

19  
2ej



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**"EVALUACION DE LA EROSION HIDRICA Y DE LA  
PRODUCTIVIDAD EN EL CULTIVO DEL FRIJOL A TRAVES  
DE PEQUEÑAS CUENCAS AGRICOLAS BAJO  
CONDICIONES DE TEMPORAL"**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERA AGRICOLA  
P R E S E N T A:  
ELSA HUERTA MARTINEZ**

**ASESOR: DR. JOSE LUIS OROPEZA MOTA  
COASESOR: DR. EDVINO JOSAFAT VEGA ROJAS**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO.**

**1995**

**FALLA DE ORIGEN**



## **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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES-CUAUTITLAN

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA: "Evaluación de la erosión hídrica y de la productividad en el cultivo del frijol a través de pequeñas cuencas agrícolas bajo condiciones de temporal".

que presenta la pasante: Elsa Huerra Marrínez  
con número de cuenta: 8000400-4 para obtener el TITULO de:  
Ingeniera Agrícola

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 11 de Septiembre de 1995

PRESIDENTE	<u>Dr. Edvino Josafat Vega Rojas</u>
VOCAL	<u>Q. Celia Elena Valencia Islas</u>
SECRETARIO	<u>Ing. Raymundo Gómez Orta</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Raúl Espinoza Sánchez</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Miguel Bayardo Parra</u>

*E. Josafat Vega* 13-IX-95  
13/Sep/1995  
*Raymundo Gómez Orta* 13 sep. 95  
14/09/95  
*Miguel Bayardo Parra*

## **DEDICATORIA**

**A MIS PADRES:**

**TERESA Y HECTOR**

## **AGRADECIMIENTOS**

**En la elaboración de este trabajo fue necesaria la participación de un gran grupo de trabajo, a todos ellos mi eterno agradecimiento, sin embargo deseo mencionar a las siguientes personas:**

- Al Dr. José Luis Oropeza Mota, por la dirección de este trabajo y por darme la oportunidad de trabajar a su lado siempre buscando mi superación profesional y personal, mi más profundo respeto y admiración.

- Al Dr. Edvino Josafat Vega, por la extrema confianza en mi vida como estudiante y profesional, esperando siempre corresponder a ello.

- A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan (UNAM), por mi formación profesional.

- Al M.C. José Donald Ríos, por sus siempre acertadas sugerencias.

- A la Sra. Ma. Salustia Chávez, por su ayuda desinteresada en la participación de este trabajo.

- A los trabajadores de Campo del Area de Física de Suelos del Programa de Edafología en el Colegio de Postgraduados.

## INDICE GENERAL

	Págs.
Indice de cuadro	I
Indice de figuras	II
Indice de tablas	III
1. Introducción	1
2. Objetivo general	3
2.1 Objetivos particulares	3
3. Hipótesis	3
4. Revisión de literatura	4
4.1 Erosión en México	4
4.1.1 Generalidades sobre erosión	4
4.1.1.1 Reducción de la productividad	7
4.1.1.2 Relación erosión - productividad	7
4.1.1.3 Pérdida de nutrimentos	8
4.2 Mecánica de la erosión hídrica en cuencas pequeñas	8
4.3 Ecuación del balance hidrológico	9
4.4 Coberturas vegetales	10
4.5 Mecánica de la erosión hídrica	11
4.5.1 Características físicas de la lluvia	11
4.5.1.1 Cantidad de lluvia	11
4.5.1.2 Intensidad de la lluvia	11
4.5.1.3 Velocidad final de las gotas de lluvia	12
4.5.1.4 Tamaño de las gotas de lluvia	12
4.5.1.5 Distribución del tamaño de las gotas de lluvia	13
4.5.2 Erosión por las gotas de lluvia	13
4.5.2.1 Energía cinética de la lluvia	13
4.6 Erosividad de la lluvia	14
4.6.1 Indice de Wischmeier	14
4.7 Escurrimiento superficial	15
4.7.1 Ciclo del escurrimiento superficial	15
4.7.2 Factores que afectan el escurrimiento superficial	19
4.7.2.1 Factores climáticos	19
4.7.2.2 Factores fisiográficos	19
4.7.3 Estimación de escurrimientos en pequeñas cuencas	21
4.8 Predicción de la erosión	34
4.8.1 Métodos de predicción de la erosión	34
4.8.2 Clasificación de los modelos hidrológicos en la predicción de la erosión	36
4.8.3 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	37
4.8.3.1 Factor R (erosividad de la lluvia)	37

4.8.3.2	Factor K (erosionabilidad de los suelos)	39
4.8.3.3	Factor LS (longitud e inclinación de la pendiente)	39
4.8.3.4	Factor C (manejo y cobertura)	40
4.8.3.5	Factor P (prácticas de conservación)	41
<b>5.</b>	<b>Materiales y métodos</b>	<b>44</b>
5.1	Descripción del área de estudio	44
5.2	Metodología	45
5.2.1	Trabajo de campo	45
5.2.2	Porcentaje de cobertura vegetal	46
5.2.3	Descripción de la infraestructura de las parcelas para medir lluvia y escurrimiento	49
5.2.4	Descripción de las parcelas de escurrimiento	49
5.2.5	Seguimiento agronómico	50
5.2.5.1	Preparación del terreno	50
5.2.6	Registro y cálculo de los datos de lluvia	51
<b>6.</b>	<b>Análisis de resultados</b>	<b>54</b>
6.1	Efecto de la precipitación	54
6.1.1	Cantidad de lluvia - pérdida de suelo	54
6.1.2	$EI_{30}$ - Pérdida de suelo	57
6.1.3	Cobertura vegetal	58
6.1.4	Escurrimiento superficial	63
6.2	Metodología utilizada por el SCS - USDA, 1972	63
6.2.1	Escurrimiento máximo observado - escurrimiento máximo calculado	65
6.3	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	66
<b>7.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>81</b>
<b>8.</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>82</b>

## INDICE DE CUADROS

No.		Pag.
1:	Superficie en ha. afectadas por las diferentes clases de erosión	5
2:	Estados de la República con mayor proporción de erosión manifiesta	6
3:	Reducción de la prouctividad del suelo al ocurrir la erosión	7
4:	Pérdida anuales de suelo N, P y K en varios cultivos	8
5:	Grupos hidrológicos de suelo utilizados por el Servicio de Conservación de Suelo - USDA, 1972	24
6:	Condiciones hidrológicas y porcentaje de cobertura vegetal	25
7:	Caracterización hidrológica para varios usos del suelo	26
8:	Curvas numéricas (CN) para condiciones antecedentes de humedad del suelo húmedo (III) y seca (II) a partir de las condiciones de humedad intermedia (II)	27
9:	Condiciones de humedad antecedente en función de la precipitación	28
10:	Curva numérica (CN) usada para estimar escorrentia bajo diferentes complejos, suelo, cobertura y manejo (datos para la condición de humedad II, y la 0.25)	29
11:	Características de las zonas de la cuenca del Río Texcoco	33
12:	Valores de CN y S para las diferentes zonas de la Cuenca del Río Texcoco	33
13 y 14:	Datos de % de cobertura vegetal tomados en campo del 020693	48
15:	Características de las parcelas experimentales	50
16:	Resultados de los análisis químicos	51
17:	Resultados de los análisis físicos	51
18:	Métodos utilizados en las determinaciones de los análisis físicos y químicos de las muestras del suelo, (Lomas de San Juan).	51
18.1	Cálculo de I30 para un evento de lluvia	53
19:	Los cinco eventos que provocaron escurrimiento superficial en la Parcela 1	55
20:	Los cinco eventos que provocaron escurrimiento superficial en la Parcela 2	55
21:	Datos hidrológicos observados vs. los calculados, Parcela 1 (SCS-1973)	64
22:	Datos hidrológicos observados vs. los calculados, Parcela 2 (SCS- 1973)	64
23:	Resumen de resultados	64
24:	Cálculo del EI30 por evento de lluvia	68
25:	Cálculo de Qmax a través del ciclo hidrológico, para la Parcela 1,1993	72
26:	Cálculo de Qmax a través del ciclo hidrológico, para la Parcela 2,1993	76



## INDICE DE FIGURAS

No.		Pags.
1:	Formación del escurrimiento total a partir de la precipitación	16
2:	Distribución de la precipitación y caminos que toma el agua de lluvia para llegar al cauce	17
3:	Hidrogramas típicos para corrientes perennes e intermitentes	22
4:	Representación de la precipitación y escurrimiento acumulado, considerando la infiltración y las abstracciones iniciales	22
5:	Conceptualización del hidrograma unitario	31
5.1	Nomograma elaborado por Wischmeier para evaluar el Factor K	39.1
5.2	Efecto combinado de la longitud e inclinación de la pendiente	39.2
6:	Aparato con piezas ajustables para medir el porcentaje de cobertura.	
7:	Equipo hidrológico establecido en campo	53
8:	Relación cantidad de lluvia - pérdida de suelo para la Parcela 1, (Lomas de San Juan)	56
9:	Relación cantidad de lluvia - pérdida de suelo para la Parcela 2, (Lomas de San Juan)	56
10:	Comportamiento del $EI_{30}$ por evento - pérdida de suelo para la Parcela 1, (Lomas de San Juan)	57
11:	Comportamiento del $EI_{30}$ por evento - pérdida de suelo en la Parcela 2, (Lomas de San Juan)	57
12:	Distribución del $EI_{30}$ a través del ciclo hidrológico, (Lomas de San Juan)	12
13:	Comportamiento de la cobertura vegetal con respecto a la pérdida de suelo a través del ciclo hidrológico en la Parcela 1	59
14:	Comportamiento de la cobertura vegetal con respecto a la pérdida de suelo a través del ciclo hidrológico en la Parcela 2	59
15:	Comportamiento de la cobertura vegetal y la pérdida de suelo con respecto al tiempo, para la Parcela 1	60
16:	Comportamiento de la cobertura vegetal y la pérdida de suelo con respecto al tiempo, para la Parcela 2	60
17:	Comportamiento del $EI_{30}$ y la influencia de la cobertura vegetal en la pérdida de suelo a través del ciclo hidrológico, en la Parcela 1	61
18:	Comportamiento del $EI_{30}$ y la influencia de la cobertura vegetal en la pérdida de suelo a través del ciclo hidrológico, en la Parcela 2	61
19:	Relación escurrimiento superficial - pérdida de suelo, en la Parcela 1.	
20:	Relación escurrimiento superficial - pérdida de suelo, en la Parcela 2	63
22:	Gráfica de dispersión del escurrimiento máximo observado vs. el escurrimiento máximo calculado por el método del SCS - 1972, en la Parcela 1	65
23:	Gráfica de dispersión del escurrimiento máximo observado vs. el escurrimiento máximo calculado por el método del SCS - 1972, en la Parcela 2	65

**No.**

**Pags.**

**24: Comportamiento de la pérdida de suelo con respecto a la precipitación y al escurrimiento máximo en la Parcela 1**

**66**

## INDICE DE TABLAS

No.		Pags.
1:	Factor K, según la FAO/UNESCO	39.0
2:	Cálculo del Factor LS para diferentes longitudes y grados de pendientes en terrenos agrícolas	40.1
3:	Valor promedio del Factor C anual del cultivo del frijol, para el grupo climático no. 4 perteneciente al Municipio de Texcoco, México	41
4:	Factor P para surcado al contorno	43

## 1. INTRODUCCION

En México se han realizado varios estudios para evitar la acelerada pérdida del suelo, originado por el uso y manejo inadecuado de los recursos naturales, por lo que en nuestro país se presentan casi todas las condiciones favorables para acelerar el proceso erosivo, tales como la topografía, cambios en el uso del suelo, establecimiento de monocultivos y prácticas mecánicas inadecuadas. Dichos problemas se encuentran principalmente en áreas de temporal.

Lo anterior hace indispensable la aplicación integral de todas las medidas posibles para conservación del suelo mediante programas de control. Se dice que el proceso erosivo es causado principalmente por el agua de lluvia, (erosión hídrica), ya que los suelos agrícolas se encuentran expuestos al efecto erosivo de las gotas de esta, especialmente, como ya se mencionó, en las áreas de agricultura de temporal las cuales se encuentran la mayor parte del año sin una apropiada cobertura vegetal.

También se ha determinado que la erosión hídrica es el resultado de la interacción de las gotas de lluvia-suelo. Esto es, que los componentes de la erosión son la erosividad o capacidad de la lluvia para producir y la erodabilidad o susceptibilidad del suelo para ser erosionado.

Otra cosa que debe de estar implícita es lo relacionado con el manejo del agua, ya que actualmente los eventos de lluvia son escasos, además de su mala distribución en varias y grandes regiones del país. Cada vez que ocurre un evento de lluvia, aproximadamente el 20 ó 30% se convierte en escurrimiento superficial y, esta agua convertida en escurrimiento prácticamente se pierde. Por lo tanto, es necesario establecer un manejo adecuado de los escurrimientos superficiales ya que se sabe que son los principales causantes de los azolves de las presas que abastecen zonas de riego agrícola. Es decir, que con prácticas adecuadas de conservación los escurrimientos superficiales estarían totalmente controlados, estas prácticas algunas veces pueden ser costosas pero a mediano y largo plazo darían como resultado una disminución en cuanto a pérdidas de suelo se refiere y un aprovechamiento, como ya se mencionó, de los escurrimientos superficiales.

Siguiendo el mismo lineamiento, existen métodos que con facilidad describen, aproximadamente con un 96% de confiabilidad, un sistema físico en donde se requieren datos de entrada generándose así datos de salida.

Considerando las necesidades anteriores, en el presente trabajo se trata de cubrir la importancia de dichos métodos, uno de ellos, calculando los escurrimientos superficiales máximos con la metodología empleada por el SCS- USDA, 1972 y prediciendo la pérdida de suelo con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, comparándolos con datos observados en campo, con el cultivo del frijol.

**Es preciso señalar que dichos métodos son una importante herramienta en los trabajos de conservación del suelo y del agua, ya que económicamente son viables, ecológicamente sustentables y, fácil de aceptar socialmente.**

**En conclusión, es necesario instrumentar una política efectiva en el uso y manejo del suelo, ya que día con día se pierden miles de toneladas de suelo, degradando un uso potencial y reduciendo así las áreas dedicadas al cultivo o bien, incrementando la tasa de contaminación de suelo y agua.**

## **2. OBJETIVO GENERAL**

**1. Establecer con equipo hidrológico, pequeñas cuencas para el estudio de los diferentes procesos hidrológicos que tienen lugar en los terrenos agrícolas de temporal y con pendiente.**

### **2.1 OBJETIVOS PARTICULARES**

**1.- Determinar la eficiencia del método de Curvas Numéricas propuesto por el Soil Conservation Service, (SCS - USDA, 1972), para el cálculo de escurrimiento máximo.**

**2.- Determinar la eficiencia de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, en la predicción de la erosión total (producción de sedimentos) en el cultivo de dos variedades de frijol con diferentes hábitos de crecimiento.**

**3.- Estudiar el desarrollo y manejo de la cobertura vegetal del cultivo del frijol como una alternativa para reducir la erosión hídrica del suelo con pendiente.**

## **3. HIPOTESIS**

**1.- El cálculo del escurrimiento máximo empleado por el Soil Conservation Service, (SCS - USDA, 1972), se puede aplicar a la unidad experimental bajo estudio y por consecuencia predecir eficientemente el escurrimiento superficial.**

**2.- La Ecuación universal de Pérdida de Suelo es de amplia aplicación, por lo tanto, se pueden obtener resultados confiables de pérdida de suelo en cuanto a la relación de parámetros hidrológicos adecuados.**

**3.- El desarrollo adecuado de la cobertura vegetal reduce la pérdida de suelo, y de manera más eficiente cuando el hábito de crecimiento es de semiguía.**

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 Erosión en México

#### 4.1.1 Generalidades sobre erosión

México es considerado un país con un enorme potencial agrícola debido a su gran diversidad de microclimas y a los diferentes tipos de suelos que lo constituyen. En las últimas décadas dicho potencial agrícola productivo ha sido fuertemente afectado por diferentes agentes causales, provocando una acelerada decadencia y, una razón poderosa es debido a los factores que dan paso a la degradación del suelo y a la contaminación del viento y del agua por sedimentos, todo ello producto de la erosión.

La erosión es un problema mundial, año con año se pierden toneladas de suelo fértil de los campos de cultivo, praderas y bosques por la acción de los agentes erosivos. La erosión puede definirse como un proceso de remoción, transporte y deposición de las partículas individuales del suelo por agentes del interperismo, (Kirby y Morgan, 1984). Los principales agentes del interperismo son el agua y el viento y, a los tipos de erosión que producen se les denomina **hidrica** o **eólica**, respectivamente, (Manual de Conservación del Suelo y del Agua, C.P., 1977). También la erosión puede ser geológica o bien inducida, el primer tipo se refiere a lo que ocurre como consecuencia de las fuerzas de la naturaleza. Este tipo de erosión actúa sin la intervención del hombre y participa a la vez, en la formación de los suelos. La erosión inducida, es la que opera cuando el proceso de la pérdida del suelo es debida al mal manejo del suelo por la influencia del hombre.

Así mismo, Figueroa *et al.*, (1991), establecen que la erosión está compuesta de dos procesos que consisten en el desprendimiento de las partículas del suelo y su transporte por el agente erosivo, el mismo autor indica que el agente más importante para el desprendimiento de las partículas del suelo, en el caso de la erosión hidrica, son las gotas de lluvia.

El suelo ha pasado por varias etapas para alcanzar su formación, aunque para ello debe de transcurrir largos periodos de tiempo. A pesar de esto y, debido a prácticas inadecuadas de manejo tales como la tala inmoderada de la vegetación primaria y/o secundaria, sobrepastoreo, cambios en el uso del suelo y establecimiento de sistemas de producción (monocultivos) se ha conseguido una acelerada pérdida de suelo, la cual trae como consecuencia que la superficie dedicada a la agricultura disminuya en forma alarmante, (Ríos, 1987).

Así, los problemas de erosión son más acentuados en las áreas de temporal principalmente, y gran parte de estas están situadas en terrenos de ladera, las cuales en considerables casos, se observa una pendiente bastante pronunciada. A través de los inventarios de erosión, realizados por la extinta Dirección General de Conservación del Suelo y del Agua se determinó que el 80% de la superficie del país (155.6 millones de ha.) tienen algún grado de erosión. Es decir, esta Dirección estimó que 38 millones de ha. (19%) no presentaba erosión, 28 (15%) tenía erosión incipiente, 46 (24%) reportaba una erosión

moderada, 52 (26%) tenía erosión acelerada y, que el 16% restante (30 millones de ha.) estaba totalmente erosionada, (Martínez, 1991).

Este inventario se realizó con material fotográfico y recorridos de campo, y fue la base para jerarquizar las áreas con diferentes grados de erosión en cada entidad federativa.

Posteriormente se elaboró nuevamente un inventario de las áreas erosionadas a nivel de entidad federativa, finalizando los 70's e iniciando los 80's, con la interpretación de imágenes de satélite en dos épocas del año (periodo seco y de lluvia) y recorridos de campo para definir así 5 grados de erosión del suelo, (DGCSA, 1984). (Cuadro 1).

Con base a estos resultados se agruparon las entidades federativas que presentaban alta, mediana, baja y muy baja erosión manifiesta.

**Cuadro 1. Superficie en hectáreas afectadas por las diferentes clases de erosión hídrica.**

ENTIDADES	Área total	Erosión no manifiesta	Erosión leve	Erosión moderada	Erosión severa	Erosión muy severa
Aguascalientes	558,9	65,0	63,8	188,4	179,1	17,7
B C N	7011,3	1227,7	1438,5	2326,2	1831,5	162,0
B C S	7366,7	484,7	1607,8	2522,0	2218,9	355,2
Campeche	5183,3	4579,3	565,9	—	—	—
Coahuila	15157,8	356,2	7049,1	6344,1	1228,5	97,1
Colima	545,5	87,9	344,9	96,9	—	—
Chiapas	7388,7	4556,9	2124,4	477,4	64,2	—
Chihuahua	24708,7	4427,2	4250,2	12187,6	2108,9	680,7
D.F.	149,9	26,8	61,5	12,4	1,4	—
Durango	11964,8	1170,3	4078,9	5511,6	862,7	298,3
Guanajuato	3058,9	1026,9	505,8	873,7	382,7	217,8
Guerrero	6379,4	1255,3	1978,4	2500,3	559,6	—
Hidalgo	2098,7	503,3	746,1	669,9	147,9	19,7
Jalisco	8013,7	1048,3	3318,7	2101,8	1319,9	67,0
México	2146,1	510,0	906,2	642,6	30,8	6,7
Michoacán	5986,4	1241,4	2246,8	1911,9	440,9	—
Morelos	494,1	90,8	253,6	117,7	23,3	—
Navarro	2762,1	818,4	1218,8	607,0	76,1	6,5
Nuevo León	6455,5	194,3	1004,3	4373,7	809,0	49,6
Oaxaca	9421,1	1413,1	1413,1	1884,2	1884,2	22826,3
Puebla	3391,9	102,0	1922,8	850,5	357,2	131,4
Querétaro	1176,9	197,3	344,9	321,9	287,8	17,6
Quintana Roo	5035,0	1611,2	1913,3	503,5	251,7	755,2
S.L.P.	5284,8	1145,1	1666,4	2810,5	575,2	31,8
Sinaloa	5809,2	1159,8	1058,0	2476,1	1065,9	3,5
Sonora	18493,4	1646,8	2507,5	10869,6	3254,7	166,1
Tabasco	2403,8	1593,7	596,2	92,7	12,0	—
Tamaulipas	7960,2	2228,8	796,0	2388,0	1353,2	1194,0
Tlaxcala	391,4	16,6	70,6	209,2	77,3	9,5
Veracruz	7281,5	3603,6	3461,6	96,2	1,8	945,0
Yucatán	3850,8	577,6	192,5	1193,7	192,5	1694,3
Zacatecas	7345,4	37,2	1000,2	4189,4	1936,3	162,5
<b>TOTALES</b>	<b>196718,3</b>	<b>39055,0</b>	<b>50708,2</b>	<b>72352,2</b>	<b>23536,7</b>	<b>8972,6</b>

Nota: la diferencia del total del Estado corresponde a ciudades y cuerpos de agua  
Fuente: DGCSA, 1984)

\* Superficies estimadas.



Es preciso señalar que al comparar los inventarios realizados en diferentes épocas, los resultados deberían reflejar el avance del proceso erosivo a través de los 20 años. Sin embargo, debe de reconocerse que las diferencias obtenidas pueden ser debidas al método de evaluación, así como al avance del proceso erosivo en el país durante ese periodo. (Martínez, 1991). (Cuadro 2).

También, la DGCSA determinó que en el país se pierden en promedio 2.8 ton/ha/año de suelo y además obtuvieron la superficie que es responsable de la producción de sedimentos a nivel nacional (193,641,878 ha.). Considerando la pérdida de suelo anterior y la superficie productora de sedimentos, se obtiene un total de 535,226,151 ton. de sedimentos/año, de los cuales el 69% (369,306,044 ton.) descarga al mar y el 31% restante (165,920,107 ton.) se deposita en las obras de almacenamiento de agua del país. Manejando un peso específico de 1.1 g/cm<sup>3</sup> para los sedimentos, el volúmen depositado en las obras de almacenamiento asciende a la cifra de 150,839,461 m<sup>3</sup> de azolve. Este volúmen representa el 0.13% de la capacidad de almacenamiento del país (112,744.8 millones de m<sup>3</sup>).

**Cuadro 2. Estados de la República con mayor proporción de erosión manifiesta.**

GRUPO	GRADO	DESCRIPCION	ESTADOS
I	ALTO	Erosión manifiesta en más del 90% de la superficie total	BCS, Coah., Nvo León, Puebla, Tlaxcala y Zacatecas.
II	MEDIANO	Erosión manifiesta entre el 80 y 90% de la superficie total	Aguas., BCN, Colima, Chih., D.F., Durango, Gro., Jalisco, Morelia, Oax., Qro., SLP., Son. y Yucatán.
III	BAJO	Erosión manifiesta entre el 70 y 80% de la superficie total	
IV	MUY BAJO	Erosión manifiesta menor del 70% de la superficie total	

Fuente: DGCS, 1984.

En relación con las pérdidas de agua, anualmente se generan por 410 mil millones de m<sup>3</sup> de escurrimiento de los cuales sólo se aprovechan 121 mil millones de m<sup>3</sup> y el resto se deja escurrir al mar. En México, alrededor del 23% de la lluvia total se convierte en escurrimiento, el cual si se aprovechara de una manera más integral, representaría grandes beneficios para el desarrollo nacional y la recarga de acuíferos, logrando atenuar los grandes problemas existentes de sobreexplotación, abatimiento e intrusión salina. Todo ello también origina problemas que se manifiestan través del azolve de los sistemas hidráulicos, la contaminación de los suelos, contaminación y reducción de los cuerpos de agua y consecuentemente, la extinción de la fauna acuática. Es decir, que los escurrimientos que fluyen sin control a través de las cuencas, provocan problemas de inundación en las partes bajas y disminuyen la recarga de los acuíferos que existen en la cuenca, (Vázquez, 1987). Por lo tanto la pérdida del suelo y agua originan problemas sociales muy importantes, entre los que se destacan la pobreza de ciertos sectores rurales,

migración de grupos campesinos y desempleo rural y urbano.

#### 4.1.1.1 Reducción de la productividad del suelo

Ahora bien, en cuanto ocurre la pérdida de suelo, simultáneamente se presenta la reducción de su productividad. Es bien claro que la pérdida de suelo varía de un sitio a otro, dependiendo del tipo y profundidad del suelo y a las condiciones climáticas, sin embargo, el Servicio de Conservación del Suelo y del Agua de los E.U.A considera en forma general los datos que se presentan en el Cuadro 3. Esto es que, mientras más profunda sea la capa superficial del suelo, la pérdida en ton/ha es mayor y por lo tanto la reducción en la producción también se incrementa aproximadamente en una relación de 1:2 y con respecto a la pérdida de suelo la relación es de 1:125.

Cuadro 3. Reducción de la productividad del suelo al ocurrir la erosión.

Perdida de suelo cm	Pérdida de suelo ton/ha	Reducción de la producción (%)
5.08	635	15
10.16	1270	22
15.24	1905	30
20.54	2565	41
25.40	3175	57
30.40	3800	75

\* Considerando una densidad aparente de 1.25 g/cm<sup>3</sup>

Fuente: S.C.S.,1977.

#### 4.1.1.2 Relación Erosión-Productividad

Conocer esta relación es esencial para una futura planeación y para el desarrollo de una política efectiva de uso del suelo. La pérdida económica atribuible a la erosión del suelo, incluye reservas de materia orgánica, pérdida de la capacidad de almacenamiento y reservas de agua disponibles para las plantas. En adición a los rendimientos de grano, la erosión también incrementa los costos de producción de los cultivos.

Además, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas a su vez incrementa los costos en los insumos agrícolas, lo cual ha sido motivo de un interés creciente en la erosión del suelo en la reducción de la productividad causada por la erosión, (Osuna et al., 1991).

La erosión del suelo también influye en el rendimiento de los cultivos mediante cambios en los factores que limitan la producción. Es decir, la erosión progresiva incrementa la magnitud de las limitantes de la producción relacionadas con el suelo. Estas limitantes pueden ser físicas, químicas o biológicas.

Osuna en 1991, señala que entre las limitantes físicas del suelo más importantes que son agravadas por la erosión, sobresalen las siguientes: profundidad radical reducida, pérdida de la capacidad de almacenamiento de agua y, compactación del suelo. Además, la erosión

resulta en la pérdida de arcilla y coloides debido a una remoción preferencial de partículas finas de la superficie del suelo. También la pérdida de arcilla influye en la consistencia y manejo del suelo.

#### 4.1.1.3 Pérdida de nutrientes

La extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, 1987), indica que debido a que los nutrientes se encuentran adsorbidos en las partículas finas del suelo, estos se pierden cuando hay erosión. Por otra parte, la pérdida de los nutrientes en solución es importante, especialmente porque es en esta forma como son absorbidos por las plantas.

Algunos estudios realizados sobre este tema se muestran en el Cuadro 4. Las primeras cinco hileras fueron obtenidas por Burwell et al, (1975) en los trabajos realizados durante el período de 1962 a 1971. Las dos últimas filas fueron obtenidas por la extinta DGCSA en el año de 1981.

Cuadro 4. Pérdida anuales de suelo, N, P y K en varios cultivos.

Rotación	Suelo perdido ton/ha	kg de nutrimento perdido		
		N	P	K
Barbecho	37.00	150.20	33.33	8.51
Maíz continuo	16.47	77.90	18.61	3.79
Maíz-rotación	7.54	35.97	8.67	1.88
Avena-rotación	4.35	23.58	5.26	1.96
Heno-rotación	0.02	4.10	0.68	4.56
Barbecho	40.00	110.00	2.00	42.00
Maíz	6.00	10.00	5.00	70.00

Fuente: DGCSA, 1984.

Además, dependiendo de la región agrícola que se trate, podría considerarse que las pérdidas de nutrientes por la erosión representa sólo un pequeño porcentaje de las fertilizaciones normales que se hacen; sin embargo, al ocurrir una reducción de los nutrientes también se pierde la materia orgánica y la fracción húmica provocando que se reduzca la fertilidad, cambios en el estado de agregación de los suelos, se modifique la relación precipitación-escurrimiento y la resistencia de las partículas del suelo a la remoción.

En esta revisión de literatura se cubrirán los aspectos más relevantes de la erosión hídrica; ya que el principal objetivo en el presente trabajo es su evaluación.

#### 4.2 Mecánica de la erosión hídrica en cuencas pequeñas

Debido a que la erosión en México es un problema que merece atención, es necesario la aplicación de un plan integral que comprenda a escala nacional, todas las medidas posibles para la conservación de los recursos suelo, agua y planta, mediante programas de control de erosión. Para esto es necesario contar con una unidad de estudio: la cuenca. La

cuenca, además de ser una unidad hidrológica, es una unidad ecológica y de producción. (Arias, 1980).

Para establecer un plan integral para el control de la erosión de acuerdo con Oropeza, (1980) se debe medir la intensidad de los procesos erosivos y la dinámica de la producción de sedimentos a través de la instrumentación de la cuenca, debido a que dentro de sus límites es posible llevar una contabilidad exacta de los procesos físicos e hidrológicos que en ello ocurren. Es decir, si las cuencas están bien instrumentadas, la implementación de medidas de control de la erosión serán más efectivas.

Apoyando la idea anterior la SARH, (1988), postula lo siguiente: "el equilibrio interno de la cuenca depende estrechamente de las tecnologías que se utilicen y de cómo las controlen o alteren los flujos de energía de la lluvia, escurrimiento, viento, gravedad, vegetación y acciones realizadas por el hombre". Es decir, que para llevar a cabo un manejo de cuencas se requiere un conocimiento amplio de las características de la cuenca y sus interrelaciones, para que así por medio del análisis se pueda detectar los factores de impacto negativo que puedan incidir sobre los recursos de la cuenca.

Ahora bien, de acuerdo a todo lo anterior, el proceso erosivo es causado principalmente por el agua de lluvia; es decir, por la erosión hídrica, debido a que los suelos agrícolas se encuentran expuestos al efecto erosivo de las gotas de lluvia, especialmente la superficie dedicada a la agricultura de temporal que se encuentran la mayor parte del año sin cubierta vegetal, (Arias, 1980). Además de ubicarse en terrenos con diferentes grados de pendiente.

#### 4.3 Ecuación del Balance hidrológico

En todo sistema del ciclo hidrológico, el principio que indica que el agua ni se crea ni se destruye se refleja en la denominada Ecuación del balance hidrológico, (Dodge, 1974), la cual permite relacionar las cantidades de agua que circulan por el ciclo, esta ecuación es la siguiente:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de almacenamiento} \quad (1)$$

Una ecuación de Balance Hidrológico generalizada puede ser desarrollada en base a los siguientes conceptos:

Las variables hidrológicas son las siguientes: Precipitación (P), Evaporación (E), Transpiración (T), Escurrimiento superficial (R), Infiltración (I), Escurrimiento subterráneo (G) y los términos subterráneos.

Por lo tanto la ecuación del balance hidrológico sobre el terreno será, (Viessman, 1977).

$$P + R_1 - R_2 + R_g - E_s - T_s - I = \Delta S_s \quad (2)$$

y por último, la ecuación del balance hidrológico para todo el sistema (cuenca, valle, etc.) será igual a la suma de las dos ecuaciones anteriores:

$$(R_2 - R_1) - (E_s + E_g) - (T_s + T_g) - G_2 - G_1 = A(S_s + S_g) \quad (3)$$

la cual en forma simplificada se puede escribir como:

$$P - R - E - T - G = AS \quad (4)$$

#### 4.4 Coberturas vegetales

La utilización de las coberturas vegetales ha demostrado ser de gran importancia para *aminorar* la energía causada por la lluvia, ya que logran amortiguar la caída de las gotas en *varias formas*:

- 1.- Disipan mucha de la energía cinética de las gotas de lluvia,
- 2.- Evitan la formación de costras superficiales,
- 3.- Aumentan la velocidad de infiltración del suelo,
- 4.- Disminuyen la velocidad de escurrimiento e,
- 5.- Influyen sobre el agua disponible en el perfil del suelo .

Investigaciones relativas al estudio de la relación cobertura vegetal contra pérdidas de suelo, han demostrado que cualquier cultivo reduce la erosión y los escurrimientos superficiales (Gumbs y Linsay, 1982). Además también se ha señalado que la erosión hídrica, se reduce en un 51 % cuando la cobertura tiene un 54 % y, en 92 % cuando la cobertura es de 72 %, (Hofman, Ries y Gilley, 1983). Otros estudios indican que con una cobertura del 100 % las pérdidas de suelo fueron de 10 kg/ha/año y, con cobertura del 20 % la erosión fue de 400 kg/ha/año.

Los mismos autores indican que cuando el suelo posee una cobertura de 50 a 75 %, la erosión es igual al supuesto rango de formación del suelo y que, cuando el suelo tiene menos de 50 % de cobertura, la erosión es mayor a la cantidad de suelo formado. Por lo tanto, se sugiere que para que exista un balance entre el suelo formado y el suelo erosionado este debe de tener una cobertura entre el 50 y el 75 %.

Existen algunos datos experimentales, que señalan que cuando el follaje de pasto cubre de 70 a 100 % del suelo, este follaje reduce la cantidad de lluvia que alcanza directamente a este a un 84 y 51 %, al tener como referencia un suelo sin protección donde el 100 % de la lluvia llega directamente al suelo, (Quinn y Laflen, 1983). Estos mismos autores señalan que en el maíz, la energía cinética de la lluvia se reduce entre un 47 a 57 % en relación al suelo sin protección del follaje y que las gotas que se forman y caen de los márgenes de las hojas contribuyen considerablemente a la energía cinética, mientras que las gotas que pegan y salpican de las hojas, poca energía cinética.

Ayoyando lo anterior, Holy (1980) y (Evans, 1980), concluyen también que la cobertura vegetal protege al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, y la vegetación puede

estar en estado vegetativo o como parte de la materia orgánica. También se reportan que con una buena cobertura las pérdidas de suelo se reducen del 15 al 1 % en comparación con las obtenidas con un suelo desnudo.

Todo esto nos indica que un buen manejo de la vegetación genera una reducción de la erosión, ya que ello ha arrojado estrechas relaciones directas entre las pérdidas relativas de suelo y la cobertura vegetal para diferentes intensidades de lluvia, las pérdidas de suelo y los porcentajes de cobertura vegetal.

El Factor manejo de cultivos es una variable semejante a la cobertura vegetal. Así mismo, la protección del suelo por los cultivos también depende del crecimiento del cultivo, de las labores culturales, manejo de residuos sobre el suelo, la forma como se incorpore con el barbecho y los periodos de inicio de las lluvias.

#### **4.5 Mecánica de la erosión hídrica**

##### **4.5.1 Características físicas de la lluvia**

Según Hudson (1977), las características físicas de la lluvia relacionadas con la erosión hídrica son las siguientes:

- La cantidad de lluvia
- Intensidad de la lluvia
- Velocidad final de las gotas
- Tamaño de las gotas y,
- La distribución del tamaño de las gotas.

##### **4.5.1.1 Cantidad de lluvia**

La cantidad de lluvia se expresa en lámina de agua. Wischmeier, (1959), citado por Figueroa (1975), establece que existe una relación directa entre la cantidad de lluvia y el suelo erosionado, pero en términos estadísticos la correlación es pobre. Es por ello la necesidad de medir los demás parámetros físicos de la lluvia para así obtener resultados confiables en la habilidad de la precipitación para provocar erosión.

##### **4.5.1.2 Intensidad de la precipitación**

La intensidad es un parámetro importante de la erosividad, Wischmeier y Smith, (1985) establecen que existe una evidencia de una asociación erosión-intensidad. Figueroa, (1975) expresa que el método generalmente adoptado para relacionar las pérdidas del suelo con algún parámetro de la lluvia, consiste en medir la intensidad de la lluvia, (cantidad de agua precipitada por unidad de tiempo). También establece que no siempre se presentan tormentas más intensas en las zonas que tienen precipitación anual alta. Las tormentas de intensidad alta duran casi periodos cortos y cubren además áreas pequeñas. Las lluvias que caen sobre grandes zonas pocas veces son de alta intensidad pero pueden

durar varios días. La rara combinación de larga duración y alta intensidad relativa proporciona grandes cantidades totales de lluvia. Estas tormentas hacen mucho daño por la erosión que provocan y pueden causar inundaciones desastrosas, (Schwabil, 1990).

Para conocer la intensidad de la precipitación, son necesarios los datos que proporcionan, los periodos de retorno de las tormentas de varias intensidades y duraciones.

El periodo de retorno, algunas veces llamado intervalo de repetición y/o ocurrencia, se define como el lapso promedio estadístico durante el cual la profundidad de lluvia para una duración dada igualará o excederá una vez el promedio.

Arias, en 1980, define la intensidad como la tasa de cambio de una cantidad de lluvia P en un tiempo dado t, expresada en lámina de lluvia precipitada por unidad de tiempo. La intensidad queda expresada de la siguiente manera:

$$I = \frac{(P)(60)}{t} \quad (5)$$

donde:

I = Intensidad de la lluvia en mm/hr.

P = Cantidad de lluvia (mm).

t = Tiempo en minutos.

#### 4.5.1.3 Velocidad final de las gotas de lluvia

Se trata de la velocidad que alcanzan las gotas de lluvia en el equilibrio, y está basada en la física de "caída libre de los cuerpos", en la cual la velocidad máxima de los cuerpos depende del equilibrio entre la aceleración de la gravedad y la resistencia por fricción del aire, que a su vez, depende del tamaño y forma del cuerpo, (Hudson, 1971).

#### 4.5.1.4 Tamaño de las gotas de lluvia

Desde 1949, Laws y Parsons y, por su parte Laws (1949), indican que es importante el tamaño de las gotas de lluvia ya que ésta influye en la velocidad final de las gotas de lluvia. El tamaño de las gotas de lluvia lo midieron a partir de su diámetro.

Arias, (1980), cita dos métodos para determinar el tamaño de las gotas, los cuales son los siguientes:

a.- Medida de las manchas dejadas por las gotas.

b.- Método de los gránulos de la harina.

En el método de la medida de las manchas dejadas por las gotas se utiliza papel absorbente impregnado con el polvo fino de un colorante soluble en agua, incoloro en seco, que al

exponerse a la lluvia, cada gota hace una mancha circular, que puede ser medida. El tamaño de las gotas se calcula con la siguiente fórmula:

$$D = aS^b \quad (6)$$

donde:

D = Diámetro de la gota  
S Diámetro de la mancha.  
a y b= Constantes de calibración

El segundo método consiste en recolectar muestras de gotas en un polvo con el que se combine el agua para formar gránulos sólidos, que después de secado a la estufa, se endurece y es capaz de soportar manejo mecánico.

El método de calibración que ofrecen suficiente exactitud son: la pesada directa de las gotas y la medida del diámetro de las gotas sumergidas en aceite por medio de un microscopio, (Arias, 1980)

#### 4.5.1.5 Distribución del tamaño de gotas

Blanchar (1953), citado por Figueroa (1975), indica que existe una relación distinta entre el diámetro y la intensidad para diferentes tipos de lluvia. Un ejemplo es la lluvia orográfica, en la cual las gotas se forman a altitudes bajas y con temperaturas más cálidas, en estas lluvias las gotas rara vez exceden los 2.0 mm de diámetro y las intensidades no son mayores de 2.5 cm/hr. La mediana del diámetro de gotas para este tipo de lluvia es casi la mitad de la de una lluvia orográfica de la misma intensidad.

#### 4.5.2 Erosión por las gotas de lluvia

La erosión por las gotas de lluvia se refiere al momento y la energía cinética de la lluvia. El estudio de este proceso es importante en el aspecto erosivo ya que la erosión es un factor que involucra energía y mucha de esta es proporcionada por el agua de lluvia, (Figueroa, 1975).

##### 4.5.2.1 Energía cinética de la lluvia

Ellison, (1944), relacionó las pérdidas de suelo por salpicamiento con la velocidad final de las gotas, su diámetro y la intensidad de la lluvia. Además, cita que en terrenos con pendiente, el salpicamiento provoca más erosión; es decir, el material arrastrado posee un mayor movimiento ladera abajo. El mismo autor, pero en 1947, declara que la altura y distancia del salpicamiento dependen de la condición de la superficie del suelo y de la velocidad final de las gotas de lluvia.

Wischmeier, (1959) y Hudson, (1981) indican que existen interacciones de tamaño, velocidad de caída y forma de las gotas de lluvia; y Evans, (1980) señala la cantidad,



intensidad y duración de la tormenta así como la velocidad del viento.

#### 4.6 Erosividad de la lluvia

La erosividad de la lluvia se define como la capacidad potencial para producir erosión. Esta capacidad potencial es debida a la energía de la lluvia, la cual está en función de las características físicas de la misma. La erosividad es cuantificada por medio de los llamados índices de erosividad, (Arias, 1980). Posteriormente se manejará esto con mayor detalle.

Los índices más importantes para medir la erosividad son los siguientes:  $EI_{30}$ , (Wischmeier, 1959);  $KE > 25$ , (Hudson, 1981);  $Alm$ , (Lal, 1979);  $Ram$ , (Roose, 1979) y  $Fournier$ , (Arnoldus, 1980).

En el presente trabajo utilizaremos el  $EI_{30}$ , ya que Rey, (1979) y Arias, (1980) evaluaron los índices de erosividad ya citados y, encontraron que el  $EI_{30}$  es el que obtuvo una mayor correlación con la pérdida de suelo en la Cuenca del Río Texcoco. Indican además que el  $EI_{30}$  explica del 72 al 97 % de la agresividad de la misma.

Sin embargo, el  $EI_{30}$  no ha dado resultados satisfactorios para condiciones diferentes a las condiciones originales donde fue probado y, es por ello que se crearon los índices restantes.

A continuación sólo se describe el índice de Weischmeier, ya que es de interés en esta investigación.

##### 4.6.1 Índice de Weischmeier ( $EI_{30}$ )

El  $EI_{30}$  se estima con la siguiente expresión:

$$EI_{30} = (E)(I_{30}) \quad (7)$$

donde:

- $EI_{30}$ : Índice de erosividad para un evento (Mj.mm/ha.hr.).
- E: Energía cinética (Mj/ha.).
- $I_{30}$ : Intensidad máxima en 30 min. continuos de lluvia (mm/hr).

La energía cinética de la lluvia se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Ec = 1/2 mv^2 \quad (8)$$

donde:

- Ec: Energía (Joules o ergios).
- m: Masa de la gota (gr o kg).
- v: Velocidad de la gota (cm/s o m/s).

Sin embargo, para resolver esta ecuación se necesita conocer la masa y la velocidad final de la gotas de lluvia.

Observando esto y basados en los datos de distribución del tamaño de gota publicados por **Laws y Parsons (1943)**, y **Wischmeier y Smith (1958)**, obtuvieron una ecuación que involucra la relación de la energía cinética con la intensidad de la lluvia. En 1981, **Foster** y colaboradores, la modificaron para ser utilizada en el Sistema Internacional. La ecuación es la siguiente:

$$E_c = 0.119 + 0.0873 \log_{10} I \quad (9)$$

donde:

**E<sub>c</sub>**: Energía cinética (Mj/ha.mm.).  
**I**: Intensidad (mm/hr).

Esta ecuación es válida para lo siguiente: cuando la intensidad de la lluvia es igual o menor a 76 mm/hr. ya que a intensidades mayores el tamaño medio no continúa incrementándose y la energía de la lluvia es igual a una constante de 0.2832 Mj/ha.mm de la lluvia.

La suma de los  $E_{I_{30}}$  durante un año forman el Factor de Erosividad anual de la lluvia (**R**) de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo propuesta por **Wischmeier y Smith, (1978)**.

#### 4.7 Escurrimiento superficial

El escurrimiento superficial es definido como la proporción de la precipitación y exceso que se dirige hacia las corrientes, lagos y océanos por movimientos gravitacionales. Este escurrimiento superficial es la última fase del ciclo hidrológico, conocida como ciclo de escurrimiento.

En la **Fig. 2** se muestra de manera general la distribución de la precipitación, señalando los caminos que toma el agua de lluvia para llegar al cauce.

En el proceso de escurrimiento, se considera la infiltración del agua de lluvia en el suelo, desde el proceso de mojado hasta la condición de saturación, cuando la intensidad de la lluvia excede de la capacidad de infiltración. A partir de este momento se forma un exceso de agua que se acumula sobre la superficie del terreno que se considera como almacenamiento en depresiones. Cuando este almacenamiento se excede, empieza el escurrimiento superficial, el cual se presenta en forma laminar y en pequeños surcos, (**Foster, 1971**).

##### 4.7.1 Ciclo del escurrimiento superficial

El ciclo del escurrimiento se compone de cinco fases, las cuales se describen a continuación.

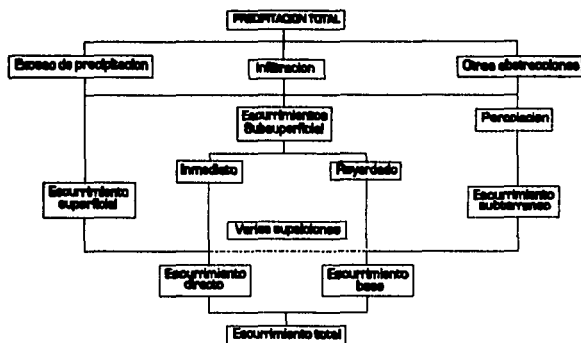


Fig. 1. Formación del escurrimiento total a partir de la precipitación.

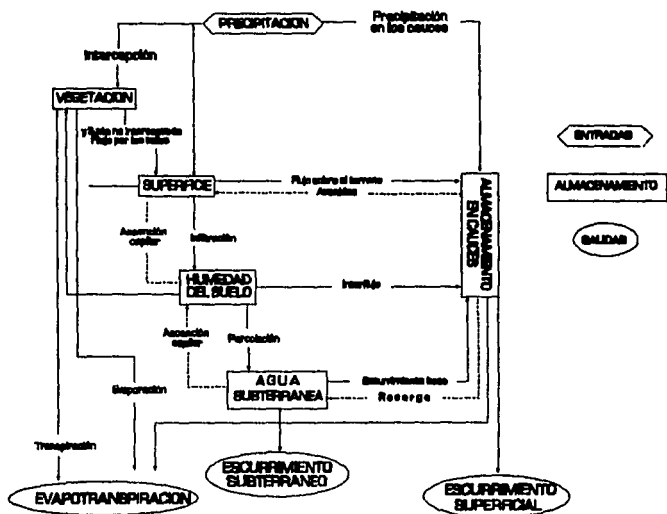


Fig. 2. Distribución de la precipitación y caminos que toma el agua de lluvia para llegar al cauce.

La primera fase se refiere a un periodo de lluvia, que comprende la época de estiaje, que finaliza poco antes de que inicien las lluvias. Durante esta fase, el nivel de las aguas freáticas es bajo y continuamente está descendiendo. En zonas montañosas o con topografía quebrada, donde no existe una capa de agua continua que abastece las corrientes superficiales y el escurrimiento superficial es mantenido por el drenaje de esas zonas altas y por el agua almacenada en los intersticios de las rocas. En las regiones áridas donde no existen almacenamientos, ni mantos freáticos que puedan abastecer a las corrientes, los canales o cauces están secos y el agua disponible para las corrientes superficiales se pierde por evaporación de los suelos, de la superficie del agua, y por transpiración de las plantas.

La segunda fase se refiere al periodo inicial de lluvias, cuando ésta empieza, se divide en precipitación directa en el canal o cauce, intercepción por la vegetación, infiltración en el suelo y una retención temporal en depresiones superficiales. El agua que se infiltra, después que satisface la capacidad de infiltración, ocasiona un aumento gradual en el contenido de agua en la zona de aeración. Durante esta fase el escurrimiento sobre los terrenos es casi nulo excepto en zonas impermeables y la evaporación y la transpiración son bajas. El escurrimiento subterráneo al cauce puede o no ser continuo, dependiendo de que si la primera fase continuó hasta que cesó el escurrimiento superficial.

La tercera fase se refiere a la presencia de una lluvia de intensidad variable y más o menos prolongada, la que al continuar, satisface la capacidad de retención de las especies vegetales existentes, así como la de los almacenamientos en depresiones superficiales, convirtiéndose el exceso de lluvia en una fuente del escurrimiento, abasteciendo la capacidad de retención de los suelos superficiales y de los canales. El escurrimiento sobre la tierra ocurre cuando el coeficiente neta de lluvia excede al coeficiente de infiltración de los suelos, pero puede o no alcanzar a llegar a los cauces dependiendo de la capacidad de retención de los suelos existentes, por donde viaja.

La cuarta fase comprende el tiempo de ocurrencia de la lluvia hasta el momento en que el almacenamiento natural se satisface. El agua que se infiltra aprovecha el poder de transmisión del suelo, debido a la presencia de poros y viaja como agua del subsuelo o como corriente subterránea, dependiendo las cantidades del número, tamaño y distribución de los poros del material a través del cual es transmitido.

La quinta fase se refiere al periodo entre la terminación de la lluvia y el momento en que el nivel de aguas máximo alcanzado; normalmente requiere un periodo de tiempo largo, ya que es necesario que se sature el suelo para que se establezca el escurrimiento que en su primera fase es escurrimiento "directo" y posteriormente será escurrimiento o gasto "base".

Como se puede observar la descripción del ciclo del escurrimiento se ha hecho lo más simpl posible, ya que este fenómeno es más complicado y afectado por numerosos factores, tales como: la textura, estructura, la porosidad, la cantidad de materia orgánica existente, el sistema radicular de los cultivos, el perfil del suelo, la actividad biológica, el

tipo de vegetación, entre otras cosas, (Rodríguez, 1981).

#### **4.7.2 Factores que afectan el escurrimiento superficial**

Los factores que afectan el escurrimiento superficial son de diferente índole, y para mayor claridad se pueden agrupar en dos grupos. En el primero se agrupan los climáticos, en el segundo grupo encontramos los fisiográficos los que a su vez se reagrupan en dos clases: los que se refieren a las características de la cuenca, tales como geométricas y físicas y, por otro lado la clase que incluyen las características del cauce principal de drenaje, como son las propiedades hidráulicas, su capacidad de regulación o almacenamiento de cauce

##### **4.7.2.1 Factores climáticos**

###### **Lluvia**

- Intensidad
- Duración
- Tiempo de distribución
- Área de distribución
- Frecuencia
- Situación geográfica

###### **Nieve**

Evapotranspiración

##### **4.7.2.2 Factores fisiográficos**

###### **Características de la cuenca**

###### **Factores geométricos**

- Área de drenaje
- Topografía
- Pendiente
- Red de drenaje
- Pendiente de la cuenca

###### **Factores físicos**

- Cubierta vegetal del suelo
- Uso del suelo
- Condiciones de infiltración superficial
- Tipo de suelo
- Condiciones geológicas: permeabilidad y capacidad de almacenamiento superficial.
- Condiciones topográficas favorables para almacenamientos como lagos y lagunas.

Los factores señalados ocasionan comportamiento diferente del escurrimiento en la mayoría de las cuencas grandes perceptibles sólo al compararlos con los escurrimientos de una cuenca pequeña desde el punto de vista hidrológico. Es de tal importancia el efecto de estos factores, que por ellos se pueden diferenciar cuencas grandes de cuencas pequeñas, pero considerando no como una función de la extensión territorial, sino en el efecto de ciertos factores climáticos o fisiográficos dominantes.

#### 4.7.3 Estimación de escurrimientos en pequeñas cuencas

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América, (USDA-SCS, 1972) elaboró un método para estimar el escurrimiento medio y máximo causado por una lluvia. Este método predice el escurrimiento basado en los datos de precipitación y en las características de los suelos, estimando el escurrimiento medio de una cuenca, el escurrimiento máximo instantáneo, y plasma en un hidrograma el tiempo para alcanzar el máximo ( $T_p$ ) y el tiempo de recesión ( $T_R$ ) los cuales son necesarios para obtener el volumen total escurrido por evento.

El SCS define al escurrimiento superficial como la porción de la precipitación que no se infiltra en el suelo y se mueve sobre la superficie del mismo hacia la red de drenaje o cuerpos de agua en la cuenca. Este escurrimiento se presenta sólo si la intensidad de la lluvia es mayor que la velocidad de infiltración del agua en el suelo durante la tormenta. Así el volumen escurrido aparece en el hidrograma después de haber satisfecho las demandas iniciales de intercepción, infiltración y almacenamiento en depresiones.

De acuerdo con la cantidad de precipitación y las condiciones de la cuenca es posible tener hidrogramas de dos tipos:

1. Hidrograma que incluya el flujo base, representativos de corrientes perennes.
2. Hidrogramas aislados, estos indican el escurrimiento directo, representativos de corrientes de tipo intermitentes.

En este método se utilizan las curvas numéricas (CN), las cuales son indicadoras de la proporción del escurrimiento en un terreno determinado.

##### 4.7.3.1 Relación precipitación - escurrimiento

Si se registra el escurrimiento y una tormenta de larga duración sobre un área pequeña y se gráfica la precipitación acumulada, Fig. A. se observa que el escurrimiento se presenta una vez que se han satisfecho las condiciones hidrológicas del suelo (esto es considerado como abstracciones iniciales). Después de esto, la línea de escurrimiento se vuelve asintótica a la precipitación acumulada que tiene una pendiente de  $45^\circ$ . A cualquier tiempo existe una infiltración acumulada (F), para un tiempo  $t_1$  es igual a  $(P-Q+IA)$  y cuando el tiempo tiende a infinito la infiltración total más las abstracciones iniciales, alcanza un valor del máximo potencial de retención del suelo.

Así mismo, la precipitación efectiva ( $P_e$ ) será igual a la precipitación total (P) menos las abstracciones iniciales ( $I_a$ ).

En base a la Fig. 5 se puede desarrollar la relación lluvia-escurrimiento y, para su desarrollo matemático se considera un evento independiente.



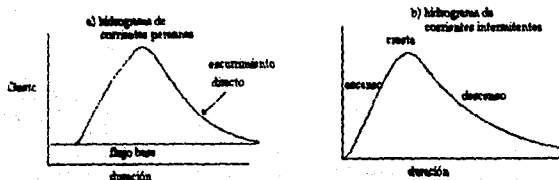


Fig. 3. Hidrogramas típicos para corrientes perennes e intermitentes.

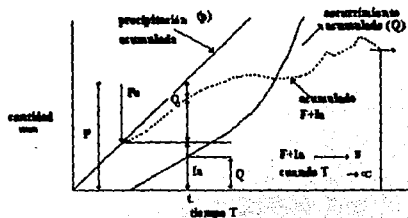


Fig. 4. Representación de la precipitación (P) y escurrimiento acumulado (Q) considerando la infiltración (F) y las abstracciones iniciales (Ia).

Para una simple tormenta, la relación entre precipitación, escurrimiento y retención (la lluvia que no se convierte en escurrimiento) a cualquier punto de la figura anterior puede ser expresada como:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P_e} \quad (10)$$

donde:

- F = Retención actual (en mm)
- S = Retención máxima potencial (S > o igual a F) (en mm)
- Q = Escurrimiento actual (en mm)
- P<sub>e</sub> = Precipitación o escurrimiento máximo potencial (en mm)
- (P > o igual a Q)

Para que esta ecuación sea válida, es necesario considerar que de la precipitación o máximo potencial de escurrimiento, una parte no contribuye al escurrimiento directo sino que es considerada como abstracciones iniciales y el remanente es la precipitación efectiva y que la retención actual es igual a la diferencia entre la precipitación efectiva para escurrimiento y el escurrimiento actual. En base a esto se obtienen las siguientes relaciones:

$$P_e = P - I_a \quad (11)$$

$$F = P_e - Q \quad (12)$$

donde:

- I<sub>a</sub> = Abstracciones iniciales (en mm)
- P<sub>e</sub> = Precipitación efectiva para escurrimiento (en mm)
- P, F, Q = Variables previamente definidas (en mm)

Utilizando estas relaciones y resolviendo para Q tenemos que:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{S + (P - I_a)} \quad (13)$$

Esta ecuación nos proporciona una estimación de las relaciones precipitación-escurrimiento por evento cuando las abstracciones iniciales son consideradas. Estas abstracciones iniciales consideran los procesos de interceptación de agua por la vegetación, almacenamiento en pequeñas depresiones e infiltración antes de que se dé inicio al escurrimiento. Sus valores son variables debido a las condiciones climáticas, precipitación, vegetación, área y sistema de drenaje, presentación de la lluvia a través del tiempo, etc.

Debido a todo ello, se realizaron correlaciones de varias tormentas para diferentes cuencas y se llegó a la siguiente conclusión: las abstracciones iniciales podrían ser estimadas en función del máximo potencial de escurrimiento de la siguiente forma:

**Cuadro 5 . Grupos hidrológicos de suelos usados por el SCS.**

<b>GRUPO DE SUELOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO</b>
<b>A</b>	Suelos con bajo potencial de escurrimiento, incluye arenas profundas con muy poco limo arcilla; también, suelo permeable con grava en el perfil.
<b>B</b>	Suelos con moderadamente bajo potencial de escurrimiento. Son suelos arenosos menos profundos y agregados que el grupo A. Este grupo tiene una infiltración mayor que el promedio cuando húmedo. Ejemplos: suelos migajones, arenosos ligeros y migajones limosos.
<b>C</b>	Suelos con moderadamente alto potencial de escurrimiento. Comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Este grupo tiene una infiltración menor que la promedio después de saturación. Ejemplo: suelos migajones arcillosos.
<b>D</b>	Suelos con alto potencial de escurrimiento, por ejemplo, suelos pesados, con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados.

$$Ia = 0.2 S \quad (14)$$

y sustituyendo esto en la expresión anterior tenemos:

$$q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (15)$$

donde:

- Q = Escorrentamiento medio (en mm)
- P = Precipitación por evento (en mm)
- S = Retención máxima potencial (en mm)

La retención máxima potencial (S) depende de las condiciones del suelo, vegetación y tratamiento de cultivos, entonces la podemos obtener de la siguiente manera:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (16)$$

donde:

- S = Retención máxima potencial (mm)
- CN = Curva numérica (adimensional)

#### 4.7.3.2 Curvas Numéricas

Estas curvas dependen del tipo de suelo, condición hidrológica de la cuenca, uso del suelo, con su tratamiento y condición de humedad antecedente.

**Grupo de Suelos:** El Servicio de Conservación de Suelo clasificó en cuatro grupos a más de 3000 tipos de suelo utilizando sus características texturales e hidrológicas para producir escorrentamiento, los resultados obtenidos se muestran en el siguiente Cuadro: ( 5 ).

**Condiciones hidrológicas del área de drenaje:** Estas condiciones dependen de la densidad de cobertura, agrupándose en tres modalidades:

**Cuadro 6.** Condiciones hidrológicas y % de cobertura vegetal.

CONDICION HIDROLOGICA	COBERTURA (%)
Buena	> 75
Regular	50 - 75
Mala	< 50

Como la vegetación se clasifica de acuerdo con su porte, el tipo de vegetación influye en la condición hidrológica y varía con el uso del terreno, de acuerdo al Cuadro 6.

**Cuadro 7 . Caracterización hidrológica para varios usos del suelo.**

<b>USO DEL SUELO</b>	<b>CONDICION HIDROLOGICA</b>
<b>Pastos naturales</b>	Pastos en condiciones malas son dispersos, fuertemente pastoreados con menos que la mitad del area total con cobertura vegetal. Pastos en condiciones regulares estan moderadamente pastoreados con la mitad o las tres cuartas parte del area total con cubierta vegetal. Pastos en buenas condiciones estan ligeramente pastoreados y con mas de las tres cuartas partes del area total con cubierta vegetal.
<b>Areas boscosas</b>	Areas en condiciones malas tienen arboles dispersos y fuertemente pastoreados sin crecimiento restrero. Areas de condiciones regulares son moderadamente pastoreadas, y con algo de crecimiento. Areas buenas estan densamente pobladas y sin pastorear.
<b>Pastizales mejorados</b>	Pastizales mezclados con leguminosas sujetas a un cuidadoso sistema de manejo de pastoreo son considerados como buenas condiciones hidrológicas.
<b>Rotacion de praderas</b>	Praderas densas, moderadamente pastoreadas, usadas en una bien planeada rotacion de cultivos y praderas son considerados como que estan en buenas condiciones hidrológicas. Areas con material disperso, sobrepastoreado son considerados como malas condiciones hidrológicas.
<b>Cultivos</b>	Condiciones hidrológicas buenas se refiere a cultivos los cuales forman parte de una buena rotacion de cultivos (cultivos de escarda, praderas, cultivos tupidos). Condiciones hidrológicas malas se refiere a cultivos manejados en base a monocultivos

Fuente: Martínez, 1991

Cuadro 8 .Curva numérica (CN) usada para estimar escorrentia bajo diferentes complejos suelo cobertura y manejo (datos para la condición de humedad II, y la 0.25).

COBERTURA	GRUPOS DE SUELOS						
	Uso del suelo	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	Curva numérica			
				A	B	C	D
Suelo en descanso	surcos rectos		77	86	91	94	
Cultivo de escarda	surcos rectos	mala	71	81	88	91	
	surcos rectos	buena	67	78	85	89	
	curva a nivel	mala	70	79	84	88	
	curva a nivel	buena	65	75	82	86	
	terrazza y curva a nivel	mala	66	74	80	82	
	terrazza y curva a nivel	buena	62	71	78	81	
Cultivos tupidos	surcos rectos	mala	65	76	84	88	
	surcos rectos	buena	63	75	83	87	
	curva a nivel	mala	63	74	82	85	
	curva a nivel	buena	61	73	81	84	
	terrazza y curva a nivel	mala	61	72	79	82	
	terrazza y curva a nivel	buena	59	70	78	81	
Leguminosas en hilera o forraje en rotación	surcos rectos	mala	66	77	85	85	
	surcos rectos	buena	58	72	81	85	
	curva a nivel	mala	64	75	83	85	
	curva a nivel	buena	55	69	78	83	
	terrazza y curva a nivel	mala	63	73	80	83	
	terrazza y curva a nivel	buena	51	67	76	80	
Pastizales	Sin tratamiento mecanico	mala	68	79	86	89	
	Sin tratamiento mecanico	regular	49	69	79	84	
	Sin tratamiento mecanico	buena	39	61	74	80	
	Curvas a nivel	mala	47	67	81	88	
	Curvas a nivel	regular	25	59	75	83	
	Curvas a nivel	buena	6	35	70	79	
Pasto de corte		buena	30	58	71	78	
Bosque		mala	45	66	77	83	
Caminos de tierra		buena	72	82	87	89	
Caminos pavimentados		buena	74	84	90	92	

Fuente: Martínez, 1991.

**Uso del suelo:** El uso del suelo se refiere al uso actual y al tipo de sistema de siembra, tales como siembras en hilera, surcos rectos o al contorno. Para los diferentes usos del suelo para las zonas húmedas y subhúmedas se obtuvieron los valores CN para diferentes condiciones hidrológicas y tipos de suelo, tal como aparecen en el Cuadro 8.

**Condición de humedad antecedente:** Como el escurrimiento aumenta a medida que aumenta la condición de humedad del suelo al momento de presentarse la tormenta. Debido a esto, en este método la condición de humedad del suelo producto de los cinco días previos a la tormenta son considerados y agrupados en tres grupos: (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Condición de humedad antecedente en función de la precipitación.

Condición de humedad antecedente	Precipitación acumulada de los cinco días previos al evento en consideración (mm)
I	0.0 - 12.7
II	12.7 - 38.1
III	> 38.1

Cuando se haya seleccionado el valor de CN del cuadro anterior, se obtiene un valor que está dado por la condición de humedad antecedente intermedia (II), por tal razón, se deben considerar los datos de precipitación de los cinco días previos al evento que se desea utilizar para la predicción del escurrimiento, (Cuadro 10).

Ahora, es preciso tratar de estimar la variación del volúmen escurrido, especialmente cuando éste alcanza un máximo. Es decir, obtenemos el escurrimiento máximo producto de una tormenta diseño (máxima esperada en un periodo de retorno de interés) para así poder diseñar estructuras de aforo, canales de conducción y trabajos de conservación de suelo y del agua, utilizando así el hidrograma sintético (Fig. 6).

El hidrograma es una respuesta al exceso de lluvia o escorrentia que es producto de la lluvia sobre la cuenca. El exceso de lluvia se caracteriza por su duración y el hidrograma está relacionado con el tiempo de retraso, el tiempo pico y el tiempo de recesión. La figura anterior muestra un hidrograma real con las curvas de ascenso y descenso a través del tiempo, esta figura podría considerarse como triangular (7b), sin tener gran variación. Si esto se hace, como se conoce el volumen total escurrido (Q), se puede determinar el  $q_p$  (escurrimiento máximo) considerando dos triángulos parciales de la siguiente manera:

$$Q = \frac{q_p T_p}{2} + \frac{q_p T_R}{2} \quad (17)$$

donde:

- Q = Escurrimiento directo (mm)
- $q_p$  = Escurrimiento máximo (m<sup>3</sup>/seg)
- $T_p$  = Tiempo para alcanzar el pico (hr)
- $T_R$  = tiempo de recesión (hr)

**Cuadro 10. Curvas numéricas (CN) para condiciones antecedentes de humedad del suelo húmeda (III) y seca (II) a partir de las condiciones de humedad intermedia (I).**

<b>CONDICION II</b>	<b>CONDICION I</b>	<b>CONDICION III</b>
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43
20	9	37
15	6	30
10	4	22
5	2	13



Despejando  $q_p$  y considerando que  $T_R = H T_p$ , donde  $H$  es una constante que debe de ser estimada en cada cuenca, tendremos que:

$$q_p = \frac{2Q}{T_p + T_R} \quad (18)$$

por lo tanto:

$$q_p = \frac{2Q}{(1+H)T_p} \quad (19)$$

Debido a algunas observaciones realizadas por el SCS de los E.U.A., el valor de  $H$  es de 1.67 por lo tanto la ecuación anterior quedaría de la siguiente forma:

$$q_p = \frac{2Q}{2.67T_p} \quad (20)$$

asi mismo:

$$q_p = \frac{0.75Q}{T_p} \quad (21)$$

Considerando el área de la cuenca en ha y el escurrimiento directo en mm, se realizan las conversiones para obtener el escurrimiento máximo en  $m^3/seg$

$$q_p = \frac{0.75QA * 10000}{1000 * 3600T_p} \quad (22)$$

$$q_p = \frac{0.0021QA}{T_p} \quad (23)$$

donde:

- $q_p$  = Escurrimiento máximo ( $m^3/seg$ )
- $Q$  = Escurrimiento medio (mm)
- $A$  = Area de la cuenca (ha)
- $T_p$  = Tiempo para alcanzar el pico (hr)

Pero si se utiliza la relación de la Fig. 6 se observa que el tiempo para alcanzar el pico es igual a la mitad de la duración del exceso de agua y al tiempo de retraso, quedando de la forma siguiente:

$$T_p = \frac{1}{2}D + T_L \quad (24)$$

donde:

- $D$  = Duración del exceso de agua (hr)

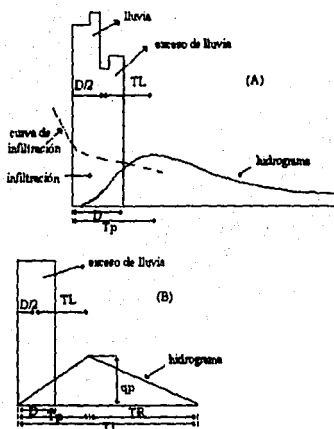


Fig. 5. Conceptualización del hidrograma unitario.

$T_L$  = Tiempo de retraso, el cual es el tiempo transcurrido entre el centro de la masa del exceso de lluvia y el máximo escurrimiento ( $q_p$ ).

Para estimar el tiempo de retraso, se utilizaron hidrogramas, desarrollándose la siguiente expresión:

$$T_L = 0.6T_c \quad (25)$$

donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración (hr)

La estimación del tiempo de concentración se basa en las características de la cuenca, el cual se considera como el tiempo que emplea el exceso de agua en su movimiento desde el punto más distante hasta la salida de la cuenca.

En el hidrograma, el tiempo de concentración  $T_c$  es el tiempo en donde termina el exceso de lluvia a el punto de inflexión de la curva del hidrograma (donde la curva de recesión empieza).

El valor de tiempo de concentración puede ser estimado por la ecuación de Kirpid, tal como sigue:

$$T_c = 0.02 \frac{L^{1.15}}{H^{0.38}} \quad (26)$$

donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración (min)

$L$  = Longitud de la corriente principal (m)

$H$  = Diferencia en elevaciones entre el sitio más alejado de la cuenca y la salida (m)

Posteriormente utilizando las ecuaciones (25) en la ecuación (26) se obtiene el escurrimiento máximo dando como resultado la expresión siguiente:

$$q_p = \frac{0.0021QA}{\frac{1}{2}D + 0.6T_c} \quad (27)$$

donde:

$q_p$  = Escurrimiento máximo  $m^3/seg$

$Q, A, D$  y  $T_c$  = Variables previamente definidas.

**Cuadro 11.** Características de las zonas de la cuenca del Río Texcoco.

ZONA	USO DEL SUELO	CONDICION HIDROLOGICA	GRUPO DE SUELO
1	BOSQUE	BUENA	A
2	PASTIZAL	MALA	C
3	AGRICOLA	MALA	B

**Cuadro 12.** Valores de CN y S para las diferentes zonas de la cuenca del río Texcoco.

ZONA	AREA	CN <sup>1</sup>	CN <sup>2</sup>	CN <sup>3</sup>	S <sup>4</sup>
1	1700	25	III	43	336.7
2	400	86	III	95	13.37
	720	81	III	92	22.00
3	180	71	III	86	41.35

#### 4.8 La predicción de la erosión

Los procedimientos en la predicción deben incorporar intervalos de tiempo más cortos y mayor detalle espacial dentro de la cuenca. Las funciones matemáticas son empleadas y diseñadas para reproducir los fenómenos hidrológicos con el mayor detalle posible de acuerdo con el conocimiento actual y con las restricciones que tiene el uso de los programas de cómputo. Se deben incluir procesos tales como la retención y el escurrimiento superficial, y por lo tanto calcular todos los componentes del ciclo de éste (superficie, flujo subsuperficial, agua subterránea y precipitación sobre el canal mismo).

El procedimiento que más promete en la aplicación de programas de cómputo a la cuenca hidrológica es el de *simulación*. Es decir, la representación con equipo electrónico, de un sistema hidrológico por otro matemático que pueda reproducir el comportamiento del sistema lo más cercano al natural. La estructura de los modelos debe ajustarse también a los datos disponibles tales como las variaciones en las características de los suelos, la vegetación y la topografía.

##### 4.8.1 Métodos de predicción de la erosión

Los métodos de predicción de la erosión son una importante herramienta en la conservación de suelos, se utilizan generalmente para obtener una aproximación de la magnitud de la erosión, para identificar las áreas con problemas de erosión y así, a su vez proyectar en grandes términos los cambios en la producción de los cultivos por efecto de la misma, (Foster *et al.*, 1985).

El desarrollo de la tecnología actual en la predicción de la erosión, puede considerarse como el resultado de los avances en la hidrología, edafología, mecánica de la erosión y en los paquetes de cómputo, así como en el entendimiento y desarrollo en los procesos de modelaje de predicción de la erosión, (Lopes, *et al.*, 1989).

Singh, 1988, señala una metodología racional para el uso de modelos hidrológicos con propósitos de predicción, que consiste en lo siguiente:

- Definición del problema
- Establecimiento de objetivos
- Estudio de los datos disponibles
- Determinación de la facilidad de cálculo de los datos disponibles
- Restricciones específicas, específicas y sociales
- Elección de una clase de modelos hidrológicos
- Selección de un tipo en particular de modelo desde la clase dada
- Calibración del modelo (optimización de parámetros)
- Evaluación de la ejecución del modelo
- Uso del modelo para los propósitos propuestos
- Ajuste del modelo a un modelo más general

Según **Albaladejo y Stocking, 1989**, el uso de los modelos de predicción, se establecen como una propuesta muy atractiva en cada ambiente, ya que parten de una necesidad, como es la evaluación del grado de erosión o bien, la regulación del monitoreo de los eventos variables de la erosión.

También se llega a definir a un modelo matemático de erosión como parte de una ecuación matemática que describe aproximadamente un sistema físico o sólo una parte de éste, en el cual se requieren datos de entrada y se generan datos de salida, con lo que se llega a describir la respuesta del sistema físico analizado, (**Austin, 1986**).

Así, a partir de la modelación, se pueden llegar a representar los procesos fundamentales de remoción, transporte y deposición de los suelos de áreas en canales y entrecanales, (**Lopes et al., 1989**).

Según **Martínez, 1993**, las consideraciones para fundamentar y desarrollar un modelo matemático es lo siguiente.

- Que sea usado en un rango amplio de suelo y clima.
- Que la información obtenida, sea confiable y fácil de utilizar.
- Que sus variables sean fáciles de obtener.
- Que utilice un mínimo de variables incluidas estén asociadas al proceso.
- Que introduzcan cambios en el uso y manejo de los suelos para hacer que los resultados sean dinámicos.

Aunado a esto se puede citar lo que establece **Woolhiser, 1972**, en donde indica que el modelo debe de tener sensibilidad para así cambiar los valores en los parámetros.

**Wolfe et al., 1983**, para establecer los criterios que relacionen el modelaje de remoción y transporte de partículas, propone el empleo de:

- Ecuaciones basadas en la mecánica de la erosión.
- Pueden no ser coeficientes que requieran calibración.
- Ecuaciones separadas para determinar la erosión en surcos y entre surcos.

Hasta ahora, (**Kirby 1984**), los trabajos que se han realizado sobre modelaje, se han enfocado básicamente sobre los siguientes aspectos:

- Tasas de y transporte del suelo.
- Capacidad de remoción por el flujo superficial.
- Interacción entre las capacidades de remoción y de transporte, para determinar el transporte real y las tasas de erosión.
- Interacción entre los procesos de formación de surcos y entre surcos.

Aún así, los problemas que se presentan son: la falta de datos apropiados, escasos recursos económicos y por consecuencia la falta de modelos que representen los problemas reales, (**Austin, 1986**).

#### 4.8.2 Clasificación de los modelos hidrológicos en la predicción de la erosión

Desde 1969, Meyer y Wischmeier, proponen un modelo matemático de predicción, en donde a su vez consideran cuatro subprocesos individuales que describen el movimiento del suelo a lo largo de la pendiente. Cada uno de estos subprocesos son función de la interrelación de parámetros complejos que pueden ser evaluados como una base para la selección de los métodos más efectivos de reducción de la erosión. Estos parámetros serán evaluados para cada sucesivo incremento de pendiente y movimiento del suelo roturado pendiente abajo.

Por su parte Fleming, 1975; propone otra clasificación y describe haciendo referencia, en forma más amplia, a los modelos determinísticos.

Wolfe *et al.*, en 1983, establece dos aproximaciones, las cuales son utilizadas para el desarrollo de los modelos en la predicción. Estas son las siguientes:

1.- Modelos de parámetros medios, generalmente se utilizan en las salidas de las cuencas. Su respuesta son los datos cuantitativos y cualitativos de escurrimiento de puntos en particular.

2.- Modelos basados en la distribución de la estructura de los parámetros en donde la variación espacial de las características de las cuencas se mantienen.

Singh, en 1988, distingue dos tipos de modelos: los materiales y formales o de expresión simbólica.

Lopes *et al.*, 1989, menciona el modelo WEPP (**Water Erosion Productivity Prediction**), como una aproximación conceptual que divide el proceso de erosión laminar y en surcos. Aquí se describe el proceso de separación por el impacto de las gotas de lluvia y el transporte lateral de sedimentos por efecto del flujo laminar y las áreas de flujo.

Existe una ecuación, la cual se ha utilizado con mayor frecuencia en la predicción de la erosión. En 1978, Wischmeier y Smith, formularon la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, los factores que consideran son de erosividad de la lluvia, erosionabilidad del suelo, grado y longitud de la pendiente y el manejo asociado a las prácticas de conservación.

En base a lo anterior se puede decir que todos los modelos suponen una tasa uniforme por área de generación de escurrimiento, observándose que la carga total aumenta linealmente cuesta abajo, considerando los factores hidrológicos involucrados, como lo es el escurrimiento total generado, con la distribución a lo largo del tiempo y la repartición entre las áreas en surcos y entre surcos o laminar.

### 4.8.3 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

Durante varios años se ha buscado cuantificar los efectos de la erosión. En 1978, **Wischmeier y Smith** propusieron un método de predicción de la erosión anual. Este método consiste en la utilización de la **Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)**. Esta ecuación posee aplicaciones prácticas y fue formulada como una herramienta de trabajo para la planeación de las obras de conservación de suelos. Es decir, esta ecuación fue diseñada para lo siguiente:

- La predicción de pérdida de suelo,
- La evaluación y selección de prácticas de conservación y,
- Estimación de las longitudes máximas permisibles para un sistema dado.

Debido a que la Ecuación fue desarrollada en los E.U.A., el uso de la misma fuera de ese país no proporcionan resultados muy satisfactorias y, debido a ello en el Colegio de Postgraduados a través del Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas (**CREZAS**) se ha adecuado la Ecuación a las condiciones de México, especialmente los Factores R (erosividad de la lluvia) y C (manejo del cultivo). La ecuación EUPS se escribe de la siguiente forma:

$$A = R K L S C P \quad (28)$$

donde:

- A:** Es el promedio anual de pérdida de suelo (ton/ha).
- R:** Es el factor de erosividad de la lluvia (Mj mm/ha/hr).
- K:** Es el factor de erosionabilidad del suelo (ton/ha hr/Mjmm ha).
- L:** Es el factor de longitud de la pendiente (adimensional).
- S:** Es el factor de grado de la pendiente (adimensional).
- C:** Es el factor de manejo de cultivos (adimensional).
- P:** Es el factor de prácticas mecánicas de control de erosión (adimensional).

Específicamente la EUPS, se desarrolló para predecir la pérdida de suelo anual promedio para erosión entre canalillos y canalillos. (**Figueroa, 1991**). Enseguida se cubrirán generalidades de cada factor de la Ecuación.

#### 4.8.3.1 Factor R (Erosividad de la lluvia)

En el presente trabajo utilizaremos el propuesto por **Wischmeier, (1959)**. Este Factor R se utiliza para cuantificar las fuerzas erosivas de la lluvia y precipitación. El  $EI_{30}$  es el producto de la energía cinética total de la lluvia (E) por la intensidad máxima en 30 minutos ( $I_{30}$ ). Como el  $EI_{30}$  posee una alta correlación con las pérdidas de suelo, (**Rey, 1978 y Arias, 1980**), la relación que arroja es lineal, los valores de  $EI_{30}$  para una lluvia se pueden sumar para obtener valores estacionales o anuales del parámetro. La distribución de frecuencias del  $EI_{30}$  sigue la distribución Log-Normal.



A partir de los trabajos de Wischmeier, (1972), se utilizó a  $R^2$  como medida de la capacidad de un parámetro o grupo de parámetros para predecir el potencial erosivo. El cálculo del  $EI_{30}$  (Factor R), se realiza con la siguiente expresión:

$$EI_{30} = (E) (I_{30}) \quad (29)$$

donde:

- $EI_{30}$ : Es el índice de erosividad para un evento (MJ mm/ha hr).  
 E: Es la energía cinética total de la lluvia (MJ/ha).  
 I: Es la intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos (mm/hr).

La energía cinética de la lluvia se obtiene con la ecuación:

$$E = \sum_{j=1}^n e_j p_j \quad (30)$$

donde:

- $e_j$ : Es la energía cinética para el intervalo de tiempo j (MJ/hamm).  
 $p_j$ : Es la cantidad de lluvia en el intervalo de tiempo j (mm).  
 n: Es el número de intervalos con diferente intensidad, durante un mismo evento.

Ahora, la intensidad de la lluvia en el intervalo j (mm/hr), se calcula con la siguiente expresión:

$$I_j = p_j(60/t) \quad (31)$$

donde:

- $t_j$  = Es el tiempo del intervalo j (en minutos).  
 $e_j$  y  $p_j$  = Definidos anteriormente.

Se multiplica por 60 para convertir los datos a unidades hora. Así, la expresión algebraica del Factor R es de la siguiente forma:

$$R = \sum_{j=1}^m (EI_{30})_j / 100 \quad (32)$$

donde:

- R: Es el Factor de erosividad de la lluvia o índice de erosividad anual (MJ mm/ha año).  
 m: Es el número de eventos durante el año.

#### 4.8.3.2 Factor K (Erosionabilidad de los suelos)

La erosionabilidad de los suelos (K), según Cook, (1936) es la susceptibilidad de un suelo particular a ser erosionado. El Factor K también se define como la tasa de pérdida de suelo para cada unidad adicional de  $E_{130}$  cuando L, S, C y P permanecen constantes y son iguales a 1. Este parámetro se expresa en ton ha hr/ha Mj mm.

El Factor K se puede evaluar en lotes experimentales con la siguiente expresión:

$$K = A / R L S C P \quad \text{para condiciones no estándar} \quad (33)$$

o bien:

$$K = A \quad \text{para condiciones estándar} \quad (34)$$

donde:

A, R, K, L, S, C y P = Definidas anteriormente.

Las condiciones estándar son: inclinación de la pendiente 9%, longitud de la pendiente 22.13 m y, bajo cultivo continuo en sentido de la pendiente.

Otra forma de evaluar el Factor K es a través del nomograma elaborado por Wischmeier et al. (1971), el cual permite evaluar este Factor utilizando lo siguiente: % de limos + arenas muy finas (0.1-0.002 mm), % de arenas (0.1-2.0 mm), % de materia orgánica (0.0-4.0), estructura y permeabilidad, (Fig. 5.1).

Cuando no se dispone de datos necesarios para hacer uso del nomograma, el Factor K se calcula por medio de la metodología propuesta por la FAO, (1980). Esta metodología calcula el Factor K partiendo de la textura superficial y la unidad de suelo a que pertenece, según la clasificación FAO/UNESCO, (Tabla 1).

Es preciso señalar que la importancia de evaluar el Factor K de la EUPS se debe a que algunos suelos se erosionan más fácilmente que otros bajo condiciones similares de precipitación, topografía y manejo, por lo tanto K refleja esas diferencias y junto con el Factor R da la base cuantitativa de la pérdida de suelo para dicha Ecuación.

#### 4.8.3.3 Factor LS (Longitud e inclinación de la pendiente)

El Factor LS representa el efecto de la topografía en la erosión. La longitud (L) de la pendiente es la distancia desde cualquiera de los puntos siguientes: punto donde la pendiente decrece de tal manera que empieza a existir sedimentación o bien puede ser el punto donde el agua de escorrentía entra a un canal bien definido. El Factor S es la inclinación de la superficie, (Figueroa, 1991). El Factor L se expresa como:

$$L = (1/22.1)^m \quad (35)$$

Tabla 1. Factor K, según la FAO/UNESCO.

ORDEN	TEXTURA			ORDEN	TEXTURA		
	G	M	F		G	M	F
A	0.026	0.040	0.013	Lo	0.026	0.040	0.013
Af	0.013	0.020	0.007	Lp	0.053	0.079	0.026
Ag	0.026	0.040	0.013	Lv	0.053	0.079	0.026
Ah	0.013	0.020	0.007	M(a,b)	0.026	0.040	0.013
Ae	0.026	0.040	0.013	N(a,b)	0.013	0.020	0.007
Ap	0.053	0.079	0.026	O(a,b)	0.013	0.020	0.007
B	0.026	0.040	0.013	P	0.053	0.079	0.026
Be	0.026	0.040	0.013	Pf	0.053	0.079	0.026
Bd	0.026	0.040	0.013	Pg	0.053	0.079	0.026
Be	0.026	0.040	0.013	Pb	0.026	0.040	0.013
Bf	0.013	0.020	0.007	Pl	0.026	0.040	0.013
Bg	0.026	0.040	0.013	Po	0.053	0.079	0.026
Bh	0.013	0.020	0.007	Pp	0.053	0.079	0.026
BK	0.026	0.040	0.013	Q(a,b)	0.013	0.020	0.007
Bv	0.053	0.079	0.026	R	0.026	0.040	0.013
Bw	0.053	0.079	0.026	Ra	0.026	0.040	0.013
C(a,b,l)	0.013	0.020	0.007	Rb	0.013	0.020	0.007
C(a,b,l)	0.053	0.079	0.026	Rd	0.026	0.040	0.013
E	0.013	0.020	0.007	Re	0.053	0.079	0.026
F(a,b,p,r,s)	0.013	0.020	0.007	S	0.053	0.079	0.026
G	0.026	0.040	0.013	Sg	0.053	0.079	0.026
Gc	0.013	0.020	0.007	Sm	0.026	0.040	0.013
Gd	0.026	0.040	0.013	Sn	0.053	0.079	0.026
Ge	0.026	0.040	0.013	T	0.026	0.040	0.013
Gh	0.013	0.020	0.007	Ta	0.013	0.020	0.007
Gm	0.013	0.020	0.007	Tb	0.013	0.020	0.007
Op	0.053	0.079	0.026	Tc	0.026	0.040	0.013
Gx	0.053	0.079	0.026	Tv	0.026	0.040	0.013
Gv	0.053	0.079	0.026	U	0.013	0.020	0.007
H(a,b,l)	0.013	0.020	0.007	V(a,b)	0.053	0.079	0.026
I	0.013	0.020	0.007	W	0.053	0.079	0.026
J	0.026	0.040	0.013	Wd	0.053	0.079	0.026
Jc	0.013	0.020	0.007	Wb	0.053	0.079	0.026
Jd	0.026	0.040	0.013	Wc	0.026	0.040	0.013
Je	0.026	0.040	0.013	Wm	0.026	0.040	0.013
Ji	0.053	0.079	0.026	Wn	0.053	0.079	0.026
Jp	0.053	0.079	0.026	Wz	0.053	0.079	0.026
K(a,b,l)	0.026	0.040	0.013	X(a,b,l)	0.053	0.079	0.026
L	0.026	0.040	0.013	Y(a,b,l)	0.053	0.079	0.026
La	0.053	0.079	0.026	Z	0.026	0.040	0.013
Lc	0.026	0.040	0.013	Zg	0.026	0.040	0.013
Lf	0.013	0.020	0.007	Zm	0.013	0.020	0.007
Lg	0.026	0.040	0.013	Zn	0.026	0.040	0.013
Lh	0.026	0.040	0.013	Zi	0.053	0.079	0.026

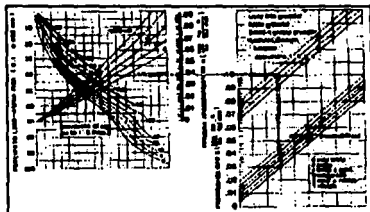


Fig. 5.1. Nomograma para evaluar el Factor K, Elaborado por Wischmeier.  
Fuente: Manual de predicción de la erosión, 1991.

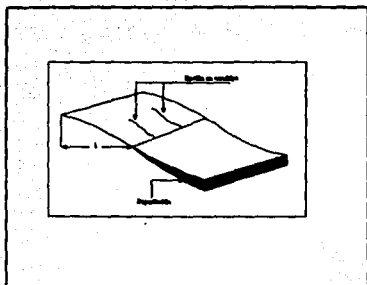


Fig. 5.2. Efecto combinado de la longitud e inclinación de la pendiente.  
Fuente: Manual de Predicción de la erosión, C. P., 1991.

donde:

- L: Es la longitud de la pendiente en m.  
m: Exponente.

Esta longitud se obtiene en base a la Fig. 5. 2.

El valor del exponente depende de la relación de  $\beta$  entre la erosión entre canalillos (por el impacto de las gotas de lluvia) y en canalillos (causado por el flujo superficial, de acuerdo a lo siguiente:

$$m = \beta / (1 + \beta) \quad (36)$$

El valor de  $\beta$  fue calculado por McCool *et al.*, (1989), obteniendo la siguiente relación:

$$\beta = (\text{sen } \theta / 0.0896) / [3.0(\text{sen } \theta)^{0.8} + 0.56] \quad (37)$$

donde:

$\theta$  = ángulo de la pendiente.

La pérdida de suelo aumenta más rápidamente con la inclinación de la pendiente que con la longitud misma y se calcula utilizando la relación de McCool *et al* (1987).

$$S = 13.8 \text{ sen } \theta + 0.03 \quad \text{pendientes menores de 9\%} \quad (38)$$

$$S = 16.8 \text{ sen } \theta - 0.50 \quad \text{pendientes mayores o iguales a 9\%} \quad (39)$$

El efecto combinado de la longitud y la inclinación de la pendiente (LS) puede leerse a partir de la tabla , elaborada por Figueroa *et al* (1991), o bien puede ser calculado de acuerdo a las relaciones anteriores para L y S.

#### 4.8.3.4 Factor C (manejo y cobertura)

El Factor de cobertura y manejo, es la relación de pérdidas de suelo de un terreno cultivado bajo condiciones específicas con las correspondientes pérdidas de un suelo desnudo y con barbecho continuo en las mismas condiciones de suelo y pendiente y, bajo la misma precipitación, (Wischmeier y Smith, 1987), citado por Ríos, 1987. Esto es que el Factor C estima el efecto combinado de todas las variables interrelacionadas de cobertura y manejo, su valor varía de 0 a 1. Es 1 cuando no existe vegetación y el suelo permanece en barbecho continuo y, a medida que se incrementa la cobertura vegetal su valor disminuye, (Ríos, 1987).

El Factor C se obtiene de dividir la pérdida de suelo obtenida en un terreno con cualquier tipo de manejo entre la pérdida de suelo obtenida para el mismo terreno bajo cultivo continuo.

**Tabla 2.** Cálculo del Factor LS para diferentes de longitudes y grados de pendientes en terrenos agrícolas.

S	LONGITUD DE LA PENDIENTE (metros)												
	0	β	1	2	3	4	5	10	15	20	30	40	
0.2	0.0020	0.0384	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
0.5	0.0050	0.0925	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09
1	0.0100	0.1757	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15
2	0.0200	0.3229	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.20	0.22	0.24	0.27	0.28	0.28
3	0.0300	0.4514	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.28	0.32	0.34	0.39	0.43	0.43
4	0.0400	0.5659	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.35	0.40	0.45	0.52	0.57	0.57
5	0.0500	0.6692	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.41	0.49	0.55	0.63	0.72	0.72
6	0.0599	0.7635	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.48	0.58	0.65	0.78	0.88	0.88
8	0.0798	0.9303	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.61	0.75	0.85	1.04	1.19	1.19
10	0.0997	1.0745	0.46	0.48	0.50	0.51	0.52	0.78	0.97	1.11	1.38	1.59	1.59
12	0.1194	1.2012	0.47	0.53	0.58	0.61	0.64	0.97	1.23	1.42	1.79	2.08	2.08
14	0.1391	1.3141	0.48	0.58	0.65	0.70	0.75	1.17	1.48	1.73	2.20	2.56	2.56
16	0.1587	1.4157	0.49	0.63	0.72	0.79	0.86	1.35	1.73	2.03	2.60	3.05	3.05
20	0.1974	1.5919	0.52	0.71	0.85	0.96	1.06	1.72	2.22	2.63	3.40	4.02	4.02
25	0.2450	1.7739	0.56	0.80	1.00	1.16	1.31	2.15	2.82	3.35	4.39	5.22	5.22
30	0.2915	1.9247	0.59	0.89	1.13	1.34	1.53	2.57	3.39	4.05	5.35	6.59	6.59
40	0.3805	2.1608	0.65	1.05	1.38	1.68	1.95	3.34	4.45	5.36	7.15	8.61	8.61
50	0.4636	2.3368	0.71	1.18	1.60	1.97	2.33	4.02	5.41	6.54	8.78	10.63	10.63
60	0.5404	2.4720	0.76	1.30	1.78	2.23	2.65	4.63	6.25	7.58	10.24	12.42	12.42
70	0.6107	2.5779	0.80	1.40	1.94	2.45	2.94	5.16	6.99	8.50	11.52	14.01	14.01
80	0.6747	2.6621	0.83	1.48	2.08	2.64	3.18	5.62	7.63	9.30	12.63	15.38	15.38
90	0.7328	2.7299	0.86	1.56	2.20	2.80	3.39	6.01	8.18	9.98	13.59	16.58	16.58
100	0.7854	2.7851	0.89	1.62	2.30	2.94	3.57	6.35	8.66	10.57	14.42	17.61	17.61

Continuación:

**Tabla 2.** Cálculo del Factor LS para diferentes de longitudes y grados de pendientes en terrenos agrícolas.

		LONGITUD DE LA PENDIENTE (metros)									
S		50	76	150	200	300	350	400	750	1 000	
(%)	$\theta$	$\beta$							750	1000	
0.2	0.0020	0.0384	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	
0.5	0.0050	0.0925	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	
1	0.0100	0.1757	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	0.23	
2	0.0200	0.3229	0.30	0.33	0.39	0.42	0.46	0.48	0.50	0.58	
3	0.0300	0.4514	0.46	0.52	0.64	0.70	0.80	0.84	0.87	1.06	
4	0.0400	0.5659	0.62	0.72	0.92	1.02	1.18	1.25	1.31	1.65	
5	0.0500	0.6692	0.79	0.93	1.23	1.38	1.62	1.72	1.82	2.34	
6	0.0599	0.7635	0.96	1.15	1.55	1.76	2.09	2.24	2.37	3.11	
8	0.0798	0.9303	1.32	1.61	2.24	2.58	3.13	3.37	3.60	4.87	
10	0.0997	1.0745	1.79	2.21	3.16	3.67	4.52	4.90	5.25	7.27	
12	0.1194	1.2012	2.34	2.93	4.27	5.00	6.23	6.78	7.29	10.28	
14	0.1391	1.3141	2.91	3.66	5.43	6.39	8.04	8.78	9.47	13.54	
16	0.1587	1.4157	3.48	4.41	6.62	7.83	9.93	10.87	11.76	17.00	
20	0.1974	1.5919	4.61	5.92	9.06	10.81	13.87	15.25	16.55	24.35	
25	0.2450	1.7739	6.03	7.81	12.16	14.62	18.95	20.91	22.78	34.05	
30	0.2915	1.9247	7.41	9.67	15.26	18.44	24.08	26.65	29.10	44.01	
40	0.3805	2.1608	10.03	13.23	21.25	25.87	34.14	37.93	41.56	63.87	
50	0.4636	2.3368	12.42	16.5	26.81	32.80	43.57	48.54	53.29	82.77	
60	0.5404	2.4720	14.36	19.44	31.84	39.08	52.15	58.20	64.01	100.14	
70	0.6107	2.5779	16.45	22.03	36.30	44.66	59.81	66.84	73.59	115.75	
80	0.6747	2.6621	18.09	24.30	40.21	49.57	66.56	74.45	82.04	129.56	
90	0.7328	2.7299	19.52	26.26	43.62	53.84	72.44	81.09	89.42	141.66	
100	0.7854	2.7851	20.75	27.96	46.57	57.55	77.55	86.87	95.83	152.19	
										188.07	



Este Factor C se expresa en término de su valor promedio anual para una combinación dada de sistemas de cultivo, manejo y lluvia. Para determinar los valores de C, las pérdidas relativas de suelo para cada período de crecimiento de los cultivos se deben combinar con los datos de distribución del índice de erosividad. En el presente trabajo se obtuvo el valor del Factor C tabulado de acuerdo con la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Valor promedio del Factor C anual del cultivo de frijol, para el grupo climático no. 4 perteneciente al Municipio de Texcoco, México.

<b>TEMPLADO HUMEDO</b>				
<b>FRIJOL DESPUES DE FRIJOL</b>				
<b>Primavera, labranza convencional</b>				
alta	----	0.482	0.485	0.483
media	----	0.558	0.569	0.566
regular	----	0.614	0.646	0.644

Fuente: Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión, CP, 1991.

#### **4.8.3.5 Factor P (Prácticas de conservación)**

El Factor P se refiere a la relación entre la pérdida de suelo con una práctica de conservación a la pérdida correspondiente en un terreno bajo cultivo en el sentido de la pendiente, (Figueroa, 1991). Las prácticas mecánicas más comunes en el establecimiento de un cultivo son las siguientes:

- Surcado al contorno,
- Fajas al contorno y,
- Sistema de terrazas

**Surcado al contorno:** La eficiencia del surcado al contorno está afectado por la longitud de la pendiente. Si la lluvia es intensa se tienen concentraciones de escurrimiento que aumentan conforme aumenta la longitud de la pendiente. Es por ello que en pendientes mayores a la longitud crítica, la cantidad del suelo que se mueve de un terreno con surcado al contorno se aproxima o supera al de un terreno en el que cada surco condujera su escurrimiento ladera abajo.

El cálculo del Factor P para el surcado al contorno se hace utilizando un factor por altura de surcos, que es modificado en función de la severidad de las lluvias y que se ajusta para el caso de surcados al contorno con declive, (Figueroa, 1991). El factor por altura de surco se obtiene de la **Tabla 4**.

**Fajas al contorno:** Las fajas al contorno tienen la ventaja de que al incluirse cultivos tupidos permanentes en la rotación se tienen un valor más bajo de C. El suelo erosionado de las fajas bajo cultivo es retenido al entrar a la faja con vegetación permanente.

**Terraza:** Las terrazas reducen la erosión laminar y la de canalillos en el intervalo de la terraza al dividir la pendiente en longitudes mayores. Así, las terrazas preservan el suelo y permiten conducir el escurrimiento a velocidades no erosivas fuera del terreno.

**Tabla 4. Factor P para surcado al contorno.**

Pendiente (%)	Altura por surco (cm)		
	Baja (2.5-7.5)	Moderada (7.5-12.5)	Alta (> 12.5)
0.5	1.0	0.8	0.8
1	0.9	0.7	0.7
2	0.9	0.6	0.5
3	0.9	0.5	0.3
4	0.8	0.5	0.3
5	0.8	0.5	0.2
6	0.8	0.5	0.2
7	0.8	0.5	0.2
8	0.8	0.5	0.2
9	0.8	0.5	0.2
10	0.8	0.6	0.2
11	0.8	0.6	0.2
12	0.9	0.6	0.2
13	0.9	0.6	0.3
14	1.0	0.6	0.3
15		0.6	0.3
16		0.6	0.3
17		0.7	0.3
18		0.7	0.3
19		0.7	0.3
20		0.8	0.4
21		0.8	0.4
22		0.9	0.5
23		0.9	0.5
24		1.0	0.6
26			0.6
28			0.7
30			0.8
32			0.9

Fuente: Manual de predicción de pérdida de suelo por erosión, CP, 1991.

## 5. MATERIALES Y METODOS

### 5.1 Descripción del área de estudio

**Localización:** El área de estudio se encuentra dentro de la subcuenca del Río Texcoco y se ubica geográficamente en los paralelos  $19^{\circ} 29' 22''$  latitud Norte, con una longitud Oeste de  $98^{\circ} 51' 11''$ , en una altura de 2330 msnm.

**Clima:** El clima establecido en esta área es del tipo de C(Wo) (W) b (i')g c el cual es considerado como templado subhúmedo con lluvias en verano; tiene una temperatura media anual de  $12-18^{\circ}$  C, con  $3$  y  $18^{\circ}$  del mes más frío y entre  $6.5$  y  $22.5^{\circ}$  C del mes más caliente, (García, 1981).

La precipitación media anual es de 600 mm. con regimenes de lluvia en verano, (Ortiz-Solorio, 1977). De la cantidad de precipitación total anual, el 85 % de esta es la que causa erosión y el 75 % de este presenta eventos cuya lámina fluctúa entre 5 y 25 mm., (Ríos, 1987).

**Geología:** La zona de estudio queda comprendida dentro de la falla de la Sierra de Río Frio, la cual se ubica en la zona volcánica de la faja transmexicana, cuyas erupciones ocurridas en distintas fases han formado acumulaciones de lavas, tobas y brechas. Estas deposiciones volcánicas actualmente se hallan con distintos grados de erosión, (Oropeza, 1980).

**Suelos:** Utilizando el sistema de clasificación de la séptima aproximación de los E.U.A., los suelos corresponden al subgrupo Lithic ustorthent, suborden orthent y orden de los entisoles. El estrato superficial posee una profundidad máxima de 25-35 cm., con una textura migajón arenosa, color pardo grisáceo muy oscuro, limitado por un estrato fuertemente cementado de color rosa llamado tepetate.

**Topografía:** Para este aspecto se comprenden tres zonas de relieve bien definidas: 1) Zona baja, 2) Zona de lomeríos y 3) Zona de montaña. La primera y segunda poseen pendientes menores de 15 % y la tercera zona con más del 15 %.

**Hidrología:** La subcuenca del Río Texcoco presenta corrientes superficiales bien definidas que desembocan al ex-lago de Texcoco en dirección E-W con una profundidad que varía entre 5 y 12 metros. Dichas corrientes se clasifican como efímeras ya que conducen agua cuando llueve en donde sólo captan escurrimientos superficiales y, permanecen secas en la época de estiaje, (Oropeza, 1980).

**Uso del suelo:** En el área de estudio encontramos cultivos de temporal tales como maíz, frijol y haba, además de sus asociaciones con estos cultivos.

Debido a la interacción de diversos factores del ambiente y del uso actual al que se somete el suelo, se ha logrado modificar algunas áreas, principalmente en la zona media de la subcuenca. Por tal razón se encuentra aflorando un material parental, citado anteriormente,

características comunes: suelos poco desarrollados, friables, baja densidad aparente y alta porosidad.

## **5.2 Metodología**

En el área de estudio, cuya superficie es de una ha., se podrá cuantificar las pérdidas de suelo y agua principalmente con la instalación siguiente: un vertedor tipo H con capacidad de 60 lt/seg. con canal de llegada y un recolector de escurrimiento superficial y de sedimentos tipo Coshocton (modificado por Oropeza, 1991). A partir de este recolector sale una manguera que conduce la parte muestreada de los escurrimientos a tinacos de lámina de 70 lts de capacidad. Para facilitar el cálculo de los volúmenes escurridos en la parcela, se realizó una calibración previa del volumen almacenado contra la lectura en cm. para cada tinaco. Para medir de manera continua los escurrimientos superficiales que salen de la parcela se instaló un limnigrafo de vuelta diaria esc. 1:1 modelo Fw-1 y, finalmente para el registro de cada evento de lluvia un pluviógrafo de registro diario.

### **5.2.1. Trabajo de campo**

Después de cada evento de lluvia se realizaron los siguientes pasos:

- 1.- Se decantó el agua del recolector de sedimentos (tinaco),
- 2.- Se tomó del recolector una muestra de suelo almacenada y se colocó en frascos de plástico,
- 3.- Se leyó en la escala del tinaco el volumen de escurrimiento,
- 4.- Se agitó el contenido de agua y suelo escurridos en el tinaco para mantener todo el material erosionado en suspensión,
- 5.- Sin dejar que el material cesara su movimiento se tomó una muestra de la suspensión en un frasco de boca ancha de 1 lt de capacidad para realizar las determinaciones en el laboratorio,
- 6.- Posteriormente se separó agua de sedimento utilizando sulfato doble de potasio y aluminio, se flocculó el material en suspensión en cada depósito y por decantación fueron separados. El agua, se derramó para que los sedimentos fueran colectados para su secado y cuantificación y,
- 7.- Se cambia la gráfica del pluviógrafo y del limnigrafo.

Con estos datos se llevó a cabo un registro continuo de las entradas (lluvias) y salidas (escurrimiento y sedimentos); en base a la información obtenida se determinaron las características físicas de la lluvia (energía cinética, cantidad, intensidad y duración) y se relacionaron con la pérdida de suelo y las curvas de crecimiento vegetativo del cultivo del frijol.

Previamente al establecimiento del experimento se tomaron muestras de suelo de las dos pequeñas cuencas para llevar a cabo la determinación de sus características físico-químicas en el laboratorio.

### **5.2.2 Porcentaje de cobertura vegetal**

La evaluación de la toma del porcentaje de cobertura vegetal se realizó mediante el método del transecto sobre una línea, indicado por Richards, Walter y Mack (1984), con la variante de miras telescópicas. Este método consiste en observar al cultivo desde la parte superior y en forma perpendicular a la superficie del suelo, a través de diez cursores colocados en una barra horizontal apoyada sobre una base-soporte, (Ríos, 1987).

El aparato consta de cuatro piezas ajustables, un soporte y la barra provista con 10 cursores móviles, ajustables a cualquier espaciamiento entre hileras del cultivo. Los cursores son tubos huecos de 10 cm. de longitud y 8 mm. de diámetro, los cuales poseen dos hilos que parten la mira en cuatro partes iguales, dando pie a una mira telescópica. Armado este aparato alcanza una altura de 135 cm. útil en cultivos de porte bajo. El aparato se puede observar en la Fig. 6.

Esta evaluación del porcentaje de cobertura se realizó cada 10 días seleccionando plantas al azar inmediatamente después de la siembra. Con esta información se obtuvieron curvas de desarrollo vegetativo, las cuales como se indicará posteriormente se relacionaron con las pérdidas de suelo ocurridas en la misma época y de esta manera definir el mejor manejo del suelo.

Así, el porcentaje de cobertura vegetal para cada observación se calculó dividiendo el número de observaciones-cursor que incidían sobre alguna parte de la planta, entre el número total de observaciones. El ejemplo de los datos tomados en campo se presentan a continuación en los Cuadros 13 y 14.

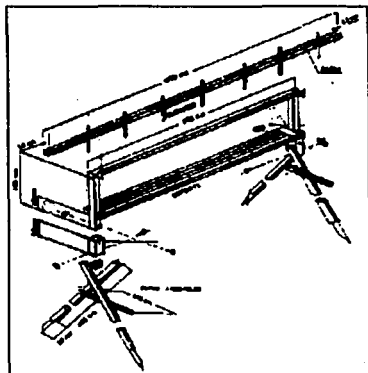


Fig. 6 Aparato con piezas ajustables para medir el % de cobertura vegetal.

**Cuadro 13.** Datos de porcentaje de cobertura tomados en campo del 2 de Junio de 1993.

**Porcentaje de cobertura**

Tubo/Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
1	X	X	X	X	X	/	X	X	X	X	0.10
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.00
3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.00
4	X	X	X	X	X	/	X	X	X	X	0.10
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.00
6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.00
7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.00
8	/	/	/	X	X	X	X	X	X	X	0.30
9	X	X	X	X	X	X	/	/	X	X	0.20
10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.00

Parcela: 1 Cultivo: Frijol Fecha: 020693 Lote: 3 Total: 0.07 = 7.0%

**Cuadro 14** Datos de porcentaje de cobertura tomados en campo del 2 de Junio de 1993.

Tubo/Sitio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
1	X	X	X	X	/	/	X	X	X	X	0.20
2	X	X	X	/	/	X	X	X	X	X	0.20
3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.00
4	/	/	X	X	X	X	X	X	/	/	0.40
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0.20
6	X	X	X	X	X	X	X	/	/	X	0.20
7	/	/	X	X	X	X	X	X	X	X	0.20
8	/	X	X	X	X	X	X	X	X	/	0.20
9	X	/	/	/	X	X	X	X	X	X	0.30
10	X	/	/	X	X	X	X	X	X	/	0.30

Parcela: 2 Cultivo: Frijol Fecha: 020693 Lote: 4 Total: 0.22 = 22%



#### **5.2.4 Descripción de la infraestructura de las parcelas para medir lluvia y escurrimiento**

Para la caracterización física se instaló un pluviógrafo, un vertedor tipo H, modelo N-2 con capacidad de 60 l/s con un limnógrafo Stevens Fw-1 y un dispositivo tipo Coshocton como muestreador de sedimentos. Todo esto para medir simultáneamente precipitación, escurrimientos superficiales y sedimentos en suspensión.

A continuación se describirá el limnógrafo utilizado y la rueda muestreadora (dispositivo Coshocton).

**Limnógrafo Stevens Fw-1:** Este aparato consta principalmente de:

- 1.- Rodillo donde se coloca la gráfica.
- 2.- Plumilla.
- 3.- Soporte corredizo de la plumilla.
- 4.- Mecanismo de relojería.
- 5.- Engranajes.
- 6.- Polea.
- 7.- Contrapeso.
- 8.- Flotador
- 9.- Tapa protectora.

**Rueda muestreadora (Dispositivo tipo Coshocton modelo N-2)**

Esta rueda muestreadora es utilizada en el presente trabajo y en general para estudios de erosión-escurrimiento en pequeñas cuencas agrícolas. Este muestreador mide el escurrimiento total y extrae una proporción del flujo total para estimar la pérdida de suelo. Con sus impulsores helicoidales y una inclinación que favorece su rotación, la rueda recibe la descarga que viene a partir del vertedor tomando muestras del escurrimiento superficial.

La muestra de escurrimiento es colectada a través de una abertura angosta montada sobre la rueda, por la cual pasa la porción de escurrimiento colectado. Por cada revolución de la rueda, la abertura pasa sobre la descarga y toma una alícuota que varía de volumen según la descarga del vertedor. La porción de escurrimiento extraída pasa a través de la rueda hasta una charola circular, (Oropesa, 1991), a partir de aquí la muestra fluye por un conducto cerrado hasta el tanque de almacenamiento.

Teóricamente el volumen de la muestra es igual a  $W/2nr$ , donde  $W$  es el ancho de la abertura de la rueda muestreadora y  $2nr$  la circunferencia de radio  $r$ . La operación de este muestreador fue descrito originalmente por Parsons, en 1954.

#### **5.2.4 Descripción de las parcelas de escurrimiento.**

La instrumentación de las parcelas de escurrimiento se llevó a cabo para cuantificar las pérdidas de suelo a partir de la lluvia y el escurrimiento en la dinámica del proceso erosivo.

Las parcelas se identificaron como parcela 1 y parcela 2, cuyas características se describen en el Cuadro 15.

**Cuadro 15. Características generales de las parcelas experimentales.**

Parcela	Superficie (m <sup>2</sup> )	Pendiente (%)	Cultivo	Variedad	Tipo de crecimiento
1	5846.70	2.5	Frijol	Bayo mes-central	Semi-guía
2	6043.20	2.58	Frijol	Bayomex	Mata

En cada parcela se instaló el mismo equipo muestreador.

### 5.2.5 Seguimiento agronómico

A las dos parcelas se le realizaron las mismas labores culturales:

#### 5.2.5.1 Preparación del terreno:

**Barbecho:** El barbecho se realizó en el mes de abril a una profundidad de 30 cm., ya que que la capa arable es muy delgada debido a la existencia de un material muy duro llamado tepetate.

**Surcado y Siembra:** Estas dos labores se llevaron a cabo en forma simultánea acoplando al tiro del tractor la surcadora y la sembradora. La distancia entre surcos de las dos parcelas fue de 80 cm. y la distancia entre matas para la parcela 1 de 15 cm. con una densidad de población de 130 mil plantas/ha. En la parcela 2 el cultivo se estableció con una densidad de población de 110 mil plantas/ha a una distancia de 15 cm. y una densidad de siembra de 60 kg/ha para las dos parcelas.

**Fertilización:** La dosis aplicada se logró con la fórmula 60-40-00, la cual es recomendada por el INIFAP para regiones de temporal. La fuente de nitrógeno fue la UREA y la de fósforo el SFCS (superfosfato de calcio simple). La urea se aplicó en dos oportunidades, la primera al día siguiente de la siembra y la segunda en el segundo aporque, es decir a los 50 días después de la siembra. El SFCS se aplicó en su totalidad en la primera fertilización.

**Control de maleza:** Se dió lugar al paso de la cultivadora dentro de los 40 días después de la siembra. El aporque se realizó a los 50 días después de la siembra.

**Control de plagas y enfermedades:** La plaga que incidió en el cultivo del frijol fue la conchuela del frijol, la cual se controló con Sevín al 80 %. La enfermedad que también incidió fue la roya, pero en una pequeña proporción. Esta probablemente fue la causa del rendimiento obtenido en la parcela 1.

**Cosecha y Trilla:** Se cosecharon las vainas maduras poco antes de que la planta seicara totalmente. Después se dejaron secar las vainas completamente para enseguida trillarlas con el paso de un tractor.

Al inicio del experimento, como ya se indicó anteriormente, se recogieron muestras de suelo para determinar las características físicas y químicas, las cuales se presentan en los Cuadros 16 y 17.

**Cuadro 16. Resultados de los análisis químicos (Lomas de San Juan, 1992).**

Muestra	Lote	Profundidad (cm)	M. O. (%)	C.I.C. (Meg/100)
1	1	0-20	1.17	19.13
2	1	0-20	1.30	15.22
3	2	0-20	1.04	16.08
4	2	0-20	0.98	19.34

**Cuadro 17. Resultados de los análisis físicos, (Lomas de San Juan, 1992).**

Muestra	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )	Conductividad Hidráulica (cm/hr)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
1	1.64	2.49	0.066	54.76	22.5	22.7
2	1.57	2.52	0.116	59.04	21.8	19.0
3	1.58	2.53	0.096	57.40	21.8	20.7
4	1.38	2.52	0.136	56.32	24.2	19.4

\* Método de la probeta

Es preciso señalar que las muestras 1, 2 y 3, 4, pertenecen a las parcelas 1 y 2 respectivamente.

**Cuadro 18. Métodos utilizados en las determinaciones de los análisis químicos y físicos de las muestras de suelo. (Lomas de San Juan, 1992).**

DETERMINACIONES	METODO
Densidad aparente	Terrón emparafinado
Densidad real	Picnómetro
Conductividad Hidráulica	Muestras alteradas saturadas
Textura	Bouyucos
Materia Orgánica	Walkley and black
Cap. de Inter. catiónico	Acetato de sodio 8.2

### 5.2.6 Registro y cálculo de los datos de lluvia

Se procedió al cálculo de los siguientes parámetros de la lluvia: duración, cantidad, intensidad de la lluvia, energía cinética total, intensidad máxima en 30 minutos ( $I_{30}$ ) y erosividad de la lluvia ( $EI_{30}$ ).

Para obtener la intensidad de la lluvia se utilizó la siguiente expresión:

$$I = \frac{(C)(60)}{t}$$

donde:

**I = Intensidad de la lluvia (mm/hr)**

**C = Cantidad de lluvia (mm)**

**t = Tiempo (min)**

En el caso de de la energía cinética se utilizó la expresión reportada por **Foster, (1981)**.

$$Ec = 0.119 + 0.0873 \log_{10} I$$

donde:

**Ec = Energía cinética por unidad de lluvia, expresada en MJ/ha mm. Cuando I es mayor o igual a 76 mm/hr. Ec = 0.283.**

La energía por incremento se calculó por el producto entre la energía por unidad de lluvia y la cantidad de lluvia, expresándose en MJ/ha.

La intensidad máxima en 30 minutos ( $I_{30}$ ) se obtuvo, según **Weischmeier (1959)**, de la suma de las cantidades más grandes que precipitaron en 30 minutos.

La erosividad de la lluvia, ( $EI_{30}$ ), por evento se obtuvo del producto de los valores de la energía cinética por la intensidad máxima en 30 min.

En el **Cuadro 18**. 1 aparece el procedimiento de cálculo de la energía cinética y del  $EI_{30}$  para un evento de lluvia que tuvo lugar en el sitio de estudio, (Lomas de San Juan).

Cuadro 18.1. Cálculo de I30 para un evento de lluvia.

Fecha del evento	Tiempo observado	Pp	Duración	Cantidad parcial	Intensidad *1	Log 10	Energía/ u.de pp	Energía/ incremento	I30 *2
	hr	mm	min	mm	mm/hr		MJ/hamm	MJ/ha	mm/hr
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
250993	13.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	14.10	0.30	10.00	0.30	1.80	0.26	0.14	0.04	-
	14.20	3.90	5.00	0.90	10.80	1.03	0.20	0.18	-
	14.30	6.70	5.00	2.60	33.60	1.52	0.25	0.70	-
	14.45	7.10	15.00	0.40	1.60	0.20	0.13	0.05	-
	15.00	7.30	15.00	0.20	0.80	-0.09	0.11	0.02	-
	23.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
	23.50	0.50	10.00	0.50	3.00	0.47	0.16	0.08	0.50
	24.00	4.20	10.00	3.70	22.20	1.34	0.23	0.86	3.70
	24.10	5.00	10.00	0.80	4.80	0.69	0.17	0.14	0.80
	24.25	5.80	15.00	0.80	3.20	0.50	0.71	0.56	-
	24.30	8.00	5.00	0.20	1.20	0.07	0.12	0.02	-
	24.40	7.20	10.00	1.20	7.20	0.85	0.19	0.23	-
	24.50	8.90	15.00	1.70	6.60	0.83	0.19	0.32	-
	1.10	9.70	20.00	0.80	2.40	0.38	0.15	0.12	-
1.40	9.90	30.00	0.20	0.40	0.39	0.08	0.01	-	
							3.39	5.00	

\*1 Cuando la intensidad es mayor de 76 mm/hr:  $E=0.383$

\*2 (Cantidad de lluvia en mm en 30 min\*60)/60

$I30 = (P30*60)/30 = (5*60)/30 = 10 \text{ mm/hr}$

## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se dará respuesta a los objetivos e hipótesis planteadas explicando primeramente la mecánica del proceso erosivo inducido por el efecto de la precipitación, en segundo término el desarrollo y manejo de la cobertura vegetal del cultivo bajo estudio como una alternativa para reducir la erosión hídrica del suelo con las curvas de vegetación en terrenos con pendiente y, en término siguiente la importancia de la instrumentación de pequeñas cuencas para el estudio de los diferentes procesos hidrológicos de nuestro interés que tienen lugar en las mismas. Por último, el resultado que arrojó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo utilizando los valores de cada uno de los factores tabulados y, además se analizan los datos del Sistema de Conservación de Suelos, (USDA, 1972), como herramientas en la conservación de suelos.

En la presente investigación se evaluó el ciclo hidrológico de 1993, a partir del 14 de mayo hasta el 23 de Octubre.

Para el caso bajo estudio la cantidad de lluvia precipitada fue de 375 mm total anual. Es preciso señalar que se analizaron 5 eventos, ya que sólo estos provocaron escurrimiento superficial. Estos eventos se presentan en el Cuadro 19 y 20 para la Parcela 1 y 2 respectivamente. En estos Cuadros se puede observar que en los 5 eventos analizados la pérdida de suelo para la Parcela 1 fue de 5.27 y para la Parcela 2 de 43.10 kg/ha. En la Parcela 1 es preciso recordar que el cultivo fue de frijol con la variedad Bayo Mescentral cuyo hábito de crecimiento es de tipo semiguía y, para la Parcela 2 la variedad de frijol es Bayomex, el cual es de tipo mata.

Por lo tanto se debe indicar la importancia del establecimiento de un tipo de cultivo de semiguía, o bien se puede decir que de tipo guía, ya que la pérdida de suelo sería mucho menor

### 6.1 Efecto de la precipitación

El efecto de la precipitación se analiza primeramente con la relación cantidad de lluvia (mm) y pérdida de suelo.

#### 6.1.1 Cantidad de lluvia - pérdida de suelo

Esta relación no resultó ser muy significativa. De acuerdo a la Fig. 8., se demuestra que existe una clara tendencia de que a medida que aumenta la cantidad de lluvia se eleva la pérdida de suelo, en esta relación se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.77 ( $r^2 = 0.77$ ) en la Parcela 1, para la Parcela 2 sucede lo mismo aunque con una  $r^2$  de 0.81.

**Cuadro 19 . Resultados de pérdida de suelo, en la Parcela 1.**

Fecha	Pp	Duración	I30	Ec	EI30	VTE	ES	PTD S
	mm	min	mm/hr	MJ/ha	MJmm/hahr	lt	mm	kg/ha
240792	16.4	61.8	32.6	1	33.3	1357.99	0.2322	14.49
310792	15.9	84.6	31.1	3.2	101.2	4030.75	0.6894	13.58
050892	12.8	30.3	25.6	1.5	39.1	1160.01	0.1984	6.44
130892	0.6	5.9	1.2	0.1	0.2	1199.93	0.2052	8.53
250992	15.0	160.8	20.8	3.3	33.5	10.18	0.0017	0.03

**Cuadro 20 . Resultados de pérdida de suelo, en la Parcela 2.**

Fecha	Pp	Duración	I30	Ec	EI30	VTE	ES	PTDS
	mm	min	mm/hr	MJ/ha	MJmm/hahr	lt	mm	kg/ha
240792	16.4	61.8	32.6	1	33.3	195.91	0.0335	0.9516
310792	15.9	84.6	31.1	3.2	101.2	541.65	0.0926	1.56
050892	12.8	30.3	25.6	1.5	39.1	2367.05	0.4048	1.3360
130892	0.6	5.9	1.2	0.1	0.2	635.02	0.1086	0.6842
250992	15	160.8	20.8	3.3	33.5	0689.27	0.1178	2.7350

Ec = Energía cinética total, (min).

VTE = Volúmen total escurrido, (lt).

ES = Escurrimiento superficial, (mm).

PTDS = Pérdida total de suelo, (kg/ha).

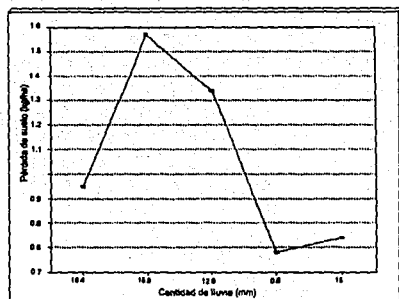


Fig. 8. Relación Cantidad de lluvia - Pérdida de suelo para la Parcela 1, Lomas de San Juan, Chapingo, 1992.

Varios autores, entre ellos Hudson, 1977; Arias, 1980 y Ríos, 1982 también obtuvieron resultados similares.

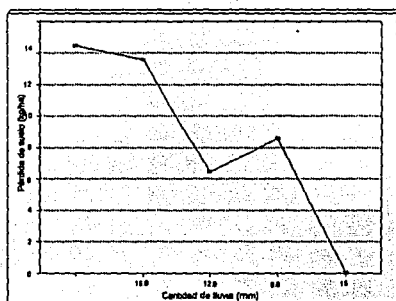


Fig. 9. Relación cantidad de lluvia - pérdida de suelo para la Parcela 2, Lomas de San Juan, Chapingo, 1992.

Así mismo, señalan que esta relación no es directa ni es funcional, ya que en el momento de la ocurrencia de cada evento existen condiciones diferentes y, observan que las pérdidas de suelo por cada evento es función de lo siguiente: de la distribución de las lluvias en el ciclo y del grado de compactación del suelo. Otros autores coinciden en lo anterior, (*Manual de Predicción de Pérdidas de Suelo por Erosión, CP-CREZAS, 1991* y *Solano de la Sala, 1982*), señalando que la misma cantidad de lluvia puede producir cantidades muy diferentes de pérdida de suelo.



### 6.1.2 EI<sub>30</sub> - Pérdida de suelo

Para probar esta relación también se trabajaron algunos modelos de regresión y se encontró que el modelo lineal simple es el que mejor se ajusta. Esta relación presentó un coeficiente de determinación bastante aceptable ( $r^2 = 0.97$ ) en la Parcela 1 y para la Parcela 2 el valor fue de 0.96.

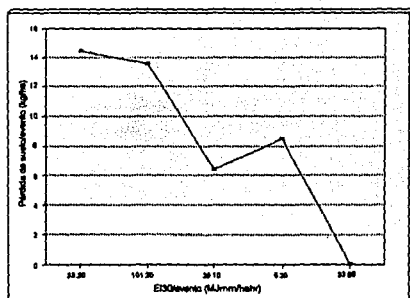


Fig. 10. Comportamiento del EI<sub>30</sub>/evento - Pérdida de suelo en la Parcela 1, Lomas de San Juan, Chapingo.

Con respecto a éste punto se puede decir que el EI<sub>30</sub> juega un papel muy importante ya que además se puede observar que demuestra ser un índice de erosividad de lluvia eficiente para la estimación de pérdidas de suelo en la zona de estudio. En las Fig. 10 y 11 se observa el comportamiento de ésta relación para la Parcela 1 y 2 respectivamente.

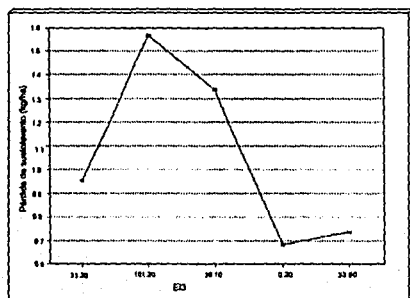


Fig. 11. Comportamiento del EI<sub>30</sub>/evento - Pérdida de suelo en la Parcela 2, Lomas de San Juan, Chapingo.

Los valores de EI<sub>30</sub> para los 5 eventos analizados se observa en los Cuadros 19 y 20 para las Parcelas 1 y 2.

Aún así, con lo que respecta a la producción de sedimentos, se observa en los Cuadros antes citados que cuando el  $EI_{30}$  fue mayor, la pérdida de suelo también resultó ser mayor. Así por ejemplo, para la fecha del 31 de Julio el  $EI_{30}$  fue de 101.2 MJmm/hahr y su respectiva producción total de sedimentos resultó ser de 13.58 kg/ha en la Parcela 2.

En la Fig. 12 podemos observar la distribución del  $EI_{30}$  a través de los eventos analizados, los cuales se pueden considerar como anuales. El mes en donde obtuvimos más unidades de  $EI_{30}$  resultó ser el de Julio, y desde 8 años atrás ha oscilado entre Junio y Agosto en ésta zona experimental., (Ríos, 1987; Macías, 1992).

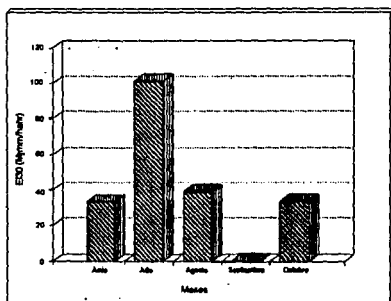


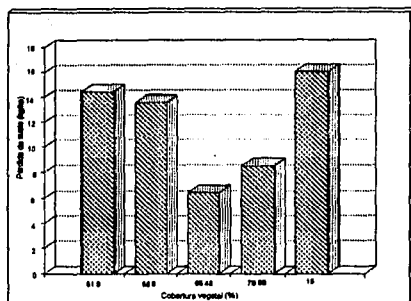
Fig. 12. Distribución del  $EI_{30}$  a través del ciclo hidrológico, Lomas de San Juan, Chapingo.

La información de la gráfica anterior se corrobora con el resultado de la distribución de los datos hidrológicos que se presentan en los Cuadros 19 y 20 durante el ciclo hidrológico de interés. Es decir, en el mes de Julio se presentaron más unidades de  $EI_{30}$  y por consecuencia la pérdida de suelo, para ambas parcelas, fue mayor.

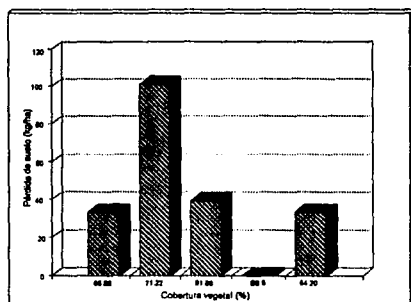
En estos mismos cuadros podemos observar el cálculo del  $EI_{30}$  en MJmm/hahr

### 6.1.3 Cobertura - vegetal

Otro de los parámetros analizados fue la cobertura vegetal y, el efecto que provocó para reducir la pérdida de suelo se obtuvo mediante un coeficiente de determinación. Para la Parcela 1 resultó ser de 0.65 ( $r^2 = 0.65$ ) y, para la Parcela 2 una  $r^2$  de 0.85. Es decir, se demuestran las bondades de la cobertura vegetal con un cultivo de hábito de crecimiento de tipo semigüía aún siendo de escarda. Es preciso recordar que la práctica mecánica que se realizó fue un surcado al contorno en ambas Parcelas.

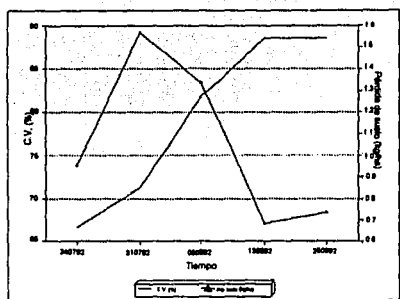


**Fig. 13.** Comportamiento de la cobertura vegetal con respecto a la pérdida de suelo a través del ciclo hidrológico en la Parcela 2, Lomas de San Juan, Chapingo.

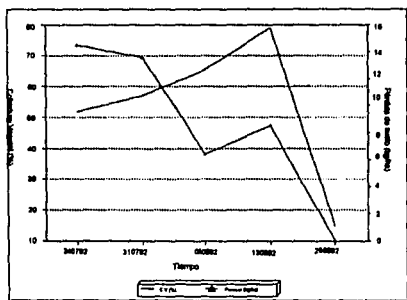


**Fig. 14.** Comportamiento de la cobertura vegetal con respecto a la pérdida de suelo a través del ciclo hidrológico en la Parcela 2, Lomas de San Juan, Chapingo.

En la Fig. 13 y en la Fig. 14, para la Parcela 1 y 2 respectivamente, se observa ésta relación, en cuyo caso se puede apoyar en lo realizado por **Figueroa, 1975** y **Ríos, 1987**. Esto es, que mientras más cobertura vegetal se logre se reducirá la erosión hídrica por escurrimiento superficial y, aún por salpicamiento amortiguando así la caída y golpe de las gotas de lluvia y reduciendo por lo tanto la pérdida de suelo.



**Fig. 15.** Comportamiento de la cobertura vegetal y la pérdida de suelo con respecto al tiempo, para la Parcela 1, Lomas de San Juan, Chapingo.



**Fig. 16.** Distribución de la cobertura vegetal y la pérdida de suelo a través del ciclo hidrológico en la Parcela 2, Lomas de San Juan, Chapingo.

En la Fig. 15 y la Fig. 16 se puede apreciar, como variable independiente el tiempo expresado como fechas en orden progresivo de los eventos analizados y como variables dependientes la cobertura vegetal en % y, la pérdida de suelo cuyas unidades son kg/ha.

En las figuras anteriores se observa, que en la Parcela 2 hubo una pérdida de suelo bastante apreciable en comparación con la Parcela 1. Es decir, que la cobertura vegetal influyó activamente como protección del suelo a la erosión hídrica.

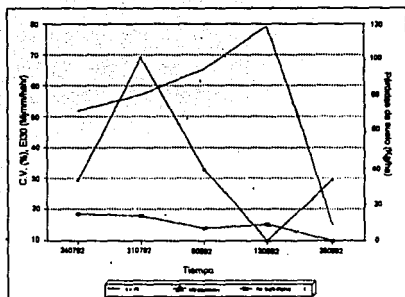


Fig. 17. Comportamiento del  $EI_{30}$  y la influencia de la cobertura vegetal en la pérdida de suelo a través del ciclo hidrológico en la Parcela 1, Lomas de San Juan, Chapingo.

En esta Fig.17 se puede observar el papel que juega la cobertura vegetal para disminuir la energía cinética del impacto de las gotas de agua. Por ejemplo, para el 31 de Julio se nota que a medida que aumenta la cobertura vegetal disminuye considerablemente la pérdida de suelo aún cuando las unidades de  $EI_{30}$  son altas aún cuando el hábito de crecimiento del frijol fue de tipo mata.

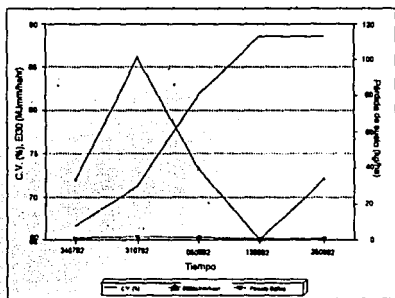


Fig. 18. Comportamiento del  $EI_{30}$  y la influencia de la cobertura vegetal en la pérdida de suelo a través del ciclo hidrológico en la Parcela 2, Lomas de San Juan, Chapingo.

Es decir, se pueden observar las bondades de la cobertura vegetal para aminorar la pérdida de suelo en la Parcela 2. En dicha parcela, es preciso recordar que el hábito de crecimiento del cultivo del frijol fue de tipo semiguía y desde el inicio del cultivo se notó el progreso en el % de cobertura vegetal lo que resultó como consecuencia que la pérdida de suelo disminuyera considerablemente. (Fig. 18).

#### 6.1.4 Esguerrimiento superficial

Otra variable analizada fue el esguerrimiento superficial con respecto a la pérdida de suelo y el esguerrimiento máximo observado por evento en  $m^3/s$  comparándolos con los calculados por el método del Servicio de Conservación del Suelo - USDA, 1972.

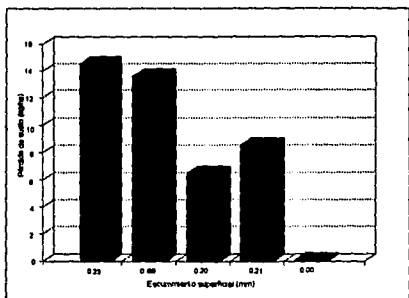


Fig. 19. Relación esguerrimiento superficial - pérdida de suelo, en la Parcela 1, Lomas de San Juan, Chapingo.

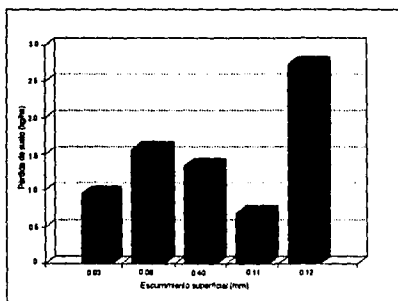


Fig. 20. Relación esguerrimiento superficial - pérdida de suelo, en la Parcela 2, Lomas de San Juan, Chapingo.

En las Figuras anteriores podemos observar la influencia del esguerrimiento superficial con respecto a la pérdida de suelo. Se nota de que a medida de que aumenta el esguerrimiento superficial la pérdida de suelo se eleva.

#### 6.2 Metodología utilizada por el Servicio de Conservación del Suelo

Otro de los puntos importantes contemplados por esta investigación es con lo referente a la metodología propuesta por el Soil Conservation Service, 1972 (SCS-USDA), para calcular los

escurrimientos máximos en cuencas basados en datos de precipitación y características de los suelo, para aquellas zonas donde no existan datos de aforo de corrientes o datos hidrométricos.

El grado de sensibilidad del modelo, con respecto a los valores, se estableció de acuerdo a la determinación del "Coeficiente de Eficiencia" (propuesto por Nash y Sutcliffe, 1970).

En el Cuadro 21 se pueden observar los escurrimientos máximos observados vs. los escurrimientos máximos calculados para la Parcela 1. Es decir, se nota una  $r^2$  de 0.96, lo que quiere decir que esta metodología realmente se adapta a las condiciones de las parcelas experimentales de nuestro interés. Para la Parcela 2, y de acuerdo al Cuadro 23, se observa una  $r^2$  de 0.66.

**Cuadro 21. Datos hidrológicos observados vs. los calculados, P-1 (SCS).**

Fecha	Duración min	Qmax observado m <sup>3</sup> /s	Qmax calculado $r^2=0.96$
240793	61.80	0.00	0.27
310793	15.90	0.00	0.03
050893	12.80	0.00	0.00
130893	0.60	0.10	6.06
250993	15.00	0.00	0.03

**Cuadro 22. Datos hidrológicos observados vs. los calculados, P-2 (SCS).**

Fecha	Duración min	Qmax observado m <sup>3</sup> /s	Qmax calculado $r^2=0.66$ m <sup>3</sup> /s
240793	61.80	0.00	0.10
310793	84.60	0.00	0.00
050893	30.30	0.00	0.87
130893	5.90	0.01	11.26
250993	160.80	0.00	0.06

**Cuadro 23. Resumen de resultados.**

Parcela	Escmax observado mm	Escmax calculado mm	$r^2$
1	1.33	6.39	0.96
2	0.75	12.29	0.66

### 6.2.1 Esguerrimiento máximo observado - Esguerrimiento máximo calculado

Ahora, en lo que respecta a los datos calculados de esguerrimiento máximo por éste método, en la Parcela 1, se observa que existe un alto grado de significancia, ya que la relación esguerrimiento máximo observado ( $m^3/s$ ) contra el esguerrimiento máximo calculado con una  $r^2$  es de 0.96, (Fig. 22). Debido a esto se puede decir que el método calculado es una herramienta muy útil y aplicable para la zona de estudio.

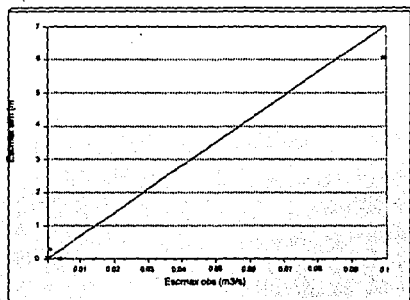


Fig. 22. Gráfica de dispersión del esguerrimiento máximo observado contra el esguerrimiento máximo calculado por el método del SCS, 1972, en la Parcela 1, Lomas de San Juan, Chapingo.

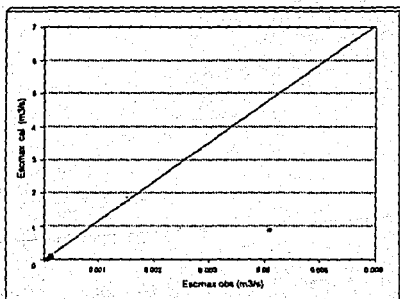


Fig. 23. Gráfica de dispersión del esguerrimiento máximo observado contra el esguerrimiento máximo calculado por el método del SCS, 1972, en la Parcela 2, Lomas de San Juan, Chapingo.

En la Parcela 2, se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.66. Es decir, el método utilizado (SCS, 1972) prevee con cierta confiabilidad los esguerrimientos máximos para nuestra parcela en estudio, (Fig. 26).



Es preciso señalar la importancia del cálculo de dichos escurrimientos, esta importancia radica en la realización de proyectos ingenieriles.

En general, la importancia de éste radica en que éste método calculado nos da la pauta para identificar las áreas con problemas de erosión y así, a su vez proyectar en grandes términos los cambios en la producción de los cultivos por efecto de la misma, (Foster et al. 1985).

En en el Cuadro 25 y se observa el cálculo del escurrimiento máximo ( $m^3/s$ ) para la Parcela 1 y 2 respectivamente, durante todo el ciclo de cultivo de 1992.

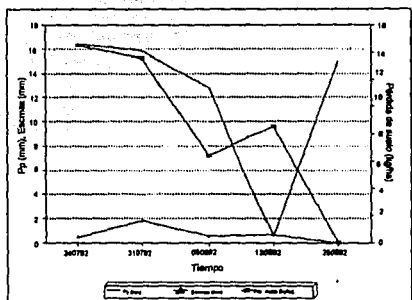


Fig.24. Comportamiento de la pérdida de suelo con respecto a la precipitación y al escurrimiento máximo en la parcela 1, Lomas de san Juan, Chapingo.

En la Fig. 24. se presenta para observar el comportamiento de la precipitación, escurrimiento superficial en mm y la pérdida de suelo en kg/ha con respecto al tiempo. Este tiempo aparece como la fecha de los 5 eventos analizados en todo el ciclo. Se observa de que a medida que la precipitación aumenta se eleva la lámina escurrida y por lo tanto la pérdida de suelo se incrementa a través de los eventos analizados. En la fecha del 13 de Agosto la pérdida de suelo se eleva aún con una precipitación poco apreciable en la gráfica, pero esto se puede explicar debido a que en los días anteriores la lluvia que precipitó pudo haber provocado una sobresaturación del suelo y por lo tanto una pérdida de suelo elevada.

### 6.3 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)

Otra de las variables de interés es lo relacionado con la predicción en la pérdida de suelo anual promedio, para ello, como se mencionó con anterioridad, se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Los resultados fueron los siguientes:

Para la Parcela 1:

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

donde:

$$R = 375.0$$

$$K = 0.020$$

$$LS = 0.17$$

$$C = 0.558$$

$$P = 0.7$$

Es preciso recordar que estos valores se obtuvieron de las Tablas 1, 2, 3 y 4.  
por lo tanto  $A = 0.892 \text{ ton/ha}$

Cuadro 24 : Cálculo del EI30 por evento de lluvia.

Fecha	Pp	Duración	Incremento /tormenta	Intensidad	Log10	E/U de Lluvia	Energía/ Incremento	I30	EI30
	mm	min	mm	mm/hr			Ect-MJ/ha	mm/hr	MJ/mm/hr
90593	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
100593	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
110593	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
120593	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
130593	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
140592	2.10	112.30	2.10	1.12	0.05	0.12	0.26		
250593	0.40	38.80	0.40	0.62	-0.21	0.10	0.04		
250593	0.30	6.10	0.30	4.92	0.69	0.18	0.09		
250593	1.60	7.10	1.60	13.52	1.13	0.22	0.35	2.50	0.87
260593	2.70	119.80	2.70	1.35	0.13	0.13	0.35	4.80	1.69
270593	1.20	60.80	1.20	1.18	0.07	0.13	0.13	5.50	0.83
270593	0.30	26.10	0.30	0.69	-0.16	0.10	0.03	4.20	0.13
280593	2.00	33.20	2.00	3.61	0.56	0.17	0.34	3.50	1.17
280593	0.80	54.60	0.80	0.88	-0.06	0.11	0.09	3.10	0.28
280593	0.30	25.00	0.30	0.72	-0.14	0.11	0.03	3.10	0.10
300593	0.60	38.10	0.60	0.94	-0.02	0.12	0.07	1.70	0.12
300593	0.30	11.70	0.30	1.54	0.19	0.14	0.04	1.20	0.05
300593	13.50	108.10	13.50	7.49	0.87	0.20	2.64	14.40	37.98
310593	0.40	5.60	0.40	4.29	0.63	0.17	0.07	14.20	0.99
310593	12.30	397.40	12.30	1.86	0.27	0.14	1.75	26.20	45.91
40693	2.00	53.00	2.00	2.26	0.35	0.13	0.30	14.70	4.41
60693	2.80	136.20	2.80	1.23	0.09	0.13	0.36	17.10	6.08
90693	1.20	78.00	1.20	0.92	-0.03	0.12	0.14	6.00	0.83
90693	0.10	10.20	0.10	0.39	-0.33	0.10	0.01	4.10	0.04
90693	0.70	44.20	0.70	0.95	-0.02	0.12	0.08	2.00	0.16
100693	13.90	168.60	13.90	4.95	0.69	0.18	2.50	14.70	36.70
110693	2.10	40.30	2.10	3.11	0.49	0.16	0.34	16.70	5.68
280693	0.10	34.80	0.10	0.17	-0.76	0.05	0.01	16.10	0.08
290693	0.70	11.10	0.70	3.78	0.38	0.17	0.12	2.90	0.34
290693	1.10	16.10	1.10	4.10	0.61	0.17	0.19	1.90	0.36
290693	0.20	10.60	0.20	1.13	0.05	0.12	0.02	2.00	0.05
300693	0.60	3.70	0.60	9.73	0.99	0.21	0.12	1.90	0.23
300693	3.90	89.30	3.90	2.62	0.42	0.16	0.61	4.70	2.85
310693	0.30	38.20	0.30	0.47	-0.33	0.09	0.03	4.80	0.13
20793	0.80	2.90	0.80	16.55	1.22	0.23	0.18	5.00	0.90
20793	3.70	86.70	3.70	2.36	0.41	0.15	0.57	4.80	2.75
90793	0.40	67.10	0.40	0.36	-0.45	0.08	0.03	4.90	0.16
100793	0.90	31.90	0.90	1.69	0.23	0.14	0.13	5.00	0.63
110793	5.70	24.80	5.70	13.79	1.14	0.22	1.25	7.00	8.72
110793	5.30	301.30	5.30	1.10	0.04	0.12	0.67	12.10	8.13
120793	0.20	2.90	0.20	4.14	0.62	0.17	0.03	11.40	0.39
120793	1.60	61.40	1.60	1.36	0.19	0.14	0.22	7.30	1.59

Continuación: Cuadro 24: Cálculo del EI30 por evento de lluvia.

Fecha	Pp	Duración	Incremento p/tormenta	Intensidad	Log10	E/U de lluvia	Energía/ Incremento	E30	EI30
	mm	min	mm	mm/hr			Eca-MMha	mm/hr	M/ha-hora
150793	3.10	56.80	3.10	3.27	0.52	0.16	0.31	20.40	10.37
150793	1.10	101.70	1.10	0.65	-0.19	0.10	0.11	17.70	2.00
170793	4.90	46.30	4.90	6.35	0.80	0.19	0.93	9.10	8.43
180793	0.20	20.70	0.20	0.38	-0.24	0.10	0.02	6.20	0.12
180793	0.10	10.70	0.10	0.36	-0.25	0.10	0.01	5.20	0.05
190793	5.70	62.10	5.70	5.31	0.74	0.18	1.05	6.00	6.28
190793	5.40	283.70	5.40	1.14	0.06	0.12	0.67	11.20	7.50
200793	4.60	41.80	4.60	6.60	0.82	0.19	0.88	15.70	13.76
210793	2.10	48.10	2.10	2.62	0.42	0.16	0.33	12.10	3.95
230793	8.00	25.00	8.00	19.20	1.28	0.23	1.85	14.70	27.17
230793	1.60	21.50	1.60	4.47	0.65	0.18	0.28	11.70	3.29
230793	4.70	48.60	4.70	5.80	0.76	0.19	0.87	14.30	12.48
240793	16.40	61.80	16.40	15.92	1.20	0.22	3.67	22.70	83.37
250793	3.20	250.60	3.20	0.77	-0.12	0.11	0.35	24.30	8.47
250793	0.20	69.40	0.20	0.17	-0.76	0.05	0.01	19.80	0.21
260793	2.00	563.20	2.00	0.21	-0.67	0.06	0.12	5.40	0.65
270793	-4.40	133.60	4.40	1.98	0.30	0.14	0.64	6.60	4.21
280793	0.60	25.00	0.60	1.44	0.16	0.13	0.08	7.00	0.56
280793	0.80	34.20	0.80	1.40	0.15	0.13	0.11	5.80	0.61
280793	1.10	93.00	1.10	0.71	-0.15	0.11	0.12	2.50	0.29
310793	15.90	84.60	15.90	11.28	1.05	0.21	3.35	17.80	39.68
10893	8.00	196.00	8.00	2.45	0.39	0.15	1.22	25.00	30.59
20893	0.20	16.90	0.20	0.71	-0.15	0.11	0.02	24.10	0.51
20893	0.10	18.10	0.10	0.33	-0.48	0.08	0.01	8.30	0.06
30893	1.20	31.90	1.20	2.26	0.35	0.15	0.18	1.50	0.27
30893	3.60	110.30	3.60	1.96	0.29	0.14	0.52	4.90	2.55
40893	0.20	23.60	0.20	0.51	-0.29	0.09	0.02	5.00	0.09
40893	0.40	49.40	0.40	0.49	-0.31	0.09	0.04	4.20	0.15
50893	12.80	30.30	12.80	25.35	1.40	0.24	3.09	13.40	41.43
90893	0.80	48.50	0.80	0.99	0.00	0.12	0.09	14.00	1.33
100893	0.10	12.30	0.10	0.49	-0.31	0.09	0.01	13.70	0.13
100893	0.30	31.30	0.30	0.58	-0.24	0.10	0.03	1.20	0.04
100893	1.40	28.50	1.40	2.95	0.47	0.16	0.22	1.80	0.40
100893	1.40	28.50	1.40	2.95	0.47	0.16	0.22	3.10	0.69
110893	0.60	22.90	0.60	1.57	0.20	0.14	0.08	3.40	0.28
130893	0.60	5.90	0.60	6.10	0.79	0.19	0.11	2.60	0.29
140893	2.20	110.30	2.20	1.20	0.08	0.13	0.28	3.40	0.94
150893	5.10	121.30	5.10	2.52	0.40	0.15	0.79	7.90	6.21
160893	1.60	36.50	1.60	2.63	0.42	0.16	0.25	8.90	2.22
160893	6.90	196.20	6.90	2.11	0.32	0.15	1.02	13.60	13.82
190893	0.70	30.70	0.70	1.37	0.14	0.13	0.09	9.20	0.84
190893	1.10	119.40	1.10	0.55	-0.26	0.10	0.11	8.70	0.92
200893	0.60	20.70	0.60	1.74	0.24	0.14	0.08	2.40	0.20
200893	0.20	65.30	0.20	0.18	-0.74	0.05	0.01	1.90	0.02
220893	0.10	17.00	0.10	0.35	-0.45	0.08	0.01	0.90	0.01

Continuación:

Cuadro 24 . Cálculo del E130 por evento de lluvia.

Fecha	Pp	Duración	Incremento/ tormenta	Intensidad	Log10	E/U de lluvia	Energía/ Incremento	I30	E130
	mm	min	mm	mm/hr			Eg=MJ/ha	mm/hr	MJmm/habr
220893	1.80	165.90	1.80	0.65	-0.19	0.10	0.18	2.10	0.39
230893	1.20	98.90	1.20	0.73	-0.14	0.11	0.13	1.10	0.40
240893	2.40	99.90	2.40	1.44	0.16	0.13	0.32	5.40	1.72
250893	0.80	38.80	0.80	1.24	0.09	0.13	0.10	4.40	0.00
250893	1.60	26.30	1.60	3.63	0.56	0.17	0.27	4.80	1.29
260893	0.50	43.30	0.50	0.69	-0.16	0.11	0.05	2.90	0.00
290893	2.50	33.00	2.50	4.53	0.66	0.18	0.44	4.60	2.03
300893	0.10	34.30	0.10	0.17	-0.76	0.05	0.01	3.10	0.00
310893	2.00	37.50	2.00	3.20	0.51	0.16	0.33	4.60	1.50
40993	0.20	3.70	0.20	3.24	0.51	0.16	0.03	2.30	0.00
70993	0.40	15.50	0.40	1.55	0.19	0.14	0.05	2.60	0.00
80993	0.70	41.80	0.70	1.00	0.00	0.12	0.08	1.30	0.00
110993	0.90	45.40	0.90	1.19	0.08	0.13	0.11	2.00	0.23
110993	0.20	57.00	0.20	0.21	-0.68	0.06	0.01	1.80	0.00
140993	3.40	124.40	3.40	1.64	0.21	0.14	0.47	4.50	2.11
140993	0.50	152.40	0.50	0.20	-0.71	0.06	0.03	4.10	0.12
150993	3.60	77.60	3.60	2.78	0.44	0.16	0.57	7.50	0.00
160993	3.30	71.00	3.30	2.79	0.43	0.16	0.52	7.40	3.86
160993	0.90	107.50	0.90	0.50	-0.30	0.09	0.08	7.80	0.00
160993	0.80	106.60	0.80	0.43	-0.33	0.09	0.07	5.00	0.35
180993	1.30	59.10	1.30	1.32	0.12	0.13	0.17	3.00	0.51
190993	2.40	33.50	2.40	4.30	0.63	0.17	0.42	4.50	1.88
200993	1.90	88.50	1.90	1.29	0.11	0.13	0.24	5.60	1.37
220993	3.50	278.60	3.50	1.18	0.07	0.13	0.69	9.80	6.76
250993	3.40	43.80	3.40	7.40	0.87	0.19	1.05	12.80	13.47
250993	9.60	117.00	9.60	4.92	0.69	0.18	1.72	20.50	0.00
260993	30.20	248.90	30.20	7.28	0.86	0.19	3.87	45.20	263.18
280993	0.40	26.30	0.40	0.91	-0.04	0.12	0.05	40.20	1.66
280993	0.90	53.70	0.90	1.01	0.00	0.12	0.11	31.50	3.38
21093	0.20	47.20	0.20	0.25	-0.59	0.07	0.01	1.50	0.00
51093	0.20	15.50	0.20	0.77	-0.11	0.11	0.02	1.30	0.00
51093	0.20	19.40	0.20	0.62	-0.21	0.10	0.02	0.60	0.01
51093	0.90	16.90	0.90	3.20	0.50	0.16	0.15	1.30	0.19
81093	2.70	86.20	2.70	1.88	0.27	0.14	0.39	3.80	1.47
141093	1.30	121.60	1.30	0.64	-0.19	0.10	0.13	4.90	0.65

Continuación:

**Cuadro 24. Cálculo del EI30 por evento de lluvia.**

Fecha	Pp	Duración	Incremento p/tormenta	Intensidad	Log10	E/U de lluvia	Energía/ incremento	I30	EI30
	mm	min	mm	mm/hr			Ecu*MI/ha	mm/hr	MI/mm*hr
161093	0.40	7.30	0.40	3.29	0.52	0.16	0.07	4.40	0.29
161093	2.70	52.40	2.70	3.09	0.49	0.16	0.44	4.40	1.92
161093	0.60	52.70	0.60	0.68	-0.17	0.10	0.06	3.70	0.23
181093	7.40	148.40	7.40	2.99	0.48	0.16	1.19	10.70	12.71
191093	6.70	4.70	6.70	85.53	1.93	0.29	1.93	14.70	0.00
201093	0.10	19.70	0.10	0.30	-0.52	0.07	0.01	14.20	0.10
201093	0.30	6.00	0.30	3.00	0.48	0.16	0.05	7.10	0.34
231093	1.00	90.90	1.00	0.66	-0.18	-0.10	0.10	1.40	0.14
<b>TOTAL</b>	<b>351.20</b>								<b>966.634</b>

**Cuadro 25. PARCELA I Superficie: 5846.7070 m<sup>2</sup>. Cálculo del Qmax a partir del método del SCS, 1972.**

Fecha	Pp	Duración	CHA	CNtab	CNcal	S	Qmed	Tc	TL	Tp	Q max
	mm	hr					mm	min		hr	m <sup>3</sup> /seg
90593											
100593											
110593											
120593											
130593											
140593	2.10	1.87	2.10	I	56.12	198.63	8.79	5.35	3.21	4.15	0.36
250593	0.40	0.64	2.50	I	56.12	198.63	8.61	5.35	3.21	3.53	1.02
250593	0.50	0.10	3.00	I	56.12	198.63	8.38	5.35	3.21	3.26	6.30
250593	1.60	0.11	4.60	I	56.12	198.63	7.66	5.35	3.21	3.27	4.93
260593	2.70	1.99	7.30	I	56.12	198.63	6.53	5.35	3.21	4.21	0.25
270593	1.20	1.01	6.40	I	56.12	198.63	6.90	5.35	3.21	3.72	0.52
270593	0.30	0.43	6.30	I	56.12	198.63	6.94	5.35	3.21	3.43	1.22
280593	2.00	0.55	7.80	I	56.12	198.63	6.33	5.35	3.21	3.49	0.88
280593	0.80	0.91	7.00	I	56.12	198.63	6.63	5.35	3.21	3.67	0.56
280593	0.30	0.41	4.60	I	56.12	198.63	7.66	5.35	3.21	3.42	1.41
300593	0.60	0.63	4.00	I	56.12	198.63	7.93	5.35	3.21	3.53	0.93
300593	0.30	0.19	4.00	I	56.12	198.63	7.93	5.35	3.21	3.31	3.11
300593	13.50	1.80	15.50	II	75.00	84.67	0.03	5.35	3.21	4.11	0.00
310593	0.40	0.09	15.10	II	75.00	84.67	0.05	5.35	3.21	3.26	0.04
310593	12.30	6.62	27.10	II	75.00	84.67	1.48	5.35	3.21	6.52	0.02
40693	2.00	0.88	28.30	II	75.00	84.67	1.92	5.35	3.21	3.65	0.17
60693	2.80	2.27	31.00	II	75.00	84.67	2.83	5.35	3.21	4.35	0.10
90693	1.20	1.30	18.70	II	75.00	84.67	0.04	5.35	3.21	3.86	0.00
90693	0.10	0.17	18.40	II	75.00	84.67	0.03	5.35	3.21	3.30	0.01
90693	0.70	0.73	6.80	I	56.12	198.63	6.73	5.35	3.21	3.58	0.70
100693	13.90	2.81	18.70	II	75.00	84.67	0.04	5.35	3.21	4.62	0.00
110693	2.10	0.67	18.00	II	75.00	84.67	0.02	5.35	3.21	3.55	0.00
280693	0.10	0.58	16.90	II	75.00	84.67	0.00	5.35	3.21	3.50	0.00
290693	0.70	0.18	17.50	II	75.00	84.67	0.00	5.35	3.21	3.30	0.00
290693	1.10	0.26	17.90	II	75.00	84.67	0.01	5.35	3.21	3.34	0.00
290693	0.20	0.17	4.20	I	56.12	198.63	7.84	5.35	3.21	3.30	3.39

Continuación:

Cuadro 25. PARCELA 1. Superficie: 5846.7070 m<sup>2</sup>. Cálculo del Qmax a partir del método del SCS. 1972.

Fecha	Pp	Duración	CHA	CNtab	CNcal	S	Qmed	Tc	TL	Tp	Q max
	mm	hr					mm	min		hr	m <sup>3</sup> /seg
300693	0.60	0.06	2.70	I	56.12	198.63	8.51	5.35	3.21	3.24	10.56
300693	3.90	1.48	6.50	I	56.12	198.63	6.86	5.35	3.21	3.95	0.35
310693	0.30	0.63	6.10	I	56.12	198.63	7.02	5.35	3.21	3.53	0.84
20793	0.80	0.04	5.80	I	56.12	198.63	7.15	5.35	3.21	3.23	11.31
20793	3.70	1.44	9.30	I	56.12	198.63	5.75	5.35	3.21	3.93	0.30
90793	0.40	1.11	9.10	I	56.12	198.63	5.83	5.35	3.21	3.77	0.40
100793	0.90	0.53	6.10	I	56.12	198.63	7.02	5.35	3.21	3.48	1.01
110793	5.70	0.41	11.50	I	56.12	198.63	4.95	5.35	3.21	3.42	0.92
110793	5.50	5.02	16.20	II	75.00	84.67	0.01	5.35	3.21	5.72	0.00
120793	0.20	0.048	12.70	I	56.12	198.63	4.54	5.35	3.21	3.23	7.18
120793	1.60	1.02	13.90	II	75.00	84.67	0.13	5.35	3.21	3.72	0.01
130793	3.80	3.44	16.80	II	75.00	84.67	0.00	5.35	3.21	4.93	0.00
140793	13.50	5.42	24.60	II	75.00	84.67	0.84	5.35	3.21	5.92	0.01
150793	3.10	0.94	22.20	II	75.00	84.67	0.40	5.35	3.21	3.68	0.03
150793	1.10	1.69	23.10	II	75.00	84.67	0.54	5.35	3.21	4.06	0.02
170793	4.90	0.77	26.40	II	75.00	84.67	1.28	5.35	3.21	3.60	0.13
180793	0.20	0.34	22.80	II	75.00	84.67	0.49	5.35	3.21	3.38	0.11
180793	0.10	0.17	9.40	I	56.12	198.63	5.71	5.35	3.21	3.30	2.45
190793	5.70	1.03	12.00	I	56.12	198.63	4.77	5.35	3.21	3.73	0.35
190793	5.40	4.72	16.30	II	75.00	84.67	0.01	5.35	3.21	5.57	0.00
200793	4.60	0.69	16.00	II	75.00	84.67	0.01	5.35	3.21	3.56	0.00
210793	2.10	0.80	17.90	II	75.00	84.67	0.01	5.35	3.21	3.61	0.00
230793	8.00	0.41	25.80	II	75.00	84.67	1.13	5.35	3.21	3.42	0.21
230793	1.60	0.35	21.70	II	75.00	84.67	0.33	5.35	3.21	3.39	0.07
230793	4.70	0.81	21.00	II	75.00	84.67	0.24	5.35	3.21	3.62	0.02
240793	16.40	1.03	32.80	II	75.00	84.67	3.61	5.35	3.21	3.73	0.27
250793	3.20	4.17	33.90	II	75.00	84.67	4.12	5.35	3.21	5.30	0.08
250793	0.20	1.15	26.10	II	75.00	84.67	1.20	5.35	3.21	3.79	0.08
260793	2.00	9.38	26.50	II	75.00	84.67	1.31	5.35	3.21	7.90	0.01
270793	4.40	2.22	26.20	II	75.00	84.67	1.23	5.35	3.21	4.32	0.04
280793	0.60	0.41	10.40	I	56.12	198.63	5.34	5.35	3.21	3.42	0.98



Continuación:

Cuadro 25. PARCELA I. Superficie: 5846.7070 m<sup>2</sup>. Cálculo del Qmax a partir del método del SCS. 1972.

Fecha	Pp	Duración	CHA	CNtab	CNcal	S	Qmed	Tc	TL	Tp	Q max
	mm	hr					mm	min		hr	m <sup>3</sup> /seg
280793	0.80	0.57	8.00	I	56.12	198.63	6.25	5.35	3.21	3.50	0.84
280793	1.10	1.55	8.90	I	56.12	198.63	5.90	5.35	3.21	3.99	0.29
310793	15.90	1.41	22.80	II	75.00	84.67	0.49	5.35	3.21	3.92	0.03
10893	8.00	3.26	26.40	II	75.00	84.67	1.28	5.35	3.21	4.84	0.03
20893	0.20	0.78	26.00	II	75.00	84.67	1.18	5.35	3.21	3.35	0.32
20893	0.10	0.30	25.30	II	75.00	84.67	1.00	5.35	3.21	3.36	0.25
30893	1.20	0.53	25.40	II	75.00	84.67	1.03	5.35	3.21	3.48	0.15
30893	3.60	1.83	13.10	II	75.00	84.67	0.21	5.35	3.21	4.13	0.01
40893	0.20	0.39	5.30	I	56.12	198.63	7.26	5.35	3.21	3.41	1.43
40893	0.40	0.82	5.50	I	56.12	198.63	7.28	5.35	3.21	3.62	0.68
50893	12.80	0.50	18.20	II	75.00	84.67	0.02	5.35	3.21	3.46	0.00
90893	0.80	0.80	17.80	II	75.00	84.67	0.01	5.35	3.21	3.61	0.00
100893	0.10	0.20	14.30	II	75.00	84.67	0.10	5.35	3.21	3.31	0.04
100893	0.30	0.52	14.40	II	75.00	84.67	0.09	5.35	3.21	3.47	0.01
100893	1.40	0.47	15.40	II	75.00	84.67	0.03	5.35	3.21	3.45	0.01
100893	1.40	0.47	4.00	I	56.12	198.63	7.93	5.35	3.21	3.45	1.28
110893	0.60	0.38	3.80	I	56.12	198.63	8.02	5.35	3.21	3.40	1.61
130893	0.60	0.09	4.30	I	56.12	198.63	7.79	5.35	3.21	3.26	6.06
140893	2.20	1.83	6.20	I	56.12	198.63	6.98	5.35	3.21	4.13	0.29
150893	5.10	2.02	9.90	I	56.12	198.63	5.53	5.35	3.21	4.22	0.21
160893	1.60	0.60	10.10	I	56.12	198.63	5.45	5.35	3.21	3.51	0.69
160893	6.90	3.27	16.40	II	75.00	84.67	0.00	5.35	3.21	4.85	0.00
190893	0.70	0.51	16.50	II	75.00	84.67	0.00	5.35	3.21	3.47	0.00
190893	1.10	1.99	15.40	II	75.00	84.67	0.03	5.35	3.21	4.21	0.00
200893	0.60	0.34	10.90	I	56.12	198.63	5.16	5.35	3.21	3.38	1.14
200893	0.20	1.09	9.50	I	56.12	198.63	5.67	5.35	3.21	3.75	0.40
220893	0.10	0.28	2.70	I	56.12	198.63	8.51	5.35	3.21	3.35	2.30
220893	1.80	2.77	3.80	I	56.12	198.63	8.02	5.35	3.21	4.59	0.22
230893	1.20	1.63	3.90	I	56.12	198.63	7.97	5.35	3.21	4.03	0.37
240893	2.40	1.67	5.70	I	56.12	198.63	7.19	5.35	3.21	4.04	0.33
250893	0.80	0.63	6.30	I	56.12	198.63	6.94	5.35	3.21	3.53	0.82
250893	1.60	0.44	7.80	I	56.12	198.63	6.33	5.35	3.21	3.43	1.10
260893	0.50	0.72	6.50	I	56.12	198.63	6.86	5.35	3.21	3.57	0.73

Continuación:

Cuadro 25. PARCELA I Superficie:5846.7070 m2. Cálculo del Qmax a partir del método del SCS, 1972.

Fecha	Pp	Duración	CHA	CNtab	CNcal	S	Qmed	Tc	TL	Tp	Qmax
	mm	hr					mm	min		hr	m <sup>3</sup> /seg
290893	2.50	0.55	7.80	I	56.12	198.63	6.33	5.35	3.21	3.49	0.88
300893	0.10	0.37	5.50	I	56.12	198.63	7.28	5.35	3.21	3.50	0.97
310893	2.00	0.63	6.70	I	56.12	198.63	6.77	5.35	3.21	3.52	0.83
40993	0.20	0.06	5.30	I	56.12	198.63	7.36	5.35	3.21	3.24	9.13
70993	0.40	0.26	5.20	I	56.12	198.63	7.40	5.35	3.21	3.34	2.19
80993	0.70	0.70	3.40	I	56.12	198.63	8.20	5.35	3.21	3.56	0.90
110993	0.90	0.76	4.20	I	56.12	198.63	7.84	5.35	3.21	3.59	0.79
110993	0.20	0.95	2.40	I	56.12	198.63	8.65	5.35	3.21	3.69	0.70
140993	3.40	2.07	5.60	I	56.12	198.63	7.23	5.35	3.21	4.23	0.27
140993	0.50	2.54	5.70	I	56.12	198.63	7.19	5.35	3.21	4.48	0.22
150993	3.60	1.29	8.60	I	56.12	198.63	6.02	5.35	3.21	3.86	0.36
160993	3.30	1.18	11.00	I	56.12	198.63	5.13	5.35	3.21	3.80	0.33
160993	0.90	1.79	11.70	I	56.12	198.63	4.88	5.35	3.21	4.11	0.21
160993	0.80	1.78	9.10	I	56.12	198.63	5.83	5.35	3.21	4.10	0.25
18099	1.30	0.99	9.90	I	56.12	198.63	5.53	5.35	3.21	3.70	0.43
1909921	2.40	0.56	8.70	I	56.12	198.63	5.98	5.35	3.21	3.49	0.82
200993	1.90	1.48	7.30	I	56.12	198.63	6.53	5.35	3.21	3.95	0.34
220993	5.50	4.64	11.90	I	56.12	198.63	4.81	5.35	3.21	5.53	0.08
250993	5.40	0.73	16.50	II	75.00	84.67	0.00	5.35	3.21	3.58	0.00
250993	9.60	1.95	24.80	II	75.00	84.67	0.89	5.35	3.21	4.19	0.03
260993	30.20	4.15	32.60	III	43.14	334.76	0.76	5.35	3.21	5.28	0.01
280993	0.40	0.44	51.10	III	43.14	334.76	0.93	5.35	3.21	3.43	0.16
280993	0.90	0.90	46.50	III	43.14	334.76	1.55	5.35	3.21	3.66	0.13
21093	0.20	0.79	41.30	III	43.14	334.76	2.44	5.35	3.21	3.60	0.24
51093	0.20	0.26	31.90	II	75.00	84.67	3.21	5.35	3.21	3.34	0.95
51093	0.20	0.32	1.90	I	56.12	198.63	8.89	5.35	3.21	3.37	2.10
51093	0.90	0.28	2.40	I	56.12	198.63	8.65	5.35	3.21	3.35	2.35
81093	2.70	1.44	4.20	I	56.12	198.63	7.84	5.35	3.21	3.93	0.42
14109	1.30	2.03	5.30	I	56.12	198.63	7.36	5.35	3.21	4.22	0.28
161093	0.40	0.12	5.50	I	56.12	198.63	7.28	5.35	3.21	3.27	4.57
16109	2.70	0.87	8.00	I	56.12	198.63	6.23	5.35	3.21	3.63	0.55
161093	0.60	0.88	7.70	I	56.12	198.63	6.37	5.35	3.21	3.65	0.55
181093	7.40	2.47	12.40	I	56.12	198.63	4.64	5.35	3.21	4.45	0.14
191093	6.70	0.08	17.80	II	75.00	84.67	0.01	5.35	3.21	3.25	0.01
20109	0.10	0.33	17.50	II	75.00	84.67	0.00	5.35	3.21	3.37	0.00
201093	0.30	0.10	15.10	II	75.00	84.67	0.05	5.35	3.21	3.26	0.04
231093	1.00	1.51	15.50	II	75.00	84.67	0.03	5.35	3.21	3.97	0.00
Total:	351.20										117.58

S=retención máxima potencial

TC=Tiempo de concentración, (min)

TL=Tiempo de retraso

Tp=Tiempo pico, (hr)

CNtab=Curva numérica de tablas

CNcal=Curva numérica calculada

Qmed=Escorrentimiento medio, (mm)

Qmax=Escorrentimiento máximo, (m<sup>3</sup>/s)

Cuadro 26 PARCELA 2 Superficie: 6043.2050 m2. Cálculo del Qmax a partir del método del SCS, 1972.

Fecha	Pp	Duración	CHA	CNtab	CNcal	S	Qmed	Tc	TL	Tp	Qmax
	mm	hr					mm	min		hr	m <sup>3</sup> /seg
90593	0.00										
100593	0.00										
110593	0.00										
120593	0.00										
130593	0.00										
140593	2.10	1.87	2.10	I	48.72	267.36	12.22	4.28	2.57	3.30	0.65
250593	0.40	0.65	2.30	I	48.72	267.36	12.03	4.28	2.57	2.89	1.84
250593	0.50	0.10	3.00	I	48.72	267.36	11.79	4.28	2.57	2.61	11.48
250593	1.60	0.12	4.60	I	48.72	267.36	11.06	4.28	2.57	2.62	9.25
260593	2.70	2.00	7.30	I	48.72	267.36	9.87	4.28	2.57	3.36	0.49
270593	1.20	1.01	6.40	I	48.72	267.36	10.26	4.28	2.57	3.07	1.00
270593	0.30	0.44	6.30	I	48.72	267.36	10.30	4.28	2.57	2.78	2.34
280593	2.00	0.55	7.80	I	48.72	267.36	9.66	4.28	2.57	2.84	1.73
280593	0.80	0.91	7.00	I	48.72	267.36	10.00	4.28	2.57	3.02	1.09
280593	0.30	0.42	4.60	I	48.72	267.36	11.06	4.28	2.57	2.77	2.63
300593	0.60	0.64	4.00	I	48.72	267.36	11.33	4.28	2.57	2.88	1.77
300593	0.30	0.20	4.00	I	48.72	267.36	11.33	4.28	2.57	2.66	5.75
300593	13.50	1.80	15.50	II	69.00	114.12	0.57	4.28	2.57	3.47	0.03
310593	0.40	0.09	15.10	II	69.00	114.12	0.64	4.28	2.57	2.61	0.68
310593	12.30	6.62	27.10	II	69.00	114.12	0.20	4.28	2.57	5.88	0.00
40693	2.00	0.8R	28.50	II	69.00	114.12	0.35	4.28	2.57	3.01	0.04
60693	2.80	2.27	31.00	II	69.00	114.12	0.72	4.28	2.57	3.70	0.03
90693	1.20	1.30	18.70	II	69.00	114.12	0.18	4.28	2.57	3.22	0.01
90693	0.10	0.17	18.40	II	69.00	114.12	0.21	4.28	2.57	2.65	0.12
90693	0.70	0.74	6.80	I	48.72	267.36	10.09	4.28	2.57	2.93	1.35
100693	13.90	2.81	18.70	II	69.00	114.12	0.18	4.28	2.57	3.97	0.01
110693	2.10	0.6R	18.00	II	69.00	114.12	0.25	4.28	2.57	2.90	0.04
280693	0.10	0.5R	16.90	II	69.00	114.12	0.3R	4.28	2.57	2.86	0.06
290693	0.70	0.19	17.50	II	69.00	114.12	0.30	4.28	2.57	2.66	0.16
290693	1.10	0.27	17.90	II	69.00	114.12	0.26	4.28	2.57	2.70	0.10
290693	0.20	0.1R	4.20	I	48.72	267.36	11.24	4.28	2.57	2.65	6.30

Cuadro 26 - PARCELA 2 Superficie: 6043.2050 m<sup>2</sup>. Cálculo del Qmax a partir del método del SCS, 1972

Fecha	Pp	Duración	CtIA	CNtab	CNcal	S	Qmed	Tc	TL	Tp	Qmax
	mm	hr					mm	min		hr	m <sup>3</sup> /seg
300693	0.60	0.06	2.70	I	48.72	267.36	11.94	4.28	2.57	2.60	19.15
300693	3.90	1.49	6.50	I	48.72	267.36	10.22	4.28	2.57	3.31	0.68
310693	0.30	0.64	6.10	I	48.72	267.36	10.39	4.28	2.57	2.88	1.61
20793	0.80	0.05	5.80	I	48.72	267.36	10.52	4.28	2.57	2.59	21.34
20793	3.70	1.45	9.50	I	48.72	267.36	9.03	4.28	2.57	3.29	0.62
90793	0.40	1.12	9.10	I	48.72	267.36	9.12	4.28	2.57	3.12	0.81
100793	0.90	0.53	6.10	I	48.72	267.36	10.39	4.28	2.57	2.83	1.93
110793	5.70	0.41	11.50	I	48.72	267.36	8.16	4.28	2.57	2.77	1.93
110793	5.50	5.02	16.20	II	69.00	114.12	0.47	4.28	2.57	5.08	0.01
120793	0.20	0.05	12.70	I	48.72	267.36	7.70	4.28	2.57	2.59	13.76
120793	1.60	1.02	13.90	II	69.00	114.12	0.83	4.28	2.57	3.08	0.08
130793	3.80	3.44	16.80	II	69.00	114.12	0.39	4.28	2.57	4.29	0.01
140793	13.50	5.43	24.60	II	69.00	114.12	0.03	4.28	2.57	5.28	0.00
150793	3.10	0.94	22.20	II	75.00	84.67	0.40	5.35	3.21	3.68	0.03
150793	1.10	1.69	23.10	II	75.00	84.67	0.54	5.35	3.21	4.06	0.02
170793	4.90	0.77	26.40	II	75.00	84.67	1.28	5.35	3.21	3.60	0.13
180793	0.20	0.34	22.80	II	75.00	84.67	0.49	5.35	3.21	3.38	0.11
180793	0.10	0.17	9.40	I	56.12	198.63	5.71	5.35	3.21	3.30	2.45
190793	5.70	1.03	12.00	I	56.12	198.63	4.77	5.35	3.21	3.73	0.35
190793	5.40	4.72	16.30	II	75.00	84.67	0.01	5.35	3.21	5.37	0.00
200793	4.60	0.69	16.00	II	75.00	84.67	0.01	5.35	3.21	3.56	0.00
210793	2.10	0.80	17.90	II	75.00	84.67	0.01	5.35	3.21	3.61	0.00
230793	8.00	0.41	25.80	II	75.00	84.67	1.13	5.35	3.21	3.42	0.21
230793	1.60	0.35	21.70	II	75.00	84.67	0.35	5.35	3.21	3.39	0.07
230793	4.70	0.81	21.00	II	75.00	84.67	0.24	5.35	3.21	3.62	0.02
240793	16.40	1.03	32.80	II	75.00	84.67	3.61	5.35	3.21	3.73	0.27
250793	3.20	4.17	33.90	II	75.00	84.67	4.12	5.35	3.21	5.30	0.08
250793	0.20	1.15	26.10	II	75.00	84.67	1.20	5.35	3.21	3.79	0.08
260793	2.00	9.38	26.50	II	75.00	84.67	1.31	5.35	3.21	7.90	0.01
270793	4.40	2.22	26.20	II	75.00	84.67	1.23	5.35	3.21	4.32	0.04
280792	0.60	0.41	10.40	I	56.12	198.63	5.34	5.35	3.21	3.42	0.98

Cuadro 26 . PARCELA 2 Superficie: 6043.2050 m2. Cálculo del Qmax a partir del método del SCS, 1972

Fecha	Pp	Duración	CHA	CNtab	CNcal	S	Qmed	Tc	TL	Tp	Qmax
	mm	hr					mm	min		hr	m <sup>3</sup> /seg
280793	0.80	0.57	8.00	I	56.12	198.63	6.25	5.35	3.21	3.50	0.84
280793	1.10	1.55	8.90	I	56.12	198.63	5.90	5.35	3.21	3.99	0.29
310793	15.90	1.41	22.80	II	75.00	84.67	0.49	5.35	3.21	3.92	0.03
10893	8.00	3.26	26.40	II	75.00	84.67	1.28	5.35	3.21	4.84	0.03
20893	0.20	0.28	26.00	II	75.00	84.67	1.18	5.35	3.21	3.35	0.32
20893	0.10	0.30	25.30	II	75.00	84.67	1.00	5.35	3.21	3.36	0.25
30893	1.20	0.53	25.40	II	75.00	84.67	1.03	5.35	3.21	3.48	0.15
30893	3.60	1.83	13.10	II	75.00	84.67	0.21	5.35	3.21	4.13	0.01
40893	0.20	0.39	5.30	I	56.12	198.63	7.36	5.35	3.21	3.41	1.43
40893	0.40	0.82	5.50	I	56.12	198.63	7.28	5.35	3.21	3.62	0.68
50893	12.80	0.50	18.20	II	75.00	84.67	0.02	5.35	3.21	3.46	0.00
90893	0.80	0.80	17.80	II	75.00	84.67	0.01	5.35	3.21	3.61	0.00
100893	0.10	0.20	14.30	II	75.00	84.67	0.10	5.35	3.21	3.31	0.04
100893	0.30	0.52	14.40	II	75.00	84.67	0.09	5.35	3.21	3.47	0.01
100893	1.40	0.47	15.40	II	75.00	84.67	0.03	5.35	3.21	3.45	0.01
100893	1.40	0.47	4.00	I	56.12	198.63	7.93	5.35	3.21	3.45	1.28
110893	0.60	0.38	3.80	I	56.12	198.63	8.02	5.35	3.21	3.40	1.61
130893	0.60	0.09	4.30	I	56.12	198.63	7.79	5.35	3.21	3.26	6.06
140893	2.20	1.83	6.20	I	56.12	198.63	6.98	5.35	3.21	4.13	0.29
150893	5.10	2.02	9.90	I	56.12	198.63	5.53	5.35	3.21	4.22	0.21
160893	1.60	0.60	10.10	I	56.12	198.63	5.45	5.35	3.21	3.51	0.69
160893	6.90	3.27	16.40	II	75.00	84.67	0.00	5.35	3.21	4.85	0.00
190893	0.70	0.51	16.30	II	75.00	84.67	0.00	5.35	3.21	3.47	0.00
190893	1.10	1.99	15.40	II	75.00	84.67	0.03	5.35	3.21	4.21	0.00
200893	0.60	0.34	10.90	I	56.12	198.63	5.16	5.35	3.21	3.38	1.14
200893	0.20	1.09		I	48.72	267.36	13.24	4.28	2.57	3.11	1.20
220893	0.10	0.28		I	48.72	267.36	13.24	4.28	2.57	2.71	4.62
220893	1.80	2.77		I	48.72	267.36	13.24	4.28	2.57	3.95	0.47
230893	1.20	1.65		I	48.72	267.36	13.24	4.28	2.57	3.39	0.79
240893	2.40	1.67	5.70	I	48.72	267.36	10.57	4.28	2.57	3.40	0.63
250893	0.80	0.65	6.30	I	48.72	267.36	10.30	4.28	2.57	2.89	1.58

Cuadro 26. PARCELA 2 Superficie: 6043.2050 m2. Cálculo del Qmax a partir del método del SCS, 1972.

Fecha	Pp	Duración	CHA	CNtab	CNcal	S	Qmed	Tc	TL	Tp	Qmax
	mm	hr					mm	min		hr	m <sup>3</sup> /seg
250893	1.60	0.44	7.80	I	48.72	267.36	9.66	4.28	2.57	2.78	2.18
260893	0.50	0.72	6.50	I	48.72	267.36	10.22	4.28	2.57	2.93	1.40
290893	2.50	0.55	7.80	I	48.72	267.36	9.66	4.28	2.57	2.84	1.74
300893	0.10	0.57	5.50	I	48.72	267.36	10.65	4.28	2.57	2.85	1.84
310893	2.00	0.63	6.70	I	48.72	267.36	10.13	4.28	2.57	2.88	1.60
40993	0.20	0.06	5.30	I	48.72	267.36	10.74	4.28	2.57	2.60	17.24
70993	0.40	0.26	5.20	I	48.72	267.36	10.79	4.28	2.57	2.69	4.13
80993	0.70	0.70	3.40	I	48.72	267.36	11.61	4.28	2.57	2.91	1.65
110993	0.90	0.76	4.20	I	48.72	267.36	11.24	4.28	2.57	2.94	1.47
110993	0.20	0.95	2.40	I	48.72	267.36	12.08	4.28	2.57	3.04	1.26
140993	3.40	2.07	5.60	I	48.72	267.36	10.61	4.28	2.57	3.60	0.51
140993	0.50	2.54	5.70	I	48.72	267.36	10.57	4.28	2.57	3.84	0.41
150993	3.60	1.29	8.60	I	48.72	267.36	9.32	4.28	2.57	3.21	0.71
160993	3.30	1.18	11.00	I	48.72	267.36	8.35	4.28	2.57	3.16	0.70
160993	0.90	1.79	11.70	I	48.72	267.36	8.08	4.28	2.57	3.46	0.45
160993	0.80	1.78	9.10	I	48.72	267.36	9.12	4.28	2.57	3.45	0.51
180993	1.30	0.99	9.90	I	48.72	267.36	8.79	4.28	2.57	3.06	0.88
190993	2.40	0.56	8.70	I	48.72	267.36	9.28	4.28	2.57	2.84	1.64
200993	1.90	1.48	7.30	I	48.72	267.36	9.87	4.28	2.57	3.30	0.66
220993	3.50	4.64	11.90	I	48.72	267.36	8.00	4.28	2.57	4.89	0.17
230993	3.40	0.73	16.50	II	69.00	114.12	0.43	4.28	2.57	2.93	0.06
230993	9.60	1.95	24.80	II	69.00	114.12	0.04	4.28	2.57	3.54	0.00
260993	30.20	4.15	52.60	III	46.75	289.29	0.12	4.28	2.57	4.64	0.00
280993	0.40	0.44	51.10	III	46.75	289.29	0.20	4.28	2.57	2.78	0.04
280993	0.90	0.90	46.50	III	46.75	289.29	0.53	4.28	2.57	3.01	0.06
21093	0.20	0.79	41.30	III	46.75	289.29	1.17	4.28	2.57	2.96	0.15
51093	0.20	0.26	31.90	II	69.00	114.12	0.88	4.28	2.57	2.69	0.34
51093	0.20	0.32	1.90	I	48.72	267.36	12.31	4.28	2.57	2.73	3.77
51093	0.90	0.28	2.40	I	48.72	267.36	12.08	4.28	2.57	2.71	4.24
81093	2.70	1.44	4.20	I	48.72	267.36	11.24	4.28	2.57	3.28	0.77
141093	1.30	2.03	5.30	I	48.72	267.36	10.74	4.28	2.57	3.58	0.52

**Cuadro 26 .PARCELA 2 Superficie: 6043.2050 m2. Cálculo del Qmax a partir del método del SCS, 1972.**

Fecha	Pp	Duración	CHA	CNtab	CNcal	S	Qmed	Tc	TL	Tp	Qmax
	mm	hr					mm	min			
161093	0.40	0.12	5.50	I	48.72	267.36	10.65	4.28	2.57	2.63	8.66
161093	2.70	0.87	8.00	I	48.72	267.36	9.57	4.28	2.57	3.00	1.08
161093	0.60	0.88	7.70	I	48.72	267.36	9.70	4.28	2.57	3.00	1.09
181093	7.40	2.47	12.40	I	48.72	267.36	7.81	4.28	2.57	3.80	0.31
191093	6.70	0.08	17.80	II	69.00	114.12	0.27	4.28	2.57	2.60	0.34
201093	0.10	0.33	17.50	II	69.00	114.12	0.30	4.28	2.57	2.73	0.09

S=relación máxima pratericial

TC=Tiempo de concentración, (min)

TL=Tiempo de retraso

Tp=Tiempo pico, (hr)

CNtab=Curva numérica de tablas

CNcal=Curva numérica calculada

Qmed=Eacurrimiento medio, (l/s)

Qmax=Eacurrimiento máximo, (m<sup>3</sup>/s)

## **7. CONCLUSIONES**

En el presente trabajo se trató de cubrir los aspectos más relevantes en cuanto a lo relacionado con la pérdida de suelo. Por lo tanto, de acuerdo a. De acuerdo a los objetivos planteados y a las hipótesis formuladas, se puede concluir lo siguiente:

- 1.- Se determina la eficiencia en la aplicación de la metodología empleada por el Servicio de Conservación del Suelo, (USDA, 1972), en el cálculo de escurrimientos máximos, dentro del área experimental.**
- 2.- La aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, en el área experimental resultó ser confiable en cuanto a la predicción de pérdida de suelo. Esto para el cultivo del frijol , cuyo hábito de crecimiento son guía y semiguía, con un surcado al contorno.**
- 3.- El  $EI_{30}$ , resultó ser un factor decisivo jugando un papel muy importante en la pérdida de suelo.**
- 4.- La cobertura vegetal logró disminuir el escurrimiento superficial y por lo tanto la pérdida de suelo.**
- 5.- Se notó una clara influencia en la relación escurrimiento superficial con respecto a la pérdida de suelo.**
- 6.- El cultivo cuyo hábito de crecimiento es de tipo semiguía resultó ser el que evitó más pérdida de suelo.**



## 8. BIBLIOGRAFIA

- Aguilera, C. y R.M.E: Relaciones agua suelo planta atmósfera. 1986. Depto. de Irrigación UACH Chapingo, México.
- Arias R. H.M: 1980. El Factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo en la Cuenca del Río Texcoco. Tesis de Maestría. C.P., Chapingo, México. 120 p
- Colegio de Postgraduados. 1977. Manual de Conservación del suelo y del agua. Chapingo, México.
- Evans R. 1984. Mecanismos de la erosión hídrica y sus controles espaciales y temporales: Un punto de vista empírico. EROSION DE SUELOS. Compilado por Kirby M.J., y R.P.C. Morgan. Editorial LIMUSA. p. 135-165.
- FAO. 1984 Proteger y producir. Conservación de suelos para el desarrollo. Roma.
- Figueroa S., B. 1975. La pérdida del suelo en la Cuenca del Río Texcoco. Tesis de maestría. C.P. Chapingo México. 149 p.
- Figueroa, S.B., A. Amante O., H.g. Cortéz T., J. Pimentel L., E.S. Osuna., J.M. Rodríguez O., y F.J. Morales 1991. Manuel de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH: Dirección General de Política Agrícola. Elaborado: COLEGIO DE POSTGRADUADOS. 150 p.
- Foster, G.R., D.K. MacCool, K.G. Renard, and W.C. Moldenhauer. 1981. Consersion of the universal soil loss equation (USLE) to SI metric units. J. Soil and Water Conserv. 120-130.
- Foster, G.R., F. Lombardi, and W.C. Moldemhauer, 1982. Evaluation of rainfall-runoff erosivity factors for individual storms, Transactions of the ASAE.
- Foster, F.R., and L. D. Meyer. 1977. Soil erosion and sedimentation by water overviw In: Soil erosion and sedimentation proceeding of the national symposium on soil erosion and sedimentation by water. Published by ASAE.
- García E. 1973. Modificación al sistema de clasificación climático de Koppen. Instituto de Geografía. UNAM. 247 p.
- Gumbs, F.A., and J.J. Linsay. 1982. Runoff and soil loss in Trinidad under different crops and soil management. Soil Sci. Soc. Am. J. 1267-1270.
- Gumbs, F.A., and J.J. Linsay, M. Nasir, and Angella Mohamed. 1985. soil erosion studies in the northern mountain range, Trinidad, under different crop and soil management. I:

- Soil Erosion and Conservation (Eds.) El(Swaify, S.A., W.C. Moldenhauer, and Andrew Lo., Soil Conservation society of America. Ankey Iowa.
- Holy, M. 1980. Erosion and Enviroment. Perganom press. Oxford-New York-Toronto-Sydney-Paris-Frankfurt. 225 p.
- Hudson, N.W. 1971. Soil conservation. Cornell University press New York. 319 p
- Hudson, N.W. 1971. Soil conservation. Cornel University press Ithaca, New York. 319 p.
- Junes C., D.A. 1985. Modelo de Simulació para la predicció de escurrimientos superficiales. Tesis de Mestría en Ciencias. C.P. Chapingo, México.
- Kirby, M.J. 1984. El problema. En: Erosión del suelo. Trad. del inglés por Hurtado V.J. Ed. LIMUSA, México. p. 5-355.
- Kirby, M.J. y R.P.C. Morgan. 1984. Erosión de suelos.(Eds) M.J. Kiby y R.P.C. Morgan Editorial LIMUSA. México. 1-33
- Kirby M.J. 1984. Modelos de procesos de eerosión hídrica. EROSION DE SUELOS. Compilado por Kirby M.J. y R.P. C. Morgan. Editorial LIMUSA.
- Lafien, J.M., G.R. Foster, and C.A. Onstad. 1985. simulation of individual-storm soil loss for modeling the impact of erosion on crop productivity. In: Soil Erosion Conservation (Eds) El-Swaify, of America Ankeny, Iowa.
- Linsay, J.I., and F.A. Gumbs. 1982. Erodibility indices compared to measured values of seleted Trinidad soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 310-396.
- Linsley, R.K. M.A. Kohler, y J.L.H: Paulhus. 1980. Hidrología para ingenieros, Traducido del inglés por Deeb, A., J:I: Ordoñes, y F. Catrillon, McGraw-Hill, México. 386 p.
- Lopes V.L., M.A. Nearing, .R. Foster, S.C. Finker, and J, E. Gilley. 1989. The water erosion prediction project: Erosion processes. Ntional Water Conferencec. IR and WR diivs/ASCE. p. 503-510.
- Lopes C. y C. M. Blanco. 1968 Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica y del transporte de depósitos de materiales. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. MADRID.
- Llamas, J. 1989. Hidrología General, principios y aplicaciones. UAEM, Edo. de Méx., México.
- Martínez: M.A. 1993. Apuntes del curso de Mnejo de Cuencas. Primavera de 1993. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

- Martínez M., M.R.** 1983. *Perspectivas técnicas sobre la conservación y productividad de los suelos en México.* Terra. SMCS. México.
- McCool, D.K., W.H. Wischmeier, and L.C. Johnson.** 1982. *Adapting the universal soil loss equation to the pacific norwest.* Transaction of the ASAE.
- Meyer D.L. and W.H. Wischmeier.** 1969. *Mathematical simulation on the process of soil erosion by water.* paper No. 68-732. Transactions of the ASAE.
- Onstad, C.A., and G.R. Foster.** 1975. *erosion modeling on a watershed.* Trans., ASAE. 288-292.
- Ortiz Solorio C.A. y Cuanalo de la Cerda H.E.** 1977. *Levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo (para cartografía de áreas erosionadas).* C.P. Chapingo, México.
- Ortiz V., B. y C.A. Ortiz S.** 1990. *Edafología.* Depto. de Suelos, UACH, Chapingo, México. 394 p.
- Peña H. d y C.Zebrowski.** 1992. *Estudio de los suelos volcánicos endurecidos (TEPETATES), de las Cuencas de México y Tlaxcala (México).* Informe del mapa morfopedológico de la vertiente Occidental de la Sierra Nevada. ORSTOM-Justus Liebig Universität Giessen-C.P. Universidad Autónoma de Tlaxcala. 60-62.
- Quinn, N.W., and J.M. Lafen.** 1983. *Characteristics of raindrop through-fall under corn canopy.* Transactions of the ASAE. 26(5):1445-1450.
- Ríos B.J.D.** 1987. *Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo.* Tesis de Maestría C.P. Montecillo, México.
- Rodríguez T.F.** 1981. *Elementos del escurrimiento superficial.* Depto. de Irrigación., Chapingo, México. PATENA A.C. 244 p.
- S:A.R:H: Dirección general de conservación del suelo y agua.** 1981. *Análisis de la información generada en el Campo Experimental "Las ollas",* Chis. 111 p.
- Singh, G., R. Baby, and S. Chandra.** 1985. *Research on the USLE in India.* In: *Soil Erosion and Conservation* (Eds.) El-Swaify, S.A., W.C. Moldenhauer, and Andrew Lo. Soil Conservations Society of America. Ankeny, Iowa. 46:117-121.
- Singh W.P.** 1988. *Hydrologic Systems. Wo. 1. Rinfall-runoff modeling.* prentice Hall, Englrwood Cliffs, New Jersey 07632.
- Solano de la S J. A.** 1982. *Efecto de la relación precipitación escorrentía en el proceso erosivo en diferentes usos de suelos, en la Cuenca del Río Texcoco.* Tesis de maestría en Ciencias. C.P. Chapingo, México. 130-170 p.

- Terrazas G.J.L.** 1977. Manejo de suelos para reducir erosión y aumentar la productividad en suelos agrícolas de ladera de la Cuenca del río Texcoco. Tesis de maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, chapingo, México.
- Wolfe M.L., V.O. Shanholtz, L.L. rice, and B.B. Ross.** 1983. Sediment detachment and transport functions to simulate soil loss from reclaimed mine soils. Department of Agricultural Engineering Wirginia plytechnic Institute and State University blacksburg, Virginia. bolletin 83-5.
- Wischmeier W.H.** 1958. A rainfall erosion index for a Universal Soil-loss equation. Journal Series paper No. 1306.
- Whischmeier, W.H.** 1959. a rainfall erosion idex for a universal soil loss equation. Soil Sci. Soc. am. Proc. 23:246-249.
- Wischmeier, W.H.** 1976. Use and B.V. Cross, 1971. A soill, erodibility nomograph for farmald and construction sites. J. Soil Water conserv. 26:189-193.
- Wischmeier, W.H., and D.D. Smith.** 1978. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky mountains. USDA. Agr. Handbook. 59 p.
- Zazueta Z.G.** 1984. Influencia de los sistemas de labranza y obras de conservación de la productividad de los suelos. Tesis de maestria en Ciencias, C.P. Chapingo México. 195 p.