

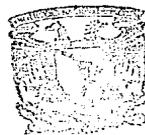
1
204



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA**

**METODOLOGIA PARA PREDECIR RIESGO
POTENCIAL Y VELOCIDAD ACTUAL
DE EROSION**



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFIA
P R E S E N T A :
SALVADOR ADAME MARTINEZ**

MEXICO, D. F.

OCTUBRE DE 1987



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 está 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.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	1
MARCO DE REFERENCIA	
1 MARCO CONCEPTUAL	4
1.1 Definición de Erosión	4
1.2 Mecánica de la Erosión	4
1.2.1 Tipos de Erosión	4
1.2.2 Agentes de la Erosión	4
1.2.3 Formas de la Erosión Hídrica	4
1.2.3.1 Erosión por Gotas de Lluvia o Salpicamiento	5
1.2.3.2 Erosión Laminar y en Canales	5
1.2.3.3 Erosión por Cárcavas	7
1.2.3.4 Erosión en Pedestales	7
1.2.3.5 Erosión en Fináculos	8
1.2.3.6 Erosión Tubular	8
1.2.3.7 Erosión por Caída o Remontante	9
1.2.4 Causas de la Erosión Hídrica Inducida	10
1.2.5 Efectos de la Erosión Hídrica Inducida	11
1.3 Límites Aceptables de Pérdida de Suelo	11
2 MARCO TEORICO	15
2.1 Antecedentes de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	15
2.2 Riesgo Potencial de Erosión	18
2.3 Velocidad Actual de Erosión	19
3 DATOS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO	20
3.1 Medio Físico	20
3.1.1 Localización Geográfica	20



	Pag.
3.1.2 Area de la Cuenca	20
3.1.3 Geología Superficial	20
3.1.4 Hidrografia	25
3.1.5 Clima	28
3.1.6 Suelos	33
3.1.7 Vegetación	40
4 APLICACION DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA DEL RIO PURUZARO, MICHOACAN	44
4.1 Material y Equipo	44
4.1.1 Material	44
4.1.2 Equipo	44
4.2 Desarrollo del Trabajo	46
4.3 Indices de Erosividad de la Lluvia (R)	47
4.3.1 Indice de Wischmeier (EI_{30})	47
4.3.2 Indice de Fournier	55
4.3.3 Indice de FAO	58
4.3.4 Plano de Indice de Erosividad	58
4.4 Indices de Erodabilidad (K)	64
4.4.1 Indice de Erodabilidad de Wischmeier	64
4.4.2 Indice de Erodabilidad de FAO	72
4.4.3 Plano de Indice de Erodabilidad	73
4.5 Indices de Inclinación y Longitud de la Pendiente (LS)	78
4.5.1 Indice de Inclinación y Longitud de la Pendiente de Wischmeier	78
4.5.2 Indice de Inclinación y Longitud de la Pendiente de FAO	85

	Pag
4.5.3 Plano de Inclinación y Longitud de la Pendiente	87
4.6 Plano de Riesgo potencial de Erosión	93
4.7 Índice de Cobertura Vegetal del Suelo (C)	95
4.7.1 C en el Manejo de Cultivos	95
4.7.2 C en Pastizales y Bosques	97
4.7.3 Plano de Índice de Cobertura Vegetal	101
4.8 Plano de Velocidad Actual de Erosión	103
4.9 Erosión Media Ponderada y Tasa de Aporte de Sedimentos	105
4.9.1 Erosión Media Ponderada	105
4.9.2 Tasa de Aporte de Sedimentos	105
5 RESULTADOS	107
5.1 Plano de Velocidad Actual de Erosión	107
5.2 Comparación del Plano de Velocidad Actual contra el de Riesgo Potencial de Erosión	111
5.3 Erosión Media Ponderada y Tasa de Aporte de Sedimentos	117
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
6.1 Conclusiones	119
6.2 Recomendaciones	123
7 BIBLIOGRAFIA	125
8 GLOSARIO	129
9 ANEXO	134

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Pag.
1	Pérdida de Suelo Permisible (S C S, 1977)	14
2	Resumen Climático	21
3	Cálculo de la Energía Cinética	22
4	Estaciones Climatológicas	59
5	Cálculo de Erosividad de la Lluvia de acuerdo a Fournier	61
6	Clasificación de las Unidades de Suelos ,según FAO/UNESCO, en Tres Clases de Erodabilidad	74
7	Valores de K para los Suelos de la Cuenca del Río Furúzaró.	77
8	Factor de Ajuste "a" para Corrección a la Carta de Valores LS para Segmentos Sucesivos de una Pendiente	86
9	Clases de Pendiente, FAO	87
10	Rangos de Pendiente	87
11	Rangos y Distancias	88
12	Programa para LS en Calculadora Marca Texas Instruments (TI 55)	91
13	Clases, Símbolo y Rango Numérico de RKLS	94
14	Evaluación del Factor de Manejo de Cultivos C, para Maíz	96
15	Valores del Factor C	97
16	Valores de C para Terrenos No-Alterados	98
17	Valores de C para Diferentes Cubiertas Vegetales	99
18	Valores de C, para Vegetación Permanente y Pastizales	100

Cuadro No.		Pag.
19	Rangos de Velocidad Actual de Erosión	103
20	Efecto del Area de la Cuenca en la Tasa de Entrega de Sedimentos, Robinson (1977)	106
21	Clave y Nombre del Grado de Velocidad Actual de Erosión, Superficie en Ha. y Porcentaje Total	108
22	Grados de Velocidad Actual de Erosión contra los de Riesgo Potencial	112
23	Recomendaciones	123

INDICE DE FIGURAS

Figura No.		Pag.
1	Pluviograma y su División en Segmentos de Igual Intensidad	51
2	Nomograma del Factor Erodabilidad del Suelo	70
3	Efecto Combinado de la Longitud λ y Grado de Pendiente S.	80
4	Longitudes Equivalentes para Uso de la Carta Efecto de la Pendiente, Cuando los Valores del Exponente Longitud de la Pendiente son Diferentes a 0.5	81
5	Carta del Efecto de la Longitud y el Grado de la Pendiente S, que Exceden las Presentadas en la fig. 3, Extrapoladas más alla del Rango de Datos; Usese Solamente como Estimación.	83
6	Escala Gráfica	89

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica No.		Pag.
1	Análisis Entre la Precipitación Anual y la Degradación Especifica	56

INDICE DE TABLAS

Tabla No.		
1	Coeficiente de Textura	73
2	Clase de Erodabilidad	73

ANEXOS

Anexo No.	
1	Plano de Localización Geográfica del Area de Estudio
2	Plano de la Red de Drenaje
3	Plano de Erosividad R.
4	Plano de Valores de K
5	Plano de Rangos de Pendiente
6	Plano de Riesgo Potencial de Erosión
7	Plano de Velocidad Actual de Erosión
8	Plano de Alternativas

INTRODUCCION

Por las características topográficas del país, la apertura continua de tierras al cultivo en fuertes pendientes, la acción de los agentes erosivos y de prácticas de manejo del suelo y vegetación, la erosión de los suelos es un proceso creciente que en la actualidad se presenta aproximadamente en un 80 % de la superficie del país en diferentes grados de afectación.

El proceso de desprendimiento y arrastre de las partículas de suelo no solamente tiene efectos sobre la capa superficial del suelo, sino que involucra también pérdidas de nutrientes, cambio en las propiedades físicas del sustrato, disminución de la capacidad de infiltración y una menor retención de humedad, además de los problemas de inundación y azolvamiento en las obras de almacenamiento de agua. La posición de analizar la magnitud del problema, resulta indispensable para establecer una investigación que permita determinar la relación causa-efecto del fenómeno de la erosión, determinando su influencia en los procesos productivos y los factores que aceleran o atenúan este fenómeno. De tal modo que localizando áreas con diferente riesgo potencial y erosión actual, es posible plantear alternativas de conservación del suelo y agua que ayuden a disminuir la degradación física.

La definición clásica de la erosión hídrica la indica como " el complejo proceso de separación y transporte de las partículas del suelo pendiente abajo, por la acción del impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía ". (Trueba, 1981).

En el presente trabajo, se utiliza la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), que es el modelo matemático más utiliza-

do para predecir las pérdidas de suelo causadas por la erosión hídrica.

Esta ecuación (EUPS), permite estimar las pérdidas de suelo como producto de la erosión en pequeños surcos y la erosión laminar; no considera la erosión en cárcavas y movimientos de masa de suelo que algunas veces son de mayor magnitud. (Velázquez, 1984)

Para aplicar esta ecuación, se seleccionó a la cuenca del Río Purúzaro por disponer de información acerca de ella, además del conocimiento que se tiene de la región.

El objetivo general planteado en este estudio es el de determinar el riesgo potencial y la velocidad actual de erosión en la cuenca del Río Purúzaro, Michoacán , mediante la adecuación de la fórmula propuesta por Wischmeier y Smith (1965), denominada Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

Entre los objetivos particulares se tiene:

- 1) Caracterizar el medio físico del área de estudio.
- 2) Determinar el uso del suelo
- 3) Delimitar los cinco diferentes grados de erosión en un plano a escala 1:50 000 , de acuerdo a la metodología utilizada.
- 4) Cuantificar el área cubierta por cada una de las cinco clases de erosión, y los porcentajes respectivos con relación al área total de la cuenca.
- 5) En las áreas con problemas de erosión dar recomendaciones para su control, mediante obras de conservación del suelo y agua y vegetación.

Las hipótesis planteadas son las siguientes:

- 1) Las prácticas agropecuarias y forestales están directamente relacionadas con la erosión que se presenta en la cuenca.
- 2) La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, utilizada empleando métodos cartográficos paramétricos permite conocer la localización y magnitud del proceso erosivo.

1 MARCO CONCEPTUAL

1.1 Definición de Erosión

La erosión es el proceso físico que consiste en el desprendimiento, arrastre y depositación de los materiales que componen el suelo, ocasionado por la acción del agua, viento, cambios de temperatura y los procesos biológicos. De tal manera que en la erosión del suelo se observan tres fases principales que son:

- a) El desprendimiento de las partículas finas de la superficie del suelo,
- b) El transporte de las partículas,
- c) La depositación o sedimentación del material transportado.

1.2 Mecánica de la Erosión

1.2.1 Tipos de Erosión

En el paisaje existen dos tipos de destrucción de tierras que son la Natural ó Geológica, que ocurre como consecuencia de la acción de las fuerzas de la Naturaleza y la Inducida que es la que se presenta cuando a la acción de los agentes naturales se agrega la acción del hombre.

1.2.2 Agentes de la Erosión

Los principales agentes de la erosión 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 en el presente estudio.

1.2.3 Formas de la Erosión Hídrica

De acuerdo al Manual de Conservación del Suelo y Agua (1982), existen las siguientes formas de erosión hídrica:

1.2.3.1 Erosión por Gotas de Lluvia o por Salpicamiento.

La erosión por las gotas de lluvia consiste en la dispersión de los 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 terreno, provoca desplazamientos de las partículas del suelo que alcanzan alturas hasta de 61 cm y distancias laterales de 152 cm en terrenos planos. Además del salpicamiento del suelo, las gotas de lluvia mantienen al 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 Wischmeier W.H., 1962). Se estima que en un suelo desnudo, las lluvias fuertes salpican más 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.

1.2.3.2 Erosión Laminar y en Canales

El concepto idealizado de la erosión laminar ha sido el 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 destrucción de tierras 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 sinuosidades de estos canalillos, origina un falso concepto de erosión laminar.

La acción del golpeteo repetido ejercida por las gotas de lluvia, combinado con el flujo superficial, provoca este mínimo canalero 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 del 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 con 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.

1.2.3.3 Erosión por Cárcavas

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

1.2.3.4 Erosión en Pedestales

Cuando se protege a un suelo fácilmente erosionable del impacto de las gotas de lluvia, por medio de piedras o raíces de un árbol, quedan " pedestales " aislados, coronados con el material resistente. Se ha demostrado que la destrucción 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 socavamiento o este es muy reducido. Esta forma de erosión se desarrolla lentamente a través de los años y se localiza generalmente en manchones desnudos de terrenos con vegetación esparcida. 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 el espesor de la capa del suelo que ha sido erosionado, mediante un examen de la altura del pedestal.

1.2.3.5 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 en 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 áreas 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.

1.2.3.6 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 un 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. La erosión tubular está restringida la mayoría de las veces a terrenos agrícolas de poco valor, por lo que su control es poco común.

1.2.3.7 Erosión por Caída o Remontante

Esta forma de erosión es un proceso geológico 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.

Concepto de las formas de erosión en Geomorfología

En geomorfología se llama erosión aeolar a la erosión en forma laminar, canalillos y en pedestales, y es usado este término como contrario de erosión lineal.

La erosión lineal, es debida al entalle de la red hidrográfica. Este término es usado en geomorfología como contrario de erosión aeolar. Es causada por escurrimiento concentrado que profundiza las cárcavas. A las zonas con erosión lineal muy -

avanzada se les llama "bad lans"

A la erosión tubular en geomorfología se conoce como sofusión, y es el proceso de erosión hídrica del material subyacente, lo que, por pérdida de volumen, origina vacíos y el consiguiente hundimiento del estrato superficial. Las formas relacionadas son depresiones a menudo subcirculares que a veces se alinean y alcanzan a formar pequeños caños.

La erosión hídrica que se presenta en un momento dado, según Figueroa (1975), depende de cuatro factores principales que son:

- 1) Clima, principalmente la precipitación y la temperatura;
- 2) Suelo, su resistencia natural a la dispersión, su capacidad de infiltración y su velocidad de transmisión del agua;
- 3) Topografía, particularmente la inclinación, la longitud y la forma de la pendiente;
- 4) La cobertura vegetal, ya sea en forma viviente o de residuos.

1.2.4 Causas de la Erosión Hídrica Inducida

La causa principal de la erosión hídrica inducida es la acción del hombre, ésta se manifiesta de diversas formas como la tala immoderada o incendios, cambios de uso del suelo, la introducción de los cultivos básicos en áreas boscosas o de fuertes pendientes, prácticas agrícolas con surcos a favor de la pendiente, uso intensivo de las tierras de temporal, sobrepastoreo,

eliminación de la vegetación natural para abrir fraccionamientos o caminos, entre otros.

1.2.5 Efectos de la Erosión Hídrica Inducida

La erosión actúa cambiando el paisaje hasta modificar completamente la ecología del mismo, ocasionando graves daños a los cultivos agrícolas, pecuarios y forestales, ya que altera la vegetación y con ella todos aquellos elementos que integran el ecosistema.

El suelo desprovisto de vegetación es fácilmente erosionado, principalmente al inicio de la temporada de lluvias y sobre todo cuando estas son de alta intensidad; en las áreas de agricultura de temporal ocasiona que la acción dispersante de las gotas de lluvia al golpear sobre el suelo desnudo provoque la formación de una costra, la cual reduce la infiltración y aumenta la escorrentía superficial. A su vez hace que se generen una gran cantidad de escurrimientos que transportan a las partículas del suelo sin control y a velocidades erosivas, ocasionando además de la pérdida del suelo fértil o inundaciones cuando las corrientes de agua rebasan el cauce principal, desembocando en avenidas.

Al perderse la capa superficial del suelo, que es el sustentante de las plantas, se tienen repercusiones económicas, políticas y sociales, entre otras.

1.3 Límites Aceptables de Pérdida de Suelo

Debido a las dificultades para determinar un límite entre la formación del suelo y la pérdida del mismo, se han establecido

do límites de tolerancia de erosión. Considerando como límite máximo, aquel en el cual se mantiene un alto nivel de productividad por un largo tiempo; es decir, que no se manifiesta un deterioro progresivo de ésta y del espesor de la capa superficial. Esto se logra cuando la velocidad de pérdida de suelo no supera la velocidad de formación del mismo. Bennet en 1939, citado en el Manual de Conservación de Suelo y del Agua (1982), estimó que bajo condiciones naturales sin disturbio de la vegetación, se necesitan cerca de 300 años para producir una capa de 25 mm de suelo superficial: sin embargo, cuando existe alteración del suelo, por las prácticas agrícolas, pastoreo, entre otras, se acelera el intemperismo y el período de formación de dicha capa se reduce a 30 años aproximadamente.

Naturalmente que la velocidad de formación del suelo y su tolerancia a la pérdida del mismo, depende de su profundidad, textura, vegetación, forma de manejo, etc.

La pérdida de la capa superficial del suelo involucra pérdidas de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, principalmente. Reduciendo la fertilidad del suelo, lo que representa una pérdida económica para el agricultor ya que para mantenerlos productivos hay que adicionarles por medio de fertilizantes los elementos que ha perdido. Martínez (1983) señala que adicionalmente a las pérdidas de suelo y nutrimentos, la materia orgánica y la fracción húmica se pierde continuamente haciendo que:

- 1) Se reduzca la fertilidad;
- 2) Cambie el estado de agregación de los suelos (estruc-

3) Se modifique la relación precipitación-escorrentía:

4) Se modifique la resistencia de las partículas del suelo a la remoción.

El Manual de Conservación de Suelo y del Agua (1982), menciona que los aspectos que deben considerarse al señalar los límites de pérdidas tolerables para un suelo en particular son:

i) Mantener una profundidad de suelo tal, que se asegure una buena producción de cosechas a través de un amplio espacio de tiempo. Es importante considerar el efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de los cultivos.

ii) Mantener la pérdida del suelo por debajo de aquéllas que causen la formación de canales y cárcavas.

iii) Evitar que la pérdida de suelo cause azolves en los cauces, canales, zanjas de drenaje y alcantarillado de los caminos, áreas agrícolas productivas o vasos de almacenamiento.

iv) Aumentar la disponibilidad del agua útil para la planta en el suelo, por medio de la disminución de los escurrimientos superficiales, provocando su infiltración.

v) Mantener la pérdida de suelo a un nivel inferior al momento en que la erosión comienza a producir daños a las plantas y a originar una baja en el rendimiento de los cultivos.

Para establecer un criterio de la pérdida de suelo permisible, el Servicio de Conservación de Suelos de E.U.A. (1977) propuso algunos límites que varían de 11 a 2 ton/ha/año y son una función de la profundidad y tipo de material parental del suelo, como se muestra en el cuadro 1 .

Cuadro 1 Pérdida de Suelo Permisible (S C S, 1977)

Profundidad del Suelo (cm)	Material	Pérdida de Suelo Per- misible (ton/ha/año)				
		11	9	7	4	2
100	Rocoso	+				
100	Arena y/o grava	+				
50 - 100	Rocoso		+			
50 - 100	Arena y/o grava		+			
25 - 50	Rocoso				+	
25 - 50	Arena y/o grava			+		
10 - 50	Lecho arcilloso			+		
25	Lecho rocoso					+
25	Arena y/o grava					+
10	Lecho arcilloso					+

Este análisis permite concluir que sólo podemos aceptar pérdidas de suelo menores de 11 ton/ha/año y cuando estos valores son mayores es necesario establecer trabajos de conservación del suelo y agua.

Bajo este esquema, sólo restaría estimar la pérdida de suelo potencial del área de estudio para que al compararla con la pérdida permisible de suelo, permita realizar un diagnóstico de las necesidades de tipos de obras de conservación o manejo del suelo y la vegetación.

2 MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

La ecuación para el cálculo de la pérdida de suelo en campo, se inicia en 1940 en Corn Belt. El procedimiento para estimar la pérdida de suelo, en aquella región entre 1940 y 1956, ha sido referido generalmente como el método de Pendiente-Práctica.(Espinoza,1984).

Para la misma fecha (1940) Zingg desarrolla una ecuación relacionando la tasa de suelo perdido con el grado 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 (0.9 kg/ m^2 al año), para desarrollar un método geográfico a fin de determinar las prácticas de conservación en suelos, en el medio oeste de los Estados Unidos de América $E = S \cdot L$. prácticas de conservación por prácticas de labranza.

Browning y otros (1947) ampliaron el procedimiento por Smith. adicionando 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 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 generalmente como la ecuación de Musgrave (en honor del presidente de dicho comité), ésta es:

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

Donde:

E = Erosión

T = Tipo de suelo

S = Pendiente del terreno

L = Longitud de la pendiente

P = Práctica agrícola

M = Práctica de conservación

R = Lluvia

Esta ecuación ha sido usada extensivamente para hacer una aproximación gruesa de la erosión en cuencas. La solución gráfica a esta ecuación se publicó en 1952 y la empleo el Servicio de Conservación en los Estados del noreste. (Hudson 1982 y Kirkby et al 1984).

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), recibe este nombre para diferenciarla de la ecuación regional (ba se) de pérdida de suelo.

La EUPS fue desarrollada en el Centro Nacional de Datos de Ecurrimiento y Pérdida de Suelo, establecido en 1954 por

la Administración de Ciencias 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 contribuyo 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:

a) Un índice de erosividad de la lluvia, evaluado de las características locales de la misma.

b) Un factor de erodabilidad cuantitativo que es evaluado directamente de los datos sobre las propiedades del suelo y que es independiente de la topografía y de la lluvia.

c) Un método de evaluación de los efectos de cultivo y manejo en relación a las condiciones climáticas locales y,

d) 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 Pérdida de Suelo, fué 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 a grandes escalas, mediante métodos cartográficos paramétricos, es especialmente problemática para ciertos factores, por lo que se han desarrollado variantes en la aplicación de la fórmula Universal de Pérdida de Suelo a grandes escalas, donde los resultados se presentan en forma cartográfica cualitativa.

Las variaciones en la utilización de dicha fórmula se reduce, al ajuste en el cálculo de algunos factores, adecuándolos a las condiciones del lugar en que se utilizará la metodología, y a la disponibilidad de información.

Con este marco de referencia, se han desarrollado dos variantes complementarias de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

2.2 Riesgo Potencial de Erosión

El riesgo potencial de erosión es el producto de la influencia de los factores R (erosividad de la lluvia), K (erodabilidad del suelo), L (longitud de la pendiente) y S (grado

de la pendiente), de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, que representa la predisposición de una zona a la pérdida de suelo.

2.3 Velocidad Actual de Erosión

Esta velocidad actual de erosión está dada por el producto de la influencia de los factores mencionados y la influencia del factor atenuante del fenómeno erosivo, C (cobertura vegetal), representando ésto la máxima aproximación a la pérdida actual del suelo.

3 DATOS GENERALES DEL AREA DE ESTUDIO

El estudio relacionado con cualquier fenómeno de los recursos naturales, debe partir de su ubicación territorial, su caracterización y análisis a fin de emitir un diagnóstico de los factores de ocurrencia geográfica. Para el estudio de velocidad actual de erosión y riesgo potencial, en este trabajo se hace una descripción de este fenómeno en particular tomando como escenario geográfico la cuenca del Río Purúzaro, en el Estado de Michoacán.

3.1 Medio Físico

3.1.1 Localización Geográfica

El Río Purúzaro se localiza al norte de la entidad y es una subcuenca que forma parte de la cuenca del Río Lerma-Chapala-Santiago. Se ubica geográficamente entre los paralelos $19^{\circ} 50' 55''$ y $19^{\circ} 58' 43''$ de latitud norte y los meridianos $101^{\circ} 54' 24''$ y $102^{\circ} 04' 10''$ de longitud oeste con respecto al meridiano de Greenwich. Toma una dirección noroeste-sureste.

Geopolíticamente queda comprendida por los municipios de Ferrépero, abarcando la mayor superficie y en menor extensión el de Tlazazalca. Ver plano 1 que muestra la localización geográfica del área de estudio.

3.1.2 Area de la Cuenca

La cuenca del Río Purúzaro abarca una superficie de 116.55 km^2 .

3.1.3 Geología Superficial

El conocimiento de la geología superficial es muy importante, en los estudios de erosión, ya que cuando las rocas se intemperizan, dan origen a los suelos e imprimen algunas de las propieda-

des físicas y químicas a los mismos. (Flores, 1981)

Por tal motivo en el presente trabajo se hace una descripción de la geología superficial en la zona de estudio, empleando para ello la información que proporcionan las cartas geológicas escala 1: 50,000, cuya clave es E14A11 y E13B19.

a) Basalto.

Es el material que abarca la mayor superficie de la cuenca, con 64.687 km², que representa el 55.5 % con respecto al total de la misma. Geológicamente son recientes, de la era Cenozoica periodo Cuaternario.

Los basaltos pueden definirse como lavas máficas en las que la plagioclasa cálcica es el principal mineral constitutivo junto con un cierto número de minerales máficos (como augita, olivino y óxidos de hierro). El basalto es una roca de origen volcánico, de grano fino, siendo sus colores comunes el negro, el café oscuro y el gris muy oscuro. Se localiza principalmente en las laderas de los cerros de Enmedio (El Agua), Tule, Patacutiro y la Cruz, además de cubrir completamente la loma conocida como el Cerrillo, ésta roca también se presenta en otras áreas con menor extensión a lo largo de la cuenca.

b) Aluvión

El material aluvión tiene una área de 23.11 km², que equivale al 19.83 % de esta superficie. El aluvión es transportado y depositado por los escurrimientos superficiales a través de la cuenca, sedimentándose en las partes bajas y planas (llanuras). Este material está compuesto de lodo, arena y grava.

La Ciudad de Furépero se asienta sobre esta área al igual

que el poblado de Tlazazalca. El aluvi6n cubre todas las zonas planas de la cuenca y tambi6n las m6rgenes de los r6os y arroyos.

c) Basalto-Toba Bas6ltica

Esta asociaci6n cubre una superficie de 7.75 km^2 , esto es el 6.65 %. Las tobas bas6lticas o rocas pirocl6sticas son el resultado de la consolidaci6n de los materiales detr6ticos como lapilli, bombas, cenizas y lavas que fueron arrojadas por los volc6nes, durante los per6odos de actividad.

El basalto y la toba bas6ltica se localizan al noreste de la zona de estudio, en las laderas de los cerros el Cuije y de Enmedio, en pendientes que van de 0 a 15 %.

d) Igneas Extrusivas Acidas

Presentan una extensi6n de 5.937 km^2 , equivalentes al 5.09 %, de la superficie de la cuenca. Geol6gicamente son las m6s antiguas ya que datan del Cenozoico per6odo Terciario Superior.

Son rocas con alto contenido de s6lice lo que da lugar a una roca 6cida de color claro, y su enfriamiento se llevo a cabo sobre la superficie terrestre.

e) Suelo Residual

El suelo residual se localiza en las partes planas de la zona de estudio, en una regi6n de 3.473 km^2 , lo que representa el 2.95% en relaci6n al total de la superficie de la cuenca. El suelo residual se form6 por la desintegraci6n de la roca en el mismo lugar donde se encuentra (in situ). A causa de que la intensidad de la intemperizaci6n es mayor donde los minerales de las rocas se encuentran en contacto directo con la atm6sfera, donde la capa superficial del suelo, est6 m6s alterada f6sica y qu6micamente. A medida

que la profundidad es mayor con respecto a la superficie, las partículas minerales son mayores y están menos alteradas químicamente.

f) Toba Basáltica

Tiene una superficie de 2.062 km², equivalentes al 1.77 % del área de la cuenca. Se localizan dos zonas con este tipo de rocas dentro de la cuenca: una se encuentra al este del cerro Patacuti--ro, en forma alargada y en terreno con pendiente suave, y la otra está al sur del Rancho llamado La Alberca, sobre una ladera del cerro el Tule,

g) Andesitas

Las rocas andesíticas comprenden una superficie de 1.99 km², que representan el 1.71 % en relación al total. Se originan durante la era Cenozoica período Terciario Superior. Son rocas ígneas de grano fino con escaso cuarzo o sin ortoclasa, compuesta de alrededor de 75 % de feldespatos plagioclasa y el resto de silicatos ferromagnesianos.

Enseguida del basalto la andesita es el tipo más abundante de roca volcánica.

Existen dos áreas con este tipo de material, la más grande se localiza en el este de la cuenca entre la loma la Guajolota y el cerro el Tzantzan, cubriendo laderas y cimas de esta geoforamas, la otra área cubre la parte alta del cerro el Cuije.

h) Basalto-Brecha Volcánica

Cubre una superficie de 1.69 km², esto es el 1.45 % del total de la cuenca.

La brecha volcánica es una roca endurecida que contiene blo-

ques angulares de lava solidificada relativamente grandes. Se presenta en las cimas de los cerros de Enmedio, Patacutiro, el Tule y de Enmedio (El Agua).

i) Arenisca

La roca arenisca, cubre el porcentaje restante del total de superficie de la cuenca. La arenisca es del tipo sedimentaria detrítica formada por la cementación de granos individuales del tamaño de arena, compuesta comúnmente con mineral de cuarzo. .

Se localiza en la desembocadura de la cuenca, al este y sur del poblado de Tlazazalca., en terrenos planos. .

3.1.4 Hidrografía

La relación que existe entre el clima, suelo y vegetación, forman un sistema que debe manejarse, sin olvidar la interdependencia que tiene cada uno de ellos. La regularización de la precipitación depende de la cobertura vegetal, ya que cuando se produce la lluvia, la vegetación evita el impacto directo de las gotas de agua sobre el suelo, retarda el escurrimiento superficial, facilitando su infiltración; con lo cual se consigue una recarga permanente de los mantos subterráneos.

Como ya se menciona, la corriente principal es la del Río Purúzaro, el cual es tributario del Río Tlazazalca y este a su vez del Río Duero que aporta sus aguas directamente al Río Lerma Santiago.

El Río Lerma-Chapala-Santiago es una importantísima corriente que cruza la Altiplanicie Meridional y la porción Central del Sistema Volcánico Transversal. Está formada por dos secciones en medio de las cuales se encuentra situado el lago de Chapala, la cuenca en conjunto cubre un área de 125,370 km² (Tamayo, 1982)

La primera sección nace con el nombre de Lerma, en las ciénegas de Lerma, recibiendo desde luego numerosos afluentes en el Valle de Toluca. Atraviesa territorios de los Estados de México, Michoacán, Querétaro, Guanajuato y Jalisco, sirviendo de límite entre varios de ellos.

Desde Acámbaro hasta La Piedad y a lo largo de esta corriente, se extiende la típica región llamada " El Bajío ", formada por una serie de zonas aluviales, anchas, comunicadas por el Río Lerma. Dentro del Bajío, las aportaciones más importantes que re-

cibe son los Ríos Amealco, Tigre o Coroneo, de Jaral, La Laja, Irapuato, Turbio, Angulo y finalmente el Duero, que anteriormente descargaba directamente en la Laguna de Chapala, pero que por efecto de las obras llevadas a cabo, se le llevó hasta Lerma, por medio de un cauce principal.

La segunda sección de la corriente, conocida con el nombre del Río Grande de Santiago, se inicia en Poncitlán y atraviesa la Sierra Madre Occidental por un estrecho cañón que a veces llega a ser desfiladero: penetra en el Estado de Nayarit, para cambiar de dirección hacia el occidente, atravesar la planicie costera y descargar en el Océano Pacífico, a unos cuantos kilómetros al norte del puerto de San Blas. (Tamayo, 1982).

Realizando un análisis de las cartas topográficas (E14A11 y E13B19), se observa que los escurrimientos superficiales de la cuenca del Río Purúzaró, se generan en las partes altas de las montañas, en forma de corrientes intermitentes, que posteriormente fluyen hacia el Río Purúzaró, el cual como ya se señaló, es tributario del Río Tlazazalca.

Todos los escurrimientos superficiales que se originan en los cerros el Tule, de Enmedio (El Agua) y Bicacho, lo hacen a una altitud que varía entre 2,700 y 2,900 metros, y tienen una longitud aproximada de 3 a 5.2 km, son corrientes que desaparecen

El Río intermitente Purúpero nace en la cima del cerro de Enmedio a 2,320 m.s.n.m., presentando una dirección este-oeste, con 13.6 km de longitud. A su paso se le van uniendo corrientes que descienden del cerro que le dió origen y del Tzantzan y el Patacutiro. A la altura de la Ciudad de Purúpero, 500 m al norte,

se une la corriente el Tambor, y a partir de este lugar, cambia de dirección hacia el norte con el nombre de Indio.

La corriente el Tambor comienza en el cerro el Costal, en la ladera norte, a una altitud de 2,400 m y mide 3.4 km de longitud, tiene como tributario al arroyo conocido como Coyotillos.

El Indio se origina, entre el cerro el Cuije y el de Enmedio a una altitud de 2,300 m, presenta una dirección este-oeste y recibe las aguas de las corrientes que descienden del cerro el Cuije, y antes de llegar al poblado Dos Estrellas se junta con el Río el Pinto, el cual nace en la ladera oeste del cerro el Cuije; al llegar a Dos Estrellas el Río intermitente el Indio, cambia de nombre por el de Purúzaro hasta la desembocadura de la cuenca, donde vierte sus aguas al Río Tlazazalca.

En su recorrido de 13.8 km, el Purúzaro recibe los escurrimientos que descienden del cerro la Cruz, de la Loma el Cerrillo, y los que forman en la ladera norte del cerro el Costal., como es el caso del arroyo la Guare.

Los arroyos que descienden del cerro el Costal, como son el del Paso del Indio, la Astilla y el Tlacuache; y del cerro el Tlacuache, así como el del Gallo, entre otros, son corrientes que desaparecen.

3.1.5 Clima

Debido a que el clima es uno de los principales factores de formación de los suelos, es lógico que define en gran medida las características y la aptitud de los mismos para el desarrollo de la vegetación.

Para la clasificación del clima se utilizó el segundo sistema del Dr. C.W. Thornthwaite, el cual incluye un concepto muy importante como es el balance de agua, que consiste en la relación entre el agua aportada por la precipitación y la requerida por la vegetación en sus funciones de evaporación y transpiración.

Este método se aplicó a los datos de la estación climatológica denominada " Furépero ", ubicada dentro de la cuenca y cuyas coordenadas geográficas son $19^{\circ} 55'$ de latitud norte y $102^{\circ} 03'$ de longitud oeste del Meridiano de Greenwich, con una altitud de 1950 metros.

El clima obtenido es semi-húmedo (PD), con moderada deficiencia de agua invernal (HC), templado frío (TD) y con una concentración baja de calor en el verano (VA).

Del análisis de los datos se puede observar que la temperatura media anual es de 16.0°C , la temperatura del mes más cálido 19.1°C y se presenta en mayo y va descendiendo conforme pasan los meses, hasta llegar a la mínima 12.4°C que se presenta en el mes de enero, a partir del cual vuelve ascender gradualmente hasta el mes de mayo. La oscilación térmica es de 6.7°C , la temperatura máxima extrema registrada en la estación es de -39.0°C , en el mes de marzo y la temperatura mínima extrema de -1.5°C , en enero.

La temperatura en la cuenca, tiene gran importancia en los procesos fisiológicos de las plantas ya sean naturales ó inducidas, las cuales para su desarrollo exigen un régimen de temperatura bajo 2 condiciones básicas: la primera es que los valores extremos de la temperatura (máximos o mínimos) no sean excesivos ya que estas variaciones causan daño con las consecuentes pérdidas de las cosechas. Las altas temperaturas provocan alta evaporación; observándose principalmente en la humedad del suelo y las temperaturas mínimas, cuando son cercanas o inferiores a 0°C destruyen los tejidos de las plantas por la formación de pequeños cristales de hielo dentro de ellas, condiciones que se observan periódicamente, es lo que se conoce como helada. Agro--- meteorológicamente no se puede fijar un cierto valor de temperatura de helada porque interviene el aspecto biológico muy variable e independiente de las condiciones atmosféricas. Por lo cual la intensidad de la temperatura que se pueda considerar como helada está en función de la especie y variedad, ya que presenta diferente sensibilidad y aún para una misma especie o variedad depende de su fase fenológica, estado sanitario y nutricional.

Los estudios agroclimáticos sobre las heladas se realizan considerando a la helada desde el punto de vista meteorológico como: la ocurrencia de la temperatura -0°C en el abrigo meteorológico (a 1.5 metros de altura sobre el suelo) independientemente de su duración e intensidad. Dentro de la cuenca las primeras heladas son en el mes de octubre y las últimas en febrero, y en promedio suman 10 por año.

La segunda es que las temperaturas medias diarias sean ta---

tales que satisfagan razonablemente las necesidades de calor de las plantas en sus diversas fases de desarrollo o al menos, en un plazo razonable de tiempo.

Con lo que respecta a la precipitación, se tiene que la media anual es de 985.5 mm, el mes más lluvioso es en julio con 237.1 mm y el mes más seco le corresponde a marzo con un promedio de 5.3 mm, y en general los meses en que la precipitación es menor que la evaporación son de noviembre a mayo y por el contrario, cuando la precipitación es mayor a la evaporación es de junio a octubre. La demasía de agua se presenta de julio a octubre y es de 40.03 cm y la deficiencia de agua de 16.39 cm, de marzo a mayo

En términos generales se puede observar que la precipitación que se presenta en la cuenca, tiene un período que comprende del mes de mayo hasta octubre. Ver resumen climático en el cuadro 2

La precipitación máxima en 24 horas, para la estación de Puérpero tiene una variación de 28.0 a 74.5 mm y se presenta por lo regular durante los meses de julio y agosto. El conocimiento de la precipitación máxima en 24 horas es muy importante, ya que es un elemento que se toma en cuenta para el cálculo de las diversas obras de conservación del suelo y agua.

Las lluvias afectan de dos modos a la vegetación: directamente por el choque de las gotas de agua contra las plantas, e indirectamente como fuente de agua que es necesaria para el desarrollo vegetal.

La influencia directa consiste en que la lluvia arrastra gran parte del polvo que el viento acumula sobre las hojas, además de otros efectos benéficos; tienen sin embargo el inconvenien

CLASIFICACION DEL CLIMA — SEGUNDO SISTEMA DE THORNTHWAITTE

ESTACION: PUREPERO PERIODO DE OBSERVACION: 1970 - 81

LOCALIZACION: { ESTADO: MICHOACAN POBLACION Y MUNICIPIO: PUREPERO, MICH.
 LATITUD: 19°55' LONGITUD: 102°03' ALTITUD: 1,950 m.s.n.m.

CONCEPTO	M E S E S												VALOR MEDIO ANUAL
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
TEMP. MEDIA (TE)	12.4	13.2	15.9	18.2	19.1	18.8	17.2	17.0	16.6	15.3	14.1	13.3	TEA= 16.0
PRECIP. MEDIA (PR)	2.13	0.88	0.53	1.42	3.92	14.75	23.71	19.82	19.22	8.17	1.74	2.26	PRA= 98.55
INDICE DE CALOR (ICM)	3.96	4.35	5.75	7.07	7.61	7.43	6.49	6.38	6.15	5.44	4.81	4.40	ICA= 69.85
EVAPOTRANSPIR. CORR. (EV)	4.00	4.42	5.95	7.32	7.91	7.78	6.75	6.62	6.37	5.59	4.91	4.47	
FACTOR DE CORR. (FC)	0.95	0.90	1.02	1.05	1.13	1.10	1.14	1.10	1.02	1.00	0.93	0.93	
EVAPOTRANSPIR. POT. CORR. (ETP)	3.80	3.98	6.13	7.69	8.94	8.56	7.70	7.29	6.50	5.59	4.57	4.16	EPA= 74.91
MOV. DE HUM. (MH)	-1.67	-3.10	-0.50	0.00	0.00	6.19	3.81	0.00	0.00	0.00	-2.83	-1.90	
HUM. ALMAC. (AH)	3.60	0.50	0.00	0.00	0.00	6.19	10.00	10.00	10.00	10.00	7.17	5.27	
DEMASIA DE A. (DA)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.20	12.53	12.72	2.58	0.00	0.00	DAA= 40.03
DEFIC. DE A. (DE)	0.00	0.00	5.10	6.27	5.02	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	DEA= 16.39
EVAPOTRANSPIR. REAL (ER)	3.80	3.98	1.03	1.42	3.92	8.56	7.70	7.29	6.50	5.59	4.57	4.16	
ESCURRIMIENTO (ES)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.10	9.32	9.50	4.47	0.00	0.00	
RELACION PLUVIAL (RP)	-0.44	-0.78	-0.92	-0.82	-0.57	0.73	2.08	1.72	1.96	0.47	-0.62	-0.46	

INDICE DE HUMEDAD (IH) = 53.44

INDICE DE ARIDEZ (IA) = 21.88

INDICE PLUVIAL (IP) = 40.31

CONCENTRACION TERMICA (CT) = 33.63

CONCEPTO.

CLAVE:

F O R M U L A

D E S C R I P C I O N :

Categoría de Humedad. — PD
 Régimen de Humedad. — HC
 Categoría de Temperatura. — TD
 Régimen de Temperatura. — VA

SEMI HUMEDO
 MODERADA DEFICIENCIA DE AGUA INVERNAL
 TEMPLADO - FRIO
 CON UNA CONCENTRACION BAJA DE TEMPERATURA EN EL VERANO

te de facilitar la germinación de esporas y propiciar la presencia de algunas enfermedades, sobre todo fungosas.

Cuando la lluvia es escasa los cultivos de temporal reducen grandemente su cosecha, y cuando es abundante causan erosión del suelo y daños a las plantas.

3.1.6 Suelos

El suelo es el recurso natural, o medio físico en donde crecen las plantas. Está formado por una mezcla de material fragmentado, de origen rocoso, parcial o totalmente intemperizado, compuesto de minerales, de materia orgánica, de agua, aire y de microorganismos.

Muchos de los problemas que existen actualmente, se han originado por el mal uso de este recurso. Nada hará posible el crecimiento de las plantas cultivadas, si las condiciones del suelo no son las convenientes para ellos y ningún trabajo mecánico podrá impedir la erosión, si las causas principales son las de implantar cultivos en tierras que no son las apropiadas para tal objetivo. (Flores, 1981).

El uso adecuado del suelo es el primer paso para establecer una buena agricultura y controlar la erosión. Las técnicas que permiten determinar el mejor uso de las tierras, se basan en una buena clasificación de las tierras para aumentar la productividad de ellas y mejorar el medio ambiente en general. Es por ello que se optó por utilizar la clasificación de suelos de FAO/UNESCO (1970) modificada por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional.

En el área de estudio se localizan las siguientes unidades de suelos: Cambisoles (B), Feozem (H), Litosoles (I), Luvisoles (L), Vertisoles (V) y Andosoles (T). A continuación se describen las características más importantes de cada una de ellas.

Cambisol (B)

El Cambisol es un suelo joven y poco desarrollado, con horizonte A Ocrico ó Umbrico y B Cámbico, su susceptibilidad a la erosión es de moderada a alta.

En la cuenca ésta unidad cubre una superficie de 3.75 km², equivalente al 3.22 % con respecto al total de la misma. Dentro de esta unidad se encuentra la subunidad de Cambisol Áutrico, que se caracteriza por presentar solamente lo indicado para la unidad de Cambisol. Esta subunidad se localiza en el sur de la cuenca, asociada con Luvisol ortico y Feozem háplico, presenta textura media (se refiere a aquéllas texturas que van desde migajones arenosos hasta algunos migajones arcillosos, pasando por los suelos francos y los limosos).

Feozem (H)

Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, su susceptibilidad a la erosión varía de acuerdo a la topografía.

Dentro de la cuenca abarcan una área de 15.593 km², que representan el 13.39% en relación a la misma, presentan las siguientes subunidades: Feozem háplico y lúvico.

Feozem háplico: son suelos profundos que tienen en la superficie una capa oscura, rica en materia orgánica y nutrientes.

Feozem lúvico: son suelos con una capa superficial oscura, rica en materia orgánica y minerales y con acumulación de arcilla en el subsuelo.

El suelo Feozem, se presenta en tres áreas grandes, en la zona de estudio. La primera se localiza al noroeste de la Ciudad

de Purépero, aproximadamente entre la ceja el Espinal y la loma el Cerrillo, son Feozem háplicos asociados con Luvisol crómico y Litosol, su textura es fina (se refiere a suelos que, al menos superficialmente, son arcillosos), en toda la loma el Cerrillo presentan fase física profunda.

La segunda área se localiza en la meseta más grande del Chapin, que se encuentra al sureste de la cuenca; y la última área está al este del Rancho llamado el Masón del Pájaro, ambas regiones tienen suelos Feozem lúvico asociado con Luvisol órtico, y son de textura media. Hay otras pequeñas áreas con estas unidades al noreste de la cuenca del río Purízaro.

Litosol (I)

Son suelos que están limitados en profundidad por una roca dura, continua y coherente dentro de los primeros 25 cm. Con susceptibilidad de moderada a alta a la erosión, dependiendo del relieve del terreno.

En la zona de estudio, ésta unidad es la que presenta menor superficie, ocupando únicamente 1.687 km^2 , lo que representa el 1.44 %.

Estos suelos cubren la cima del cerro la Cruz y del Tzantzán, se asocian con el Andosol mólico y presentan textura media.

Luvisol (L)

Suelo lixiviado y con fuerte acumulación de arcilla, con horizonte A Ocríco ó Umbríco, es de susceptibilidad alta a la erosión.

Abarca una extensión de 17.445 km^2 , esto es el 14.97 % del total, y presenta dos subunidades: Luvisol crómico vértico.

Luvisol crómico: presenta enriquecimiento de arcilla en el subsuelo y es de color ladrillo y amarillento.

Luvisol vértico: cuando están secos presentan grietas en el subsuelo.

Los suelos Luvisoles crómicos se localizan en la ladera este y parte de la sur del cerro la Cruz, se asocian con el Feozem háplico, tienen textura fina. Además se presentan al sur de la Ciudad de Purépero, son Luvisoles crómicos y vérticos, asociados con Feozem lúvico, Cambisol crómico, Andosol ócrico y Vertisol crómico, los Luvisoles tienen texturas medias y finas y presentan fases físicas lítica y gravosa, la primera fase se caracteriza por la presencia de una capa de roca que limita la profundidad del suelo a menos de 50 cm, o si es lítica profunda entre 50 cm y un metro. La fase gravosa se caracteriza por la presencia de gravas (rocas menores de 7.5 cm de largo) en la superficie del terreno, o cerca de ella.

Vertisol (V)

Son suelos que se cubren solos, es decir que el mismo suelo cae en las grietas que se forman al secarse el terreno, son de baja susceptibilidad a la erosión.

Esta unidad de suelo es la que predomina dentro de la cuenca, cubriendo una superficie de 41.592 km², que representa el 35.69 % del total, y las subunidades que se localizan son: Vertisol pélico y crómico.

Vertisol pélico: suelos profundos, muy arcillosos, de color gris oscuro; pegajosos en húmedo y muy duros y macizos en época de sequía.

Vertisol crómico: son de origen residual, de color pardo o rojizo, muy arcillosos y muy fértiles.

Esta unidad se localiza en la desembocadura de la cuenca, sobre ellos se asienta el poblado de Tlazazalca, son Vertisoles pélicos asociados con Feozem háplico y Litosol, presentan textura fina y fase física pedregosa (se refiere a la presencia de rocas mayores de 7.5 cm de largo en la superficie del terreno, o cerca de ella).

Hay otra región grande con esta unidad de suelo, y es la que se encuentra en el norte, este y centro de la cuenca, la Ciudad de Purépero en su mayor parte se asienta sobre ésta unidad de suelo, son subunidades de Vertisol crómico de textura media y fina y Vertisol pélico con fase física lítica y textura fina, también hay asociaciones de ambas subunidades con fase física lítica profunda y textura media. El Vertisol pélico está asociado con Luvisol vértico tiene, textura fina y fase física durica (se refiere a la presencia de una capa de Tepetate duro, de color crema o rosado).

Andosol (T)

Estos suelos son derivados de cenizas volcánicas recientes; muy ligeros y con alta capacidad de retención de agua y nutrientes, son de alta susceptibilidad a la erosión.

Ocupan el segundo lugar en cuanto a superficie se refiere con 36.489 km², que representa el 31.29 % con respecto al total de la cuenca, y las subunidades que se localizan son Andosol ócrico, vítrico y mólico.

Andosol ócrico: se caracteriza por presentar en la super---

ficie una capa de color claro y pobre en materia orgánica.

Andosol vítrico: se caracterizan por ser de textura arenosa y por tener un alto contenido de vidrio volcánico del tipo de la obsidiana.

Andosol mólico: estos suelos presentan en la superficie una capa de color oscuro o negro, rica en materia orgánica y nutrientes.

Los Andosoles cubren la ladera sur y este del cerro la Cruz, la subunidad es el ócrico, que se asocia con el Feozem háplico y tienen fase física gravosa, su textura es media. El Andosol ócrico también se localiza en la cima y laderas del cerro el Tlacuache asociado con el Cambisol éutrico y presenta fase física gravosa y textura media.

El Andosol vítrico cubre el cerro Patacutiro, al igual que el cerro de Enmedio.

El Andosol ócrico con fase física durfea y textura media, cubre las laderas del cerro el Cuije y el de Enmedio (partes altas),

En la cima del cerro el Cuije, se tiene a los Andosoles mólicos asociados con Litosoles, con fase física lítica y textura media.

Existe otra gran área con Andosol ócrico asociado con mólico que cubre las partes altas y laderas del cerro el Tule y de Enmedio (Agua), con textura media.

A continuación se describen los horizontes de diagnóstico de las unidades de suelos descritas anteriormente.

Horizonte A Mólico: Capa superficial blanda de color oscuro, rica en materia orgánica y nutrientes

Horizonte A Umbrico: Capa superficial de color oscuro, rica en materia orgánica y pobre en nutrientes.

Horizonte A Cérico: Capa superficial de color claro que puede ser o no pobre en materia orgánica.

Horizonte B Argílico: Capa ubicada por lo general abajo de un horizonte A, en la que ha habido acumulación de arcilla.

Horizonte B Cámbico: Capa ubicada abajo del horizonte A con estructura de suelo y no de roca.

3.1.7 Vegetación

La vegetación, incluyendo a los cultivos, juega un papel muy importante, debido a que constituye la fuente principal de alimentos para todos los organismos vivos, es un factor de formación del suelo, además de protegerlo contra la erosión regula el ciclo hidrológico.

De acuerdo a la clasificación de vegetación realizada por la ex-tinta Dirección General de Geografía, dependiente de la Secretaría de Programación y Presupuesto, dentro de la cuenca del Río Purzaro se presentan dos asociaciones vegetales: una es el Bosque Mixto (Pino-Encino) y la otra de Matorral Xerófilo.

El Bosque Mixto está constituido principalmente por pinos y encinos. Se localiza sobre una formación geológica de roca ígnea, predominando la roca volcánica como el basalto y la roca ígnea extrusiva ácida; en lo que respecta al suelo este es Andosol y Luvisol de texturas medias a finas y de acuerdo a la clasificación climática del Dr. C.W. Thornthwaite se presenta un clima semi-húmedo, con moderada deficiencia de agua invernal, templado-frío y con una concentración baja de calor en el verano.

Entre las especies características se encuentran numerosas del género Quercus, al igual que los pinos como el llamado ocote (Pinus montezumae) y pino chino (Pinus teocote y Cham) y madroños (Arbutus spp) .

Correa (1979) señala las características del Pino Ocote, estas son:

Presenta muchas variaciones, tanto en conos como en hojas.

Sus hojas miden de 10 a 20 cm; son fuertes y en grupos de tres y pueden ser hasta cinco. Conos pronto caedizos (que se desprenden de la ramilla tan pronto como maduran o poco tiempo después), de 6 a 7 cm.

Arbol de 10 a 20 metros; copa redonda e irregular; ramas desigualmente distribuidas con follaje denso y erguido; corteza grisácea por fuera y algo anaranjada o amarilla por dentro, delgada al principio y después áspera y delgada, dividida en placas longitudinales. Tronco ocasionalmente con retoños. Ramillas ásperas de color moreno o rojizo, frecuentemente con tinte ceniciento en partes tiernas.

Hojas en grupos de tres, por excepción de dos a cuatro, en fascículos (grupos de hojas unidas por la vaina) de 10 a 15 cm; fuertes, tiesas, anchas, hasta de 2 mm, aserradas, con dientecillos pequeños próximos: su color es verde brillante. Conillos subterminales, casi ovoides.

Conos ovoides y ovoide cónicos, rara vez subcilíndricos, de 4 a 7 cm, la madera es fuerte y de buena calidad y se usa principalmente para construcciones o para combustible, además produce abundante trementina.

Este bosque se encuentra en los cerros el Tule, de Enmedio (El Agua) y el Costal.

La otra comunidad vegetal dentro de la cuenca, es el Matorral Xerófilo, se caracteriza porque la mayor parte de los arbustos inermes o espinosos, pierden su follaje durante un período del año en el tiempo de secas. Se desarrolla entre un rango de 1,900 a 2,000 metros sobre el nivel del mar.

Las unidades de suelo donde se desarrolla este tipo de vegetación, son sobre suelos Andosoles, Luvisoles y Vertisoles de texturas medias y finas.

El área más grande con ésta comunidad, se localiza en las laderas y partes altas del cerro la Cruz.

Las principales especies vegetales que se encuentran en la comunidad de Matorral son:

Nombre Común	Nombre Científico
Higuerilla	<u>Ricinus</u> spp
Mezquite	<u>Prosopis</u> spp
Nopal	<u>Opuntia</u> spp
Huizache	<u>Acacia farnesiana</u>

A continuación se señalan las plantas vegetales silvestres que se localizan en el área de estudio.

Nombre Común	Nombre Científico
Amapola	<u>Bombax ellipticum</u>
Amor seco	<u>Gomphrena decumbens</u>
Anís del campo	<u>Tagetes micrantha</u>
Campanita	<u>Ipomea purpurea</u>
Capulín	<u>Prunus capuli</u>
Cenicilla	<u>Sesuvium portulacastrum</u>
Chayotillo	<u>Microsechium ruderae</u>
Colorín	<u>Erythrina coralloides</u>
Epazote	<u>Chenopodium ambrosioides</u>
Espinosilla	<u>Loeselia mexicana</u>

Nombre Común	Nombre Científico
Estafiate	<u>Artemisa mexicana</u>
Flor de San Juan	<u>Bouvardia longiflora</u>
Flor de Santa María	<u>Tagetes lucida</u>
Fresa silvestre	<u>Fragaria mexicana</u>
Gallitos	<u>Calochortus barbatus</u>
Gordolobo	<u>Gnaphalium berlandieri</u>
Hierba del golpe	<u>Allionia incarnata</u>
Hierbamora	<u>Solanum cervantesii</u>
Jara	<u>Baccharis glutinosa</u>
Jarrito	<u>Lamoureauxia rhinanthifolia</u>
Jicama de cerro	<u>Phaseolus heterophyllus</u>
Malva de quesitos	<u>Malva neglecta</u>
Mirasol	<u>Cosmos bipinnatus</u>
Quelite	<u>Amaranthus hybridus</u>
Siempreviva	<u>Sedum oxypetalum</u>
Trébol	<u>Medicago polymorpha</u>
Verdolaga	<u>Portulaca oleracea</u>

4 APLICACION DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA DEL RIO PURUZARO, MICHOACAN

4.1 Material y Equipo

4.1.1 Material

El material que se utilizó en el presente estudio es el siguiente:

a) 2 cartas topográficas escala 1:50,000 clave E14A11 Zacapu y E13B19 Zamora, editadas por la Dir. Gral. de Geografía dependiendo de la Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP).

b) 2 cartas edafológicas escala 1:50,000 clave E14A11 y E13-B19. Dir. Gral. de Geografía, SPP.

c) 2 cartas geológicas escala 1:50,000 clave E14A11 y E13B19 Dir. Gral. de Geografía, SPP.

d) Carta urbana escala 1:10,000 Purépero. Dir. Gral. de Geografía, SPP.

e) Atlas Nacional del Medio Físico. Dir. Gral. de Geografía, SPP.

f) Material necesario para dibujo: papel albanene, lápices de grafito y de colores, cinta masking tape, mesa luz, regla, escalímetro, etc.

4.1.2 Equipo

Se utilizó el equipo que a continuación se menciona:

a) Barrena de gusano

b) Pala

c) Pico

d) Vehículo para recorrido de campo.

- e) Clisfmetro
- f) Planimetro polar Pl - 30 marca Rossbach
- g) Balanza analítica marca Mettler
- h) Curvímetro
- i) Curvigráfico
- h) Calculadora marca Texas modelo TI - 55

4.2 Desarrollo del Trabajo

Una vez seleccionada el área de estudio, se procedió a la delimitación de la cuenca, misma que fue hecha de acuerdo a las -- corrientes superficiales, con sus respectivos parteaguas. Para -- ello se elabora un mapa con la red de drenaje de la cuenca, como se aprecia en el plano 2.

Delimitada el área de estudio se procede al cálculo de riesgo potencial y velocidad actual de erosión, de la siguiente manera:

En primer lugar se aplica la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), elaborada por Wischmeier y Smith (1965).

$$E = R K L S C P$$

Donde:

E = Pérdida de suelo (ton/ha/año)

R = Factor erosividad de la lluvia (Mega-joules x mm / ha x hr x año)

K = Factor erodabilidad del suelo (ton x ha x hr/ha x MJ x mm)

L = Factor longitud de la pendiente (m)

S = Factor grado de pendiente (%)

C = Factor cobertura vegetal (adimensional)

P = Factor prácticas de conservación del suelo (adimensional).

Para el caso del presente estudio el cálculo de riesgo potencial y velocidad actual de erosión, se implementó en base a los siguientes parámetros:

1) Erosividad de la lluvia (R)

2) Erodabilidad del suelo (K)

3) Longitud y grado de la pendiente (LS)

4) Cobertura vegetal (C)

En segundo lugar se elaboran planos de cada uno de estos parámetros. Y finalmente se sobrepusieron los planos para obtener los de riesgo potencial y velocidad actual de erosión.

El riesgo potencial de erosión se define como 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 de suelo.

La velocidad actual de erosión está dada por el producto de la influencia de los mismos factores activos y pasivos de una zona determinada, y la influencia del factor atenuante del fenómeno erosivo, (C) cobertura vegetal, representando esto la máxima aproximación a la pérdida actual del suelo de una zona dada.

A continuación se describen las características de cada uno de los factores que componen la ecuación, así como los métodos alternos utilizados en el estudio y la manera en que fueron obtenidos.

4.3 Índices de Erosividad de la Lluvia (R)

Desde el punto de vista de predicción de la erosión, los índices de erosividad de la lluvia, son parámetros estimados a partir de datos de las características de la lluvia que se correlacionan significativamente con las pérdidas de suelo. (Bergsma, 1981)

4.3.1 Índice de Erosividad de Wischmeier (EI₃₀).

El análisis realizado por Wischmeier y Smith (1958) a partir de los datos de campo provenientes de 10 000 años lote de pérdida de suelo en Estados Unidos de América y algunos otros países,

mostró que el mejor índice de erosividad de la lluvia, esto es, el más correlacionado con la pérdida de suelo fue el producto de la energía cinética de la lluvia y la intensidad máxima de la misma en 30 minutos (I_{30}). Este producto se define como EI_{30} , y su valor anual es la suma de los valores por evento del producto EI_{30} y se representa con el símbolo " R "

El EI_{30} combina el efecto de la energía total de la lluvia y un período suficientemente largo con alta intensidad de la misma.

Divisiones de la intensidad máxima de la lluvia en períodos más grandes, por ejemplo 60 minutos, tiende a minimizar el efecto de los valores de alta intensidad con duración corta, y períodos de 15 minutos son muy cortos para correlacionarse con el escurrimiento superficial. (Bergsma, 1981).

El factor " R " debe ser calculado anualmente y es igual a la suma del índice de erosividad de cada tormenta (EI_{30}). Matemáticamente R se expresa como:

$$R = \sum_{i=1}^n EI_{30} \quad (1)$$

Donde:

R = Erosividad anual de la lluvia (MJ.mm/ha.hr.año)

EI_{30} = Índice de erosividad de un evento (MJ.mm/ha.hr)

n = Número de eventos en un año

El índice de erosividad de la lluvia (EI_{30}) es el producto de la energía cinética total para un evento (E) y la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos (I_{30}) y se expresa como:

$$EI_{30} = E_{ct} \times I_{30} \quad (2)$$

Donde:

E_{ct} = Energía cinética total de un evento (MJ/ha)

I_{30} = Intensidad máxima de la lluvia en 30 min (mm/hr)

La energía cinética de la lluvia está altamente relacionada con el proceso erosivo y es una función del tamaño de las gotas de lluvia y de las velocidades terminales de las mismas.

Estos parámetros son difíciles de determinar por lo que se han relacionado con la intensidad, de manera que se puede obtener la energía cinética como función de la intensidad de la precipitación. Para ello la lluvia se divide en periodos con la misma intensidad, y para cada periodo la energía cinética se calcula con la fórmula:

$$E_c = 0.119 + 0.0873 \log_{10} I \quad (3)$$

Cuando $I \leq 76$ mm/hr

$$E_c = 0.283 \log_{10} I$$

Cuando $I > 76$ mm/hr

Donde:

E_c = Energía cinética de la lluvia en el periodo considerado (Mega-joules/ha . mm)

I = Intensidad de la lluvia en el periodo considerado (mm/hr)

La energía cinética calculada para cada segmento se multiplica por los milímetros de lluvia precipitados durante el segmento considerado para obtener la energía cinética del mismo. Finalmente estos productos se suman para tener la energía cinética total (E_{ct}).

Para obtener la intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}) de la lluvia analizada, en la gráfica de lluvia, se localiza el segmento

de mayor pendiente de la gráfica en 30 minutos y se lee la cantidad precipitada.

Finalmente para obtener el valor EI_{30} del evento analizado, la energía cinética total (E_{ct}) se multiplica por el doble de la intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}).

La suma de los valores EI_{30} presentes a lo largo del año, nos da el valor anual de R para la estación analizada.

Es conveniente aclarar que para efectos de cálculo, lluvias de menos de 13 mm y separadas de otra lluvia por más de 6 horas no se incluyen en los cálculos, a menos que precipiten 6 mm en 15 min.

Ejemplo de procedimiento para el cálculo del valor EI_{30} a partir del pluviograma que aparece en la figura 1.

1. Se elabora una tabla con las columnas que aparecen en cuadro 3
2. Revisando el pluviograma de la figura 1, se observa que en el eje de las ordenadas se tienen 10 mm y el eje de las abscisas 25 ho ras. En este ejemplo se consideran 24 horas y cada hora tiene sepa raciones de 10 minutos.
3. Se divide el pluviograma en segmentos con pendientes similares, en este ejemplo se presentan 11 segmentos.
4. En la columna 1 se anota la hora en que inicia la lluvia o el cambio de pendiente en el segmento y la hora en que termina dicho segmento de pendiente similar leyendo en el eje horizontal.
5. En el eje vertical se lee la cantidad de la lluvia precipitada en mm en el segmento considerado y se anota en la columna 2 del cuadro 3.
6. Se determina la duración de la lluvia en minutos para cada segmento, restando de la hora en que termina la pendiente del segmen-

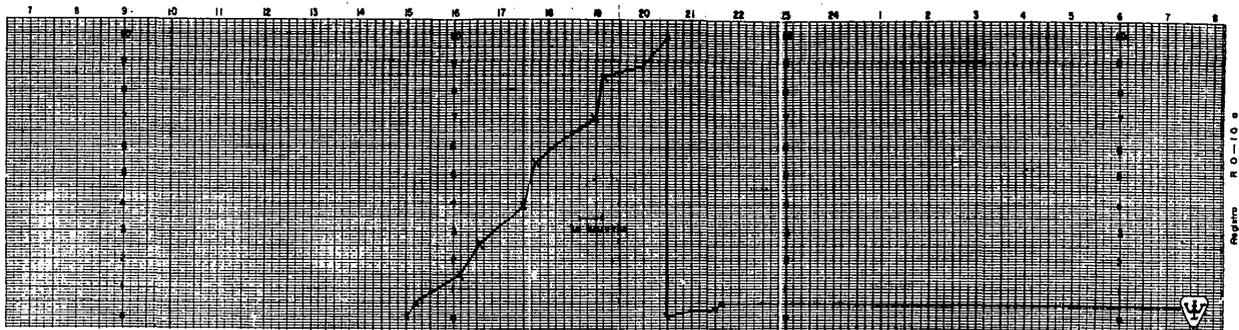


Figura 1 Pluviograma y su división en Segmentos de Igual Intensidad

Cuadro 3 Cálculo de la Energía Cinética

Lecturas		Incrementos			Energía	
Tiempo	Luvia Registrada (mm)	Duración (min)	Lluvia Acumulada (mm) .	Intensidad (mm/hr)	Por mm	Para la Lluvia Registrada. Columna 6 x 2 (6)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(6)
15:00 - 15:11	0.5	11	0.5	2.73	0.1571	0.0785
15:11 - 16:10	1.0	59	1.5	1.02	0.1197	0.1197
16:10 - 16:32	1.1	22	2.6	3.0	0.1606	0.1767
16:32 - 17:30	1.4	58	4.0	1.45	0.1331	0.1863
17:30 - 17:45	1.5	15	5.5	6.0	0.1069	0.2803
17:45 - 19:00	1.5	75	7.0	1.2	0.1254	0.1888
19:00 - 19:10	1.5	10	8.5	9.0	0.2023	0.3034
19:10 - 20:00	0.5	50	9.0	0.6	0.0996	0.0498
20:00 - 20:30	1.2	30	10.2	2.4	0.1522	0.1826
20:30 - 21:30	0.3	60	10.5	0.3	0.0733	0.0219
21:30 - 21:39	0.2	9	10.7	1.33	0.1298	0.0259
					Total	1.6139

$E_c = 1.6139 \text{ MJ/ha}$

$I_{30} = 1.8 \times 2 = 3.6 \text{ mm/hr}$

$$E_{I_{30}} = E_c \times I_{30} = 1.6139 \times 3.6 = 5.81 \text{ MJ . mm/ha . hr}$$

to la hora en que inicia la pendiente del mismo: y se anota en la columna 3, en minutos.

7. En la columna 4 se anota la lluvia acumulada en mm.

8. Para determinar la intensidad de la lluvia por cada segmento, se utiliza la ecuación:

$$I_i = \frac{P_i \times 60}{T_i} \quad (4)$$

Donde:

I_i = Intensidad de la lluvia para cada segmento
(mm/hr)

P_i = Cantidad precipitada en cada segmento (mm)
(columna 2 del cuadro 3)

T_i = Tiempo de duración de la intensidad en el segmento (min) (columna 3 del cuadro 3)

El resultado obtenido para cada segmento se anota en la columna 5.

9. Utilizando la ecuación $E_c = 0.119 + 0.0873 \log_{10} I_i$ se calcula la energía cinética para cada segmento y el resultado dará la energía cinética para 1 mm de lluvia; este resultado se anota en la columna 6 .

10. Como la cantidad de lluvia por segmento es diferente de 1 mm, se calcula la energía cinética por intervalo de tiempo, multiplicando los valores de la columna 6 por los de la columna 2 y se anotan en la columna 7.

11. Los valores de la columna 7 se suman y el resultado corresponde a la energía cinética total de la tormenta (E_{ct}).

12. Utilizando la misma gráfica en que se leen los segmentos de la

lluvia, se estima la precipitación máxima en 30 minutos, (I_{30}) localizando el segmento de mayor pendiente de la gráfica en 30 minutos, si es mayor de 30 minutos, el intervalo, de este selección el valor máximo en 30 minutos, si el intervalo es menor de 30 min. considere la cantidad antecedente y procedente y estime el nuevo valor de intensidad, lea la cantidad precipitada, en el eje vertical y multiplique el valor por 2 para obtener el I_{30} en mm/hr.

13. Calcule el valor de EI_{30} multiplicando $E_{c,t}$ por I_{30}

14. El resultado será el índice de erosividad para el evento analizado; la suma de estos valores para las tormentas (eventos), de un año darán el valor de R, y si se tienen observaciones de varios años, se pueden obtener los valores de R para diferentes períodos de retorno.

4.3.2 Índice de Fournier

Fournier mencionado por López (1967) establece que, cuando entran en juego los factores generales de la erosión (relieve, suelo, vegetación y precipitación) sin predominio de los particulares (deslizamientos, desmoronamientos, etc.) la precipitación es el factor dominante.

Estudia primero las posibles correlaciones de la erosión con:

- a) La precipitación anual
- b) La escorrentia anual

a) Relación entre la erosión y la precipitación anual

En su análisis gráfico empieza por analizar si existe correlación entre la erosión y la precipitación anual. Utiliza para ello dos series de valores: unos relativos a la erosión y otros a la precipitación anual.

Fija la degradación específica anual de las cuencas hidrográficas como medida de la erosión, la cantidad de precipitación a la que este valor de la erosión puede estar ligado, será la altura anual de la lluvia caída sobre la cuenca durante el período en que se haya medido su degradación específica.

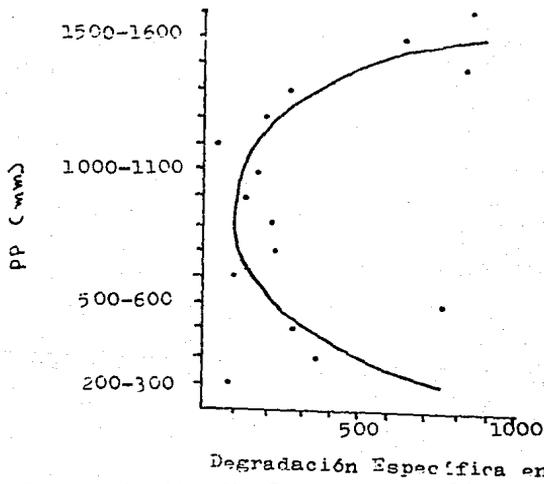
La degradación específica, fue obtenida para 96 cuencas a nivel mundial (sobre México fue estudiada la cuenca del Río San Juan, Tamps.)

El resultado de este análisis es una distribución dispersa de cuencas hidrográficas. Encuentra para precipitaciones muy diferentes las mismas erosiones específicas, así como para la misma precipitación, degradaciones de intensidad muy diferentes.

Observa, sin embargo, combinando clases de lluvia y degrada-

ciones específicas (ver gráfica 1), que las degradaciones más intensas se localizan en la parte superior o inferior de la gráfica, es decir, en las regiones donde las lluvias son escasas o abundantes.

Gráfica 1 Análisis entre la Precipitación Anual y la Degradación Específica.



La conclusión final de este análisis es que no puede relacionarse la erosión del suelo con la precipitación anual.

b) Relación entre la erosión y la escorrentia

Se utilizaron datos de 96 cuencas hidrográficas de las que se conocen las degradaciones específicas, y la altura de agua escurrida anualmente. Los resultados obtenidos no son satisfactorios. Las cuencas hidrográficas se reparten en la gráfica caprichosamente.

Una misma erosión puede provenir de escorrentias muy diferentes, así para una misma escorrentia anual la cantidad de erosión

puede variar ampliamente. Los valores más altos de la degradación específica aparecen para escorrentías inferiores a 200 mm o superiores a 700 mm.

c) Investigación de nuevas relaciones

Después de estos dos análisis, Fournier investiga otras características de la precipitación y estudia su posible relación con con la erosión del suelo.

Ortiz Solorio (1984), menciona que Fournier, para continuar con estas investigaciones toma a la " Degradación Específica " (DS, medida en $\text{ton}/\text{km}^2/\text{año}$), como la variable dependiente y efectúa una homogeneización de las cuencas utilizadas, empleando para ello el Sistema Climático de Köppen. En este método las variables independientes son:

- 1) P, precipitación media anual, en mm
- 2) P/n, en donde n es el número de días lluviosos en el año
- 3) S/P, en donde S es la estación (primavera, verano, etc.) de máxima precipitación, en mm.
- 4) S^2/P
- 5) Σ/P , en donde Σ son los tres meses de máxima precipitación en el año, en mm
- 6) Σ^2/P
- 7) p/P, en donde p es el mes de máxima precipitación, en mm
- 8) p^2/P

La relación entre DS y cada una de estas variables fue estudiada en forma gráfica, para valores normales y logarítmicos y de todas ellas la que mostró una mayor correspondencia fue la última.

Sin llegar a ser esta estadísticamente significativa (los -

criterios de evaluación fueron el coeficiente de correlación, r (una prueba de t para los coeficientes de la regresión lineal).

Finalmente consideró otra variable independiente, el coeficiente orográfico: $H \cdot \tan \alpha$, donde H es la altitud media de la cuenca en m y $\tan \alpha$ pendiente media de la cuenca, como se observa a continuación.

$$E = 2.65 C + 0.46 M - 1.56 \quad (5)$$

Sustituyendo Log DS por E , C por $\text{Log } \frac{p^2}{P}$ y M por $\text{Log } H \tan \alpha$

$$\text{Log DS} = 2.65 \text{Log } \frac{p^2}{P} + 0.46 (\text{Log } H) (\tan \alpha) - 1.56$$

4.3.3 Índice de Erosividad de FAO

La FAO en 1980 propone una modificación al índice de Fournier mediante la fórmula siguiente:

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

Donde:

R = Erosividad de la lluvia

p^2 = Precipitación mensual en mm

P = Precipitación media anual mm

4.3.4 Plano de Índice de Erosividad (R)

Para elaborar el plano de erosividad de la lluvia, se localizan las estaciones climatológicas que se encuentran dentro del área de estudio y en su zona de influencia, por lo que para este caso son las que aparecen en el cuadro 4.

Cuadro 4 Estaciones Climatológicas

Nombre de la Estación	Localización		Altitud (m s.n.m.)
	latitud	longitud	
Purépero	19° 55'	102° 03'	1,950
Etucuario	19° 24'	101° 05'	1,612
Carapán	19° 52'	102° 03'	2,050
Panindicuario	19° 59'	101° 46'	1,638
Zacapí	19° 49'	101° 47'	1,980
Presa Urepetiro	19° 56'	102° 09'	1,754

De estas estaciones sólo la de Purépero se encontró dentro de la cuenca y las demás se seleccionaron tomando en cuenta el criterio propuesto por Figueroa et al (1982), el cual menciona que las estaciones no deben exceder una distancia mayor de 25 km, del límite del área de estudio para ser consideradas como representativas de las condiciones climáticas de la zona.

De la información pluviométrica de las estaciones seleccionadas, se analizan los años con registros completos de precipitación y estos por estación fueron once años.

Una vez seleccionadas las estaciones representativas, se calcula el índice de erosividad para cada una de ellas.

En el presente estudio para la selección del índice de erosividad, ésta fue hecha en base a la disponibilidad de la información, ya que para emplear el índice de Wischmeier (EI_{30}), es necesario que las estaciones climatológicas, cuenten con información pluviográfica y ninguna de las estaciones climatológicas utiliza-

das cuenta con dichos registros de lluvia.

Por lo tanto la opción restante era entre el índice de Fournier (r^2/P) y el modificado por FAO ($\frac{\sum_{i=1}^n p^2}{P}$), los cuales para su cálculo requirieron únicamente datos de cantidades de precipitación. El escogido fue el de Fournier, ya que este índice fue probado por Figueroa et al (1980), en el Estado de Querétaro, en donde hace una comparación de estos índices de erosión.

Para la cuenca del Río Furúzaró, en estudio, los resultados obtenidos al aplicar la siguiente ecuación se muestran en el cuadro 5 .

$$I_f = \frac{r^2}{P} \quad (6)$$

Donde:

I_f = Índice de Fournier

p^2 = Precipitación máxima mensual (mm)

P = Precipitación anual (mm)

El cálculo fue año por año y se obtuvo su índice anual, después se sumaron estos valores (índice anual) y se promediaron entre los once años (datos tomados de las estaciones), el valor resultante es el índice por estación.

Una vez conocidos los índices de cada una de las estaciones, se elaboró el plano de erosividad de la lluvia, R (ver anexo).

El procedimiento para elaborar el plano de erosividad (R), es el siguiente.

a) Se unen las estaciones por medio de líneas rectas, no debiéndose cruzar una con otra, de tal manera que se formen triángulos.

Cuadro 5 Cálculo de Erosividad de la Lluvia, de acuerdo a Fournier 61

Estación: Purápero

Año	Pp Máxima	Pp Anual	I. F.
1971	293.5	648.2	132.89
1972	266.0	972.5	72.75
1973	406.5	1415.0	116.77
1974	301.5	977.9	92.95
1975	267.5	1089.1	65.70
1976	289.9	1259.6	66.72
1977	227.1	980.1	52.62
1978	227.1	1098.8	46.93
1979	156.3	632.3	38.63
1980	197.0	969.6	40.02
1981	198.5	803.2	40.09

R = 69.64

Estación: Zacapú

Año	Pp Máxima	Pp Anual	I. F.
1971	229.8	782.1	67.52
1972	221.0	870.6	56.10
1973	205.4	1068.9	39.46
1974	266.9	789.9	90.18
1975	155.2	643.9	37.40
1976	292.8	1075.2	79.73
1977	178.2	798.2	39.78
1978	253.5	1106.6	58.07
1979	166.9	605.6	45.99
1980	255.6	975.8	66.95
1981	229.8	883.9	59.74

R = 58.26

Estación: Etúcuaro

Año	Pp Máxima	Pp Anual	I. F.
1971	361.5	1238.0	105.55
1972	309.0	1017.0	93.88
1973	277.0	1386.0	55.36
1974	230.0	791.0	66.87
1975	225.0	863.0	58.66
1976	264.5	985.8	70.96
1977	259.5	1214.0	55.46
1978	258.5	998.0	66.95
1979	309.2	1078.0	88.68
1980	213.3	934.1	48.7
1981	388.0	1328.2	113.34

R = 74.94

Estación: Presa Urepetiro

Año	Pp Máxima	Pp Anual	I. F.
1971	305.0	1038.5	89.57
1972	239.4	874.4	65.54
1973	273.4	938.7	79.62
1974	257.5	866.8	76.49
1975	207.5	849.5	50.68
1976	210.1	879.3	50.20
1977	173.1	823.6	36.38
1978	213.3	992.5	45.84
1979	260.4	726.6	93.32
1980	209.5	943.7	46.50
1981	194.6	782.6	48.38

R = 62.04

Estación: Carapán

Año	Pp Máxima	Pp Anual	I. F.
1971	315.8	1093.6	91.19
1972	232.5	1008.5	53.6
1973	342.0	1103.0	106.04
1974	309.0	961.0	99.35
1975	329.0	882.5	122.65
1976	424.6	1384.3	130.23
1977	239.6	948.9	60.49
1978	270.2	1099.1	66.42
1979	165.5	635.0	43.13
1980	247.0	912.7	66.84
1981	152.0	737.7	31.31

R = 79.20

Estación: Panin

Año	Pp Máxima	Pp Anual	I. F.
1971	388.5	968.0	155.92
1972	167.0	580.5	48.04
1973	261.5	878.5	77.83
1974	210.0	580.5	75.96
1975	241.5	689.0	84.64
1976	194.5	725.1	52.17
1977	353.0	1352.9	92.10
1978	353.5	1451.5	86.09
1979	156.0	427.5	56.92
1980	203.0	670.7	61.44
1981	260.5	789.5	85.95

R = 79.73

b) Se mide la distancia que hay entre cada estación.

c) Se toma como base dos estaciones y una vez conocida la distancia entre ellas, se obtiene la diferencia que hay entre cada índice; el valor resultante de estos índices se utilizan para trazar las isolíneas.

d) Por medio de una regla de tres, se calcula la distancia por donde debe de pasar cada una de las isolíneas, esto es, de acuerdo a la diferencia entre los valores de los índices de las estaciones; para este caso se tomo el criterio de 2.5 unidades, en virtud de que si se tomaban 5 unidades, el plano contenía tres líneas de erosividad, muy espaciadas una de otra.

Aunque para otras escalas o zonas de trabajo más grandes, pueden encontrarse valores apropiados de 5, 10, 15, 20, etc. unidades.

Para ilustrar este procedimiento se sigue la presente secuencia.

Para las estaciones climatológicas Presa Urepetiro y Purépero, la distancia que hay entre estas estaciones es de 27 cm en el mapa y el índice de Fournier es de 62.0 y 69.6 respectivamente, la diferencia entre ambos índices es de 7.6 unidades, por lo tanto a cada 2.5 unidades va a pasar una isolínea.

Las isolíneas que pasan entre estos índices son: 62.5, 65.0 y 67.5, pero para iniciar el procedimiento, que va a ser del índice de menor valor a el de mayor (62.0 a 69.6), se asume que hay una continuidad, esto es, antes del índice de 62.0 se localiza la isolínea de 60.0, 57.5, etc.

Por lo tanto, para el cálculo de la primera isolínea que es de 62.5 se inicia en 62.0 y a este valor le falta únicamente 0.5 unidades para llegar a dicha isolínea, entonces para conocer la dis-

tancia a que deberá trazarse en el mapa se hace por medio de una regla de tres.

27 cm - 7.6

1.8 cm - 0.5

Donde:

27 cm = Distancia entre cada estación

7.6 = Diferencia entre sus respectivos índices

0.5 = Unidad faltante para conocer la distancia por donde pasará la isolinéa de 62.5

A partir de la estación Presa Urepitiro cuyo índice es 62.0, se mide 1.8 cm, y a ésta distancia pasará la isolinéa de 62.5. Para conocer la distancia por donde pasarán las isolinéas de 65.0 y 67.5 se sigue el mismo procedimiento, donde se sustituye el 0.5 por 2.5 unidades.

Una vez obtenidos todos los puntos donde pasarán las isolinéas, se unen los puntos de igual valor, al mismo tiempo se van ajustando al relieve, esto último es debido a que como la precipitación generalmente aumenta con la elevación o altura del terreno, las isolinéas pueden trazarse de manera que sigan aproximadamente las curvas de nivel.

Ya trazadas las curvas entre una y otra, se deben promediar sus valores para su posterior multiplicación con el plano de KLS.

4.4. Índices de Erodabilidad (K)

La erodabilidad del suelo es su vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión, es decir, la inversa de la resistencia a la erosión. (Hudson, 1982).

Morgan (1979) define a la erodabilidad como la resistencia del suelo al desprendimiento y transporte.

4.4.1 Índice de Erodabilidad de Wischmeier

El valor de K trata de considerar la mayor parte de las propiedades físicas y químicas de un suelo, que afectan su susceptibilidad a ser removido y transportado por la lluvia y el escurrimiento. Este parámetro está influenciado principalmente por: la distribución del tamaño de las partículas primarias, el contenido de la materia orgánica, el tipo y tamaño de los agregados, la presencia de óxidos de hierro y aluminio, las uniones electro-químicas, el contenido inicial de humedad y los procesos de humedecimiento y secado. (Wischmeier et al, 1971)

En un intento por eliminar este procedimiento, se realizó un estudio para describir el factor K por medio de 15 propiedades del suelo y sus interacciones (Wischmeier y Mannering, 1969). Se desarrolló una ecuación de regresión múltiple de 24 términos y se consideró válida para una gama amplia de suelos de textura media.

Sin embargo, fue demasiado complicada para su uso general. Esta deficiencia, además de la investigación complementaria, precipitó el desarrollo de la nomografía sobre erodabilidad del suelo. (Kirkby y Morgan, 1984).

Wischmeier et al. (1971) propuso el uso de un nomograma, que permite evaluar el valor de K a partir de cinco parámetros de

suelo:

- a) % de limos + arenas muy finas
- b) % de arena
- c) % de materia orgánica
- d) Estructura y
- e) Permeabilidad del suelo

Para determinar el factor de erodabilidad utilizando el nomograma propuesto, es básico conocer los parámetros del suelo necesarios para su determinación, para ello se requiere ubicar áreas de muestreo, a fin de coleccionar y analizar en laboratorio muestras de suelo, de la siguiente forma.

El primer paso es la selección y ubicación de los sitios de muestreo, para ello se utiliza el material cartográfico disponible y se cuantifican las diferentes unidades de suelo presentes en el área de estudio, determinando la densidad de muestreo por unidad y ubicando los puntos a muestrear en las cartas.

En base a un diseño de muestreo aplicado a los valores de K obtenidos en el estudio de Riesgo de Erosión del Estado de Querétaro, se generó una ecuación para determinar el número mínimo de muestras para su área dada, aplicable a estudios a nivel de Reconocimiento y Semidetalle, quedando como sigue:

$$N = 0.025 A \quad (7)$$

Donde:

N = Número mínimo de muestras

A = Área de la unidad de suelo km^2

La densidad de muestreo depende del área que abarque la unidad de suelo en km^2 ; sabiendo el área de la unidad de suelo se mu

tiplica por el factor 0.025 resultando el número mínimo de muestras a realizar considerando que ésta área es uniforme, esto es sin variación en la topografía.

En el caso de tener variaciones topográficas, los muestreos se deben incrementar en cada cambio registrado.

El tipo de muestreo antes descrito permite una aceptable estimación de los valores de K, ya que presenta un grado de confiabilidad del 95 % para dichos valores.

Cuando los trabajos así lo requieran y el nivel de muestreo sea la parcela, se tomarán el número de muestras necesarias para obtener los diferentes valores por serie tipo o fase de suelo.

Las muestras colectadas previamente en el campo, para su análisis en laboratorio, se secan al aire y se pasan por un tamiz de 2 mm. analizando la fracción menor de 2 mm en el laboratorio para obtener los datos de porcentaje de materia orgánica y determinar la distribución de tamaños de las partículas de suelo.

a) y b) % de limos + arenas muy finas, y % de arena

Una vez seleccionadas y ubicadas las áreas, en campo, se toma una muestra de los primeros 20 cm de perfil, para su posterior análisis en laboratorio.

Para la determinación de la distribución de tamaños de partículas de suelo, es conveniente considerar que éstas, se encuentran generalmente aglomeradas en forma de agregados y se deben separar una de otra (dispersar) usando métodos físicos o químicos antes de que se puedan cuantificar las partículas pertenecientes a cada rango. No existe un pretratamiento específico para las muestras a las que se determinará la distribución de tamaño de partículas, el

método recomendado en cada caso particular, dependerá de la naturaleza del suelo y de los agentes cementantes involucrados en la agregación de las partículas.

Para evaluaciones de K se define a las " arenas finas + limos " como partículas con tamaños entre 0.002 mm y 0.10 mm y a las arenas gruesas como partículas con tamaño entre 0.10 y 2.0 mm

Para la determinación de arcillas y limos en la muestra de suelo dispersada, el método de la pipeta es el método estandar internacional, sin embargo puede utilizarse métodos alternos, como el método del hidrómetro de Boyoucos , en el cual se divide a las partículas como sigue:

Arcillas (< 0.002 mm)
 Limos (0.002 - 0.02 mm)
 Arenas (0.02 - 2.0 mm)

Una vez determinadas las arcillas y los limos, estos son removidos mediante decantación, permaneciendo solo la fracción arenosa, la cual se pasa por un tamiz de 60 mallas para separar las arenas gruesas y por uno de 150 para separar las arenas finas, determinando el porcentaje de las fracciones pesando cada una.

El resultado del porcentaje de arenas finas se suma al de limos obtenido anteriormente para utilizar el resultado en el nomograma.

c) % de materia orgánica

La materia orgánica se cuantifica utilizando el método de Walkley y Black (1934).

d) Estructura

Al mismo tiempo se observa la estructura de los primeros 20

cm. de perfil, la cual para su utilización en el nomograma se codifica como:

1. Granular muy fina y grumosa muy fina ($< 1 \text{ mm}$)
2. Granular fina y grumosa fina ($1 - 2 \text{ mm}$)
3. Granular media y grumosa media ($2 - 5 \text{ mm}$) y granular gruesa ($5 - 10 \text{ mm}$)
4. Laminar, prismática, columnar, masiva y granular muy gruesa.

e) Permeabilidad del Suelo

En el campo también se realiza una prueba de infiltración, hasta obtener valores constantes, registrando los datos, para con su posterior análisis obtener la permeabilidad del perfil, codificándola para su utilización en el nomograma, de la forma siguiente:

		Gasto aproximado en cm h^{-1} *		cm s^{-1}	
1	Rápida a muy rápida	$> - 12.5$	$>$	2.08×10^{-1}	2.08×10^{-1}
2	Moderadamente rápida	$6 - 12.5$	1.0×10^{-1}	2.08×10^{-1}	2.08×10^{-1}
3	Moderada	$2.0 - 6$	3.3×10^{-2}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}
4	Moderadamente lenta	$0.5 - 2.0$	8.3×10^{-3}	3.3×10^{-2}	3.3×10^{-2}
5	Lenta	$0.125 - 0.5$	2.08×10^{-3}	8.3×10^{-3}	8.3×10^{-3}
6	Muy lenta	< 0.125			

La clasificación general de permeabilidad se presenta en el manual de Levantamientos de Suelos del USDA pp. 167-168.

Ellos dan las siguientes recomendaciones:

- Los suelos fragipanes se codifican con el número 6
- Suelos superficiales permeables que descansan sobre una ca-

* Gastos por unidad de área tentativos para muestras inalteradas con una carga constante de 1.25 cm de agua.

pa de arcilla masiva o arcilla limosa se codifican con el núm. 5

- Suelos moderadamente permeables que descansan sobre una capa de arcilla limosa y poseen una estructura subangular débil o angular se codifican con el número 4

- Si el desarrollo estructural del subsuelo es moderado o fuerte, o la textura es más gruesa que arcilla franco limosa, el número de codificación es 3.

Una vez obtenidos los cinco parámetros del suelo que intervienen en el cálculo del factor de erodabilidad K el procedimiento para evaluarlo a través del nomograma de la figura 2 es el siguiente.

1. Entre al nomograma en la escala vertical de la izquierda con el valor apropiado de % de limos + arenas finas (0.002 - 0.10 mm).

2. Continúe horizontalmente hasta interceptar la curva correspondiente para % de arenas gruesas (0.10 - 2.0 mm), interpolando al % más cercano.

3. Continúe verticalmente hasta interceptar la curva correspondiente al % de materia orgánica.

4. Continúe horizontalmente hacia la derecha

5. Para aquéllos suelos con una estructura granular fina o grumosa fina y con permeabilidad moderada el valor de K se puede obtener directamente de la primera aproximación de la escala de K localizada en la margen derecha de la primera sección del nomograma.

6. Para los demás suelos; continúe horizontalmente hasta interceptar la curva de estructura adecuada.

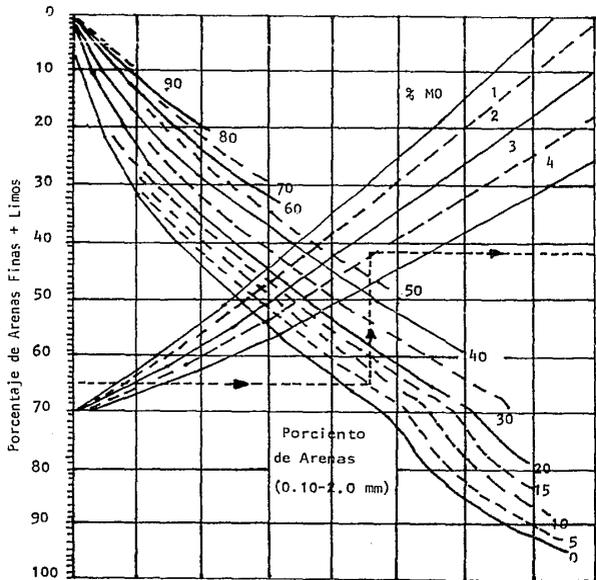
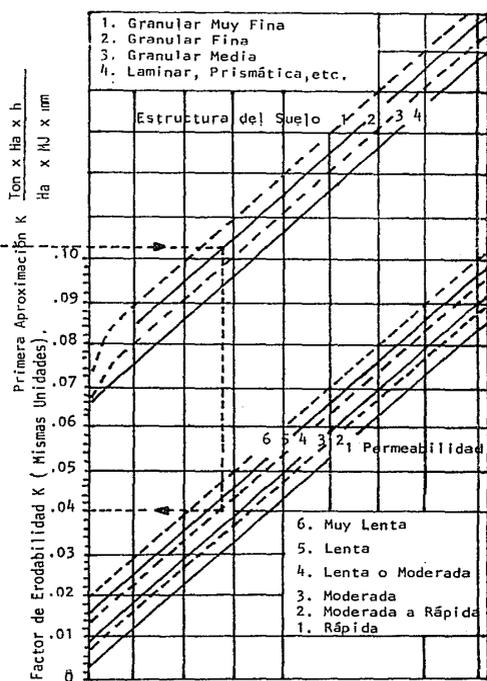


Fig. 2 Nomograma del Factor de Erodabilidad del Suelo (K) en el Sistema Internacional de Unidades.



7. Continúe verticalmente hasta interceptar la curva de permeabilidad adecuada.

8. Continúe horizontalmente hasta interceptar la escala de erodabilidades del suelo localizada en la margen izquierda de la segunda sección del nomograma y obtenga el valor de K.

Las experiencias de la utilización del nomograma en los Estados Unidos han producido las siguientes recomendaciones:

I. Suelos con un contenido de materia orgánica mayor de 4 %, no extrapole, use la curva de 4 %

II. Los valores de K obtenidos en el nomograma varían desde 0.003 hasta 0.11. Desde un punto de vista práctico es suficiente usar clases de valores de K.

III. El valor de K se debe ajustar si existen fragmentos gruesos en la superficie. El valor de K para suelos con un alto contenido de fragmentos gruesos se reducen por una o dos clases. Los valores de K para suelos con un contenido muy alto de fragmentos gruesos, se reducen por dos o tres clases.

El nomograma es útil para suelos con un % de limos + arenas muy finas menor de un 70 % y es una solución gráfica a la ecuación:

$$100 K = 2.1 M^{1.14} (10^{-4}) (12-a) + 3.25 (b-2) + 2.5 (c-3)$$

Donde:

(8)

M = % de limo (0.10 - 0.002 mm) x 100 - % arcilla
(< 0.002 mm).

a = % de materia orgánica

b = Código de estructura del suelo

c = Código de permeabilidad del suelo.

Este valor se debe multiplicar por 0.1317 para darnos el valor en toneladas métricas x hectárea x hora / hectárea x Megajoule x milímetro, en unidades del sistema internacional.

En el caso de utilizar el nomograma, no es necesaria esta conversión, porque el nomograma ha sido adaptado ya al sistema internacional de unidades. (Velázquez, 1984)

4.4.2 Índice de Erodabilidad de FAO

Más recientemente FAO (1980) propone una metodología para evaluar el factor K, usando la información de los mapas de suelos.

El criterio que establece FAO, consiste en multiplicar los valores numéricos asignados a los factores textura y unidad de suelo según la clasificación FAO/UNESCO, las texturas que toman en cuenta 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)
3. Textura fina (> 35 % de arcilla)
o en su defecto, la roca madre.

Al valor textura se le divide en cuatro grupos y se le asigna un coeficiente, de acuerdo a la tabla 1 .

Con 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

4.4.3 Plano de Índice de Erodabilidad

Los parámetros del suelo que se necesitan para calcular el factor K por el método de Wischmeier, no están disponibles para la zona de estudio, por lo que se procedió a utilizarse el recomendado por FAO, que es alterno al propuesto por Wischmeier.

El procedimiento empleado es el siguiente:

1. Se elabora un mapa de la cuenca, conteniendo únicamente su delimitación.
2. Se sobrepone a las cartas edafológicas para pasar los lín-

Cuadro 6 Clasificación de las Unidades de Suelos, según FAO/UNESCO, en

Tres Clases de Erodabilidad

Unidad	Subunidad	Valor de Erosionabilidad	Unidad	Subunidad	Valor de Erosionabilidad
Acrisol A		II	Glaysol G		II
	Férrico f	I		Calcárico c	I
	Gláycico g	II		Districo d	II
	Húmico h	I		Eutrico e	II
	Órtico o	II		Húmico h	I
	Flíntico p	III		Mólico m	I
				Flíntico p	II
Cambisol B		II		Gálico x	III
	Crómico c	II	Fozem H		I
	Districo d	II		Calcárico c	I
	Eutrico e	II		Gláycico g	I
	Ferrálico f	I		Háplico h	I
	Gláycico g	II		Lúvico l	I
	Húmico h	I	Litosol I		I
	Cálcico k	II		Fluvisol J	II
	Vértico v	III		Calcárico c	I
	Gálico x	III		Districo d	II
Chernozem C		I		Eutrico e	II
	Gláycico g	I		Tiónico t	III
	Háplico h	I			
	Cálcico k	I	Castañozem K		II
	Lúvico l	I		Háplico h	II
Podzoluvisol D		III		Calcárico k	II
	Districo d	III		Lúvico l	II
	Eutrico e	III	Luvisol L		II
	Gláycico g	III		Albico a	III
Rendzina E		I		Crómico c	II
Ferrasol F		I		Férrico f	I
	Acrico a	I		Gláycico g	II
	Húmico h	I		Calcárico k	II
	Órtico o	I		Órtico o	II
	Plíntico p	I		Flíntico p	III
	Ródico r	I		Vértico v	III
	Xántico x	I	Molisol M		II

	Acrico	a	II	Ranker	U		I
	Gláycico	g	III	Vertisol	V		III
tosol	N		I			Crómico	c
	Districo	d	I			Pálico	p
	Eutrico	e	I	Planosol	W		III
	Húmico	h	I			Districo	d
			I			Eutrico	e
istosol	C		I			Húmico	h
	Districo	d	I			Mólico	m
	Eutrico	e	I			Solólico	s
	Gálico	x	I			Gálico	x
odzol	P		III	Xerosol	X		III
	Fárrico	f	III			Háplico	h
	Gláycico	g	III			Cálcico	k
	Húmico	h	II			Lúvico	l
	Lúvico	l	II			Gypsico	y
	Ortico	o	III				III
	Fláycico	p	III	Yermosol	Y		III
			I			Háplico	h
Arenosol	C		I			Cálcico	k
	Alcico	a	I			Lúvico	l
	Cámbico	c	I			Gypsico	y
	Férralico	f	I			Takfrico	t
	Lúvico	l	I				III
			II	Solonchak	Z		II
Regosol	R		I			Gláycico	g
	Calcárico	c	II			Mólico	m
	Districo	d	II			Ortico	o
	Eutrico	e	II			Takfrico	t
	Gálico	x	III				III
			III				
Solonetz	S		III				
	Gláycico	g	III				
	Mólico	m	II				
	Ortico	o	III				
			II				
Andosol	T		I				
	Húmico	h	I				
	Mólico	m	I				
	Ortico	o	II				
	Vítrico	v	II				

deros 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 unidad de suelo Vertisol crómico y textura fina, al suelo le corresponde una erodabilidad alta de 2.0 y a la textura un coeficiente de 0.1, y el valor resultante que es 0.2, corresponde K.

4. Cuando se encuentren unidades asociadas de suelos, se promedian sus coeficientes y el resultado es el valor del área formada por la combinación de las unidades.

5. De esta manera se obtiene el plano de erodabilidad, K para después sobreponerlo con el plano de grado y longitud de la pendiente (IS), con el cual es multiplicado.

En el plano 4 se presentan los valores de K, de la zona de estudio.

Para las unidades de suelos, con sus respectivas clases texturales de la cuenca, se utilizaron las cartas edafológicas de la Ex-Dirección General de Geografía, y se localizaron las unidades y subunidades presentes en el cuadro 7 así como sus valores de K.

Cuadro 7 Valores de K para los Suelos de la Cuenca del Río
Purúzaro

Unidades y Subunidades	Valor de K	Clave
Be/2 Fase pedregosa	0.5	1
Be + Io/2	0.3	2
Be + Hh/2	0.225	3
Hh/2	0.15	4
Hh + Ic + I/3	0.066	5
Hh + Vc/2 Fase pedregosa	0.625	6
Hl + Io/2	0.225	7
I + Im/2	0.15	8
Lc + Ec + To/3	0.133	9
Lc + Hh/3	0.075	10
Lc + Hl/3 Fase pedregosa	0.075	11
Lv + Vc/2	0.6	12
Lv + Vc/2 Fase pedregosa	1.0	13
Lv + Vp/2 Fase pedregosa	1.0	14
Tm/2	0.15	15
Tm + Hh/2	0.15	16
Tm + I/2	0.15	17
To + Be/2	0.5	18
To + Hh/2 Fase pedregosa	0.375	19
To + Im/2	0.225	20
Tv + To/2	0.3	21
Vc/3	0.2	22
Vc/3 Fase pedregosa	1.0	23
Vp/3	0.2	24
Vp/3 Fase pedregosa	1.0	25
Vp + Lv/3	0.2	26
Vp + Hh + I/3 Fase pedregosa	0.25	27
Vp + Vc/3	0.2	28

4.5 Índices de Inclinación y Longitud de la Pendiente (LS)

Ríos (1987) señala que en contraste con la erosión eólica, la erosión hídrica no es un problema grave en áreas planas. Solamente cuando el terreno tiene pendiente, es cuando la erosión hídrica puede ocasionar problemas.

La pendiente del terreno afecta los escurrimientos superficiales imprimiéndole velocidad según la ley de caída de los cuerpos, modificada de acuerdo a las condiciones del ambiente (Ayres, 1960). El tamaño de las partículas, así como la cantidad del material que el agua puede arrastrar y/o llevar en suspensión, está en función de la velocidad con que ésta fluye sobre la superficie. A su vez la velocidad depende del grado y longitud de la pendiente.

4.5.1 Índice de Inclinación y Longitud de la Pendiente de Wischmeier.

Los efectos de la longitud y el grado ó inclinación de la pendiente se representan en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, como L y S respectivamente; sin embargo, se evalúan como un factor topográfico único, LS .

La longitud de la pendiente se define como "la distancia desde el punto de origen del escurrimiento superficial, al punto donde el grado de la pendiente decrece lo suficiente para que la deposición empiece, o el escurrimiento entre a un canal bien definido, el cual puede ser parte de una red de drenaje natural, o un canal construido" (Arnoldus, 1977).

Kirkby (1984), menciona que el desarrollo de la EUPS se basó en la longitud de una parcela de 22.13 m (Wischmeier y Smith, 1965).

Considerando los datos obtenidos de lotes de escurrimiento en

contraron que:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad (9)$$

Donde:

L = Factor longitud de la pendiente

λ = Longitud de la pendiente en metros y,

m = Exponente influenciado por la interacción de la longitud y grado de pendiente, y puede ser también influenciado por las propiedades del suelo, tipo de vegetación, etc.

Los valores que toma el exponente m son de 0.2 para pendientes menores de 1 %: m = 0.3 para 1 a 3 %: m = 0.4 para 3.5 a 4.5 %: m = 0.5 para pendientes de 5 a 10 % y m = 0.6 para mayores del 10 %. Los valores promedio aplicables a la mayoría de los casos es 0.5, que es el valor utilizado para desarrollar la gráfica del efecto de la pendiente (fig. 3). Dicha gráfica permite leer valores para el efecto combinado de la longitud y el grado de la pendiente. La fig. 4 permite usar esta gráfica en los casos donde los valores para el exponente 0.5 son diferentes, ésta figura transfiere la longitud de la pendiente de campo para pendientes con exponentes m = 0.3, m = 0.4 y m = 0.6 en longitud de la pendiente equivalente con exponentes m = 0.5 (Arnoldus, 1977).

Smith y Wischmeier también determinaron que la pérdida del suelo estaba correlacionada con una descripción parabólica del efecto de la inclinación ó grado de la pendiente. Normalizando ésta ecuación con una pendiente de parcela estándar de 9 % dió por resultado una descripción del factor del grado de pendiente (S) y se define como:

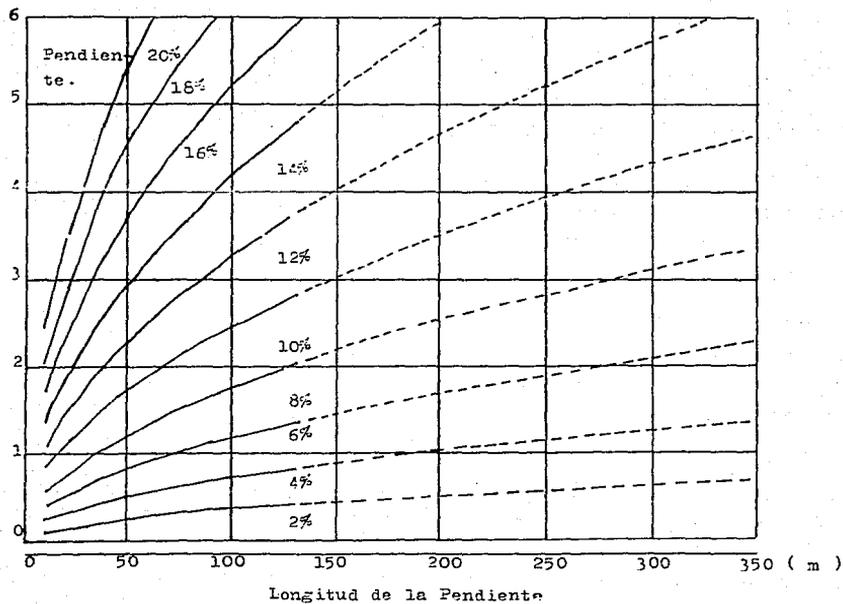


Fig. 3 Efecto Combinado de la Longitud λ y Grado de la Pendiente S .
Adaptado de Wischmeier y Smith (1965), donde $m = 0.5$

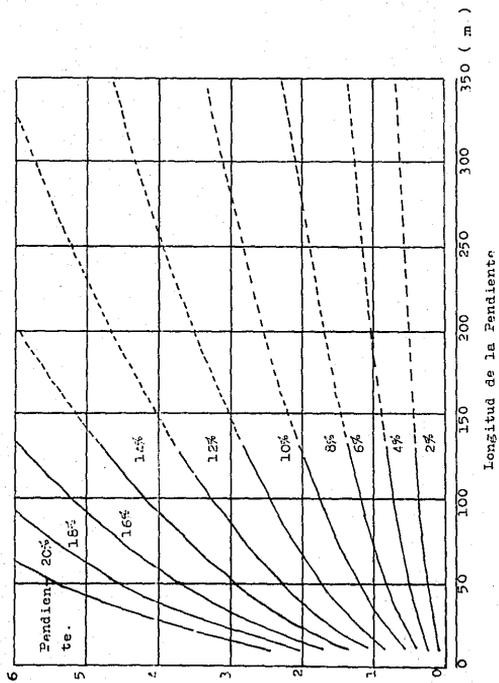


FIG. 3 Efecto Combinado de la Longitud λ y Grado de la Pendiente S.
 Adaptado de Wischmeier y Smith (1965), serie m = 0.5

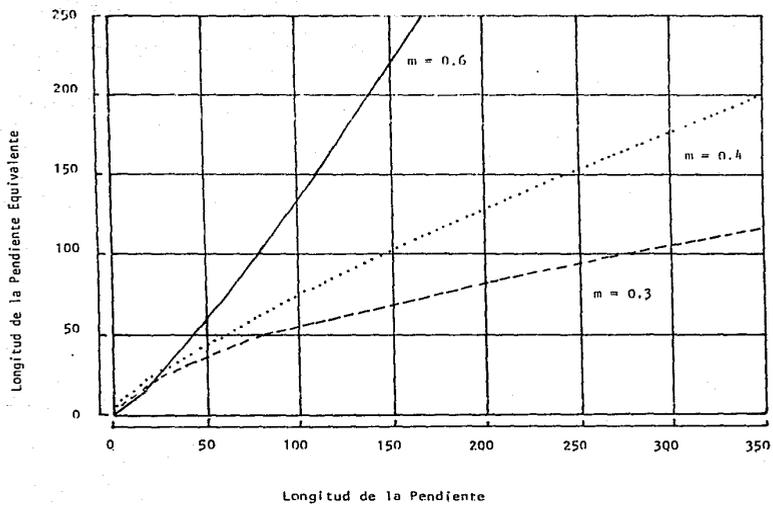


Figura 4 Longitudes Equivalentes para Uso de la Carra Efecto de la Pendiente, Cuando los Valores del Exponente Longitud de la Pendiente m son Diferentes a 0.5

$$S = \frac{0.43 + 0.30 s + 0.043 s^2}{6.613} \quad (10)$$

Donde:

S = Factor grado de la pendiente

s = Grados en %

El efecto combinado para la longitud y grado de la pendiente puede observarse en la figura 3 , o calcularse a partir de:

$$LS = (0.0138 + 0.00965 s + 0.00132 s^2) \quad (11)$$

Para pendientes hasta un 20 % y 350 m de longitud. Para pendientes entre 10 y 50 % y menores o iguales a 800 m de longitud, puede obtenerse una aproximación de la figura 5 , la cual fue calculada de acuerdo a:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.1}\right)^{0.6} \times \left(\frac{S}{9}\right)^{1.4} \quad (12)$$

El uso de ésta ecuación y la figura 5 , debe hacerse con precaución, ya que no han sido suficientemente probados, para indicar la realidad de la predicción.

Para utilizar la figura 3 como la ecuación 11, la longitud de la pendiente de campo λ debe ser sustituida por la longitud de la pendiente equivalente, cuando el factor m es diferente de 0.5

Las ecuaciones 9,10,11y12son aplicables solamente en pendientes uniformes con un tipo de suelo o un tipo de cobertura vegetal sobre la longitud total.

Meyer, Foster et al (mencionados por Velázquez,1984).Realizaron estudios para evaluar el efecto que se produce al cambiar el

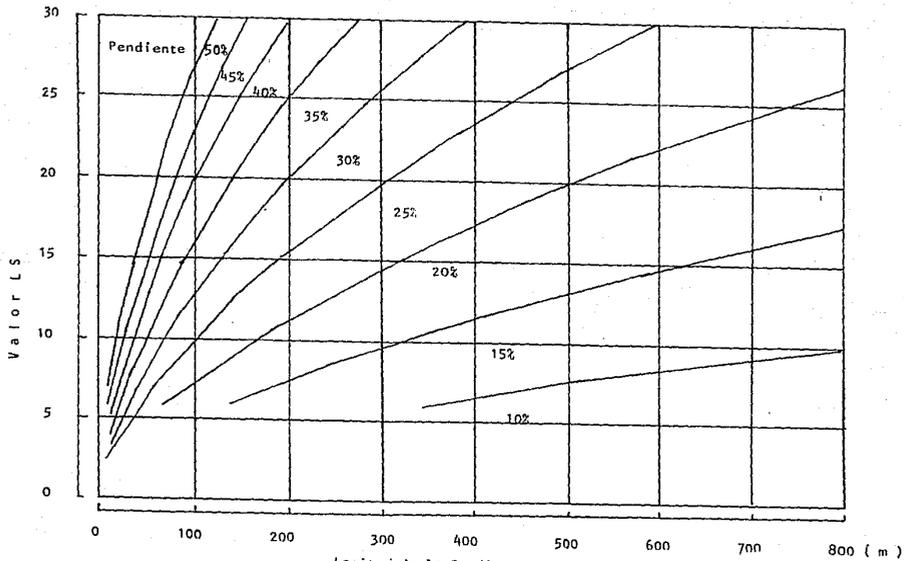


Fig. 5 Carta del Efecto de la Longitud y el Grado de la Pendiente S , que Exceden las Presentadas en la fig. 3, Extrapoladas más allá del Rango de Datos; Usese Solamente como Estimación.

grado y la longitud de la pendiente, determinando que en pendientes uniformes, al existir un incremento en el grado y longitud de la misma, se incrementa la erosión. En pendientes convexas a medida que aumenta la longitud de la pendiente, se incrementa la erosión hasta alcanzar un máximo en la parte final de la misma. Para pendientes cóncavas, la erosión disminuye a medida que aumenta la longitud de la pendiente, hasta llegar al mínimo que se considera donde inicia el proceso de sedimentación.

Si ocurren cambios significativos en:

- a) Grado de la pendiente
- b) Forma de la pendiente
- c) Tipo de suelo, ó
- d) Cobertura del suelo, es necesario hacer correcciones.

Dependiendo de la complejidad de la situación, puede seguirse un procedimiento para llegar al promedio adecuado de valores para la pendiente total.

El procedimiento se da tomando en cuenta un cambio en el grado de la pendiente. A menudo es posible usar el mismo procedimiento para evaluar además cambios en el tipo y/o cobertura del suelo. (Arnoldus, 1977):-

Procedimiento:

Si se aceptan dos supuestos de simplificación, los ajustes son relativamente fáciles. Los supuestos son: (i) el cambio en el grado no es lo suficiente para causar depositación sobre la pendiente, y (ii) la pendiente irregular puede dividirse en un pequeño número de segmentos de igual longitud.

El procedimiento de ajuste, si ambos supuestos son aceptados es el siguiente:

1) Divida la pendiente en los segmentos necesarios de igual longitud y determine el valor del factor gradiente de la pendiente (S), de acuerdo a la ecuación 10 para cada segmento.

2) Multiplique el valor S obtenido por el valor del factor longitud (L) de acuerdo a la ecuación 9, usando la longitud total de la pendiente.

3) Multiplique cada uno de los valores LS obtenidos, por el factor de ajuste a. El factor "a" puede leerse del cuadro 8, para pendientes con un exponente de longitud $m = 0.3; 0.4; 0.5$ y 0.6 calculados a partir de:

$$a = j^{(m+1)} - (j-1)^m + 1/n^m$$

Donde:

a = Factor de ajuste

j = Número de secuencia del segmento (de la cúspide a la base)

m = Exponente de la longitud de la pendiente

n = Número total de segmentos de igual longitud

4) Promedie los valores LS ajustados para obtener el valor efectivo LS para la pendiente total.

4.5.2 Índice de Inclinación y Longitud de la Pendiente de FAO

Para el cálculo del factor LS a nivel general y regional (tra bajos cartográficos a escalas 1:100 000 a mayores 1:1 000 000) la FAO en 1980 propone la utilización de tres clases de pendiente, a saber:

a. de llana o suavemente ondulada

b. fuertemente ondulada a colinosa

c. fuertemente socavada a montañosa

Cuadro 8 Factor de Ajuste a para Corrección a la Carta de Valores LS para Segmentos Sucesivos de una pendiente

No. Total de Segms.	Valor de a	m=0.3	m=0.4	m=0.5	m=0.6
2	a1	.81	.76	.71	.66
	a2	1.19	1.24	1.29	1.34
3	a1	.72	.64	.58	.52
	a2	1.05	1.06	1.06	1.05
	a3	1.23	1.30	1.37	1.43
4	a1	.66	.57	.5	.44
	a2	.96	.94	.91	.88
	a3	1.13	1.16	1.18	1.20
	a4	1.25	1.33	1.40	1.48
5	a1	.62	.53	.45	.38
	a2	.90	.86	.82	.77
	a3	1.05	1.06	1.06	1.05
	a4	1.17	1.21	1.25	1.29
	a5	1.26	1.34	1.42	1.50

A las cuales les corresponde el coeficiente LS, siguiente:

Cuadro 9 Clases de Pendiente. FAO

Clase de Inclinación (declive)	a	ab	b	bc	c
Declive Dominante (%)	0 - 8	0 - 20	8 - 30	8 - >30	>30
Valoración LS	0.35	2.0	3.5	8.0	11.0

Para las unidades de suelos Fluvisol; Gleysol y fases gléyicas, les asigna el valor de 0.15, debido a que las formas topográficas asociadas con estos suelos son generalmente muy suaves.

4.5.3 Plano de Inclinación y Longitud de la Pendiente

En el presente estudio para fines cartográficos (el factor inclinación ó grado de la pendiente, S), se obtiene la inclinación promedio a partir de la construcción de un plano de rangos de pendiente, mediante las cartas topográficas.

Los rangos de pendientes seleccionados en el presente trabajo son:

Cuadro 10 Rangos de Pendiente

Literal	Rango (%)	S
a	0 - 5	2.5
b	5 - 10	7.5
c	10 - 15	12.5
d	15 - 20	17.5
e	> 20	35.0

A cada rango se le asignó la literal a, b, c, d y e respectivamente, para representarlo en el plano 5 .

Para calcular los rangos de pendiente se obtuvieron de la siguiente manera:

Para este estudio la escala a trabajar es de 1: 50 000 la equidistancia entre curvas de nivel es de 20 m, por consiguiente un mm en el mapa le corresponden 50 m en el terreno y un centímetro equivale a 500 metros. Se divide 500 m entre 100 para sacar porcentaje, en este caso el resultado es 5, este valor se vuelve a dividir entre el valor de la equidistancia de las curvas, que es de 20 m , el valor obtenido, indica que la distancia de un cm de separación entre las curvas de la carta, será igual a una pendiente del 4 %.

A partir de este valor se calcula la distancia que deben de tener las curvas para representar pendientes de: 5,10, 15 y mayor de 20 % respectivamente, de acuerdo a los rangos previamente establecidos.

En el cuadro 11 se observan los rangos y distancias calculadas en este estudio.

Cuadro 11 Rangos y Distancias

Literal	Rango (%)	Distancias (cm)
a	0 - 5	> 0.8
b	5 - 10	0.8 - 0.4
c	10 - 15	0.4 - 0.3
d	15 - 20	0.3 - 0.2
e	> 20	< 0.2

Con las distancias calculadas por el procedimiento anteriormente mencionado se adecua una escala gráfica, semejante a la de la figura 6. Y se sobrepone en la carta topográfica con el fin de identificar la distancia horizontal entre las curvas de nivel, existentes en la cuenca, y así poder ubicar las áreas con igual grado de pendiente.

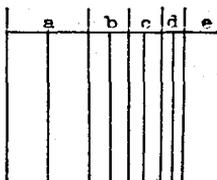


Fig. 6 Escala Gráfica

Para construir el plano de longitud de la pendiente, se elabora previamente un plano con la red de drenaje, considerando las corrientes de todas las órdenes presentes y ubicando los partea-guas de todas ellas. Para diferenciar, la red de drenaje del partea-guas, se trazó con color azul la red y al segundo con color rojo.

Una vez terminado el plano con la red de drenaje, se le sobrepone el que corresponde al de rangos de pendiente y el resultado de ésta sobreposición es un tercer plano que es el de Longitud y Grado de Pendiente (LS).

El procedimiento para obtener el plano final se inicia multiplicando la inclinación promedio por la longitud promedio, ésta -

última se tiene midiendo de la corriente al parteaguas (en centímetros), como la distancia no es siempre equidistante, se hacen varias mediciones hacia el parteaguas, con el fin de calcular la longitud promedio ponderada. Cuando a una corriente le corresponden dos o más diferentes rangos de pendiente, el cálculo de la longitud promedio se hace para cada uno de ellos.

En la multiplicación del rango medio de la pendiente (\bar{S}), por la longitud promedio (\bar{L}) se aplica a la siguiente fórmula:

$$LS = (\lambda / 22.1)^m \frac{0.43 + 0.30 s + 0.43 s^2}{6.613} \quad (13)$$

Donde:

LS = Factor combinado de grado y longitud de la pendiente.

λ = Longitud promedio de la pendiente (m)

s = Gradiente promedio en (%)

m = Variable que está en función de la pendiente y para este estudio, toma los siguientes valores: m = .3 si $S < 0.5$; m = 0.4 si $0.5 < S < 10\%$ y m = 0.6 si $S > 10\%$.

La fórmula se aplica para cada valor individual de la longitud promedio y grado promedio de la pendiente . En el cálculo de LS se utilizó un programa para calculadora el cual da el valor - directo de LS.

En una calculadora marca Texas modelo TI - 55, el programa para obtener LS se muestra en el cuadro 12.

Programa para LS en Calculadora Marca Texas Instruments TI 55

1. $\boxed{2nd}$ \boxed{CA} $\boxed{2nd}$ \boxed{Fix} $\boxed{2}$ $\boxed{2nd}$ \boxed{Lrn}

2. x

3. 500 (para convertir m en escala 1:50 000)

4. -

5. 22.1

6. =

7. y^2

8. .4 (el valor de m)

9. =

10. x

11. 0.2209 (el valor de la ecuación S)

12. =

13. \boxed{end} $\boxed{R/S}$ $\boxed{2nd}$ \boxed{Lrn}

Cierre del programa

 \boxed{end} \boxed{Rst} $\boxed{\lambda}$ $\boxed{2nd}$ $\boxed{R/S}$ = Resultado de LS
 valor de
 L (cm)

Este programa se mete para los cinco valores de S

Ranocs	Valor S	Valor ec. S
0 - 5	2.5	0.2209
5 - 10	7.5	0.7766
10 - 15	12.5	1.6575
15 - 20	17.5	2.8634
> 20	35	9.6446

a I) S
2.5

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^{0.4}$$

$$S = \frac{0.43 + 0.305(2.5) + 0.043(2.5)^2}{6.613} = 0.2209$$

b II) S
7.5

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^{0.4}$$

$$S = \frac{0.43 + 0.305(7.5) + 0.043(7.5)^2}{6.613} = 0.7766$$

c III) S
12.5

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^{0.6}$$

$$S = \frac{0.43 + 0.305(12.5) + 0.043(12.5)^2}{6.613} = 1.6575$$

d IV) S
17.5

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^{0.6}$$

$$S = \frac{0.43 + 0.305(17.5) + 0.043(17.5)^2}{6.613} = 2.8634$$

e V) S
35

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^{0.6}$$

$$S = \frac{0.43 + 0.305(35) + 0.043(35)^2}{6.613} = 9.6446$$

Una vez obtenido el plano de LS, se sobrepone al de K, para multiplicarlo y así tener el plano de KLS.

4.6 Plano de Riesgo Potencial de Erosión

Considerando que en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, intervienen factores causales del proceso erosivo, dividido en factores activos como la erosividad de la lluvia y pasivos como la erodabilidad del suelo, longitud y grado de la pendiente y el factor atenuante de la erosión, como es la cubierta vegetal, 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 vegetación y sin prácticas de control de la erosión.

Para la elaboración del plano de riesgo potencial 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 ésta 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 cinco clases cartográficas. La definición de las clases, el símbolo y el rango numérico del producto RKLS, se representan en el cuadro 13 .

Cuadro 13 Clases, Símbolo y Rango Numérico de RKLS

<u>Clases de Riesgo Potencial de Ero- sión.</u>	<u>Símbolo</u>	<u>Rango de Pérdi- da de Suelo en Ton/Ha/Año</u>
Muy Bajo	MB	0 - 15
Bajo	B	15 - 50
Moderado	M	50 - 200
Alto	A	200 - 1000
Muy Alto	MA	> 1000

4.7 Índice de Cobertura Vegetal del Suelo (C)

El factor C en la EUPS, representa la cantidad de suelo perdido de un terreno bajo condiciones específicas de uso o vegetación, en comparación con la pérdida de suelo que pudiera presentar el mismo terreno estando desprovisto de vegetación y bajo labranza - continua.

Este factor mide el efecto combinado de la cobertura vegetal, rotación de cultivos, nivel de fertilidad, prácticas de labranza, manejo de residuos de cosecha y otras condiciones relacionadas.

La protección ofrecida al suelo por la vegetación depende del tipo de ésta, su altura, % de cobertura, entre otras. Estas características varían generalmente en los diferentes meses del año, por ello, a menudo la efectividad de la cobertura vegetal en la reducción de la erosión, depende de la ocurrencia de la precipitación erosiva en los diferentes periodos vegetativos.

4.7.1 C en el Manejo de Cultivos

Para calcular el valor C en un sistema de cultivos en particular, en una localidad dada, Wischmeier y Smith mencionados por Kirkby et al (1984), dividen el ciclo vegetativo en 5 periodos:

- 1) Barbecho, de la labranza a la siembra
- 2) Siembra, de la preparación de la cama de siembra a un mes después de la siembra
- 3) Establecimiento, de 1 a 2 meses después del periodo anterior
- 4) Crecimiento y Maduración, desde el final del periodo 3 hasta la cosecha
- 5) Residuo, desde la cosecha hasta la labranza.

Por lo tanto se calcula la distribución de la curva EI_{30} anual

que ocurre dentro de cada uno de los periodos del cultivo. Estos porcentajes se multiplican por el correspondiente valor de C. Se suman los productos parciales de todo el ciclo y el total se divide por el número de años en el ciclo, como se aprecia en el siguiente ejemplo, tomado de Kirkby et al (1984).

Cuadro 14 Evaluación del Factor de Manejo de Cultivos C, para Maíz.

Periodo	Fecha	% de Índice de Erosión Anual	% de Pérdida de Suelo por Etapa de Cultivo.	Factor C
Barbecho	5 May. a 1 Jun.	0.10	0.22	0.022
Siembra	1 Jun. a 20 Jun.	0.13	0.19	0.0247
Establecimiento.	20 Jun. a 10 Jul.	0.14	0.17	0.0238
Crecimiento.	10 Jul. a 15 Oct.	0.40	0.10	0.04
Residuo	15 Oct. a 31 Dic.	0.08	0.14	0.0112
			C Anual	0.1217

El factor C para el periodo correspondiente al Barbecho - (0.022), se obtiene multiplicando el índice de erosión actual en % (0.10) por la proporción de pérdida de suelo durante la etapa de cultivo (0.22). De esta manera se calcula cada periodo.

FAO (1980) propone dos valores anuales para las tierras de cultivo. El primer valor es 0.8 para áreas con lluvias estacionales y para el segundo de 0.4 para áreas húmedas.

Martínez (1982), citando varios autores propone el uso de los siguientes valores de C obtenidos en México y otras partes del mundo, para diferentes tipos de asociaciones de cultivos.

Cuadro 15 Valores del Factor C

Cobertura Vegetal	Valor de C
Suelo Desnudo	1.00
Maíz - Sorgo	0.1 - 0.9
Tabaco - Algodón	0.5
Café - Palma	0.1 - 0.3
Cebada	0.2
Papa - Col	0.3

Y finalmente Figueroa (1975) recomienda un valor anual del factor cobertura vegetal (C) de 0.64 para la agricultura y 1.0 para las áreas desprovistas de vegetación.

4.7.2 C en Pastizales y Bosques

Para terrenos no agrícolas Wischmeier, mencionado por Kirkby et al (1984), desarrolló una tabla para estimar el porcentaje anual del valor de C (como se muestra en el cuadro 16).

Para diferentes cubiertas vegetales del suelo, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación, (1980), propone valores anuales de C, como se aprecia en el cuadro núm. 17 .

Cuadro 16. Valores de C para Terrenos No Alterados

Cobertura Vegetal Superior Tipo y Altura	% de Cober- tura de Do- sel.	Residuos o Vegetación en la Su- perficie del Suelo, en %					
		0	20	40	60	80	95-100
No Apreciable	-	.45	.24	.15	.091	.043	.011
Herbáceas Altas ó Arbustos Bajos (Hasta 50 cm de altura).	25	.36	.20	.13	.083	.041	.011
	75	.17	.12	.09	.068	.038	.011
Arbustos ó Mator- rales (Hasta 2 m altura).	25	.40	.22	.14	.087	.042	.011
	75	.28	.17	.12	.075	.040	.011
Arboles (Hasta 4 m de Altura)	25	.42	.23	.14	.089	.042	.011
	75	.36	.20	.13	.084	.041	.011

Los valores de C son para cubierta superficial de hierbas o residuos no descompuestos.

Para obtener los valores de C para pastos u hojarasca compac-
ta multiplíquese el valor C del cuadro por el factor: 1.0 para 0%;
0.53 para 20 %; 0.67 para 40 %; 0.46 para 60 %; 0.30 para 80 y -
0.27 de 95 a 100 %. Los valores de la multiplicación junto con los
de cubierta de hierbas, se presentan en el cuadro 18 .

Cuadro 17 Valores de C para Diferentes Cubiertas Vegetales

% de Cobertura						
Tipo de Cobertura	0 a 1	1 a 20	20 a 40	40 a 60	60 a 80	80 a 100
Praderas, Prados y Pastizales.	0.45	0.32	0.20	0.12	0.07	0.02
Bosques con Sotobosque apreciable.	0.45	0.32	0.16	0.18	0.01	0.006
Bosque sin Sotobosque apreciable.	0.45	0.32	0.20	0.10	0.06	0.01

Los valores anuales de C para el Bosque de Encino, Pastizal, Pastizal Degradado y para Sabana, dados por Martínez (1982) son: 0.001; 0.003; 0.22 y 0.1 respectivamente.

Los valores de C anual: 0.04 para la Agricultura; 0.10 para Pastizal y 0.13 para Matorral, son asignados por Figueroa (1975).

CUADRO 18 Valores de C para Vegetación Permanente y Pastizales.

TIPO DE VEGETACION Y ALTURA	% DE COBERTURA DE DOSEL	TIPO*	RESIDUOS O VEGETACION EN LA SUPERFICIE DEL SUELO					
			0	20	40	60	80	95-100†
No apreciable	-	P	.45	.20	.10	.042	.012	.003
	-	H	.45	.24	.15	.090	.043	.011
Herbáceas altas y - arbustos bajos (hasta 50 cm. de altura).	25	P	.36	.17	.09	.038	.013	.003
		H	.36	.20	.13	.082	.041	.011
	50	P	.26	.13	.07	.035	.012	.003
		H	.26	.16	.11	.075	.039	.011
	75	P	.17	.10	.06	.031	.011	.003
		H	.17	.12	.09	.067	.038	.011
Arbustos o matorrales (hasta 2 m. de altura)	25	P	.40	.18	.09	.040	.013	.003
		H	.40	.22	.14	.085	.042	.011
	50	P	.34	.16	.085	.038	.012	.003
		H	.34	.19	.13	.081	.041	.011
	75	P	.28	.14	.08	.036	.012	.003
		H	.28	.17	.12	.077	.040	.011
Arboles (hasta 4 m. de altura)	25	P	.42	.19	.10	.041	.013	.003
		H	.42	.23	.14	.087	.042	.011
	50	P	.39	.18	.09	.040	.013	.003
		H	.39	.21	.14	.085	.042	.011
	75	P	.36	.17	.09	.039	.012	.003
		H	.36	.20	.13	.083	.041	.011

* P = Cubierta Superficial formada por pastos

H = Cubierta Superficial formada por un estrato herbáceo

4.7.3 Plano de Índice de Cobertura Vegetal

El factor de cobertura vegetal está definido por el uso actual del suelo, a cada uso se le asigna un valor, de acuerdo a la eficiencia, para reducir la erosión.

El valor de la cobertura C, es numérico y multiplicativo y varía de 0 a 1, cuando C es igual a 1, se considera que no existe vegetación y que el suelo se encuentra en laboreo continuo. Y a medida que aumenta la cobertura vegetal, en densidad como en frecuencia, este valor tiende a disminuir.

Los usos delimitados dentro de la zona de trabajo son:

- a) Agricultura de temporal.
- b) Bosque mixto.
- c) Pastizal.
- d) Matorral xerófilo, y
- e) Áreas desprovistas de vegetación.

Los valores de C, asignados son los que propone Figueroa (1975), así a la agricultura le correspondió 0.64; bosque 0.04; pastizal 0.10; matorral xerófilo 0.13 y a las áreas desprovistas de vegetación 1.00

Obtenidos los valores de C, se elabora el plano de este factor tomando como base las cartas de uso de suelo, dándole a cada uso el valor correspondiente.

Debido a que no están disponibles las cartas de uso del suelo para la zona de estudio, se elaboró ésta en base a la carta topográfica, urbana y ha recorridos en la cuenca, tomando como puntos de apoyo a los linderos de los terrenos, carreteras, líneas de transmisión, entre otros.

El efecto benéfico de la cobertura vegetal sobre el control de la erosión, Figueroa (1975), menciona que la vegetación reduce la erosión hídrica de la siguiente manera:

- 1) La vegetación amortigua la energía de las gotas de lluvia, que de otra manera disgregaría las partículas de suelo bloqueando los poros del mismo, evitando la infiltración y provocando la escorrentía.
- 2) La vegetación reduce la velocidad de escorrentía debido a que aumenta la rugosidad hidráulica del flujo superficial, reduce la inclinación de la pendiente, debido a que obliga al flujo superficial a moverse en forma de sinuosidades ladere abajo, y con frecuencia disminuye la velocidad de escorrentía manteniendo una alta velocidad de infiltración.
- 3) Otra forma en que la vegetación reduce la erosión es a través de su influencia en el agua disponible en el perfil. La vegetación actúa como una bomba que remueve el agua de las capas superficiales del suelo, creando entonces un potencial mayor para el almacenamiento de las lluvias posteriores. Por varias razones, un suelo en que la vegetación ha disminuido el agua aprovechable hasta cerca del punto de marchitamiento permanente de las plantas, tendrá varios centímetros más de capacidad de almacenamiento que cuando el agua está cerca de la capacidad de campo. En contraste normalmente las coberturas vegetales no incrementan el almacenamiento de agua, ya que no utilizan el agua que se encuentra por debajo de la superficie del suelo como, lo hace la vegetación viva, y además reducen la evaporación del suelo.

4.8 Plano de Velocidad Actual de Erosión

La velocidad actual de erosión de un terreno determinada o el valor que más se aproxima a este concepto, se obtiene al considerar en su conjunto las condiciones presentes del mismo terreno. Estas condiciones están representadas en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo por los factores R, K, L, S, C y F.

Para elaborar este plano se procedió de la siguiente manera:

- 1) De los valores del plano de riesgo potencial de erosión (ver cuadro 13) a la clase Muy Baja le corresponde 7.5, al Bajo 32.5, al Moderado 125, al Alto 600 y al Muy Alto 1,200 ton/ha/año, que resultan ser el valor medio del rango de cada grado.
- 2) A este plano de valores medios se sobrepone al plano de Cobertura Vegetal, elaborado anteriormente en el punto 4.7.3
- 3) De la multiplicación de estos valores, se genera el plano 7, que corresponde al de velocidad actual de erosión.

Debido a lo heterogéneo de los valores resultantes, se agrupan en cinco clases, de acuerdo al cuadro 19 .

Cuadro 19 Rangos de Velocidad Actual de Erosión

Velocidad Actual de Erosión	Rango, en ton/ha/año	\bar{X}
Muy Baja (MB)	0 - 15	7.5
Baja (B)	15 - 50	32.5
Moderada (M)	50 - 200	125.0
Alta (A)	200 - 1000	600.0
Muy Alta (MA)	> 1000	1,200.0

Estos rangos son los utilizados por Figueroa et al (1982) y se adoptaron por estar a la misma escala.

El factor P, de prácticas de control de la erosión o manejo del terreno, al igual que el factor cobertura vegetal, son atenuantes del proceso erosivo y su valor va de 0 a I y es multiplicativo. El factor P no se aplicó debido al número limitado de obras de conservación del suelo y agua en la cuenca estudiada.

4.9 Erosión Media Ponderada y Tasa de Aporte de Sedimentos

4.9.1 Erosión Media Ponderada

Para conocer el valor de pérdida de suelo de la cuenca, como una área global, se procederá a calcular la erosión media ponderada, para la velocidad actual de erosión y también para el riesgo potencial. La fórmula a emplear es la siguiente:

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{A_p \cdot \bar{X}}{A_t} \quad (14)$$

Donde:

\bar{E} = Erosión media ponderada

A_p = Área parcial de cada grado de erosión

\bar{X} = Valor medio del producto R,K,LS y C para cada área parcial.

A_t = Área total de la cuenca

n = Número de las diferentes clases de erosión, presentes en la cuenca.

4.9.2 Tasa de Aporte de Sedimentos

Si se compara el valor de la erosión con los sedimentos producidos en pequeñas áreas, probablemente ambos tengan el mismo valor o muy semejante, sin embargo al incrementarse el área de drenaje existe una mayor sedimentación de partículas de suelo en el recorrido de los escurrimientos y consecuentemente hay mayor diferencia entre la erosión y la producción de sedimentos: la relación que existe entre erosión y producción de sedimentos se denomina tasa de aporte o entrega de sedimentos.

Según Robinson, mencionado por Velázquez (1984), en una -

cuenca de las dimensiones de la que está bajo estudio le corresponde una tasa de entrega de sedimentos de 0.13, como se muestra en el siguiente cuadro 20 .

Cuadro 20 Efecto del Area de la Cuenca en la Tasa de Entrega de Sedimentos, Robinson (1977).

Área de la Cuenca km ²	Tasa de Entrega de Sedimentos.
0.1	0.53
0.5	0.39
1.0	0.35
5.0	0.27
10.0	0.24
50.0	0.15
100.0	0.13
200.0	0.11
500.0	0.085

5 RESULTADOS

5.1 Plano de Velocidad Actual de Erosión

Realizando un análisis de los resultados del plano 7 de velocidad actual de erosión, como se menciona en el cuadro 21, se observa que el grado de erosión muy bajo (MB), es el que abarca la mayor superficie dentro de la cuenca con 7,908.6 ha., que representan el 67.86 % con respecto al total de la misma, y como se menciona en el cuadro 19 le corresponde a ésta clase, una pérdida de suelo menor de 15.0 ton/ha/año, siendo su valor promedio de 7.5 .

Este grado de erosión se localiza principalmente en áreas planas o ligeramente onduladas, con pendientes de 0 a 5 %; como son los alrededores de los poblados de Tlazazalca, Purépero y Dos Estrellas. Además en toda la Loma conocida como el Cerrillo, aunque aquí el rango de pendiente es de 5 a 10 %, en la Mesa el Chapín y en todos los terrenos dedicados a la agricultura de temporal.

También se presenta en la ladera oeste del cerro la Cruz y en las laderas de los cerros el Cuije, Loma la Guajolota, Tule, Enmedio (el Agua) y Picacho, en pendientes del 10 hasta 20 %.

Las unidades de suelo encontradas en estos terrenos son los Vertisoles con textura fina, Feozem de textura media y fina. Andosoles y Luvisoles, ambos de textura media. Sobre estos suelos se practica la agricultura de temporal, básicamente en los Vertisoles y Feozem, y se desarrolla el Bosque Mixto y el Matorral Xerófilo.

- El segundo grado más importante, en cuanto a extensión se refiere es el bajo (B) con 2,032.3 ha., equivalentes al 17.44 % del total de la cuenca.

Bajo este grado de erosión se pierden un promedio de 32.5 ton/

ha/ año de suelo.

Se localiza en el norte, sur y este del área de estudio. Una de ellas va desde el poblado Mesón del Pájaro hasta el Rancho conocido como Pozo Viejo; otra está al sureste de Tlazazalca, ambas en pendientes que tienen un rango de 0 a 5 %. Además de las que se presentan en las cimas de los cerros la Cruz, Tule, Enmedio (el Agua) y Tlacuache y el Costal, con pendientes mayores del 20 %.

Con lo que respecta a las unidades de suelo, estas son de Andosoles con textura media, Vertisoles y Luvisoles de Textura fina y Cambisoles de textura media. La comunidad vegetal que sustentan estos suelos es el Bosque Mixto y el Matorral Xerófilo, y se practica la agricultura de temporal.

Cuadro 21 Clave y Nombre del Grado de Velocidad Actual de Erosión, Superficie en Ha., y Porcentaje Total

Clave	Nombre del Grado	Superficie en Ha.	Porcentaje
MB	Muy Bajo	7,908.6	67.86
B	Bajo	2,032.3	17.44
M	Moderado	870.4	7.47
A	Alto	453.7	3.89
MA	Muy Alto	15.3	0.13
	Suma Parcial	11,280.3	96.79
	Cuerpos de Agua	6.3	0.05
	Zonas Urbanas	368.4	3.16
	Total de la Cuenca	11,655.0	100.00

- La clase de erosión moderada (M) ocupa una superficie de 870.4 ha., esto es el 7.47 % en relación al total. Anualmente pierde una cantidad promedio de 125 ton/ha de suelo.

Se ubica generalmente en sitios que presentan un grado de pendiente mayor de 5 %, predominando las mayores del 20 %, las áreas más grandes se localizan al sur de la Ciudad de Purápelo, aunque existen otras de menor dimensión en las cimas de los cerros el Cuije, Enmedio y Tzantzán, además de otras esparcidas en la cuenca.

Los suelos que dominan son Andosoles de textura media, Luvisoles de textura media y fina, Vertisoles de textura fina y los Cambisoles de textura media, en estas unidades se desarrolla la asociación vegetal de Matorral Xerófilo y también están dedicadas a la agricultura de temporal.

- El grado de erosión alto (A) cubre una extensión de 453.7 ha., que representan el 3.89 %. Este grado de erosión pierde en promedio 600 ton/ha/año de suelo.

Los terrenos más grandes se encuentran al sur de la Ciudad de Purápelo, sobre las laderas de los cerros el Costal (cubre la Barranca llamada Honda, la de Chupaderos y Coyotes) y el Tlacuache; en el primero la pendiente es mayor del 20 % y en el segundo es de 10 a 15 %, 15 a 20 % y mayor de 20 %. Hay otras zonas con este grado de erosión al este de la cuenca, en una parte de la cima del cerro Patacutiro y otra al este de la Mesa conocida como Chapín, entre otras. Básicamente las unidades de suelo son Luvisoles de textura media y fina y Andosoles de textura media, sobre ambos se practica la agricultura de temporal.

- A la clase de erosión muy alta (MA) le corresponden 15.3

hectáreas, que equivalen al 0.13 % del total de la cuenca. Su pérdida de suelo es de 1,200 ton/ha/año .

Cubre la menor superficie dentro del área de estudio, los terrenos que presentan ésta erosión son los más afectados, de acuerdo a la clasificación utilizada. Los lugares con este grado de erosión son dos, y se localizan al este de la Ciudad de Purépero, uno tiene un rango de pendiente de 15 a 20 % y unidad de suelo Vertisol de textura fina y se localiza al sur de Milpas Viejas.

El otro lugar tiene una pendiente mayor de 20 % con suelo Vertisol y textura fina y se encuentra aproximadamente al oeste de la Mesa el Chapin. Ambas áreas tienen escasa protección de la vegetación, por lo que se clasificó el uso actual del suelo como desprovistas de vegetación.

En lo que respecta a los cuerpos de agua, cubren una superficie de 6.3 ha (0.05 %), se localizan dos zonas importantes, una al sur de Milpas Viejas y la otra en la cima del cerro el Tule.

Finalmente la superficie urbana asciende a 368.4 hectáreas, esto es el 3.16 % del total. Las poblaciones más importantes en cuanto a superficie y comercio se refiere son las de Purépero y Mazazalca.

5.2 Comparación del Plano de Velocidad Actual contra el de Riesgo Potencial de Erosión.

El grado de velocidad actual de erosión muy bajo (MB), cubre una superficie de 7,908.6 ha contra 5,058.6 ha , de riesgo potencial, según el cuadro 22.

El grado de erosión muy bajo se presenta generalmente en áreas planas, excepto en las laderas del cerro la Cruz, donde la pendiente es hasta del 15 %; en el cerro el Cuije y en la Loma el Cerrillo el rango de inclinación de pendiente es de 5 a 10 %; en una zona que se localiza entre el cerro de Enmedio y Tzantzan es de 10 a 15 % (relieve ondulado) y en las laderas de los cerros el Tule, de Enmedio (el Agua) y Picacho, domina el de 15 a 20 %.

En las áreas planas se práctica la agricultura de temporal, en suelos Vertisoles y Feozem y pierden en promedio 7.5 ton/ha/año de suelo, según el cuadro 13 . Esta pérdida es tanto en el plano de riesgo potencial como en el de velocidad actual, como se observa, la cantidad no cambia debido principalmente al relieve y al uso actual del suelo.

No obstante, hay dos sitios dedicados a pastizales donde la cantidad de suelo perdido puede ser mayor si se altera la cubierta vegetal. El primer sitio va aproximadamente desde las cejas la Cuesta y el Espinal hasta el poblado de Tlazazalca, a lo largo, y del Río Purízaró (parte sur) hasta la Barranca Honda, a lo ancho. Este terreno aunque tiene un rango de pendiente de 0 a 5 %, puede llegar a perder 32.5 ton/ha/año de suelo. El otro sitio se localiza al este de la cuenca, es una zona que se encuentra entre el cerro de Enmedio y el Tzantzan. Por su velocidad actual de erosión se clasifi

Cuadro 22 Grados de Velocidad Actual de Erosión contra los de Riesgo Potencial

Velocidad Actual de Erosión				Riesgo Potencial	
Clave	Nombre del Grado	Superficie (Ha)	%	Superficie (Ha)	%
MB	Muy Bajo	7,908.6	67.86	5,058.6	43.40
B	Bajo	2,032.3	17.44	2,711.1	23.26
M	Moderado	870.4	7.47	2,027.7	17.40
A	Alto	453.7	3.89	1,232.4	10.58
MA	Muy Alto	15.3	0.13	250.5	2.15
	Suma Parcial	11,280.3	96.79	11,280.3	96.79

fica como muy bajo, pero su riesgo potencial de erosión es en promedio de 125 ton/ha/año de pérdida de suelo.

En el cerro la Cruz, el relieve es ondulado y tiene unidad de suelo Litosol, sobre el que se desarrolla la vegetación de Matorral Xerófilo, que hace que la velocidad actual de erosión sea de 7.5 ton/ha/año y de no conservarse ésta vegetación, el riesgo potencial será en promedio de 32.5 ton/ha/año.

En las laderas de los cerros el Tule, de Enmedio (el Agua) y Picacho, se presenta la mayor cantidad de lluvia, alcanza las mayores altitudes, y las corrientes superficiales tienen mayor longitud, el relieve va desde suavemente ondulado hasta el quebrado, con suelos Andosoles que sustentan la comunidad vegetal de Bosque Mixto. Bajo este uso es en el que menos se destruye el suelo como recurso natural, por lo que es muy importante que se siga manteniendo este uso del suelo, ya que el riesgo potencial de la zona es moderado.

En el trabajo de campo este grado de erosión (MB), sometido a un uso de suelo agrícola mostró pocas evidencias de erosión.

- La clase de la velocidad actual de erosión baja, tiene una superficie de 2,032.3 ha, contra 2,711.1 ha, de riesgo potencial.

Esta clase de erosión se localiza en la ladera sur y sureste del cerro la Cruz y en la cima del mismo, en pendientes que van desde el 5 hasta el 20 % (relieve suavemente ondulado hasta quebrado), donde se desarrolla la vegetación de Matorral Xerófilo sobre suelos Litosoles y Andosoles. Si altera la vegetación, ésta zona puede perder en promedio 125 ton/ha/año de suelo (riesgo potencial).

Otro lugar importante en cuanto a extensión se refiere, se lo

caliza al sur de la Ciudad de Purápuro, sobre las cimas y partes bajas (pie de monte), de los cerros el Costal y el Tlacuache, en pendientes normalmente mayores de 20 % (relieve escarpado), donde se desarrolla la vegetación de Bosque Mixto en unidades de suelos Luvisoles y Andisoles, ambos suelos son muy susceptibles a la erosión, sobre todo los Luvisoles. Aquí si hay un cambio de uso de suelo, se puede llegar a perder 600 ton/ha/año de suelo, y en el cerro el Tlacuache esto puede ser hasta de 1,200 ton/ha/año.

Hay otra zona entre el Mesón del Pájaro y el Rancho Pozo Viejo, que tiene un relieve plano y está destinada a la agricultura, las unidades de suelo son Vertisoles y Cambisoles, los primeros son de baja susceptibilidad a la erosión y los segundos de moderada. Aquí se puede llegar a perder un promedio anual de 32.5 ton/ha, ésta cantidad es igual a la pérdida actual, esto se debe a la amplitud de los rangos utilizados.

También se localiza en la cima de los cerros el Tule y de Enmedio (el Agua) a una altura mayor de 3,000 m.s.n.m. , en terreno escarpado (pendiente mayor del 20 %), con suelo Andosol, donde se desarrolla la comunidad vegetal de Bosque Mixto. Si se pierde o se altera ésta comunidad, se puede llegar a perder anualmente un promedio de 600 ton/ha de suelo.

Existen otras áreas de menor tamaño dentro de la cuenca, pero las mencionadas anteriormente son las más importantes.

En las áreas dedicadas a la agricultura de temporal y pastizales, se observó en la verificación del trabajo de campo, pequeñas cárcavas causadas por carecer de vegetación.

- La velocidad actual de erosión moderada abarca una extensión de 870.4 ha, contra 2,027.7 ha, de riesgo potencial.

La zona más importante en cuanto a extensión se refiere se localiza al sur de la Ciudad de Purépero, cubriendo una parte de las laderas del cerro el Flacuache y una pequeña del Costal, las pendientes son mayores del 10% (el relieve va de suavemente ondulado hasta el cerril o quebrado) y su uso de suelo es de Matorral Xerófilo, Agrícola y Bosque Mixto. Los suelos son Andosoles, Luvisoles y Cambisoles, en términos generales estos son muy susceptibles a la erosión, sobre todo por el relieve. Es muy importante que se conserve este uso, ya que si se altera puede perder un promedio de 600 ton/ha/año de suelo.

También se presenta en la parte alta de las laderas del cerro la Cruz, en pendientes onduladas y escarpadas, y en donde se desarrolla la vegetación de Matorral Xerófilo.

Al momento de realizar el trabajo de campo, se apreció erosión en forma de canalillos y pequeñas cárcavas, en las regiones donde se practica la agricultura de temporal.

- Con lo que respecta a la velocidad actual de erosión alta, cubre una superficie de 453.7 ha, contra 1,232.4 de riesgo potencial.

Se presenta en las laderas de los cerros el Costal y el Flacuache, en pendientes mayores del 20 %, en unidades de suelo Luvisoles y Andosoles que se caracterizan por ser muy susceptibles a la erosión. El uso actual del suelo es Agrícola, aquí su riesgo potencial es alto, su promedio es de 600 ton/ha/año y es la misma cantidad para el riesgo potencial de erosión. Esto es debido a los rangos empleados (200 a 1,000 en este caso), utilizados para agrupar el producto de los valores R, K, I y S , donde el valor medio

del rango mencionado se multiplicó por el valor de C correspondiente para el uso agrícola, lo que hizo caer a este valor medio multiplicado por el de C correspondiente, dentro del mismo rango.

Hay otros dos lugares con este grado de erosión, uno está en la cima del cerro Patacutiro y el otro al este de la Mesa el Chapin, en pendientes de 15 a 20 % (relieve quebrado) y mayor de 20 % respectivamente. Ambos con suelo Luvisol y Andosol y uso actual Agrícola. En estos lugares el riesgo potencial es muy alto.

Para las áreas delimitadas en gabinete y corroboradas en el campo, con riesgo potencial alto y muy alto, que han sido desprovistas de vegetación, presentan erosión en forma laminar, pedestales y cárcavas.

- El grado de erosión muy alto dentro de la cuenca, se localiza únicamente en dos zonas: al este de la Ciudad de Parípero, ambas. Una tiene un rango de pendiente de 15 a 20 % y unidad de suelo Vertisol y se localiza al sur de Milpas Viejas y la otra presenta una pendiente mayor del 20%, suelo Vertisol y se encuentra al oeste de la Mesa el Chapin.

En ambas zonas el uso del suelo se clasificó como áreas desprovistas de vegetación, por lo que su velocidad actual es muy alto con una pérdida promedio anual de 1,200 ton/ha, ésta cantidad es igual que su riesgo potencial. Con alguna cubierta vegetal, la clase de erosión muy alta tenderá a disminuir.

En el plano 6 se muestra la localización de las clases de riesgo potencial de erosión.

5.3 Erosión Media Ponderada y Tasa de Aporte de Sedimentos.

Aplicando la ecuación 14, se encontró que el valor medio ponderado de la velocidad actual de erosión a nivel cuenca es de - 46.53 ton/ha/año, a la que corresponde la clase de erosión baja.

Esta cantidad de suelo perdido equivale a una lámina de suelo de 3.58 mm, considerando una densidad aparente de 1.3 g/cm^3 de suelo.

Principalmente la cubierta vegetal es la que ha permitido que la erosión se mantenga en niveles bajos, como se menciono anteriormente y de acuerdo a la metodología empleada. Sin embargo se encuentra por arriba del límite aceptable de pérdida de suelo (ver cuadro 1) que es de 11 ton/ha/año, para los suelos con profundidad mayor de 100 cm, por lo que hay una pérdida adicional de 35.53

Por lo tanto se hace necesario realizar diversas obras de conservación del suelo y agua, para mantener las pérdidas de suelo con la velocidad de formación del mismo, y de esta manera conservar estos dos recursos naturales, fundamentales para el crecimiento y desarrollo de la sociedad que habita y vive de la cuenca del Río Furzaro.

Con lo que respecta a los sedimentos y considerando el valor medio ponderado de velocidad actual de erosión, así como la superficie del área en estudio, ésta tiene una producción de sedimentos de 70,499.92 ton/año, lo que equivale a una lámina de 0.465 mm, los sedimentos son aportados en forma equitativa en el área total, con la densidad aparente ya mencionada. Los principales daños ocasionados por los sedimentos, a través de las cárcavas es el azolve de los vasos de almacenamiento y cauces naturales localizados en

la parte baja de la cuenca, con el consecuente arrastre del suelo fértil. haciendo que se reduzca la fertilidad del mismo, lo cual representa una pérdida económica para el campesino ya que para mantenerlos productivos hay que adicionar los insumos que requieran para el sostenimiento de la producción.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los objetivos planteados se llevaron a cabo satisfactoriamente, ya que fue posible calcular la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en la Cuenca del río Purúzaro, utilizando métodos alternos para el cálculo de algunos factores originales de dicha ecuación.

La caracterización del medio físico al igual que el uso del suelo, fueron un auxiliar en el desarrollo de la ecuación.

También las hipótesis planteadas fueron corroboradas y se encontró que en realidad las prácticas agropecuarias están directamente relacionadas con la erosión, ya que las áreas más erosionadas son las localizadas en fuertes pendientes (terreno escarpado) y con uso actual del suelo de agricultura de temporal. Además la E.U.P.S., utilizada empleando métodos cartográficos paramétricos, permitió localizar las áreas erosionadas.

Las zonas más afectadas por erosión se localizan al este de la Ciudad de Purépero, una está al sur de Milpas Viejas y, la otra en una zona adyacente a la Mesa el Chapin. Por su uso del suelo se clasificaron como desprovistas de vegetación y se presentan en terreno quebrado y escarpado respectivamente, se clasificaron con un grado Muy Alto de pérdida de suelo.

Con respecto a los demás grados, Muy Bajo (MB) y Bajo (B), cubren una superficie dentro de la cuenca del 85.30 %, ubicándose principalmente sobre las áreas planas, (pendientes menores del 5%) en donde se practica la agricultura de temporal, y en pendientes mayores, con un uso del suelo de bosque mixto. Los factores que in-

fluyen directamente para que la erosión no se manifieste, es el relieve plano en primer término y en segundo, la cobertura del suelo (bosque mixto) en áreas con relieve abrupto o cerril. Con lo que respecta a los grados Moderado (M) y Alto (A), ocupan el 11.36 % de la superficie total de la cuenca. En estas clases dominan las pendientes mayores del 20 % (terrenos escarpados) y el uso a que está sometido el suelo es la agricultura de temporal. Estos dos factores son desfavorables, ya que son los que más inciden en paisajes con presencia de erosión, si no se da un buen manejo a los suelos.

Mediante recorridos de campo se verificó el plano de riesgo potencial de erosión, encontrándose que las zonas con erosión Muy Baja con uso agrícola, mostraban pocas evidencias de erosión hídrica. En áreas con erosión Baja, predominan los suelos profundos y usos agrícolas de temporal y pastizales, en las áreas desprovistas de vegetación se presentan pequeñas cárcavas. El riesgo potencial Moderado tiene una pendiente que va desde el 5 % hasta el 20 % y se práctica la agricultura de temporal, aquí se observó erosión en canalillos y pequeñas cárcavas. Y en los riesgos Alto y Muy Alto, en zonas desprovistas de vegetación hay erosión laminar, en pedestales y cárcavas en pendientes desde el 10 hasta mayor de 20%.

Por lo que toca a la clasificación y medida de las clases de erosión empleadas en este trabajo, se observó al concluir la elaboración de los planos, que en el de riesgo potencial de erosión, los rangos para clasificar los grados de erosión, resultaron amplios, sobre todo del Moderado, Alto y Muy Alto a los cuales les correspondió un valor numérico de 50 a 200, 200 a 1000 y mayor de 1000 ton/ha/año respectivamente. Ya que para poder multiplicarlos (los

valores del plano del riesgo potencial por los del factor C) es necesario obtener el valor medio de cada uno de ellos, así para el grado Alto le corresponde un rango de 200 a 1000 ton/ha/año y su media es 600, y al tener un valor de 223.58 (riesgo de erosión) para multiplicarlo por su respectivo, del factor C, este se eleva hasta 600.

En la cuenca se observaron tres aspectos que influyen en la pérdida de suelo, principalmente en el período que corresponde a la época seca, y son:

- 1) Los incendios en los bosques y en pastizales, ambos casos generalmente son provocados y su causa obedece a aspectos económicos básicamente. En el bosque el incendio es de superficie, con la finalidad de que estas zonas se incorporen a los terrenos dedicados al pastoreo; en los pastizales los hacen con el objeto de eliminar plantas viejas de poco valor alimenticio con la posibilidad de crecimiento de renuevos tempraneros que ofrecen mayor valor nutritivo y crecen donde se quemó el pasto. Aunque esto tiene su riesgo como es la invasión de malas hierbas, muchas de las plantas al ser destruidas, se promueve la erosión del suelo a causa de la pérdida de cubierta vegetal, previo a la temporada de lluvias.
- 2) Desforestación de pequeñas áreas del bosque existentes en la cuenca, se tala con la finalidad de abrir nuevas tierras al cultivo. Esta desforestación aunada a las fuertes pendientes, a los suelos y a los escurrimientos superficiales fuertes, provocan que la erosión actual tienda a aumentar si se sigue manteniendo esto.
- 3) Tolvaneras (erosión eólica) en los terrenos dedicados a la agricultura de temporal, principalmente los localizados en las zonas planas, son propiciadas por la conjugación de tres elementos

que son: el clima (escasa precipitación y vientos), suelo (suelos secos y sueltos) y vegetación (escasa o ninguna cubierta vegetal). Se presenta este fenómeno que está aumentando paulativamente y que para los lugareños no tiene importancia. Es importante recalcar que este fenómeno es tan perjudicial como la erosión hídrica, ya que Bennet menciona que una tolvanera en una superficie de $13\ 000\ \text{km}^2$ con una altura de $3,020\ \text{m}$ y una densidad específica de $0.17\ \text{g/m}^3$, existen $7'000,000$ de toneladas de sólidos en suspensión. Entre los daños ocasionados por la erosión eólica es la pérdida del material fino debido al transporte, disgregación de la estructura del suelo, los fertilizantes o herbicidas pueden perderse o redistribuirse, el impacto de la arena puede cortar plantas o dañar el follaje, favorece la propagación de enfermedades, entre otros.

En relación a los valores utilizados del factor C, cobertura vegetal, son muy altos, en comparación con otros, por lo que es conveniente que se evalúen localmente.

6.2 Recomendaciones

Las recomendaciones son hechas en base a la elaboración del plano 8 de Alternativas de Manejo. Para la elaboración de este, se sobrepone la información del plano de velocidad actual de erosión con los planos de uso de suelo y con el de rangos de pendientes.

Las áreas resultantes, se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 23 Recomendaciones

Grados de Erosión y Clave de Identificación.	Rango %	Uso del Suelo	Obras de Conservación
MB, B y M (1, 2 y 3)	0 - 5	Agricultura T. Pastizal Matorral Xerófilo.	Surcado al contorno. Aplicación de abonos verdes, estiercoles o residuos de cosecha. Pastores rotativo Plantaciones de nopal y maguey.
MB y B (4 y 5)	5 - 10	Agricultura T. Pastizal Bosque Mixto Matorral X.	Surcado al contorno. Aplicación de abonos verdes, estiercoles o residuos de cosecha. Rotación de Cultivos. Pastores rotativo. Reforestación. Plantación de nopal y maguey.
M (6)	5 - 10	Areas desprovistas de vegetación.	Promover la regeneración de la vegetación natural. Reforestación.
MB, B, M y A (7, 8, 9 y 10)	10 - 15	Agricultura T. Pastizal Bosque Mixto	Surcado al contorno. Aplicación de abonos verdes, estiercoles o residuos de cosecha. Cultivos en fajas.

		Areas desprovistas de vegetación.	Rotación de cultivos. Sistemas de pastoreo.Sistema de zanja y bordo a nivel
			Tinas ciegas.Reforestación. Sistema de zanja y bordo Promover la regeneración de la vegetación natural y Reforestación. Presas de control de azolves
MB y B (11 y 12)	15 - 20	Bosque Mixto Pastizal	Tinas ciegas.Reforestación Sistema de zanja y bordo Sistemas de pastoreo.Sistema de zanja y bordo a nivel
M, A y MA (13, 14 y 15)	15 - 20	Agricultura T. Areas desprovistas de vegetación.	Surcado al contorno.Aplicación de abonos verdes, estiercoles o residuos de cosecha.Cultivos en fajas. Rotación de cultivos. Reforestación. Presas de control de azolves
B y M (16 y 17)	20	Bosque Mixto Pastizal	Manejo del Bosque Manejo de Pastizales Presas de control de azolves.
A y KA (18 y 19)	20	Agricultura T. Areas desprovistas de vegetación.	Cambio de uso del suelo Reforestación Presas de control de azolves.

7. BIBLIOGRAFIA

1. ARNOLDUS, H.M.J. Predicting Soil Losses Due to Sheet and Rill Erosion. Roma, Land and Water Development Division, FAO. 25 p.
2. BERGSMAN, E. Indices of Rain Erosivity. Holanda, ITC Journal 4, 1981.
3. COLEGIO DE POSTGRADUADOS. Manual de Conservación del Suelo y Agua. 2 ed., México, Ed. C.P. 1982. 599 p.
4. CONSTANTINESCO, I. Conservación de Suelos para los Países en Desarrollo. Roma, FAO, 1976 (c 1976) 91 p. (Boletín de Suelos de la FAO No. 30).
5. CORREA, G. Geografía Física del Estado de Michoacán. Gobierno del Estado, 1979. 445 p.
6. DAUBENMIRE, R.F. Ecología Vegetal. 3 ed., Tr. Gabriela Berrendo. México, Ed. Limusa, 1982 (c 1982) 496 p.
7. DIR. GRAL. DE CONSERVACION DEL SUELO Y AGUA. Conservación del Suelo y Agua. México, Secretaría de Agricultura y Ganadería. 1975.
8. DIR. GRAL. DE DTOS. Y UNIDS. DE RIEGO . Estudios Generales de Agroclimatología. México, DGDUR, SARH. 1984. 51 p.
9. DIR. GRAL. DE GEOGRAFIA. Guías para la Interpretación de Cartografía. Topografía. México, SPP, 1981. 30 p.
10. ESPINOZA, J.M. Metodología para Cartografiar la Erosión Potencial. México, 1984. 126 p. Tesis (Licenciatura en Geografía) Universidad Nacional Autónoma de México.
11. FIGUEROA, Benjamín. Pérdidas de Suelo y Nutrientes y su Relación con el Uso del Suelo en la Cuenca del Río Tezcoco. Chapingo, México, 1975. 168 p. Tesis (M.C. en Agronomía) Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados.

12. FIGUEROA, B. et al Comparación de Índices de Erosividad para la Zona Semiárida del Estado de Querétaro. México, Memorias del 15º Congreso de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, 1982.
13. FIGUEROA, B. et al. Estudio de Riesgo y Potencial de Erosión de la Cuenca Occidental de la Laguna Zapotlán, Edo. de Jalisco. México, DGCSA, SARH, 1982: Inédito.
14. FLORES M, G. Uso, Manejo y Conservación de Tierras y Aguas en México. México, Subdirección de Agrología, SARH, 1981. 35 p.
15. GOMEZ MORALES, S.B. Estudio Agroclimático del Distrito de Temporal No. VI Tehuacán, Puebla. Chapingo, México, 1984. 180 p. (Ingeniero Agrónomo) Universidad Autónoma de Chapingo.
16. G.Y.C.S.A. Inventario de Areas Erosionadas y Unidades de Suelos del Estado de Michoacán. México, DGCSA, SARH , 1984. 108 p.
17. HUANG T, Walter. Petrología. Tr. Rafael García. México, Ed. UTEHA, 1968 (c 1968) 525 p.
18. HUDSON, Norman. Conservación del Suelo. Tr. José María García y Juan Pablo Martínez. España, Ed. Reverté, 1982. 335 p.
19. JIMENEZ LOPEZ, Jorge. Cálculo del Clima de Acuerdo al Segundo Sistema de Thornthwaite. 2 ed., México, Dir. Gral. de Estudios, SARH, 1978. 95 p. (publicación No. 7).
20. KIRKBY, M.J. y R.P.C. Morgan comp. Erosión de Suelos. Tr. José Hurtado. México, Ed. Limusa, 1984 (c 1984) 375 p.
21. LEET, D.L. y Sheldon Judson. Fundamentos de Geología Física. 5 ed. Tr. Luis Benavides. México, Ed. Limusa, 1980 (c 1980) 450 p.
22. LONGWELL, Chester y Richard F. Flint. Geología Física. 3 ed., Tr. Luis Benavides. México, Ed. Limusa, 1978 (c 1965) 545 p.

23. LOPEZ, C.F. Apuntes de Hidrología Forestal. Madrid, Escuela de Hidrología, 1967. Inéditos.
24. MADRIGAL, S.X. Claves para la Identificación de las Coníferas Silvestres del Estado de Michoacán. México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, SARH. 1982 (Boletín No. 58).
25. MENDEZ ALFARO, Medardo. Normas para Escribir Artículos Científicos Agrícolas. México, DGDUR, SARH. 1979. 90 p. (Memorandum Técnico No. 390).
26. MORGAN, R.P.C. Soil Erosion. Great Britain, Ed. Longman Group LTD, 1979. 111 p. (Topics in applied geography).
27. MUNGUIA Z, Irma y José Manuel Salcedo. Redacción e Investigación Documental 1. 2 ed., México, Universidad Pedagógica Nacional, 1982. 173 p.
28. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. Roma, FAO, 1980. 86 p.
29. OROZCO SANTOYO, Raúl et al. Manual para la Aplicación de las Cartas Edafológicas de Cetenal para Fines de Ingeniería Civil. México, Dir. Gral. de Estudios del Territorio Nacional, SPP, 1977 . 29 p.
30. ORTIZ SOLORIO, C.A. Elementos de Agrometeorología Cuantitativa. Chapingo, México, Depto. de Suelos, UACH. 1984. 235 p.
31. RIOS, J. Efecto de la Cobertura Vegetal en el Proceso Erosivo. Chapingo, México, 1987. Tesis (M.C. en Agronomía). Universidad Autónoma de Chapingo, Colegio de Postgraduados.
32. SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS. Atlas del Agua de la República Mexicana. México, SRH, 1976.

33. STRAHLER N, Arthur. Geografía Física. 6 ed., Tr. Ana María Guilló. Barcelona, Ed. Omega, 1982 (c 1982) 769 p.
34. TAMAYO, Jorge. Geografía Moderna de México. 9 ed., prólogo Angel Bassols. México, Ed. Trillas, 1982 (c 1953) 398 p.
35. TORRES R, Edmundo. Agro-Meteorología. México, Ed. Trillas, 1983 (c 1983) 149 p.
36. TRUEBA C, Alejandro. Evaluación de la Eficiencia de Cuatro Prácticas Mecánicas para Predecir las Pérdidas de Suelo y Nutrientes por Erosión Hídrica en Terrenos Agrícolas de Temporal. México, DGCSA, SARH, 1981. 180 p.
37. TRUEBA C, Alejandro y Andrés Benítez O. Percepción Remota, Principios y Aplicaciones. México, DGCSA, SARH, 1984. 138 p.
38. VELAZQUEZ I, Gustavo. Predicción de la Producción de Sedimentos en la Cuenca de la Laguna de Tuxpan, Guerrero. Cocula, 1984. 109 p. Tesis (Ingeniero Agrónomo) Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero.

8. GLOSARIO

1. Barbechar:
Arar o labrar la tierra disponiéndola para la siembra.
2. Bosque Mixto:
Bosque de pino-encino
3. Cobertura Vegetal:
Área que cubre en la superficie del suelo el haz de la proyección vertical del cuerpo de una planta o de un conjunto de plantas.
4. Comunidad Vegetal:
Conjunto de plantas, que viven en un habitat natural
5. Cuenca:
Es el área drenada por una corriente ó por un sistema de corrientes, cuyas aguas concurren a un punto de salida.
6. Curva de Nivel:
Es aquella que une a los puntos de igual elevación en una superficie determinada.
7. Degradación Especifica:
Término usado por Fournier para conocer la producción de sedimentos, y es la erosión total anual en una cuenca, medida en ton/km².
8. Densidad Aparente:
Es la masa (peso) por unidad de volumen de suelo seco.
El volumen considerado incluye las partículas sólidas del suelo y el espacio poroso. Se mide en g/ml en el sistema métrico.
9. Dispersión:
La destrucción de la estructura del suelo (rompimiento de los gránulos) de modo que cada partícula individual del suelo se comporta como una unidad.
10. EI₃₀:
Es el producto de la energía cinética total para una tormenta(evento) y la intensidad máxima de la lluvia

en 30 minutos.

11. Energía Cinética:

La energía cinética de la lluvia es estimada a partir de las relaciones entre el tamaño de las gotas individuales y la intensidad de la lluvia.

12. Erodabilidad del Suelo:

Es la vulnerabilidad o susceptibilidad del suelo a la erosión. Es función, tanto de las características físicas del suelo como del tratamiento de este.

13. Erosión:

Es el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes del intemperismo.

14. Erosión en Canalillos:

Es la remoción del suelo por el agua en pequeños surcos o arroyuelos cuando existe una concentración de flujo superficial.

15. Erosión Laminar:

Es la 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.

16. Erosividad de la Lluvia:

Es la capacidad potencial de la lluvia para provocar la erosión. Es función de las características físicas de la lluvia.

17. Escurrimiento Superficial:

Es la porción de la precipitación que fluye hacia los arroyos, canales, lagos u océanos como corriente superficial.

18. Estructura del Suelo:

Son los agregados morfológicos en los cuales están acomodadas las partículas individuales del suelo. Los

tipos comunes incluyen agregados en terrones, laminares, granulares y prismáticos.

19. Evento (Lluvia):
Precipitación de partículas de agua líquida en forma de gotas de diferentes diámetros.
20. Fertilidad del Suelo:
Es la cualidad que permite a un suelo proporcionar los nutrientes adecuados en cantidad y balance apropiado - para el crecimiento de plantas cuando otros factores, tales como la luz, temperatura y condiciones físicas del suelo, son favorables.
21. Horizontes de Diagnóstico:
Son horizontes específicos en los cuales un grupo de propiedades los caracterizan con bastante precisión y su utilidad básica es la clasificación de suelos.
22. Intensidad pluvial:
Es la cantidad de lluvia por unidad de tiempo.
23. KE 25:
Es un estimador de la erosividad, que consiste en medir la energía cinética total de la lluvia (eventos), para intensidades mayores de 25 mm. Se utiliza para las regiones tropicales e itertropicales.
24. Longitud de la Pendiente:
Es la distancia desde el punto de origen del escurrimiento superficial, a el punto donde el grado de la pendiente decrece lo suficiente para que la depositación empiece, o el escurrimiento entre a un canal bien definido, el cual puede ser parte de una red de drenaje natural, o un canal construido.
25. Manejo del Bosque:
Tiene como objetivo obtener los mejores beneficios eco-

nómicos sin descuidar la máxima y continua efectividad de la cubierta forestal y la protección del suelo contra la erosión.

26. Manejo de Pastizales:

Se define como la ciencia y arte de planificar y dirigir el uso de los recursos naturales a perpetuidad, sin deterioro de los mismos.

27. Matorral Xerófilo:

Comunidad vegetal adaptada a vivir en los medios secos.

28. Nomograma:

Representación gráfica, que permite encontrar, sin operación previa alguna, el resultado numérico de una fórmula matemática, conocidos los valores de los datos.

29. Paisaje:

La suma total de las características que distinguen una cierta área de la superficie terrestre de otras áreas. Estas características son el resultado no sólo de las fuerzas naturales, sino de su ocupación y uso por el hombre.

30. Parteaguas:

Línea que une los puntos de mayor nivel topográfico, de una cuenca, y que cruza la o las corrientes en los puntos de salida.

31. Permeabilidad:

Es la característica que determina la rapidez con la cual el aire y el agua fluyen a través del suelo.

32. Prácticas Mecánicas:

Son aquellas actividades que se realizan con implementos agrícolas, aditamentos especiales o mano de obra y consisten en realizar movimientos de tierra, con el fin de disminuir los escurrimientos superficiales y evitar la erosión en terrenos con pendiente.

33. Prácticas Vegetativas:

Son aquellas que consideran el desarrollo de plantas o cultivos, con la finalidad de mejorar la capacidad productiva de los terrenos y ayudar a disminuir la erosión del suelo.

34. Relieve:

Es el conjunto de formas del terreno, que caracterizan el aspecto de una región.

35. Riesgo Potencial de Erosión:

Es el producto de la influencia de los factores R (erosividad de la lluvia), K (erodabilidad del suelo), L (longitud de la pendiente) y S (grado de la pendiente), de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, que representa la predisposición de una zona a la pérdida de suelo.

36. Rotación de Cultivos:

Es la sucesión de de cultivos diferentes en ciclos continuos sobre una área de terreno determinada.

37. Sotobosque:

Vegetación que vive en el bosque, pero que es de menor altura que su arbolado.

38. Terrazas:

Son los terraplenes formados entre los bordos de tierra, o la combinación de bordos y canales, construidos en sentido perpendicular a la pendiente del terreno.

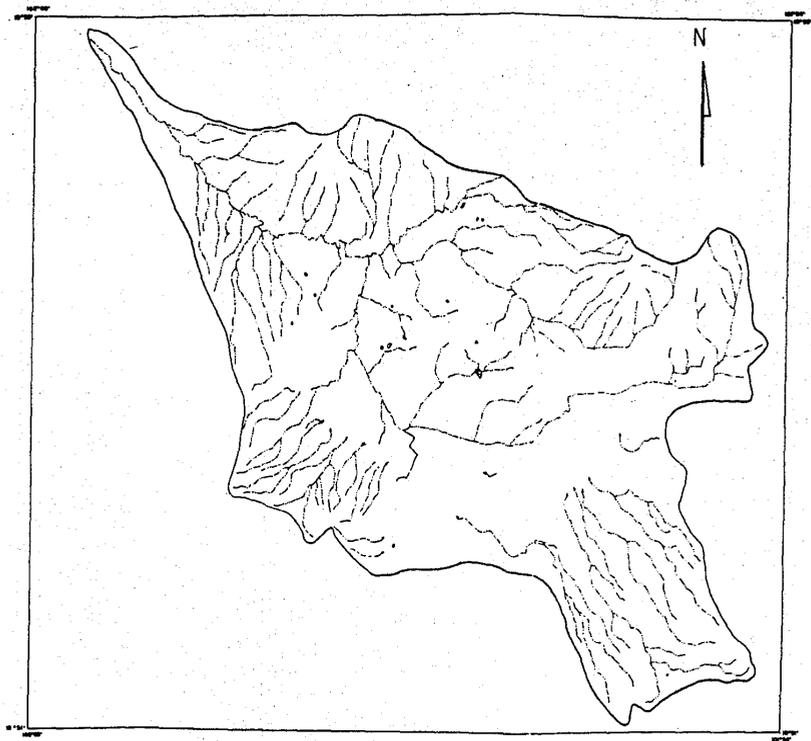
39. Textura del Suelo:

Se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla en el suelo.

40. Uso Actual del Suelo:

Se refiere a la utilización del terreno, que dentro de las operaciones agrícolas, ganaderas o silvícolas, se registran al momento de efectuar sus delimitaciones por este concepto.

A N E X O

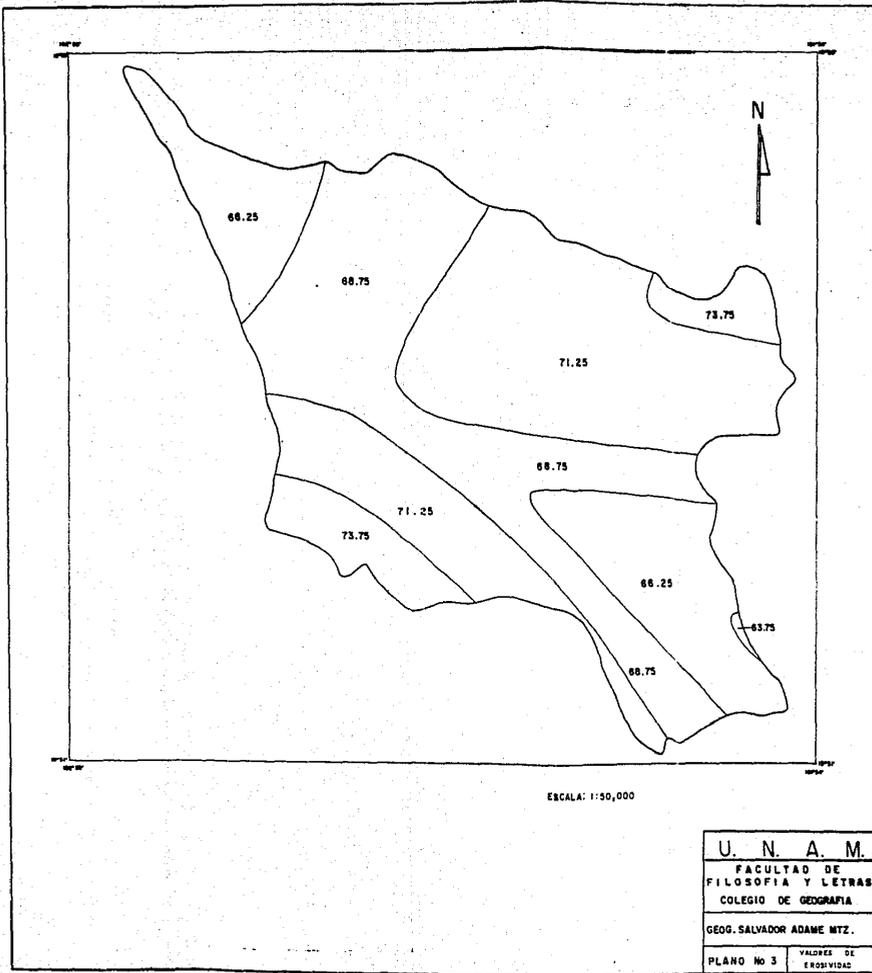


SIMBOLOGIA

- LIMITE DE LA CUENCA 
- RIO INTERMITENTE 
- CUERPOS DE AGUA 

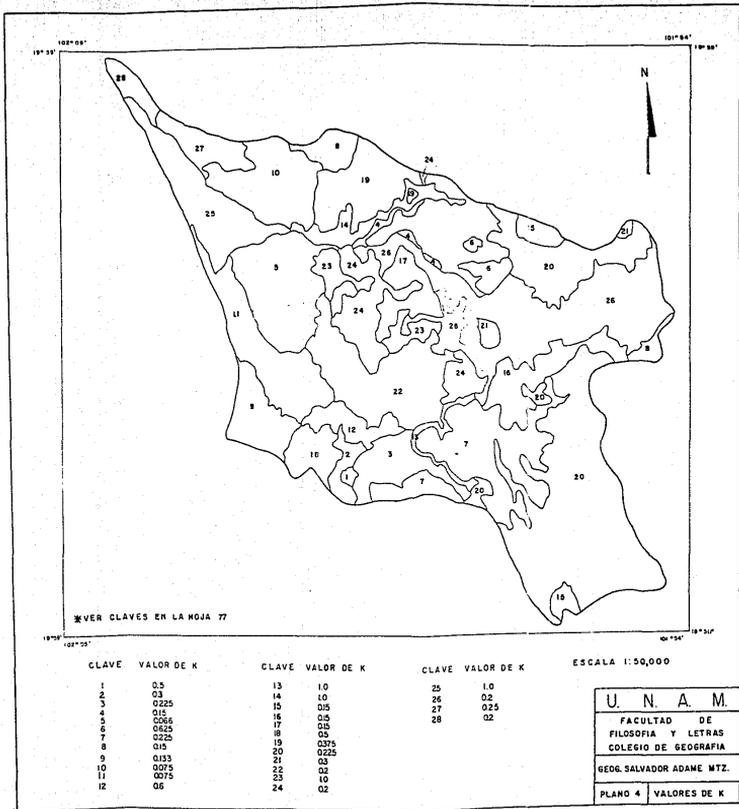
ESCALA, 1:50,000

U. N. A. M.	
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS	
COLEGIO DE GEOGRAFIA	
GEOG. SALVADOR ADAME MTZ.	
PLANO NO 2	RED DE DRENAJE

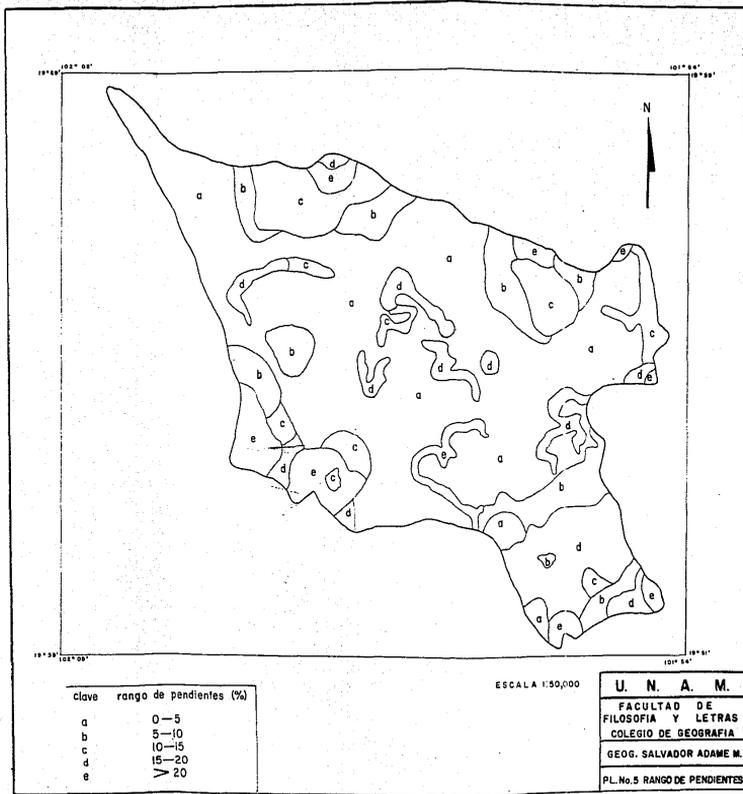


ESCALA: 1:50,000

U. N. A. M.	
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS	
COLEGIO DE GEOGRAFIA	
GEOG. SALVADOR ADAME MTZ.	
PLANO No 3	VALORES DE ERRORES



U. N. A. M.
 FACULTAD DE
 FILOSOFIA Y LETRAS
 COLEGIO DE GEOGRAFIA
 GEOG. SALVADOR ADAME MTZ.
 PLANO 4 VALORES DE K

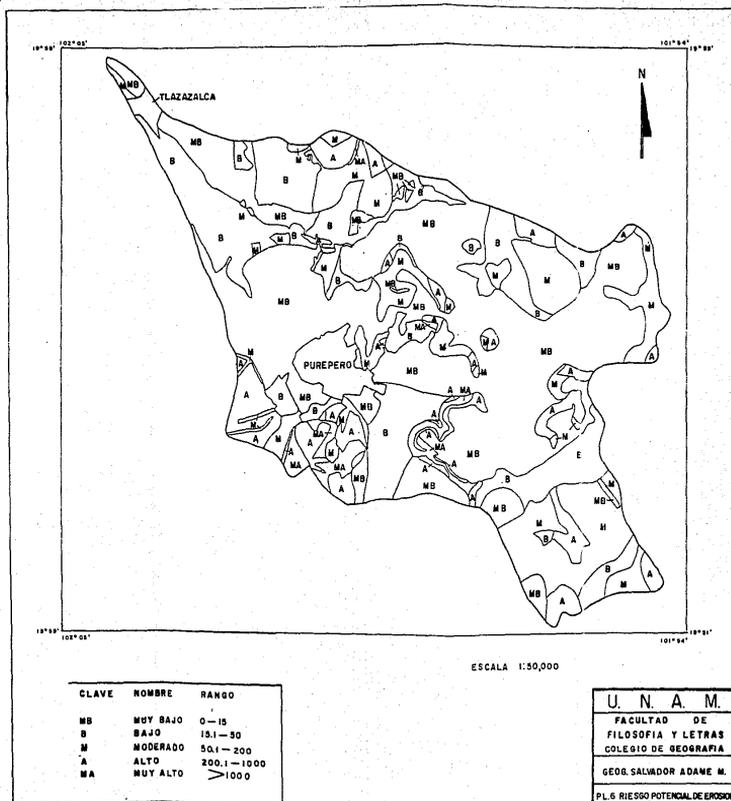


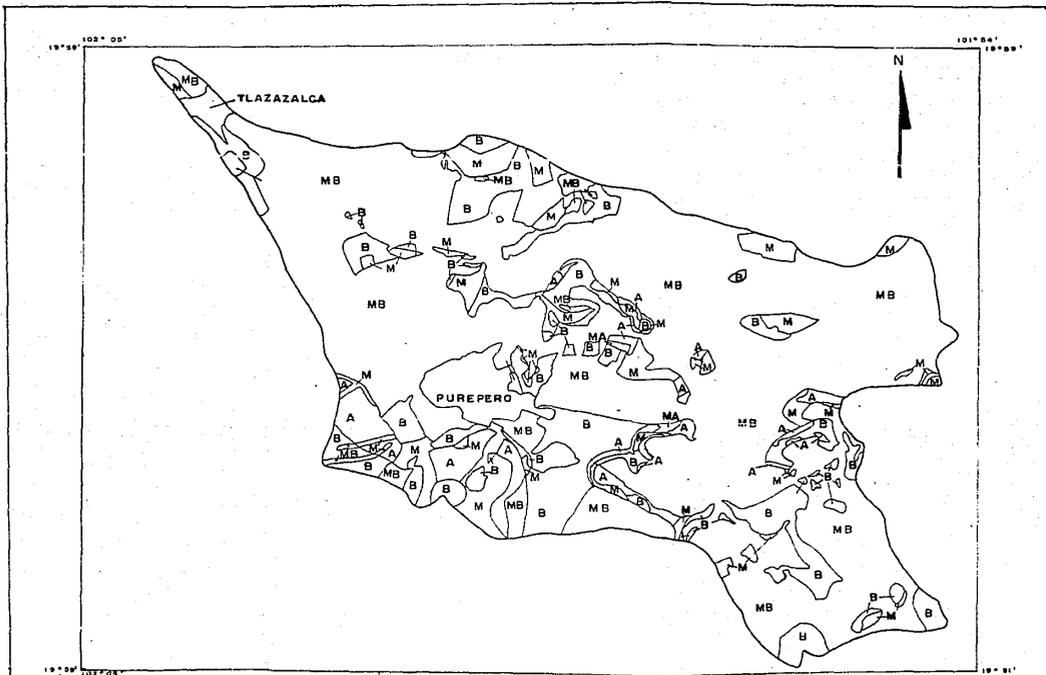
clave rango de pendientes (%)

a	0 - 5
b	5 - 10
c	10 - 15
d	15 - 20
e	V 20

ESCALA 1:50,000

U. N. A. M.
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA
GEOG. SALVADOR ADAME M.
PL.No.5 RANGO DE PENDIENTES

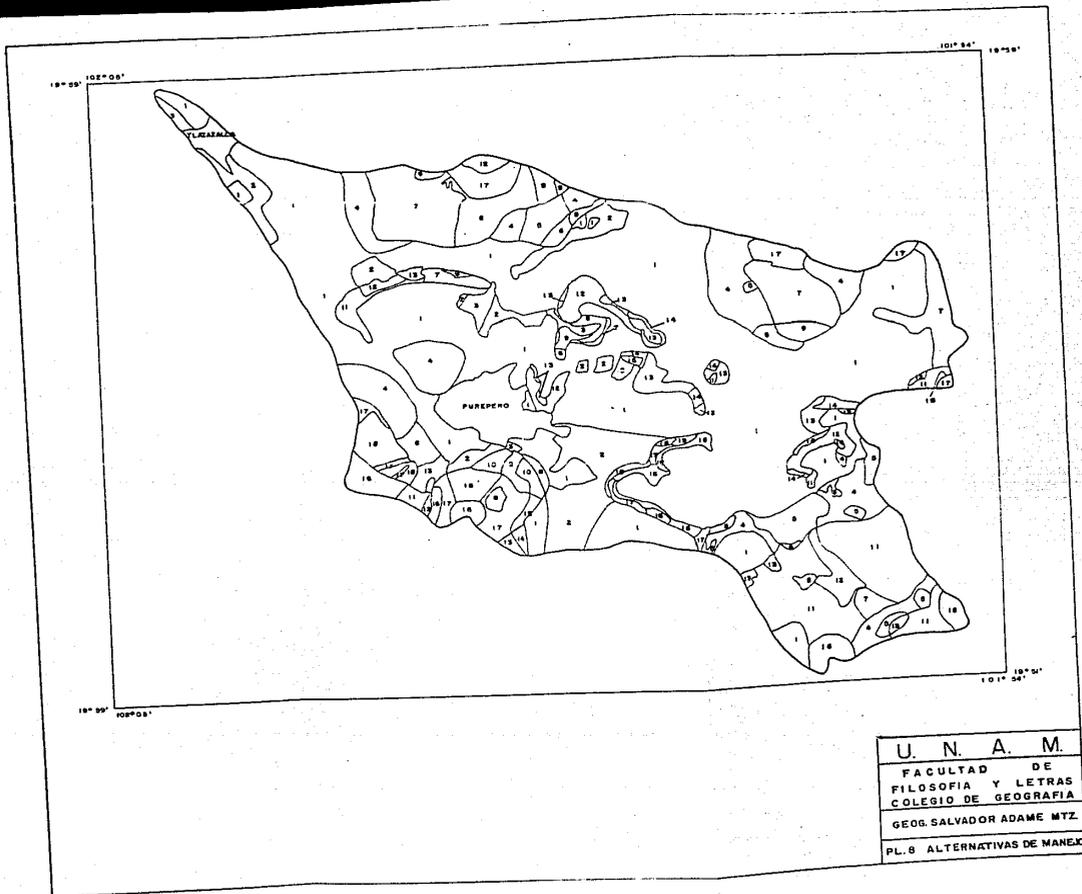




ESCALA 1: 50,000

CLAVE	NOMBRE	RANGO
MB	MUY BAJO	0 - 15
B	BAJO	15.1 - 50
M	MODERADO	50.1 - 200
A	ALTO	200.1 - 1000
MA	MUY ALTO	> 1000

U. N. A. M.	
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS COLEGIO DE GEOGRAFIA	
GEOG. SALVADOR ADAME M.	
PL. 7 VELOCIDAD ACTUAL DE ERRORES	



U. N. A. M.
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA
GEOG. SALVADOR ADAME MTZ.
PL. 8 ALTERNATIVAS DE MANEJO