

870132

3
2y.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

Incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México



ESCUELA DE INGENIERIA AGRICOLA



**METODO PARA EL CALCULO DE EROSION
DE SUELO**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

AREA AGROECOSISTEMAS

PRESENTA:

FALLA, DE ORIGEN

ROSA ELIOTE ENRIQUEZ NARAMORA

GUADALAJARA, JALISCO, 1986



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE GENERAL

	Pág.
Indice de cuadros - - - - -	
Indice de figuras - - - - -	
Introducción - - - - -	1
Objetivo - - - - -	3
Antecedentes - - - - -	4
Análisis de información - - - - -	8
Ejemplo de aplicación - - - - -	14
Potencialidades - - - - -	17
Materiales y Métodos - - - - -	23
Cálculo de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo - - - - -	24
Cálculo del factor R (erosividad) de la EUPS -	25
Cálculo del factor K (erodabilidad) de la EUPS	34
Cálculo del factor L (longitud) y S (grado de la pendiente) de la EUPS - - - - -	44
Conclusiones - - - - -	61
Resumen - - - - -	62
Bibliografía - - - - -	64

INDICE DE CUADROS

	Pág.
CUADRO 1.- Efecto de la variación de las pérdidas de suelo y su efecto en la productividad - -	5
CUADRO 2.- Pérdidas de suelo y su relación con las pérdidas de nutrimentos y costo por material perdido - - - - -	6
CUADRO 3.- Análisis de las pérdidas de suelo y su relación con las pérdidas de materia orgánica - - - - -	7
CUADRO 4.- Pérdidas de suelo permisibles - - - - -	9
CUADRO 5.- Valores del factor C para diferentes coberturas vegetales - - - - -	12
CUADRO 6.- Valores numéricos del factor de prácticas mecánicas (P) de la EUPS - - - - -	13
CUADRO 7.- Criterios para la planeación de obras de conservación del suelo y agua - - - - -	16
CUADRO 1-A Cálculo de la energía cinética - - - - -	33
CUADRO 2-A Factor de ajuste A para corrección a la carta de valores LS para segmentos sucesivos de una pendiente - - - - -	50

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 Efecto del rastrojo y cero labranza en las pérdidas del suelo para diferentes condiciones de pendiente - - - - -	18
Fig. 2 Efecto de los sistemas de manejo sobre la producción de maíz y pérdidas de suelo - -	19
Fig. 3 Efecto de los sistemas de labranza y precipitación en las pérdidas de suelo - - - -	21
Fig. 4 Eficiencia del pasto para reducir el proceso erosivo - - - - -	22
Fig. 1A Pluviograma y su división en seguimientos de igual intensidad - - - - -	29
Fig. 2A Cálculo de la intensidad máxima en 30 min.	32
Fig. 2B Monograma del factor de Erodabilidad del suelo (K) en el sistema internacional de unidades - - - - -	43
Fig. 3A 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 - - - - -	57
Fig. 4A Efecto combinado de la longitud y grado de la pendiente S - - - - -	58
Fig. 5A Efecto de la longitud y el grado de la pendiente S que exceden las presentadas en la fig. 4A.	59
Fig. 6A Carta para el cómputo de $U = S^{1.5} / 22.1^{0.5}$	60

I N T R O D U C C I O N

La continua degradación del recurso suelo como resultado de los agentes erosivos y de las prácticas del inadecuado manejo del suelo y vegetación, son cada día -- más acelerados en la nación, encontrando que cerca del -- 80% de la superficie del país presenta erosión a diferentes grados. Esta alta erosión ha permitido jerarquizar al problema como prioritario y prueba de ello es que se tienen programas para el control de la erosión desde 1945, -- cuando se aprobó la Ley de Conservación del Suelo y Agua.

Los programas establecidos han sido una respuesta en un principio al empuje de los iniciadores de los -- trabajos de conservación del suelo y agua, a los grupos -- voluntarios establecidos para tal fin y, finalmente, a la disponibilidad de recursos económicos y humanos para llevar a cabo estas acciones. En estos programas, las líneas de acción se concentraron en general en los establecimientos de terrazas de formación sucesiva y de presas para el control de azolves y su ubicación ha sido consecuencia de solicitudes o definiciones técnicas de las necesidades de obras de conservación. Sin embargo, muchos de estos casos se debe analizar si fue el sitio adecuado, si la práctica establecida fue la más eficiente o si la inversión podrá -- recuperarse en tiempo.

Ante este problema, es conveniente establecer -- una planeación eficiente que permita determinar la causa-efecto del proceso erosivo, su prosecución en los procesos productivos y los factores que lo atañan o lo aceleran, de tal forma que ayuden a localizar áreas con diferentes riesgos de erosión, y donde de acuerdo con el fac-

tor erosivante, se puedan planear algunas alternativas - de obra de conservación o de mejoramiento que ayuden a re solver el problema y que aunadas a las solicitudes de los interesados, se realicen acciones que sean más eficientes a nivel parcelario.

O B J E T I V O

El desconocimiento de métodos para estudiar y calcular la pérdida de suelo agrícola hace que no se le dé la importancia debida al problema. El objetivo es buscar ese método o fórmulas que nos permitan aplicar los conocimientos en provecho de los suelos de México, especialmente de los suelos sujetos a erosión por causa de la actividad agrícola. En los programas establecidos para la Conservación del Suelo sus líneas de acción se concentran en general en el establecimiento de terrazas de formación sucesiva y de presas, para el control de azolves y su ubicación ha sido consecuencia de solicitudes o definiciones técnicas de las necesidades de obras de conservación, sin embargo se debe analizar si fue el sitio más adecuado, si la práctica establecida fue la más eficiente o si la inversión podrá recuperarse en tiempo.

Ante este problema es conveniente establecer una planeación eficiente que permita determinar :

- 1) Causa-efecto del proceso erosivo.
- 2) Su repercusión en los procesos productivos.
- 3) Y los factores que lo aceleran o lo atentan de tal forma que ayuden a localizar áreas con diferentes riesgos de erosión donde de acuerdo con el factor erosionante se puedan planear algunas alternativas de obra de conservación o de mejoramiento que ayuden a resolver el problema

ANTECEDENTES

El efecto de las pérdidas de suelo sobre la productividad del mismo es difícil de evaluar ya que varían de sitio a sitio y es función del tipo y profundidad del suelo y de las condiciones climáticas. Sin embargo, en general se ha reportado que si se pierden 50.8 mm. de lámina, la productividad se reduce hasta en un 15% y cuando se pierde una lámina de 304.0 mm. la productividad se reduce hasta un 75%. En algunas ocasiones cuando aparece el material parental, la productividad del suelo se reduce a un 100%. Esto es lógico, ya que se considera que los horizontes superficiales del suelo son los más productivos. (SCS 1977) Ver cuadro 1.

Las pérdidas de suelos también involucran pérdidas de nutrimentos como nitrógeno, fósforo y potasio, entre otros; y éstos, además que reducen la fertilidad de los mismos, representan una pérdida económica ya que para mantenerlos productivos hay que adicionar las porciones perdidas. En general, se ha estimado que en condiciones medias un suelo que tenga pérdidas de 25 Ton/Ha/año, puede perder 25, 37 y 25, Kg/Ha. de N-P y K, respectivamente, lo que indica una pérdida económica de \$ 1,032.00 por año, si se consideran los precios de fertilizantes señalados en el cuadro 2. Asimismo, el citado cuadro muestra las pérdidas de suelo en ton/ha y el costo que esto representa cuando exista terreno barbechado y el cultivo de maíz como se obtuvo en el campo experimental de las Ollas, Chiapas. (DGCSA, 1981)

CUADRO 1

EFFECTO DE LA VARIACION DE LAS PERDIDAS DE
SUELO Y SU EFECTO EN LA PRODUCTIVIDAD

Pérdida de suelo mm	Pérdida de suelo * Ton/ha	Reducción en Productividad
50.8	635	15
101.6	1,270	22
152.4	1,905	30
205.4	2,565	41
254.0	3,175	57
304.0	3,800	75

* Considerando una densidad aparente = 1.25 gr/cm^3

Fuente : SCS (1977)

CUADRO 2

LAS PERDIDAS DE SUELO Y SU RELACION CON LAS PERDIDAS
DE NUTRIMIENTOS Y COSTO POR MATERIAL PERDIDO

Criterio	Pérdidas de suelo		Pérdidas de nutrimentos			COSTO * \$/ha/año
	ton/ha/año		Kg/ha			
		N	P	K		
MEDIA	1) 25.00	25	37	25		1032
TERRENO barbechado	2) 40.00	110	2	42		1812
MAIZ	3) 6.00	10	5	70		610

1) S C S (1977)

2) DGCSA (1981)

3) DGCSA (1981)

* El costo de estas pérdidas fue considerado que 1 kg -
de N = 14.00, 1 kg de P = 10.00 y 1 kg de K = 6.00

Adicionalmente, a las pérdidas del suelo y nutrientes, la materia orgánica y la fracción húmica se pierden de continuamente haciendo que se reduzca la fertilidad, - cambie el estado de agregación de los suelos, se modifique la relación precipitación - escorrentía y la resistencia de las partículas del suelo a la remoción. Analizando datos de las pérdidas de suelo en la región del Altiplano Chiapaneco (Las Ollas, Chiapas), se encontró que las pérdidas de materia orgánica en una región recientemente desmontada variaba de acuerdo al uso del suelo, y era del orden de 2 a 0.17 ton/ha/año de materia orgánica removida del terreno. Ver cuadro 3

CUADRO 3

ANÁLISIS DE LAS PERDIDAS DE SUELO Y SU RELACION CON LAS PERDIDAS DE MATERIA ORGANICA

CRITERIO	PERDIDAS DE SUELO * ton/ha/año	M.O.	
		%	ton/ha/año
Terrano barbechado	40.00	5.49	2.00
Mafz	6.00	2.82	0.17

* Fuente : DGCSA (1981)

ANALISIS DE INFORMACION

Los datos reportados permiten deducir que siempre habrá pérdidas de suelos en diferentes grados; sin embargo, deberán buscarse que estas sean mínimas y comparables con las pérdidas de suelo permisibles. Debe entenderse como pérdidas de suelo permisibles, al máximo nivel de erosión que permita un alto nivel de productividad de los cultivos para que sea sostenido en forma económica e indefinida. Bajo estos conceptos, solo se debe permitir perder el suelo que en condiciones naturales se está formando, valorizando que esto es variable de acuerdo con los tipos de suelo. Para establecer un criterio de las pérdidas de suelo permisibles, el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos de América (1977), propuso algunos límites que varían de 11 a 2 ton/ha/año y son función de la profundidad y tipo de material parental del suelo, como se muestra en el cuadro 4. Este análisis permite concluir que solo podemos aceptar pérdidas de suelo menores de 11 ton/ha/año y cuando estos valores son mayores, es necesario establecer trabajos de conservación de suelo y agua.

CUADRO 4

PERDIDAS DE SUELO PERMISIBLES
(S C S , 1977)

PROF. DEL SUELO CM	MATERIAL PARENTAL	PERDIDAS DE SUELO PERMISIBLE TON/HA/AÑO				
		11	9	7	4	2
> 100	ROCOSO					+
> 100	ARENA O GRAVA					+
50 - 100	ROCOSO					+
50 - 100	ARENA O GRAVA					+
25 - 50	ROCOSO					+
25 - 50	ARENA O GRAVA					+
10 - 50	LECHO ARCILLOSO					+
4 25	LECHO ROCOSO					+
4 25	ARENA O GRAVA					+
4 10	LECHO ARCILLOSO					+

Bajo este esquema, solo restaría estimar las pérdidas de suelo potenciales de un terreno determinado para que al compararlas con las pérdidas permisibles de suelo, permita realizar un diagnóstico de las necesidades de tipos de obras de conservación o manejo del suelo y la vegetación.

La estimación de las pérdidas de suelo potenciales pueden obtenerse con el uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) (Wischmeier and Smith, 1979) de la siguiente forma :

$$E = R K L S$$

DONDE :

- E = Pérdidas de suelo potenciales (ton/ha/año)
- R = Erosividad de la lluvia (Mega-Joules.mm/ha.hr año)
- K = Erodabilidad del suelo (ton.hr/Mega-Joules.mm.)
- L = Longitud de la pendiente (m)
- S = Grado de la pendiente %

Para estimar estas pérdidas potenciales del suelo es necesario conocer la intensidad de la lluvia evento -- por evento y obtener de cada una de ellas su energía cinética y la intensidad máxima en 30 minutos, que al sumárselas, se obtendrá el valor de erosividad ($R = \sum_{i=1}^n EI_{30}$). La erodabilidad del suelo es una función de las propiedades Físicas-Químicas e Hidrológicas del mismo y se estima como una función del tamaño de la arena de 0.1 a 2.00 mm. y de arenas muy finas y la fracción limosa de 0.1 - 0.002 -

mm, El contenido de materia orgánica, el tamaño y tipos de agregados y la permeabilidad del suelo. La longitud y grado de la pendiente se miden directamente en el campo o en planos topográficos. Para realizar esta estimación, se considera que el suelo se encuentra desprovisto de vegetación, sin obras de conservación de suelo y permanece continuamente barbechado. Obviamente, estos valores serían máximos y se pueden atenuar si se consideran los factores modificables como son manejo del suelo y de la vegetación, que al presentarse en una ecuación quedaría como :

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

Donde :

E, R K L S, Fueron previamente definidos

C = Factor de cubierta vegetal

P = Factor de manejo del terreno

Como el valor de C y P son numéricos y multiplicativos, estos pueden variar de 0 a 1. Cuando C es igual a 1 se considera que no existe vegetación y que el suelo se encuentra en barbecho continuo. A medida que aumentan la cobertura vegetal tanto en densidad como en frecuencia, este valor tiende a disminuir hasta 0.3 para el caso de maíz, 0.003 para pastizales y 0.001 para el bosque de encino, como ello se muestra en el cuadro 5, algunos valores de C para otros tipos de vegetación o asociaciones de cultivos obtenidos en México y en otras partes del mundo. SE MUESTRAN EN EL CUADRO 5

CUADRO 5

VALORES DEL FACTOR C PARA DIFERENTES
COBERTURAS VEGETALES

COBERTURA VEGETAL	VALOR DE " C "
Suelo desnudo	1.0
Tepetate	0.59
Bosque de encino	0.001
Pastizal	0.003
Pastizal degradado	0.22
Sabana	0.01
Mafz - Sorgo	0.01 - 0.9
Tabaco - Algodón	0.5
Cafe - Palma	0.1 - 0.3
Cebada	0.2
Papa - Col	0.3

Fuentes : Roose, E. (1975), Terrazas (1977), CP (1981)
y DGCSA (1981)

En relación al factor "P" o manejo del terreno, es un factor atenuante del proceso erosivo y como su valor es multiplicativo, su efecto es nulo cuando no hay obras de conservación y el valor de "P" = 1.0. Al existir obra como surcado al contorno, el valor P es de 0.89 y tiende a disminuir hasta 0.14 cuando se utilizan terrazas de banco. Cabe aclarar que estos valores de P cambian con la pendiente dominante del terreno; sin embargo, en forma general se pueden dar algunos valores de P para diferentes obras de conservación como los que aparecen en el cuadro 6. Debe notarse que las prácticas vegetativas son más eficientes que las mecánicas como ello se muestra en el cuadro 6 y en el cuadro 5 previamente citado.

CUADRO 6

VALORES NUMERICOS DEL FACTOR DE PRACTICAS MECANICAS (P) DE LA E U P S

TIPO DE OBRA	VALOR DE P *
Surcado al contorno	0.89
Terraza de base ancha	0.27
Terraza de base angosta (CP)	0.68
Terraza de base angosta (SARH)	0.70
Terraza de contrapendiente	0.18
Terraza de canal amplio	0.40
Terraza de banco	0.14

- * Fuentes: Arnoulds (1977) y CP (1981)
Estos valores son aceptados para una pendiente del 5% y consideran algunos tipos de terrazas de surcado al contorno.

Consecuentemente un efecto combinado de las prácticas mecánicas y vegetativas, ya sea con cultivos que protegen al suelo o con manejo de residuos de cosecha, son más eficientes ya que pueden reducir al máximo las pérdidas de suelo hasta valores menores que las pérdidas máximas permisibles, no importa que el potencial erosivo de la región sea muy alto.

EJEMPLO DE APLICACION:

De acuerdo con la información existente en la Cuenca, del Río Texcoco (Lote de Nativitas) para el año de 1981, el valor del factor de erosividad (R) estimado fue 3906.27 - Mega-Joules, mm/ha.hr.año. El valor del factor de erodabilidad fue de 0.22 ton.hr/Mega-Joules.mm y el de LS fue de 0.145 ya que la pendiente del terreno es de 3 % y la longitud de 25 m. Utilizando la ecuación 1 se obtiene que las pérdidas del suelo potenciales son de 12.46 ton/ha/año. Si consideramos que esos suelos son someros de profundidad menor de 50 cm, con lecho rocoso, y utilizamos el cuadro 4, se obtiene que las pérdidas de suelo permisible serían de 4 ton/ha/año. Si se comparan estos valores se obtiene que potencialmente existe una degradación del suelo del orden 8.46 ton/ha para el año de 1982. Para reducir estas pérdidas se tendría que tomar la decisión del cultivo por utilizar. En el caso de utilizar el maíz en siembras tradicionales el factor C sería de 0.5 (promedio) y si no se realiza obra de conservación el valor de P sería de 1.0, así que las pérdidas del suelo se reducen hasta 6.23 ton/ha, pero sigue existiendo una degradación de 2.23 ton/ha para ese año. Si el maíz se combina con el surcado al contorno (C=0.5 y P=0.89) las pérdidas serían igual a 5.54 ton/ha y serían un poco mayores que las permisibles de 4.0 ton/ha. Ahora

si se cambia el cultivo de maíz por el de cebada, el valor de C se reduce de 0.5 a 0.2 y si el de P permanece como 1, las pérdidas de suelo esperadas serían de 2.49 ton/ha/año y menores que las permisibles, consecuentemente, el cambio de uso de suelo sería más recomendable que la misma obra y así evitarían las inversiones con los sistemas de terrazas Ver cuadro 7.

Este ejemplo explica claramente como la EUPS puede -- utilizarse para la planeación de obras de conservación del suelo y del agua; sin embargo, debe considerarse que el -- uso de la EUPS considera la erosividad de la lluvia, que es un factor estocástico, donde el azar juega un papel importante, de tal manera, que la selección de las prácticas de conservación podría ser más eficientes un año determinado y al próximo podría existir una degradación del suelo. Esto indica, que el valor de erosividad de la lluvia debe considerarse bajo diferentes riesgos ó periodos de retorno que podrían ser de 2, 5 ó 10 años, y que indicarían el riesgo para que una precipitación altamente erosiva se presente en esa región.

CUADRO 7

CRITERIOS PARA LA PLANEACION DE OBRAS DE CONSERVACION DEL SUELO Y AGUA

Sitio: Cuenca del Río Texcoco

Lote : Sitio Nativitas 1981

USO DEL SUELO	POTENCIAL EROSIVO* ton/ha/año	C	P	PERDIDAS DE SUELO ton/ha/año	DEGRADACION ton/ha/año	
TERRENO BARBECHADO	12.46	1.0	1.0	12.46	8.46	
MAIZ	12.46	0.5	1.0	6.23	2.23	
MAIZ SURCADO al contorno	12.46	0.5	0.89	5.54	1.54	
MAIZ MAS TERRAZA de base angosta	12.46	0.5	0.68	4.24	0.24	
CEBADA	12.46	0.2	1.0	2.49		
PERDIDA MAXIMA PERMISIBLE		4.0 ton/ha/año				
* POTENCIAL EROSIVO		E = R K L S				
		E = 3906.27				0.022
		E = 12.46 ton/ha/año				0.145

POTENCIALIDADES

El manejo de los residuos de cosecha, un buen desarrollo de los cultivos y la implementación de obras de conservación de suelo y agua representan un alto potencial para minimizar las pérdidas de suelo.

Lal, ET AL (1977), reportó que en Rhodesia se utilizan varias pendientes del suelo de 1 a 10 %, adiciones de rastrojos de 2,4 y 6 ton/ha y cero labranza, para evaluar las pérdidas del suelo. Encontrando que la erosión se redujo de 10 a 0.01 ton/ha/año y de 50 a 0.8 ton/ha/año en terrenos de cero labranza y con pendiente de 1 % y 10 %, respectivamente. El efecto del rastrojo fue similar pero con menor magnitud como ello muestra en la figura 1. Experiencias similares han sido reportadas para diferentes regiones de México por Trujillo (1979) y en Terrazas (1977).

Los efectos de los sistemas de manejo, residuos de cosecha sobre la producción de maíz y las pérdidas de suelo han sido estudiadas por varios autores y en resumen de este indica que la producción de maíz puede incrementar con el uso de rastrojos, bordos (tipos de terrazas) y con la labranza mínima, y podrían disminuirse o mantenerse constante con el uso de labranza cero. En relación a las pérdidas de suelo, estas pueden elevarse hasta 200 ton/ha/año cuando el terreno se encuentra con barbecho continuo, se puede minimizar con el uso de labranza cero, mínima y con obras de conservación de suelo como esto se muestra en la figura 2.

FIG. 1 Efecto del rastrojo y cero labranza en las pérdidas del suelo para diferentes condiciones de pendiente. LAL ETAL 1977

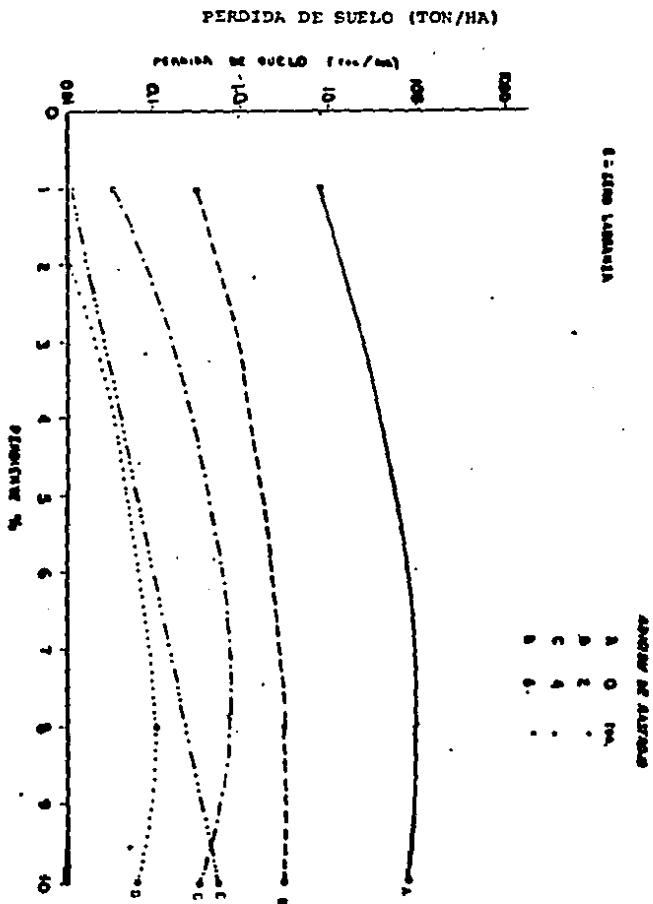
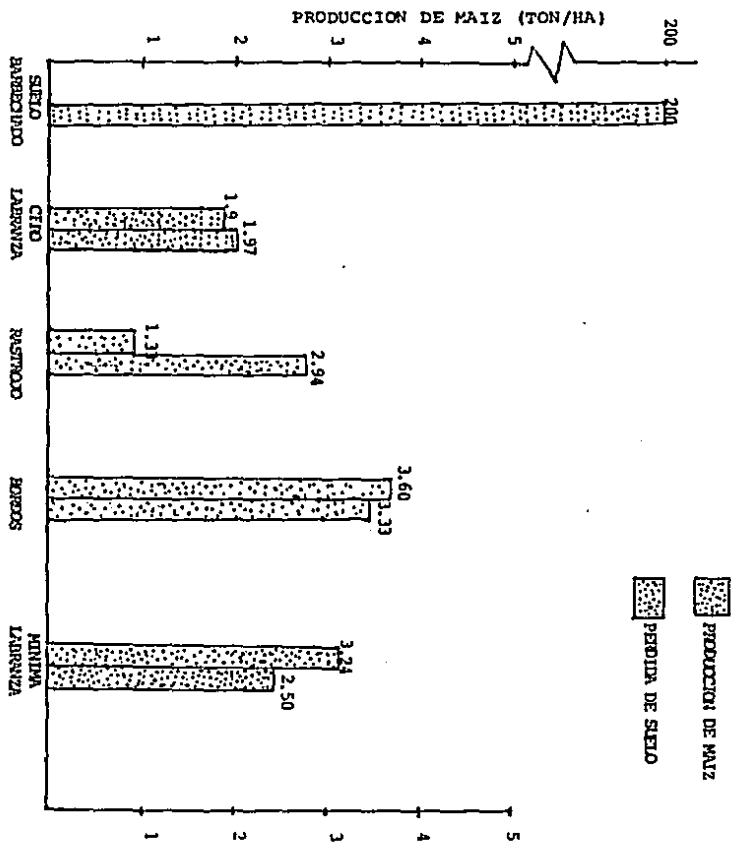


FIG. 2 Efecto de los sistemas de manejo sobre la producción de maíz y pérdidas de suelo (Varios autores)



La eficiencia de los rastrojos y los sistemas de labranza en la reducción de las pérdidas del suelo al aplicar lluvias simulada fue estudiada en Lomas de San Juan, Chapingo, México (Montenegro, 1981), los resultados reportados indican que las pérdidas de suelo aumentan con la precipitación y que éstas se hacen más notorias cuando se tiene máxima labranza como es el caso del subsolco, más barbecho, más rastras, a pesar que al inicio de la prueba se comportaban de manera similar. Ver figura 3

Cuando se considera la vegetación en especial los pastos, éstos son muy eficientes en el control de la erosión como ello se muestra en la figura 4, donde se indica que a pesar de incrementar la intensidad de lluvia de 22 a 86 mm/hr, la erosión aumentó de 2 a 3 veces dependiendo de la especie estudiada y en todos los casos las pérdidas de suelo fueron menores de 400/kg/ha para eventos de alta intensidad. (C.P. 1980)

Esta información indica que el gran potencial para la reducción del proceso erosivo se encuentra en los sistemas de labranza, uso de rastrojos, selección de cubiertas vegetales y finalmente, en el complemento de la obra de conservación del suelo y agua. Si esto se confirma, en varias regiones del país, es posible tratar de generar cambios en los usos del suelo y evitar al máximo el uso aislado de pequeñas obras de conservación de suelo y agua; y en su defecto, completar el uso de la vegetación y la obra mecánica para incrementar la eficiencia en las inversiones públicas.

FIG. 3 EFECTO DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA Y PRECIPITACION EN LAS PERDIDAS DE SUELO (MONTENEGRO 1982)

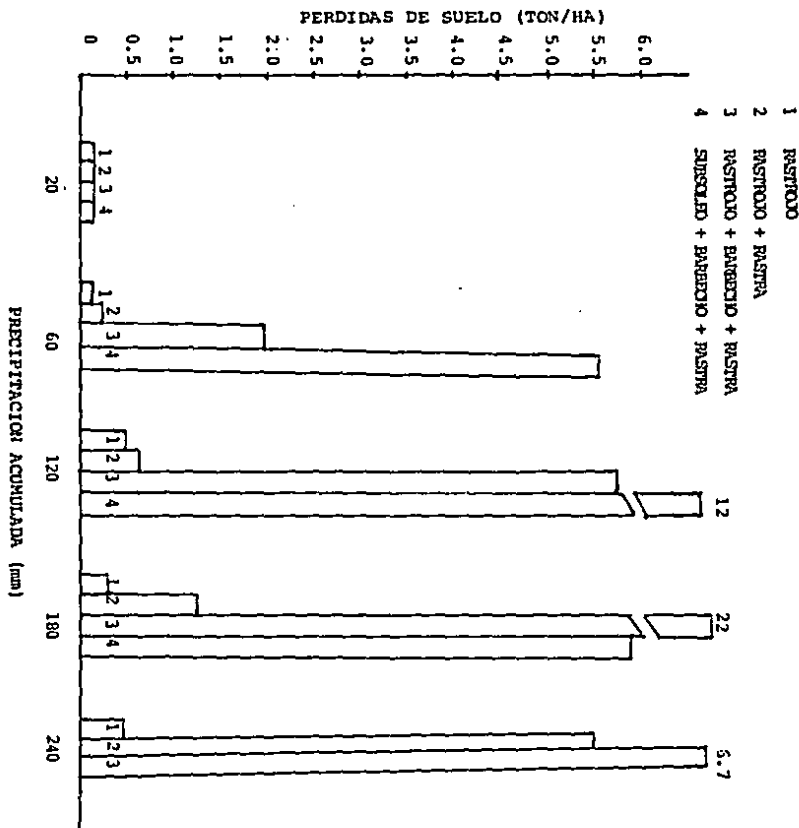
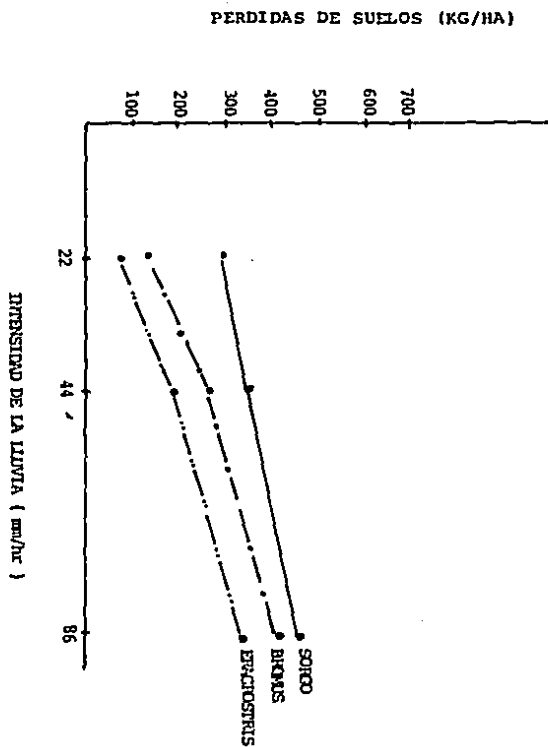


FIG. 4 EFICIENCIA DEL PASTO PARA REDUCIR EL PROCESO -
EROSIVO (C.P. 1980)



MATERIALES Y METODO

MATERIALES :

Para el desarrollo del presente estudio se reca
bó información de diversas fuentes, siendo la más importante
la biblioteca del Departamento de Conservación de Suel
os de la SARH, y SECOBI.

METODO :

Consiste en el análisis de cada uno de los mate
riales e información adquirida. (En este caso aparece com
o revisión de literatura)'

CALCULO DE LA ECUACION UNIVERSAL

DE PERDIDAS DE SUELO EUPS

E - R K LS

CALCULO DEL FACTOR "R" DE LA ECUACION UNIVERSAL
DE PERDIDAS DE SUELO

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.

El conocimiento de la relación entre pérdidas del suelo y el factor lluvia, permite una planeación de conservación del suelo y agua más sistematizada, de ahí que se hayan realizado varios intentos para establecer índices de erosividad. 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 y algunos otros países, mostró que el mejor índice de erosividad de la lluvia, esto es, el más correlacionado con la pérdida de suelo fué el producto de la energía cinética de la lluvia y la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos (EI_{30}). Este producto se define como EI_{30} y su valor anual 65 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 periodos más grandes por ejemplo: 60 minutos, tienden a minimizar el efecto de los valores de alta intensidad con duración corta, y periodos de 15 minutos son muy cortos para correlacionarse con el escurrimiento superficial.

El factor "R" debe ser calculado anualmente y es - -

igual a la suma del índice de erosividad de cada tormenta_ (EI₃₀). Matemáticamente R se expresa como :

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

$$i = I$$

Donde :

- R = Erosividad anual de la lluvia (MJ*mm/ha.hr.año)
 EI₃₀ = Índice de erosividad de un evento (MJ*mm/ha.hr.)
 n = Número de eventos en un año.

El Índice de Erosividad de la lluvia (EI₃₀) es el producto de la energía cinética total para un evento (E) y la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos (I₃₀) y se expresa como :

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

Donde :

- E_{ct} = Energía cinética total de un evento (MJ*ha).
 I₃₀ = Intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos (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 --

* Mega-Joules

periodo la energía cinética se calcula con la fórmula :

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

Donde :

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

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 obtener 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 caigan 6 mm en 15 minutos.

Procedimiento para el cálculo del valor EI_{30} a partir

de pluviogramas: utilizando el pluviograma que aparece en la figura No. 1-A que corresponde a una lluvia del 30 al 31 de mayo de 1980 en las Ollas, Chiapas, se desarrolla el procedimiento para el cálculo del valor EI_{30} .

PROCEDIMIENTO

1.- Se elabora una tabla con las columnas que aparecen en el cuadro 1A

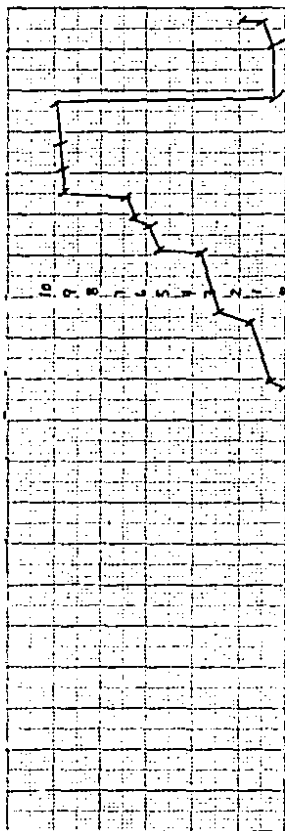
2.- Revisando el pluviograma de la figura 1-A se observa que en el eje de las ordenadas se tienen 10 mm y en el eje de las abscisas 26 horas. En este ejemplo se consideraran 24 horas a partir de las 8 de la mañana y cada hora tienen separaciones de cada 10 minutos.

3.- Se divide el pluviograma en segmentos con pendientes similares. En este caso se detectaron trece 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 lluvia precipitada en mm en el segmento considerado y se anota en la columna 2 del cuadro 1-A

FIG. 1-A PLUVIOGRAMA Y SU DIVISION EN SEGMENTOS DE IGUAL INTENSIDAD



- 6.- Se determina la duración de la lluvia en minutos para cada segmento, restando de la hora en que termina la pendiente del segmento la hora en que se 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 milímetros.
- 8.- Para determinar la intensidad de la lluvia por cada segmento se utiliza la ecuación.

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

Donde :

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

P_i = Cantidad precipitada en cada segmento (mm). (Columna 2, del cuadro 1)

T_i = Tiempo de duración de la intensidad en el segmento (min.). (Columna 3 del cuadro 1A)

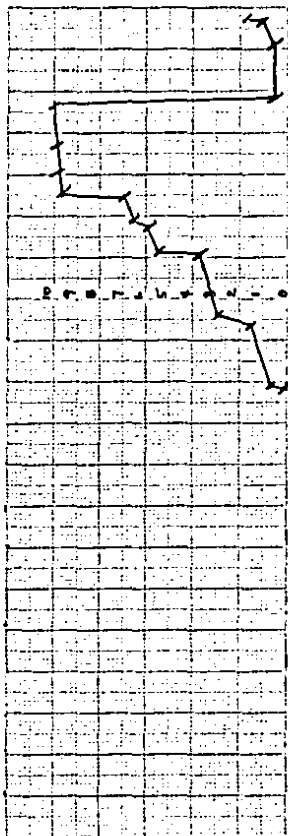
El resultado obtenido para cada segmento se anota en la columna 5 del cuadro 1-A.

- 9.- Utilizando la ecuación $E_c = 0.119 + 0.873 \log_{10} T_i$ se calcula la energía cinética para cada segmento y el resultado le dará la energía cinética para 1.0 mm de lluvia; anote el resultado en la columna 6.

- 10.- Como la cantidad de lluvia por segmento es diferente de 1.0 mm. Calcule la energía cinética por intervalo de tiempo, multiplicando los valores de la columna 6 por los de la columna 2 y anótelos en la columna 7.
- 11.- Sume los valores de la columna 7 y el resultado es la energía cinética total de la tormenta (E_{ct}).
- 12.- Utilizando la misma gráfica en que leyó los segmentos de la lluvia, estime la precipitación máxima en 30 minutos, (EI_{30}), localizando el segmento de mayor pendiente de la gráfica en 30 minutos si es mayor de 30 minutos el intervalo, considere ese valor de intensidad como el máximo en 30 minutos; si el intervalo es menor de 30 minutos considere la cantidad antecedente y procedente y estime el nuevo valor de intensidad, como se muestra en la figura 2. 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_{ct} 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 periodos de retorno.

FIG. 2-A CALCULO DE LA INTENSIDAD MAXIMA EN 30 MIN = 2.9

mm. $1_{30} = 2.9$ mm. $\times 2 = 5.8$ mm.



CALCULO DE LA ENERGIA CINETICA

LECTURAS		INCREMENTOS			ENERGIA	
1 TIEMPO	2 LLUVIA REGISTRADA (mm)	3 DURACION (min)	4 LLUVIA ACUMULADA (mm)	5 INTENSIDAD (mm/hr)	6 Por mm	7 PARA LA LLUVIA REGISTRADA
22:40 - 22:41	0.7	1	0.7	42.00	0.2607	0.18249
22:41 - 24:15	0.9	94	1.6	0.57	0.0977	0.8793
24:15 - 24:18	1.7	3	3.3	34.00	0.2527	0.42959
24:18 - 2:00	0.5	102	3.8	0.29	0.0721	0.03605
2:00 - 2:01	1.8	1	5.6	108.00	0.2965	0.53370
2:01 - 2:30	0.4	29	6.0	0.82	0.1115	0.04460
2:30 - 2:35	0.4	5	6.4	4.80	0.1785	0.07140
2:35 - 3:32	0.6	57	7.0	0.63	0.1015	0.06090
3:32 - 3:35	2.8	3	9.8	56.00	0.2716	0.76048
3:35 - 4:02	0.1	27	9.9	0.22	0.0616	0.00616
4:02 - 4:30	0.2	28	10.1	0.43	0.0870	0.0174
4:30 - 5:35	0.2	65	10.3	0.18	0.0540	0.0108
5:35 - 7:10	0.0	95	10.3	0.0	0.00	0.00
7:10 - 7:35	0.4	25	10.7	0.96	0.1175	0.0470
7:35 - 7:38	0.5	3	11.2	10.0	0.2063	0.10315

Ec = 3.18302 MJ/ha

TOTAL \leq 3.18302

$I_{30} = 2.9 \times 2 = 5.8 \text{ mm/hr}$

$E_{I_{30}} = Ec \times I_{30} = 3.18302 \times 5.8 = 18.46 \text{ M.J.mm/ha.hr}$

CALCULO DEL FACTOR DE ERODABILIDAD (K) Y DE LA
ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DEL SUELO

El término "erodabilidad del suelo", sugerido por -- Cook (1936) se usa generalmente para indicar la susceptibilidad de un suelo particular a ser erosionado.

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 removida y transportada por la lluvia y el escurrimiento. Este parámetro está influenciado principalmente por: la distribución del tamaño de las partículas primarias, el contenido de 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, Grissinger 1966, Romkens et al. 1978, Pertheniades, 1972).

Se han realizado intentos para encontrar un índice de erodabilidad basados en propiedades del suelo determinadas en el campo o en laboratorio, sin embargo, el método más comúnmente usado es el valor de K.

K se define como el aumento en pérdida de suelo por cada unidad adicional de EI_{30} . Cuando L, S, C y P permanecen constantes, K se expresa en ton/ha/unidades de EI_{30} .

El factor de erodabilidad K se puede evaluar en lotes experimentales, si se resuelve la ecuación :

$$K = \frac{A}{RLSCP} \text{ para condiciones no standar } \hat{O} \text{ -- (5)}$$

$$K = \frac{A}{R} \text{ para condiciones standar - - - - (6)}$$

DONDE :

A = Pérdida de suelo por unidad de area (Ton/ha/año)

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

K = Factor de Erodabilidad (ton/ha/h/ha.MJ.mm)

L = Factor longitud de la pendiente

S = Factor inclinación de la pendiente

C = Factor cobertura vegetal

P = Factor prácticas de manejo

Las condiciones standar son : Inclinación de la -- pendiente 9 %, longitud de la pendiente 22.1 m y bajo cultivo continuo en sentido de la pendiente. La condición de cultivo continuo se aplica a terrenos que han sido cultivados y mantenidos libres de vegetación por más de dos años Durante el periodo de mediciones de pérdidas de suelo, el lote se barbecha y se dan operaciones de cultivo cuando sea necesario prevenir el crecimiento de malas hierbas y la formación severa de costras.

Sin embargo, este método de campo no solo es caro y requiere de periodos grandes de tiempo, sino que es también difícil obtener resultados que sean reproducibles, --

por lo que existe una tendencia para examinar muestras de suelo en el laboratorio y calcular una medida cuantitativa de erodabilidad basada en propiedades de los suelos.

Wischmeier et al, (1971) propusieron el uso de un monograma figura 2B, que permite evaluar el valor de K a partir de cinco parámetros del suelo :

- (i) % de limos + arenas muy finas
- (ii) % de arena
- (iii) % de materia orgánica
- (iv) % estructura, y
- (v) % permeabilidad del suelo

Para determinar el factor de erodabilidad utilizando el monograma propuesto por Wischmeier, es básico conocer los parámetros del suelo necesarios para su determinación, para ello es necesario ubicar áreas de muestreo, coleccionar y analizar en laboratorio muestras de suelo y hacer algunas observaciones en los sitios de muestreo.

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 su 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 determi-

nar el número mínimo de muestras para su área dada, quedando como sigue :

$$N = 0.025 A \text{ - - - - - } (7)$$

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 multiplica por el factor 0.025 resultando el número mínimo de muestras a realizar considerando que esta 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.

Una vez seleccionadas y ubicadas las áreas, en campo, se toma una muestra de los primeros 20 cm. del perfil, para su posterior análisis en laboratorio. Al mismo tiempo se observa la estructura de los primeros 20 cm. del perfil la cual para su utilización en el monograma, se codifica como :

- 1.- Granular muy fina y grumosa fina (< 1 mm)
- 2.- Granular fina y grumosa (1 - 2 mm)

- 3.- Granular media y grumosa media (2-5 mm) y granular gruesa (5-10 mm).
- 4.- Laminar, prismática, columnar, masiva y granular muy gruesa.

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 monograma, 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.- Moderadamente rápida	6 - 12.5	1.0×10^{-1}	2.08×10^{-1}
3.- Moderada	2.0 - 6	3.3×10^{-2}	1.0×10^{-1}
4.- Moderadamente lenta	0.5 - 2.0	8.3×10^{-3}	3.3×10^{-2}
5.- Lenta	0.125 - 0.5	2.08×10^{-3}	8.3×10^{-3}
6.- Muy lenta	< 0.125		

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

La clasificación general de permeabilidad se presenta en el manual de Levantamientos de suelo del USDA p.p. - 167-168, pero de acuerdo con Wischmeier et al, en general no son necesarias las determinaciones de laboratorio. - Ellos dan además las siguientes recomendaciones :

- Los suelos fragipanes se codifican con el número 6.
- Suelos superficiales permeables que descansan sobre una capa de arcilla masiva o arcilla limosa se codifican -- con el número 5.
- Suelos moderadamente permeables que descansan sobre una capa de arcilla limosa y poseen una estructura subangular débil o angular masiva 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.

Al momento de realizar los muestreos de campo, se -- efectúan algunas observaciones complementarias como grado de la pendiente y uso actual del 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 por ciento de - materia orgánica y determinar la distribución de tamaños - de las partículas de suelo.

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

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

Para la evaluación 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 tamaños 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 standar internacional, sin embargo, pueden utilizarse métodos alternativos, como el método del hidrómetro de Bouyoucus (1926), 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 las arenas finas se suma al de limos obtenido anteriormente para utilizar el re-

sultado en el monograma.

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 monograma de la figura 2B es el siguiente :

- 1.- Entra a el monograma en la escala vertical de la izquierda con el valor apropiado de % de limos + arenas finas (0.002 - 0.10 mm)
- 2.- Continde horizontalmente hasta interceptar la curva correspondiente para % de arenas gruesas (0.10 mm - 2.0 mm), interpolando al % más cercano.
- 3.- Continde verticalmente hasta interceptar la curva correspondiente al % de materia orgánica.
- 4.- Continde horizontalmente hacia la derecha.
- 5.- Para aquellos 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 margin derecha de la primera sección del monograma.
- 6.- Para los demás suelos; continde horizontalmente hasta interceptar la curva de estructura adecuada.
- 7.- Continde 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 monograma y obtenga el valor de K.

Las experiencias de la utilización del monograma 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 monograma 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 monograma es útil para suelos con un % de limos + arenas muy finas menor de un 70 % y es una solución gráfica a la ecuación :

$$100K = 2.1 M^{1.14} (10^{-4}) (12a) + 3.25 (b-2) + 2.5 (c-3) \quad (8)$$

Donde :

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 hectáreas X hora/hectárea X Megajoule X milímetro, en unidades del sistema internacional de unidades.

En el caso de utilizar el monograma, no es necesario esta conversión, porque el monograma ha sido adaptado ya al sistema internacional de unidades.

FIG. 2 - B MONOGRAMA DEL FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K) EN EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

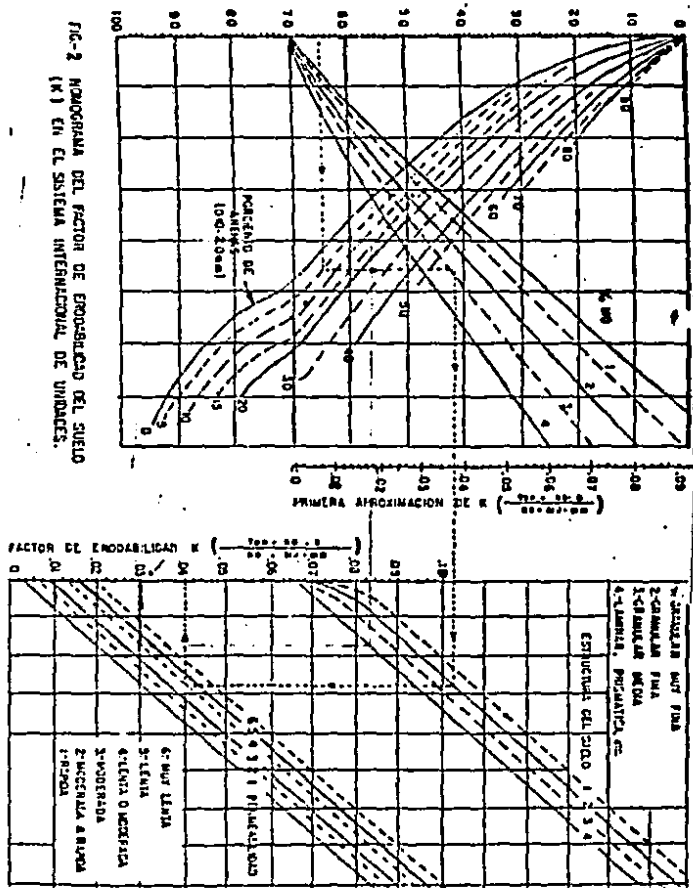


FIG. 2 MONOGRAMA DEL FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K) EN EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

CALCULO DEL FACTOR LONGITUD (L) Y GRADO DE LA PENDIENTE
(S) DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DEL SUELO

La longitud de la pendiente se define como "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 constituido".

El factor longitud de la pendiente se define como:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^m \quad \text{---} \quad (9)$$

Donde :

λ = longitud de la pendiente (metros)

m = exponente influenciado por la interacción de la longitud y grado de la 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 2 %; $m = 0.3$ para 2 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 de 10%. Los valores promedios 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. 4A). Dicha gráfica permite leer valores para el efec

to combinado de la longitud y el grado de la pendiente. La figura 3A permite usar esta gráfica en los casos donde los valores para el exponente diferentes a 0.5 son más apropiados. La figura transfiere la longitud de la pendiente de campo para pendientes con exponentes $m = 0.3$, $m = 0.4$ y $m = 0.6$ en una longitud de la pendiente equivalente con exponentes $m = 0.5$.

El factor gradiente de la pendiente (s) se define como:

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

Donde:

S = Gradiente de la pendiente (%)

El efecto combinado para longitud y grado de la pendiente puede observarse en la figura 4A o puede ser calculada de acuerdo a :

$$LS = \lambda (0.0138 + 0.00965 s + 0.00138 s^2) \quad - - - (11)$$

Para pendientes hasta un 20 % y 350 m de longitud. - Para pendientes de entre el 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 :

$$Ls = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^{0.6} \times \left(\frac{s}{5} \right)^{1.4} \quad - - - (12)$$

El uso de la ecuación (12) y la figura 5A deben hacerse con precaución, ya que no han sido lo suficientemente probados, para indicar la realidad de la predicción.

Para utilizar tanto la figura 4A 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, 11 y 12 son aplicables solamente en pendientes uniformes con un tipo de suelo o un tipo de cobertura vegetal sobre la longitud total.

Si ocurren cambios significativos en : a) Grado de la pendiente, b) forma de la pendiente, c) tipo de suelo o d) cobertura del suelo, es necesario hacer correcciones.

Dependiendo de la complejidad de la situación, pueden seguirse dos procedimientos para llegar a el promedio adecuado de valores para la pendiente total. Los procedimientos se dan tomando en cuenta solo un cambio en el grado de la pendiente. A menudo es posible usar los mismos procedimientos para evaluar además cambios en el tipo y/o cobertura del suelo.

Procedimiento :

Si se aceptan dos supuestos de simplificación, los ajustes son relativamente fáciles. Los supuestos son: (i) el cambio en el gradiente 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 con 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 de "a" puede leerse del cuadro 2A para pendientes con un exponente de longitud -- $m = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$. calculados a partir de :

$$a = j^{(m+1)} - (j-1)^{m+1}/n^m \text{ --- (13)}$$

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.

Si no es posible dividir la pendiente en segmentos de igual longitud, debe seguirse un procedimiento diferente, como se indica :

- I) Determinar el valor del término μ . Para pendientes -- con un exponente de longitud $m = 0.5$ el valor de μ puede

leerse del monograma desarrollado por Foster y Wischmeier_ (1974) presentado en la figura 6. Para pendientes con un_ exponente de longitud $m \neq 0.5$ de puede ser calculada de_ acuerdo a :

$$= S^{(m+1)} / 22.1^m \text{ - - - - - (14)}$$

Donde:

- = Término definido por la ecuación 14
- S = Valor del factor gradiente de la pendiente (cal_ culado de acuerdo a la ecuación 10)
- = Longitud de la pendiente (m)
- m = Exponente de longitud de la pendiente

USANDO EL MONOGRAMA DE FOSTER Y WISHMEIER (1974) :

- a) Entre el monograma Figura 6A en el eje horizontal con - el valor (j-1).

(j-1) Es la distancia de la cuspide a la base del seg_ mento (j-1); así (j=n_ ES IGUAL

- b) Siga hacia arriba a la curva para porcentaje de pendien_ te del segmento j.
- c) Lea los valores de u_{1j} en la escala vertical.
- d) Entre A1 el monograma en el eje horizontal con los valo_ res de j para obtener el valor correspondiente de --
 u_{2j}

2) Calcule el valor efectivo LS de acuerdo a :

$$LS = \sum_{j=1}^n (u_{2j} - u_{1j}) / \lambda e \quad \text{----- (15)}$$

Donde :

j = número de secuencia del segmento (de la cima a la base)

n = número total de segmentos.

u_{1j} = valor de u para el límite superior del segmento j (m)

u_{2j} = valor de u para el límite inferior del segmento j (m)

λe = longitud total de la pendiente (m)

Ejemplo de cálculo del valor LS para una ladera donde la pendiente encontrada es de 12, 14 y 10 % respectivamente en 3 segmentos de 25 m de longitud y una longitud total de 75 m.

CUADRO No. 2A

FACTOR DE AJUSTE A PARA CORRECCION A LA CARTA DE VALORES LS PARA SEGMENTOS SUCESIVOS DE UNA PENDIENTE

No. TOTAL DE SEGMENTOS	VALOR DE a_i	$m = 0.3$	$m = 0.4$	$m = 0.5$	$m = 0.6$
2	a_1	0.81	0.76	0.71	0.66
	a_2	1.19	1.24	1.29	1.34
3	a_1	0.72	0.64	0.58	0.52
	a_2	1.05	1.06	1.06	1.05
	a_3	1.23	1.30	1.37	1.43
4	a_1	0.66	0.57	0.5	0.44
	a_2	0.96	0.94	0.91	0.88
	a_3	1.13	1.16	1.18	1.20
	a_4	1.25	1.33	1.40	1.48
5	a_1	0.62	0.53	0.45	0.38
	a_2	0.90	0.86	0.82	0.77
	a_3	1.05	1.06	1.06	1.05
	a_4	1.17	1.21	1.25	1.29
	a_5	1.26	1.34	1.42	1.50

El primer paso es calcular el valor S para los tres segmentos de igual longitud de acuerdo a la ecuación 10, ob-
teniendo los valores 1.545, 1.975, 1.169 respectivamente. Los valores así obtenidos se multiplican por el valor del factor L, de acuerdo a la ecuación 9, usando la longitud total de la pendiente.

Pendiente %	Longitud (m)	Valor S/seg	Valor L	L x S	Factor a	LSxa
12	25	1.545	2.082	3.217	0.52	1.673
14	25	1.975	2.082	4.112	1.05	4.318
11	25	1.351	2.082	2.813	1.43	4.023
T o t a l	75					

$$\text{Valor efectivo LS} = 10.014/3 = 3.338$$

Multiplicamos cada uno de los valores LS obtenidos por el factor de ajuste a, obteniendo a partir del cuadro 2 entrando a esta con un número total de segmentos de 3, interceptando con un valor $m = 0.6$, ya que la pendiente es mayor de 10 %. Por último promediamos los valores LS ajustados (LSxa) para obtener el valor efectivo LS para la pendiente total, en este ejemplo $LS = 3.338$.

Ejemplo de cálculo de LS para una ladera cultivada que tiene tramos de diferente longitud y diferente pendiente.

Se tiene una longitud total de 100 metros y en la cual existen tramos de 10, 20, 40 y 30 metros respectivamente, cuyas pendientes son de 10, 8, 6 y 5 % respectivamente.

Calcule el valor de LS para dicha ladera considerando el monograma de la figura 6. Como podemos observar, los valores de pendiente están entre 5 y 10 % por lo tanto el valor de $m = 0.5$.

Segmento	Pendiente	Longitud	U_{2j}	U_{1j}	$(U_{2j} - U_{1j})$
1	10	10	11.0	9.0	2
2	8	20	27.0	7.5	19.5
3	6	40	65.0	18.0	47.0
4	5	30	95.0	56.0	39.0

$$\sum = 107.5$$

Los valores de LS se obtienen del monograma entrando -- por el primer segmento en donde se encuentra U_{2j} la cual es 10 mts, siguiendo hacia arriba hasta tocar la curva de la pendiente de 10 %, dicha curva se obtiene de la interpolación de 8 y 11 %, después se busca el valor correspondiente de U en la escala vertical y se anota en U_{2j} para el U_{1j} se comienza de 0 metros sobre la misma curva imaginaria de 10 % y se anota el valor de U_{1j} . Para el segmento No. 2 se considera λ_j en el eje de U_{1j} las equis como 30, o sea $(10 + 20)$ y a $\lambda(j-1)$ como 10 o sea $(30 - 20)$ y se procede a anotar el valor de las U para su pendiente dada y así su-

cesivamente.

$$LS = \frac{\sum (U_{2j} - U_{1j})}{\lambda e}$$

Donde

$$LS = \frac{107.5}{100.0}$$

$$\lambda e = 100 \text{ metros}$$

$$LS = 1.075$$

Ahora bien, si procedemos a calcular directamente - utilizando la ecuación 14 notamos que para el primer segmento el valor de λ en el cálculo de U_{1j} será igual a cero, metros por lo tanto $U_{1j} = 0$, lo cual muestra una diferencia con respecto al cuadro de valores antes mencionado - al igual que el resto de los valores U_{2j} y U_{1j} para todos los segmentos.

En base a las diferencias que existen entre el cálculo con la figura 6 y el cálculo directo con la ecuación 14 se recomienda el uso de esta última debido a que proporciona una estimación más exacta y que considera valores - igual a cero, mismos que utilizando la figura no pueden obtenerse.

Para esto se realizó el cálculo con la ecuación - (14) con el mismo ejemplo y poder así notar la diferencia:

Segmento	Pendiente	Longitud	U_{2j}	U_{1j}	$(U_{2j} - U_{1j})$
1	10	10	27.45	0	27.45
2	8	20	113.27	21.79	91.48
3	6	40	306.53	86.00	220.53
4	5	30	444.68	260.43	184.25
					523.71

Donde para poder determinar los valores de U se saca el gradiente de la pendiente por medio de la ecuación 10 para cada segmento, una vez obtenidos los gradientes, se procede a la obtención de los valores de U por la ecuación 14.

El procedimiento para la obtención de U es el siguiente :

a) Se limitan las diferentes pendientes, indicando U_1 que corresponde a la parte alta de cada segmento y U_2 -- que es la parte baja de la misma (figura A)

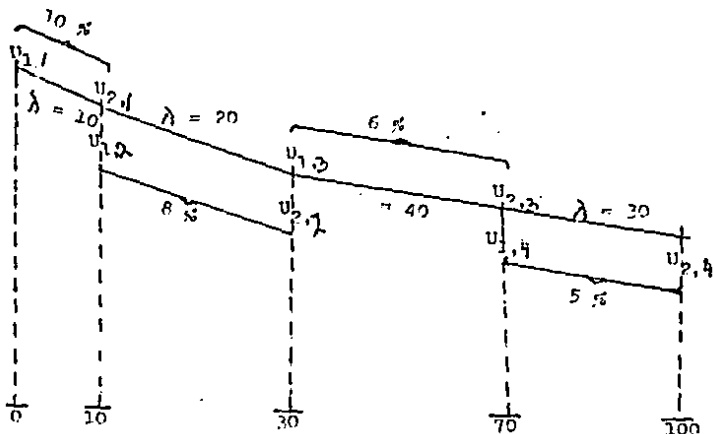
b) Se especifica el valor de la longitud de la pendiente entre U_1 y U_2 de cada segmento, tomando en cuenta -- que los valores de U_2 de cada segmento, representa el valor acumulado de la longitud de las pendientes, y U_1 que en un principio parte de cero, representa el valor del segmento, del cual parte, este valor es igual al valor de U_2 del segmento inmediato anterior (Figura A).

c) Una vez obtenidos los valores para U_{2j} y U_{1j} el valor LS se obtiene de la diferencia de estos entre el total de la longitud, al igual que en el caso anterior.

$$LS = \frac{(U_{2j} - U_{1j})}{e}$$

$$LS = \frac{523.61}{100}$$

$$LS = 5.24$$



VALOR ACUMULADO DE U2

Valores de λ y S para cada segmento de este ejemplo

		λ	S	Valor S
$U_{1,1}$	=	0	10	4.08
$U_{2,1}$	=	10		
$U_{1,2}$	=	10	8	3.24
$U_{2,2}$	=	30		
$U_{1,3}$	=	30	6	2.46
$U_{2,3}$	=	70		
$U_{1,4}$	=	70	5	2.09
$U_{2,4}$	=	100		

FIGURA A

FIG. 3-A 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

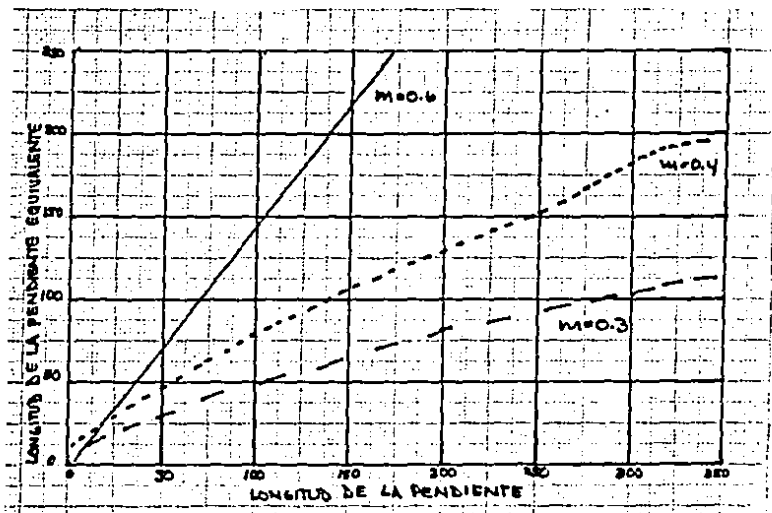


FIG. 4-A

EFFECTO COMBINADO DE LA LONGITUD λ Y GRADO DE LA PENDIENTE
 S ADAPTADO POR WISCHMEIER Y SMITH (1965) , DONDE $m = 0.5$

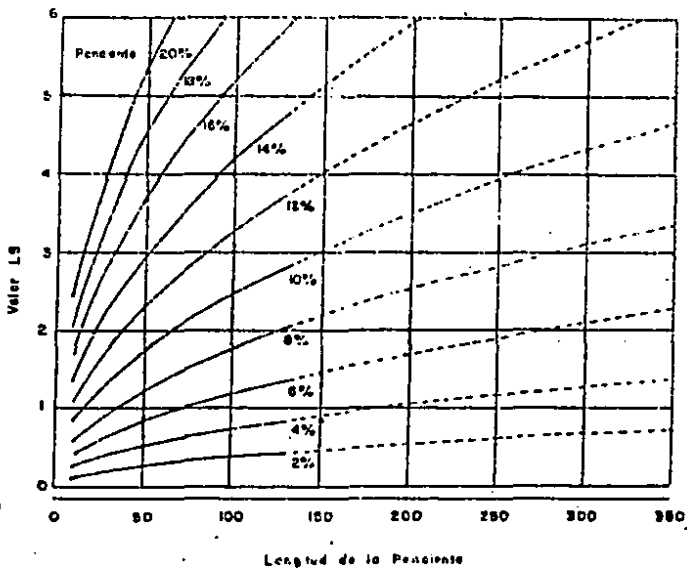
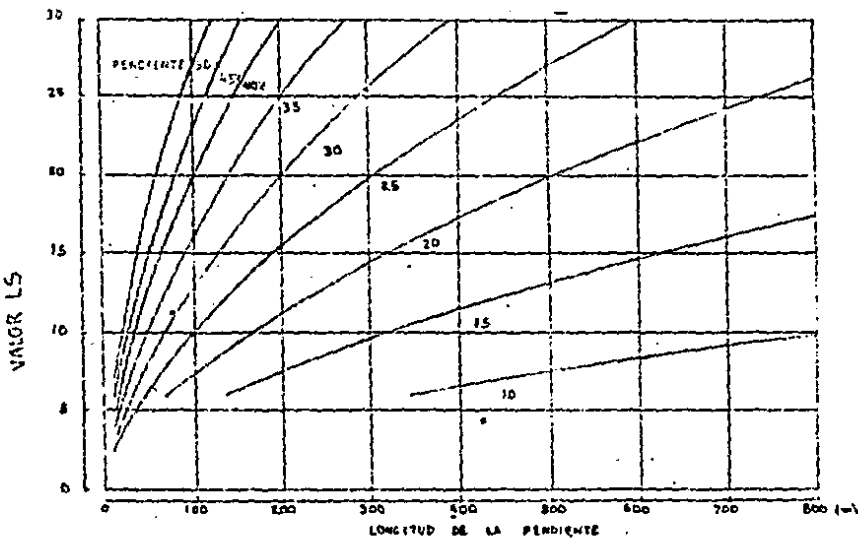


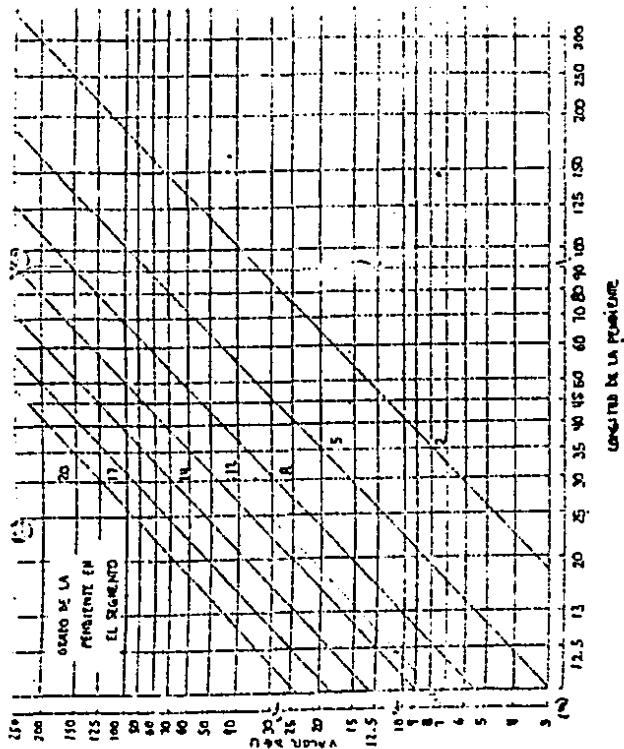
FIG. 5-A

CATA DEL EFECTO DE LA LONGITUD λ Y EL GRADO DE LA
PENDIENTE S QUE EXCEDEN LAS PRESENTADAS EN LA
FIGURA 4, EXTRAPOLADAS MAS ALLA DEL RANGO DE
DATOS: USESE SOLAMENTE COMO ESTIMACION



ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

FIG. 6-A CARTA PARA EL COMPUTO DE $u = S^{1.5} / 22.1^{0.5}$ DONDE -
 S = FACTOR PENDIENTE Y L = DISTANCIA DE LA CIMA
 A LA PARTE MAS BAJA DEL SEGMENTO.



CONCLUSIONES

Basados en la información reportada se pueden presentar las siguientes conclusiones :

- Es necesario estudiar a nivel regional el riesgo de erosión de los suelos para poder realizar una planeación adecuada de las obras de conservación y las prácticas de manejo de suelo y vegetación.
- La validación de las obras mecánicas y vegetativas para varias regiones en diferentes tiempos son necesarias para programar acciones encaminadas a minimizar las pérdidas de suelo.
- La complementación de prácticas mecánicas y vegetativas se hacen necesarias para tener más eficiencia en la reducción de la erosión.
- El aspecto de productividad del suelo al estar relacionado con el desarrollo de los cultivos, juega un papel muy importante en la reducción de las pérdidas de suelo

RESUMEN

La erosión del recurso suelo ocasionada por los agentes erosivos y las prácticas del inadecuado manejo del suelo y vegetación, son cada vez más acelerados, encontrando que cerca del 80 % de la superficie del país presenta erosión a diferentes grados. La erosión está en función del tipo y profundidad del suelo y de las condiciones climáticas, llegando a reducir la productividad del suelo hasta un 100%. Adicionalmente a las pérdidas de suelo y nutrientes, la materia orgánica y la fracción húmica se pierde continuamente haciendo que se reduzca la fertilidad, cambie el estado de agregación de los suelos, se modifique la relación precipitación-escurrimiento y la resistencia de las partículas del suelo a la remoción. Siempre habrá pérdidas de suelo en diferentes grados; sin embargo, deberán buscarse que estas sean mínimas y comparables con las pérdidas de suelo permitidas. La pérdida de suelo permisible, es el máximo nivel de erosión que permita un alto nivel de productividad de los cultivos para que sea sostenido en forma económica e indefinida. Solo se pueden aceptar pérdidas de suelo menores a 11 ton/ha/año, y cuando estos valores son mayores es necesario establecer trabajos de conservación de suelo. La estimación de las pérdidas de suelo potenciales se pueden obtener con el uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) de la siguiente forma .

Donde :

E = Pérdidas de suelo potenciales (ton/ha/año)

R = Erosividad de la lluvia (Mega-Joules.mm/ha.hr.año)

K = Erodabilidad del suelo (ton.hr/Mega-Joules.mm)

L = Longitud de la pendiente (m)

S = Grado de la pendiente †

"Esta fórmula se puede aplicar a cualquier región agrícola".

B I B L I O G R A F I A

- ARNOLDUS, H.M.J. 1977. PREDICTING SOIL LOSSES DUE TO - - SHEET AND RILL EROSION, GUIDELINES FOR WATERSHED - MANAGEMENT, FAO CONSERVATION GUIDE No. 1 . ROME.
- C.P. 1981. INFORME DE AVANCES DE ACTIVIDADES, COLEGIO DE POSTGRADUADOS. SECCION DE FISICA DE SUELOS. - CENTRO DE EDAFOLOGIA. CHAPINGO, MEX.
- DGCSA 1981. INFORME TECNICO DEL CAMPO EXPERIMENTAL. - "LAS OLLAS". CHIAPAS, REPORTE INTERNO.
- GREELAND D.J. AND R. LAL 1977. SOIL CONSERVATION AND MANAGEMENT IN THE HUMID TROPICS, CHAPTER 4.3. SOUL - MANAGEMENT SYSTEM AND EROSION CONTROL.
- LOGAN, T.J. 1977. ESTABLISHING SOIL LOSS SEDIMENTATION - YIELD LIMITS FOR AGRICULTURAL LAND. PROCEEDINGS - OF THE NATIONAL SYMPOSIUM ON SOIL EROSION AND SEDI - MENTATION BY WATER. PALMER HOUSE, CHICAGO. ASAE - PUBLICATION 4-77.
- MONTENEGRO, H. 1982. EFECTO DE LA LLLUVIA SOBRE LA ES - TRUCTURA INTERNA DE LOS SUELOS LABRADOS. TESIS DE MAESTRIA. COLEGIO DE POST GRADUADOS, CHAPINGO, -- MEX.
- ROOSE, E.J. 1977 USE OF THE UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION TO PREDICT EROSION IN WEST AFRICA. IN SOIL EROSION PREDICTION AND CONTROL. SPECIAL PUBLICATION No. - 21. SCSA.

- S C S 1977. MIDWEST TECHNICAL SERVICE CENTER. TCS. -
ADVISORY SOIL LT-13 JULY 14, 1977.
- TERRAZAS, G.H.L. 1977. MANEJO DE LOS SUELOS PARA REDU--
CIR EROSION Y AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE LOS SUE
LOS AGRICOLAS DE LADERAS DE LA CUENCA DEL RIO DE -
TEXCOCO, TESIS DE MAESTRIA. COLEGIO DE POST GRA--
DUADOS. CHAPINGO, MEXICO.
- TRUJILLO, S. 1982. EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL EN EL
PROCESO EROSIVO. TESIS PROFESIONAL EN ELABORACION
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHAPINGO. CHAPINGO, MEX.
- WISCHMEIER, W.H. AND SMITH, D. D. 1978. PREDICTING RAIN-
FALL EROSION-LOSSES A GUIDE TO CONSERVATION PLAN -
NING, U.S. DEPARTAMENT OF AGRICULTURE, AGRICULTU-
RE HANDBOOK No. 537.