamente la sobreposición de los planos de erosión y riesgo de esta manera se obtuvieron 25 combinaciones, como se puede observar en el cuadro 14 donde se presentan las diferentes combinaciones derivadas de la sobreposición de los planos de erosión y riesgo; tomándose como marco de referencia el cuadro mencionado se procedió a delimitar la combinación para cada una de las clases obteniéndose los resultados cuantificados de la sobreposición para cada una de las mismas, según el cuadro 15 se puede apreciar en los datos cuantificados, que las clases 1 y 5 aparecen con cero, esto se debe a que la erosión no manifiesta (A) no

coincidió en la sobreposición con el riesgo de erosión muy bajo (I) de tal manera ésta coincide con la erosión leve (A/B) y erosión moderada (B), es decir, aún cuando estos suelos se encuentra en áreas planas, el problema fundamental se atribuye a que la primer metodología no considera la cobertura vegetal del suelo ya que ésta es fundamental para contrarrestar el fenómeno erosivo, por lo que respecta la clase 5, es difícil encontrar áreas con problemas de erosión actual severa clasificados con el riesgo de erosión muy bajo ya que generalmente la pendiente del terreno es completamente plana.

Al realizar un análisis de regresión de las diferentes clases de erosión contra la superficie de cada una de ellas, se encontró una relación poco significativa entre las variables analizadas. Las clases de erosión utilizadas en el análisis fueron 25 en total y son el resultado de combinar las diferentes clases de erosión y riesgo que se utilizaron en el estudio, siendo éstos la variable X y la superficie correspondiente a cada una de ellas la variable Y.

El resultado del análisis de regresión lineal arrojó una R^2 de 0.22, al aplicar una regresión logaritmica la R^2 fué de 0.356, con una regresión exponencial el análisis de los datos presentó una R^2 de 0.27 y finalmente al aplicar una regresión de potencia la R^2 resultante fué de 0.20, lo cual quiere decir que ninguna de las ecuaciones resultantes permiten pronosticar superficies de erosión en base a las clase de la misma con una certeza mayor del 35%.

Basándose en el cuadro de la sobreposición de los planos de erosión y riesgo se elaboró una división de áreas con fines de alternativas de manejo, las áreas resultantes se presentan en el cuadro 16.

CUADRO 14. Sobreposición de los planos de Erosión y Riesgo.

	A	A/B	B	C	BC
I	1	2	3	4	5
II	6	7	8	9	10
III	11	12	13	14	15
IV	16	17	18	19	20
V	21	22	23	24	25

CUADRO 15. Cuantificación de Sobreposición de Erosión y Riesgo de Erosión.

<u>SOBREPOSICION</u> <u>EROSION Y RIESGO</u>	<u>CLASE</u>	<u>SUPERFICIE</u>	<u>PORCENTAJE</u>
A/I	1	0	0
AB/I	2	1,681.22	0.07
B/I	3	9,369.03	0.40
BC/I	4	8,571.83	0.35
C/I	5	0	0
A/II	6	100,517.79	4.16
AB/II	7	255,181.78	10.57
B/II	8	988,839.28	40.94
BC/II	9	21,540.09	0.90
C/II	10	1,033.99	0.04
A/III	11	39,567.78	1.64
AB/III	12	63,025.87	2.61
B/III	13	481,530.32	19.94
BC/III	14	52,488.67	2.17
C/III	15	276.26	0.01
A/IV	16	13,623.38	0.56
AB/IV	17	62,473.36	2.59
B/IV	18	132,729.26	5.50
BC/IV	19	78,180.50	3.24
C/IV	20	3,796.55	0.16
A/IV	21	1,981.15	0.08
AB/IV	22	62,394.43	2.60
B/V	23	28,375.33	1.17
BC/V	29	5,903.99	0.25
C/V	25	1,318.14	0.05
TOTAL :		2'415,000.00	100.00
		=====	=====

CUADRO 16. Alternativas de Manejo y Recomendaciones.

<u>ZONA</u>	<u>CLASES ALTERNATIVAS</u>	<u>R E C O M E N D A C I O N E S</u>
I	1, 2, 6, 7, 11, 16 y 21.	<p>-<u>Manejo de Agua de Riego</u>: calidad del agua, calendario de riego, diseño y trazo de riego, riego por surcos, riego por melgas y riego por aspersión.</p> <p>-Aplicación de paquetes tecnológicos adecuados para los cultivos básicos.</p> <p>-Manejo integral de bosques.</p> <p>-Implementación de un programa de sistema de Labranza de Conservación.</p>
II	3,4,8,9,12, 13,17,18,22, y 23.	<p>Prácticas Vegetativas: rotación de cultivos, cultivos en fajas, abonos verdes, cultivos de cobertura, Establecimiento de vegetación en cárcavas, taludes y agostaderos.</p> <p>Prácticas Mecánicas: surcado al contorno, terrazas, cauces empastados, estructuras vertederas, gaviones, barreras, rompevientos, uso de mallas estabilizadoras.</p> <p>Captación in situ de agua de lluvia y manejo de escurrimientos: microcuencas de captación, uso de coberturas de residuos y acolchados plásticos, diseño de manejo de escorrentías, sistema de riego por escorrentía.</p>
III	5, 10, 14, 15, 19,20, 24 y 25.	<p>-Recuperación de suelos degradados.</p> <p>-Regeneración de la flora silvestre.</p>

IV. CONCLUSIONES.

Las principales conclusiones generadas en el presente trabajo son las siguientes:

Los objetivos planteados se cumplieron satisfactoriamente, ya que fue posible cuantificar los diferentes niveles de afectación por erosión mediante el uso de imágenes de Satélite Landsat, utilizando la metodología propuesta por la extinta Dirección General de Conservación del Suelo y Agua en 1979, también fue posible calcular el riesgo de erosión mediante el uso de la metodología propuesta por FAO 1980, haciendo uso de los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo en el área de influencia del Centro Regional de Zonas Áridas o Semiáridas con sede en Salinas, San Luis Potosí.

De las hipótesis planteadas 2 fueron corroboradas y se encontró que en realidad la metodología propuesta por la extinta Dirección General de Conservación del Suelo y Agua es adecuada para la obtención del inventario de áreas erosionadas en las zonas áridas y semiáridas, también se afirmó que las diferencias significativas de los métodos utilizados, erosión y riesgo, se deben principalmente al uso y manejo del suelo.

En relación a la tercer hipótesis, se encontró una coincidencia total entre los métodos utilizados en un 33% de la superficie; no obstante, si se encontraron diferencias significativas al comparar los planos de erosión y riesgo de erosión por lo que esta hipótesis se rechaza, ya que el primer método considera uso y manejo de los recursos naturales agua-suelo-plantas y representa el estado actual del proceso erosivo, que comparado con el riesgo de erosión que es una predicción que contempla los factores: erosividad de la lluvia, erodabilidad del suelo, grado de inclinación y longitud de la pendiente, queda

claro que en éstos no se considera la vegetación; e intervención de la actividad humana que es el factor determinante para inducir o acelerar el fenómeno erosivo del suelo.

Dado que la erosión del suelo es un proceso que consiste en la remoción de las partículas individuales de la masa del suelo provocado por el agua o el viento, su acrecentamiento se ha asociado a los cambios de uso del suelo a través del crecimiento de la frontera agrícola, la reducción de la superficie forestal y el sobrepastoreo de los agostaderos de las zonas áridas y semiáridas.

La erosión del suelo es uno de los problemas más apremiantes de México, ya que se ha cuantificado que el 80% de la superficie total nacional se encuentra afectada con diferentes grados de erosión y en el caso concreto del área en estudio cubre una superficie total de 2'415,000 ha. y de acuerdo con los resultados obtenidos se encontró que el 92.94% refleja algún grado de erosión ya sea leve (A/B), moderada (B), severa (B/C) y muy severa (C) y solamente el 7.06% con erosión no manifiesta; ante este panorama es alarmante la situación que se presenta en esta área, es decir, la mayor parte de la tierra de cultivo está perdiendo constantemente parte de suelo debido al uso y manejo de métodos inadecuados

La erosión no combatida puede transformar una área productiva en una región estéril y obligar a la población a abandonarla. Las tierras deben conservarse, usándolas sin que se agoten y evitando su pérdida haciendo el uso y manejo adecuado para su retención. Para lograr esto se tiene que trabajar en armonía con la naturaleza y usar un sistema que se base en el conocimiento de los procesos naturales para no malgastar esfuerzos en proyectos inútiles.

Es urgente que se formulen programas de conservación del

suelo y agua que contengan diseños y proyectos ejecutivos para combatir el fenómeno erosivo que ha estado causando estragos y que no permite obtener rendimientos adecuados y a la vez esta demeritando la potencialidad de las áreas agrícolas; por lo tanto, debe buscarse un esquema de trabajo enfocándolo a educar a la población en la conservación de los recursos, que permita una producción rentable y sostenida en el tiempo.

X. BIBLIOGRAFIA

- 1.- Arnoldos, H.M.S. (1981). Predicting Soil Losses Due to sheet and Rill Erosion, Land and Water Development Division, F.A.O. 26 p.
- 2.- Browing et al. (1947). A metod for determining the use and limitations of totation and conservation practics in the control of soil erosion in Iowa. J. Am. Soc. Agron. p. 39, 65-70.
- 3.- Cuanalo, C.H. (1980). Provincias Fisiográficas terrestres de México, Colegio de Postgraduados, Centro de Edafología, Chapingo, México.
- 4.- Colegio de Postgraduados (1977). Manual de Conservación del Suelo y Agua, 1a. ed. México, ed. C.P. 559 p
- 5.- Dirección General de Conservación del Suelo y Agua (1975), Conservación del Suelo y Agua, México, Secretaría de Agricultura y Ganadería.
- 6.- Dirección General de Conservación del Suelo y Agua (1979). Inventario de Areas Erosionadas del Estado de Guanajuato, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- 7.- Dirección General de Conservación del Suelo y Agua (1982). Inventario de Areas Erosionadas del Estado de Aguascalientes, México, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 64 p.
- 8.- Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (1981). Atlas Nacional del Medio Físico, S.P.P. México, D.F.

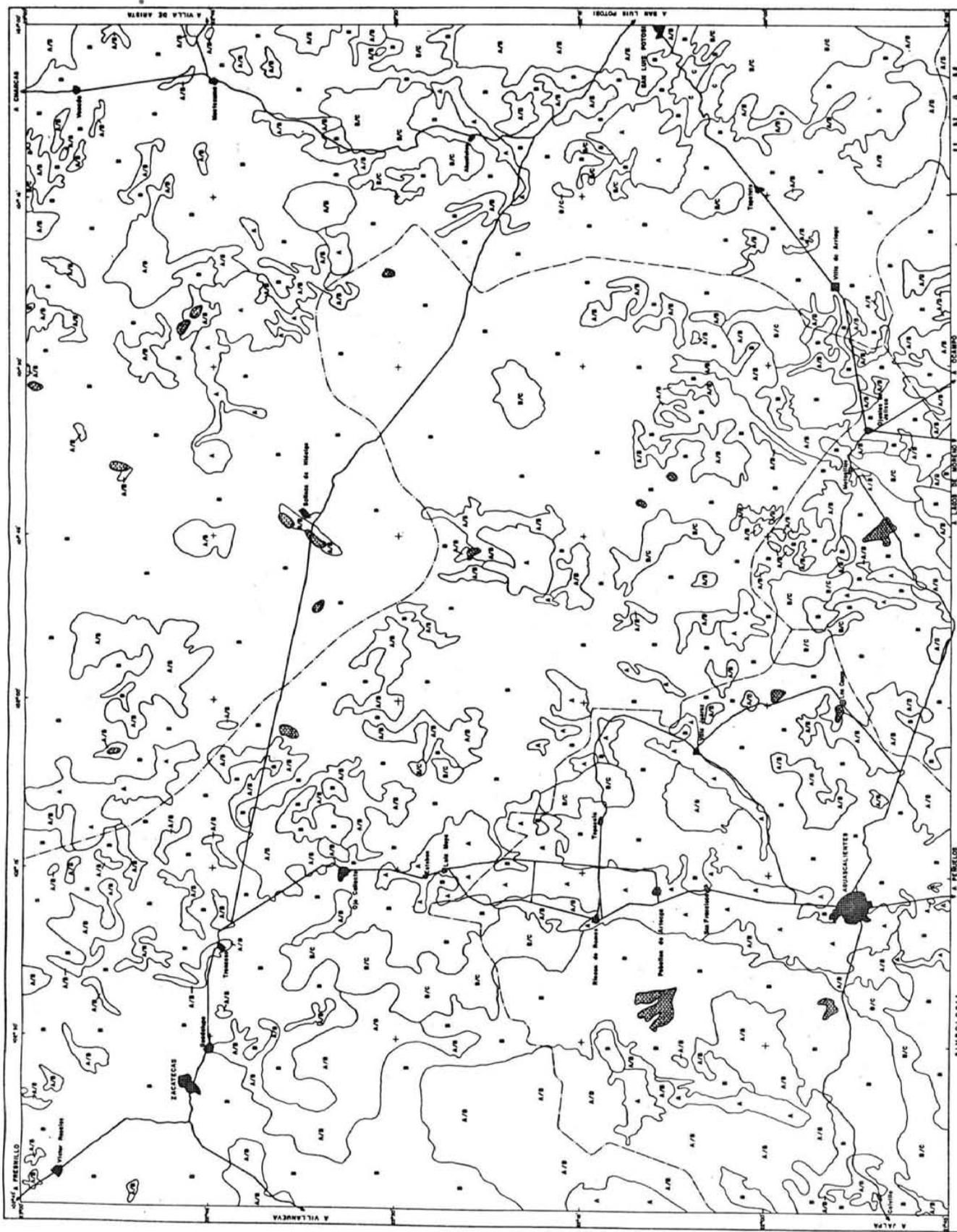
- 9.- Dirección General de Geografía, (1981). Guías para la Interpretación de Cartografía, México, S.P.P. 30 p.
- 10.- Dirección General de Estudios del Territorio Nacional, (1979). Descripción de la Leyenda de la Carta Edafológica, DETENAL. México, S.P.P. 104 p.
- 11.- F.A.O. (1954). Estudio de erosión del suelo en América Latina. Journal of soil and water conservation.
- 12.- Espinosa, J.M. (1984). Metodología para Cartografiar la Erosión Potencial, México, 126 p. Tesis (Licenciatura en Geografía) UNAM.
- 13.- F.A.O. (1980). Metodología provisional para evaluación de la degradación de los suelos. Roma.
- 14.- Figueroa S., Benjamín (1975). Pérdidas de Suelo y Nutrimientos y su Relación con el uso del Suelo en la Cuenca del Río Tezococo, Chapingo, México, 168 p. Tesis (M. C. en Agronomía). Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Posgraduados.
- 15.- Figueroa S., Benjamín et. al. (1982) Comparación de Índices de erosividad para la Zona Semiáridas del Estado de Querétaro, México, Memorias del 15o Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- 16.- Figueroa, S. Benjamín et. al (1982), Estudio de Riesgo y Potencial de Erosión de la Cuenca Occidental de la Laguna Zapotitlán, Estado de Jalisco.

- 17.- Flores, José Luis (1985). Evaluación de Tierras en el Area de Estudio del CREZAS-CP México, 407 p. Tesis (Agronomía) UACH-Texcoco.
- 18.- G.Y.C.S.A. (1981). Inventario de Areas Erosionadas y Unidades de Suelos del Estado de San Luis Potosí. México 121 p.
- 19.- Hudson, Norman (1982). Conservación del Suelo. Traducción José María García y Juan Pablo Martínez. España, Ed. Reverte. 335 p.
- 20.- IEPES, (1976). Estado de Zacatecas. México, D.F. 95 p.
- 21.- IEPES, (1976). Estado de Aguascalientes. México, D.F. 96 p.
- 22.- IEPES, (1976). Estado de San Luis Potosí. México, D.F. 96 p.
- 23.- Kirkby, M.J. et al. (1984). Erosión de Suelos, traducido por José Hurtado, México. Ed. Limusa, 375 p.
- 24.- Laws, J. O. (1941). Measurements of the fall-velocity of water drops and raindrops papers. Hidrology, Transactions, American Geophysical Union.
- 25.- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1980). Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. Roma, FAO, 86 p.

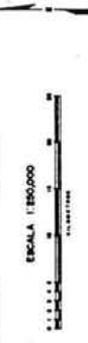
- 26.- Orozco, Santoyo R. et al. (1977). Manual para la Aplicación de las Cartas Edafológicas de DETENAL para fines de Ingeniería Civil, México. DETENAL, SPP. 29 p.
- 27.- Ríos, J. (1987). Efecto de la Cobertura Vegetal en el Proceso Erosivo, Chapingo, México. Tesis (M.C. en Agronomía). Universidad Autónoma de Chapingo, Colegio de Postgraduados.
- 28.- Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Ed. Limusa, México, 432 p.
- 29.- Schwab, G.O. et al. (1971). Elementary soil and water engineering. Second Edition, John Wiley Sons. 316 p.
- 30.- Suárez de Castro, F.F. (1919). Conservación de suelos. Edit. Salvat, Barcelona, Madrid, México.
- 31.- Smith, D.D. and Wischmeier, W.H. (1962). Rainfall erosion, advances in agronomy. p. 14, 109-148.
- 32.- Sistema Banco de Comercio (1976). La Economía del Estado de San Luis Potosí. Colección de Estudios Económicos Regionales. México, D.F., 81 p.
- 33.- Sistema Banco de Comercio (1969). La Economía del Estado de Aguascalientes. Colección de Estudios Económicos Regionales.. México, D.F., 55 p.
- 34.- Sistema Banco de Comercio (1968). La Economía del Estado de Zacatecas. Colección de Estudios Económicos Regionales. México, D.F., 59 p.

- 35.- Trueba C., Alejandro, et al. (1984). Percepción Remota, Principios y Aplicaciones. México, D.G.C.S.A., S.A.R.H. 138 P.
- 36.- Trueba C., Alejandro. (1981). Evaluación de la Eficiencia de 4 prácticas Mexicanas para Predecir las Pérdidas de Suelo y Nutrimientos por Erosión Hídrica en Terrenos Agrícolas de Temporal. México, D.G.C.S.A., S.A.R.H. 180 p.

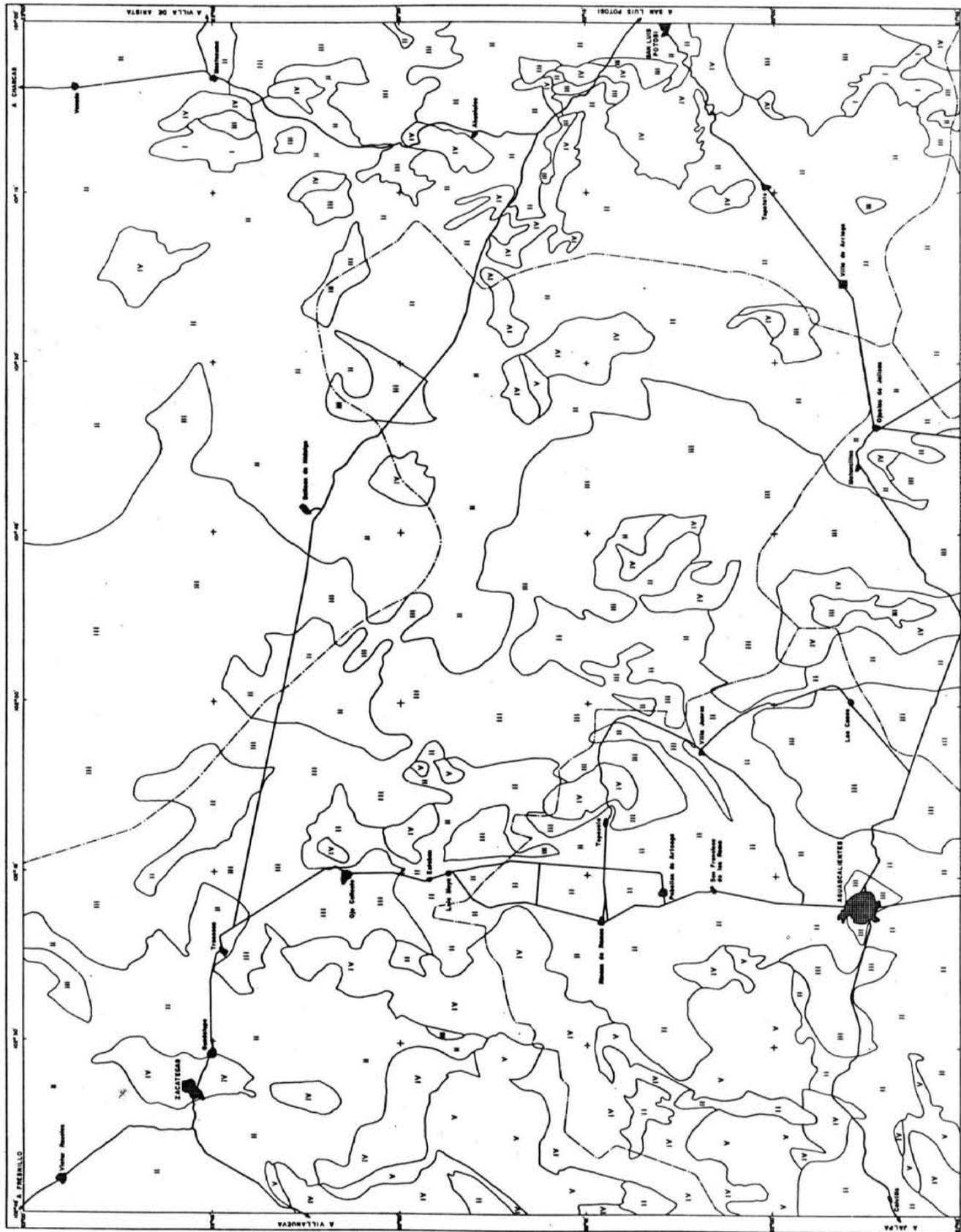
A N E X O



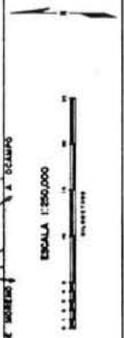
U N A M
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
 PROFESIONALES ITZACALA
 BIOL. FRANCISCO SANCHEZ VICENTE
 PLANO DE EROSION



CLASE	SIMBOLOGIA	NUMEROS	AREA (Hect)
A	EROSION NO MANIFIESTA	170,000.00	7.01
A/B	EROSION LEVE	446,733.31	18.41
B	EROSION MODERADA	1,403,800.00	58.38
B/C	EROSION AVANZADA	18,123.85	0.74
C	EROSION MUY SEVERA	15,123.85	0.61
TOTAL			2,113,000.00



CLASE	SIMBOLOGIA	MANEJOS (ha)	%
IV	MUY BAJO	1,232,024	0.91
III	BAJO	1,287,374.65	93.50
II	MODERADO	7,001,437	52.82
I	MUY ALTO	10,281,329	4.32
	TOTAL	24,192,000	100.00



UNAM
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
 PROFESIONALES ITICALPA
 BOL. FRANCISCO SANCHEZ VICENTE
 PLANO DE RIESGO DE EROSION

