

5
2y



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

EMPLEO DEL SISTEMA DE TERRAZAS DE BANCO
DE
FORMACION PAULATINA E INTRODUCCION DE
Opuntia ficus indica (NOPAL DE VERDURA) COMO
METODOS PARA DISMINUIR LA PERDIDA DE
SUELOS
EN EL POBLADO DE TASTITLAN, MUNICIPIO DE
OCOTEPEC, PUEBLA.

T E S I S

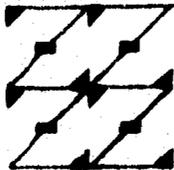
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G O

P R E S E N T A :

SILVIA BECERRIL PEREZ.

U N A M
F E S
Z A R A G O Z A



LO HUMANO E JE
DE NUESTRA REFLEKION

MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

RESUMEN	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. HIPOTESIS	4
IV. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	5
4.1 EROSION	5
4.1.1 Clases de Erosión	5
4.1.1.1 Erosión Geológica.	5
4.1.1.2 Erosión Inducida	6
4.2 EROSION HIDRICA	6
4.2.1 Formas de Erosión Hídrica	7
4.3 AGENTES QUE DETERMINAN EL FENOMENO EROSIVO	8
4.4 MECANICA DEL PROCESO EROSIVO	10
4.4.1 Remoción	10
4.4.2 Transporte	10
4.4.3 Deposición	11
4.5 CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO QUE DEFINEN SU VULNERABILIDAD DEL A LA EROSION	11
4.6 LIMITES PERMISIBLES DE EROSION	12
4.7 CUANTIFICACION DE LA EROSION	13
4.7.1 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	14
4.7.1.1 Factor Erosividad R	16
4.7.1.2 Factor Erodabilidad, K	17
4.7.1.3 Factor Grado y Longitud de la Pendiente, LS	17
4.7.1.4 Factor Manejo de Cultivo, C	18
4.7.1.5 Factor Práctica Mecánicas de Conservación, P	19

4.7.2 Método de Estacas	20
4.8 PRACTICAS MECANICAS	20
4.8.1 Terrazas de Banco	20
4.9. GENERALIDADES DEL NOPAL	22
V. ANTECEDENTES	24
VI. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	36
6.1 LOCALIZACION DEL ESTADO DE PUEBLA	36
6.2 LOCALIZACION DEL MUNICIPIO DE OCOTEPEC	37
6.3 LOCALIZACION DE LA PARCELA EXPERIMENTAL	38
6.4 CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO	40
6.4.1 MEDIO FISICO-BIOLOGICO	40
6.4.1.1 Clima	40
6.4.1.2 Geología	40
6.4.1.3 Fisiografía	42
6.4.1.4 Edafología	42
6.4.1.5 Hidrología	43
6.4.1.6 Uso Actual del Suelo	44
6.4.1.7 Flora	44
6.4.2 MARCO SOCIAL	44
6.4.2.1 Población	44
6.4.2.2 Educación	45
6.4.2.3 Salud	45
6.4.2.4 Vivienda	45
6.4.2.5 Comunicaciones y Transportes	45
6.4.2.6 Servicios Públicos	45
6.4.3 MARCO ECONOMICO	46
6.4.4 ACTIVIDADES ECONOMICAS	46
6.4.4.1 Agricultura	46
6.4.4.2 Ganadería	46
6.4.4.3 Industria	46

6.4.4.4 Explotación Forestal	46
VII. MATERIAL Y METODOS	47
7.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO	47
7.1.1 Delimitación de la Parcela Experimental	47
7.1.2 Levantamiento Topográfico	48
7.1.3 Muestreo de Suelo	49
7.1.4 Diseño Experimental	50
7.1.4.1 Tratamientos	50
7.2 TRABAJO DE CAMPO	53
7.2.1 Construcción de Terrazas de Banco de Formación Paulatina	53
7.2.2 Plantación de Nopal	54
7.3 TRABAJO DE LABORATORIO	55
7.3.1 Parámetros Físicos	55
7.3.2 Parámetros Químicos	56
7.4 CUANTIFICACION DE LA PERDIDA DE SUELO	56
7.4.1 Método de Estacas	56
7.4.1.1 Cálculo del Peso de Suelo Perdido	58
7.4.2 Ecuación Universal de Pérdida de Suelos	58
7.4.2.1 Obtención del Factor de Erosividad (R)	58
7.4.2.2 Obtención del Factor de Erodabilidad (K)	59
7.4.2.3 Obtención del Factor Longitud-Pendiente (LS)	59
7.4.2.4 Obtención del Factor Manejo de Cultivos (C)	60
7.4.2.5 Obtención del Factor Practicas Mecánicas (P)	60
7.5 TRATAMIENTO ESTADISTICO	60
VIII. RESULTADOS Y DISCUSION	62
8.1 SUELOS	62
8.2 CUANTIFICACION DE LA EROSION POR EL METODO DE ESTACAS	54
8.2.1 Pérdida o acumulación de suelo mensual de acuerdo a la posición de estacas	64

8.2.2 Pérdida o acumulación de suelo durante el periodo de mayo a octubre de acuerdo a la posición de estacas	70
8.2.3 Pérdida o acumulación de suelo durante el periodo de mayo a octubre por tratamiento	73
8.3 FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO	77
8.3.1 Factor de Erosividad, R	77
8.3.2 Factor de Erodabilidad K	78
8.3.3 Factor Longitud - Pendiente, LS	79
8.3.4 Factor manejo de cultivos, C	80
8.3.5 Factor Prácticas Mecánicas, P	80
8.4 Pérdida de Suelo	81
8.4.1 Pérdida de suelo ocurrida durante el año de estudio	81
8.4.2 Pérdida potencial de suelo	83
8.5. Funcionalidad del sistema de terrazas de banco de formación paulatina en la reducción de pérdida de suelo	84
8.5.1 Método de Estacas	84
8.5.2 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	84
8.6 Funcionalidad del sistema de terrazas de banco de formación paulatina asociado con el cultivo de nopal	85
8.6.1 Método de Estacas	85
8.6.2 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	85
8.7 Comparación de la erosión obtenida mediante el método de estacas y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos	86
IX. CONCLUSIONES	88
X. SUGERENCIAS	90
XI. BIBLIOGRAFIA	92
XII. ANEXOS	98
XIII. APENDICES	104

AGRADECIMIENTOS

A mis padres: *Othón*
 Rosa

A mis hermanos: *Esther*
 Ricardo
 Antonio
 Margarita
 Enrique

A mi esposo: *Arturo*

A mis sobrinos: *Ricardo*
 Cesar
 Oscar
 Fernando
 Roberto

A mis padres por brindarme la invaluable oportunidad de realizar una profesión, por sus decididos y constantes impulsos de superación y finalmente por su interminable paciencia mostrada para la culminación de este trabajo.

A mis hermanos de quienes he recibido valiosos comentarios y acertados consejos en momentos importantes y decisivos de mi vida.
Por su ejemplo de superación.

A mi esposo porque en la etapa final, su total comprensión e importante ayuda me permitieron lograr esta meta, por su continuado apoyo para la consecución de otros objetivos, por ello y por muchos motivos mas.

A mis sobrinos con infinito cariño.

A los Biólogos Roberto González Ramos, Alejandra Balderas González y Francisca Hernández Palacios, por su gran ayuda en la construcción de las terrazas y plantación del material vegetal.

A la C. a M.C. Lucia Rodríguez Domínguez por su ayuda en las actividades para transportar el material vegetativo, por sus palabras y acciones de impulso manifestadas en diferentes ocasiones.
Por su amistad.

A mi director de tesis el C. a M.C. Rubén Zulbarán Rosales por sus enseñanzas, sugerencias, y oportuno apoyo para aclarar conceptos; por su ayuda en la preparación de la presentación de la tesis.
Por su amistad.

Agradezco al H. Jurado integrado por:

Biól. Elvia García Santos.
Biól. María de Jesús Sánchez Colín.
C. a M.C. Rubén Zulbarán Rosales.
M.C. Miguel Castillo González.
M.C. Gerardo Cruz Flores.

Por sus valiosas sugerencias encaminadas a mejorar este estudio.

Finalmente agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por brindarme la oportunidad de cursar una profesión, especialmente al Depto. de Edafología por el apoyo y facilidades otorgadas para el desarrollo de este trabajo.

RESUMEN.

Todos los países en desarrollo presentan problemas relativos a la producción de alimentos básicos y al mal uso de sus recursos naturales, los cuales, frecuentemente son explotados hasta su límite máximo. Estos problemas tienden a incrementarse conforme aumenta la población, por lo que día con día se requieren más productos agrícolas, recursos naturales y mayor energía para obtenerlos.

Cuando el hombre transforma a los ecosistemas naturales, la erosión hídrica que es un proceso natural que se da en prácticamente todos los suelos, se ve acelerada, por lo que la erosión ha llegado a constituir un problema de alcance mundial y uno de los más graves que existen en México, llegando a estimarse que del área de suelos degradados en el país, el 74 % es producto de la erosión hídrica (Mass y García, 1993). Este fenómeno implica una degradación que generalmente culmina con la pérdida total del suelo, presentándose en el territorio nacional el problema de la erosión en aproximadamente 19 638 Km², de los cuales 300 000 ha tienen erosión acelerada (Gama, *et al.*, 1990).

El área de estudio se localiza en el Estado de Puebla, Municipio de Ocoatepec, en una parcela experimental ubicada en las faldas del Cerro El Tesoro al Oeste del Casco de la Ex-hacienda de Tastillán, Rancho San Pedro. Se evaluó la pérdida de suelo directamente en campo a través del Método de Estacas y mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

Se utilizó un diseño completamente al azar con dos tratamientos y tres repeticiones, en donde A corresponde al Testigo, B al sistema de terrazas de banco de formación paulatina asociado con el cultivo de nopal y C contempla únicamente el sistema de terrazas de banco de formación paulatina.

Para establecer la funcionalidad del sistema de terrazas de banco por el Método de estacas se cuantificó la pérdida y acumulación de suelo removido en el terreno comprendido entre bordo y bordo y en la base de éste, mientras que en la parte central del bordo también se cuantificó la remoción de suelo a fin de evaluar la funcionalidad del nopal en la consolidación de las partículas finas del suelo y consecuentemente en la firmeza del bordo.

Los resultados obtenidos mediante el Método de Estacas fueron los siguientes: El Testigo, registro una pérdida de suelo de 1.228 ton; el Tratamiento B que incluyó el sistema de terrazas y el cultivo de nopal registro una acumulación de suelo de 3.3218 ton y finalmente el Tratamiento C presentó una pérdida de suelo de 0.2420 ton. Estas pérdidas de suelo corresponden a las registradas durante el periodo de estudio (6 meses) por unidad experimental (subparcela= 143.325 m²).

De manera general y de acuerdo a la cuantificación de pérdida de suelo realizada en los diferentes puntos de las subparcelas, se obtuvo que la remoción de suelo se efectuó en terreno sin bordos (Testigo), y en terreno entre bordo y bordo y en la parte central del bordo para los Tratamientos B y C, resultando dichas pérdidas menores para el Tratamiento B como resultado del efecto conjunto ejercido por la terraza y el sistema radicular del nopal, el cual proporcionó mayor solidez y firmeza al bordo presentando éste una mayor eficiencia para la retención de suelo tal y como lo indica el hecho de una mayor acumulación de suelo en la base de los bordos y menor pérdida en la superficie comprendida entre bordo y bordo y en la parte central del mismo.

En cuanto a los resultados obtenidos mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos se tiene que el Tratamiento A perdió 26.230 t/ha/año (Erosión moderada), en

tanto que los Tratamientos B y C registraron pérdidas de suelo de 1.468 y 2.118 t/ha/año respectivamente, correspondiendo a ambos tratamientos un nivel de erosión de ninguna a ligera.

Con base en los resultados obtenidos se concluye que:

A través del método de estacas, mediante la extrapolación de los valores de pérdida de suelo obtenidos durante el periodo de estudio por subparcela, a t/ha/año se clasificó el nivel de erosión de cada tratamiento de acuerdo a la Clasificación propuesta por FAO (1980), como un nivel de erosión moderada para el Testigo y un nivel de erosión de ninguna a ligera para el Tratamiento C. El tratamiento B no registró pérdida de suelo.

El Sistema de terrazas de banco de formación paulatina tuvo una eficiencia del 80.29 % en la disminución de la erosión con respecto al Tratamiento Testigo, mientras que la asociación de dicho sistema con el cultivo de nopal presentó una eficiencia del 100 %.

En cuanto a la evaluación de pérdida de suelo realizada mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo se concluye que:

El Tratamiento Testigo presentó un nivel de Erosión Moderada; mientras que los Tratamientos B y C redujeron tal erosión hasta un nivel de Ninguna a Ligera, siendo la funcionalidad del Sistema de terrazas de banco de formación paulatina (Tratamiento C) del 91.9 %, mientras que para la asociación de este sistema con el cultivo de nopal (Tratamiento B) fue de 94.4 %; tales eficiencias permiten reducir la erosión por debajo de 2.2 t/ha/año que constituye el Límite de Tolerancia de pérdida de suelo establecido para suelos no renovables con una profundidad de 25-50 cm.

INTRODUCCION

El término erosión se refiere a la pérdida progresiva del suelo que se produce en los terrenos, debido a la acción física y química del agua, del viento y de agentes biológicos. Este efecto destructivo de desgaste tiene lugar en lapsos muy cortos, favorecido por el desequilibrio que se produce cuando se destruye o deteriora la cubierta vegetal, o por la aplicación de técnicas inadecuadas en el uso, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales renovables: suelo, agua, flora y fauna (55).

Desde principios del mundo el suelo ha evolucionado continuamente y la lluvia y el viento han transportado sus partículas de uno a otro sitio. El equilibrio favorable entre la erosión del suelo y la formación de nuevas tierras que prevalece bajo condiciones naturales fue alterado casi desde el momento mismo en que el hombre empezó a cultivar la tierra para procurarse alimentos. Al eliminar vegetación nativa y roturar la superficie de la tierra con implementos rudimentarios, los primitivos agricultores y sus sucesores aceleraron inconscientemente el grado de remoción del suelo (56).

Como resultado de la erosión de los suelos, las tierras de cultivo agrícola, bosques y pastizales, pierden su capacidad original de producción hasta el grado de volverse completamente estériles al perder la capa arable, transformándose en tepelateras, en pedregales, en arenales, en terrenos salinos, etc. (53).

Por otra parte, la aceleración de dicha erosión, se presenta principalmente por la implementación de prácticas inadecuadas de cultivo, introducción de agricultura en terrenos de fuerte pendiente, destrucción de áreas boscosas y sobrepastoreo y sobrecarga animal en los pastizales (52), lo cual ha provocado formaciones terrestres erosivas y otras condiciones que son definitivamente anormales, como son las cárcavas o zanjas, los subsuelos descubiertos por la erosión laminar, los derrumbes, las carreteras socavadas, las represas y los cauces de los ríos obstruidos por sedimentos. Todo ello evidencia el desgaste del suelo destruyendo tierras agrícolas y fuentes de subsistencia (56).

Entre los países de América Latina, México es uno de los más afectados por la erosión de sus suelos, pues de los 200 millones de hectáreas que constituyen la superficie nacional alrededor del 70-75 % está afectado por la erosión. Para 1984 se mencionaba que solamente el 18.55 % del territorio nacional no presentaba signo alguno de erosión; el 22.58 % había sido levemente erosionado, en tanto que el 32.65 % presentaba erosión moderada; el 17.68 % erosión severa y el 8.01 % erosión muy severa, (24). Aunado a esto, topográficamente la superficie del territorio nacional tiene la siguiente distribución: el 70 % corresponde a suelos inclinados y de montaña, el 22 % a suelos planos y ondulados, y el 8 % a suelos con llanuras inaprovechables; de estas superficies se tiene la siguiente clasificación global en cuanto a pendientes: superficies con pendiente hasta de un 10 %: 36 %, superficies con pendiente del 10 al 25 %: 36 % y superficies con pendientes mayores al 25 %: 28 % (47).

Del análisis de estos datos se desprende que las condiciones orográficas de México son un tanto adversas para la agricultura y muy favorables para que la acción de la erosión actúe con toda celeridad, es por ello que se plantean como prácticas de

conservación a seguir, todo proceso de tipo mecánico, vegetativo o agronómico tendiente a conservar y mejorar los recursos naturales renovables.

Una de las prácticas más eficientes en el uso y conservación del suelo la constituyen las terrazas. Actualmente se ha hecho posible el desarrollo extensivo de estas prácticas en los diferentes países, y en el concepto de bases técnicas, México ha iniciado estas actividades desde 1942 (41, 52).

Si se considera que la agricultura en México se ha hecho intensiva y extensiva, a últimas fechas ha sido necesario cultivar en las laderas de las montañas, donde el peligro de erosión aumenta por el mal manejo del suelo y del agua, los rendimientos son bajos y agudizan la situación precaria de los agricultores, además de contaminar con sedimentos la agricultura de los valles. Son precisamente las terrazas, que no son más que labores que tienden a reducir la pendiente del terreno para manejar mas eficientemente los escurrimientos superficiales, evitando por un lado la erosión y por otro facilitando el manejo del suelo (35), una alternativa para contribuir a resolver el problema que plantea la agricultura de ladera en relación a su participación dentro del sector productivo del país y la preservación de los recursos naturales de México.

Con fundamento en lo antes expuesto y considerando que la presión demográfica, la demanda de alimentos y la distribución de tierras son factores bastante críticos para el establecimiento de un programa de conservación de suelos, surge la imperiosa necesidad de evaluar la efectividad de los métodos y prácticas preconizadas para la conservación del recurso suelo, de ahí que también surja la necesidad de resaltar que la importancia actual de combinar prácticas mecánicas, vegetativas y agronómicas, como métodos para la conservación de suelos, es fundamental en la recuperación de estos, principalmente en áreas en donde aflora el tepetate producto de la erosión.

Es determinante pues, la defensa y uso adecuado de uno de los elementos básicos de la producción como lo es el suelo, con lo cual el presente trabajo plantea el empleo del Sistema de Terrazas de Banco de Formación Paulatina e introducción de *Opuntia ficus indica* (Nopal de verdura) como métodos para la conservación de suelos en el Poblado de Tastitlán, Municipio de Ocoitepec, Puebla.

II. OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la pérdida de suelo utilizando como método mecánico la construcción de terrazas de banco de formación paulatina y como método biológico el cultivo de *Opuntia ficus Indica* (nopal de verdura) en Tastitlán, Municipio de Ocotepéc Puebla.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Evaluar la pérdida de suelo directamente en campo aplicando el método de estacas.
2. Determinar los factores R, K, LS, C y P de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo para predecir la pérdida de suelo.
3. Comparar los resultados de pérdida de suelo obtenidos con el método de estacas y con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.
4. Evaluar la funcionalidad del sistema de terrazas de banco de formación paulatina en la reducción de pérdida de suelo.
5. Evaluar la funcionalidad del cultivo del nopal asociado al sistema de terrazas de banco de formación paulatina en la reducción de pérdida de suelo.

III. HIPOTESIS

La asociación del cultivo de nopal con el sistema de terrazas tiene mayor eficiencia en la reducción de pérdida de suelo, ya que la terraza contribuye a reducir la pendiente del área y el extenso sistema radicular desarrollado por el nopal contribuye a detener y fijar el suelo dándole mayor estabilidad a la cresta de la terraza.

IV. REVISION BIBLIOGRAFICA

4.1 EROSION.

La erosión es el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes del intemperismo. Los principales son el agua y el viento y a los tipos de erosión que producen se les denomina hídrica o eólica respectivamente (60).

Torres (1981), menciona como factores de los procesos erosivos en menor grado de importancia a la temperatura y a los organismos.

4.1.1 Clases de Erosión

La erosión del suelo puede dividirse en dos grandes clases: la erosión geológica, normal o natural y la erosión inducida o acelerada (25).

4.1.1.1 Erosión Geológica.

Esta clase de erosión es ocasionada por la acción constante de los diversos fenómenos del intemperismo natural. Este proceso es tan lento, que necesita Eras completas para producir cambios importantes en la configuración de la superficie terrestre. La erosión natural es un proceso constante que seguirá desarrollándose, a pesar de todo cuanto haga el hombre por evitarlo. Bajo condiciones naturales prevalece un equilibrio favorable entre la erosión y la formación de nuevas tierras. Los efectos de la erosión geológica son formadores de suelos a través de un proceso muy lento. El tiempo de formación del suelo es muy variable, ya que depende de la naturaleza de la roca madre y de los diversos factores intemperizantes. Sin embargo, se calcula que una capa de suelo de un centímetro de espesor es generada en cerca de mil años (59).

4.1.1.2 Erosión Inducida.

La erosión inducida es causada por la intervención del hombre que modifica la erosión natural acelerando el proceso de la pérdida del suelo.

La destrucción de la cubierta vegetal es una de las causas más importantes de aceleración del proceso erosivo. Con frecuencia las labores de cultivo extemporáneas favorecen la erosión del suelo, varios pasos de rastra seguidos de la nivelación pulverizan demasiado el suelo y éste es arrastrado por el agua o por el viento. Asimismo el uso irracional de bosques y pastizales con talas desmedidas y prácticas de sobrepastoreo, exponen al suelo a la erosión. El material original, la topografía, la exposición y la textura del suelo tienen notable influencia en su velocidad de erosión (59).

Por otra parte Hudson (1982), señala que a escala mundial las actividades no agrícolas del hombre que aceleran los procesos erosivos son apenas significativas. Esas alteraciones sólo tienen lugar en una pequeña parte de la superficie terrestre. La agricultura está tan extendida que son mucho más importantes las actividades agrarias que aceleran los procesos erosivos, y casi todas ellas tienden a incrementar la erosión. Cuando la vegetación se aclara y la tierra está más expuesta, hay pocos árboles que frenen el viento y la erosión eólica aumenta; hay también menos vegetación que pueda absorber la energía de la caída de la lluvia y por ello aumenta la erosión pluvial, es mayor la superficie de drenaje y los barrancos y los ríos son más potentes. Por medio del arado y la azada el hombre remueve y airea el suelo millones de veces más de prisa y eficazmente que los animales del subsuelo, de hecho, todos los procesos físicos de la naturaleza se ven acelerados.

4.2 EROSION HIDRICA.

La erosión causada por la lluvia, tal vez es el tipo más importante de erosión, se debe a la acción dispersiva y al poder de transporte del agua que cae y escapa del suelo en forma de escurrimiento superficial.

La acción dispersiva y el poder de transporte del agua están determinadas por el choque de las gotas de lluvia, por la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial y por la resistencia del suelo a la dispersión y al movimiento. Estos efectos dependen de los factores siguientes (59):

- a) *Clima*. Características de la lluvia, principalmente cantidad e intensidad.
- b) *Topografía*. Pendiente, exposición y área del terreno.
- c) *Cubierta vegetal*. Especies vegetales y poblaciones por hectárea.
- d) *Naturaleza del suelo*. Principalmente la resistencia a la dispersión.
- e) *Permeabilidad del suelo*. Velocidad de infiltración del agua en el suelo.

Cuando una gota de agua de lluvia golpea un suelo seco, al caer, el suelo absorbe la gota de agua y se humedece, las gotas que caen posteriormente golpean la superficie del agua del suelo salpicando, rompiendo agregados y desprendiendo partículas de la masa del suelo que enturbian el agua, y al quedar tales partículas en suspensión el agua turbia penetra en el suelo y causa una obturación de los poros. Este continuo choque de las gotas compacta y acaba por sellar la superficie formando una costra en el suelo que reduce la infiltración y aumenta el escurrimiento superficial (59).

4.2.1. Formas de Erosión Hídrica.

La erosión hídrica puede ocurrir en tres formas principales, laminar, vertical y acanalada.

La erosión laminar consiste en la pérdida del suelo de manera uniforme, sobre la superficie o en una franja amplia. Esta forma de erosión raras veces ocurre ya que por lo general con el primer salpicamiento y movimiento del suelo se forman pequeños canales y en caso de ocurrir es muy difícil de detectar por los propios agricultores, quienes se dan cuenta hasta cuando aparecen al descubierto materiales extraños a la superficie. Esta forma de erosión se detecta también por las raíces de las plantas que quedan al descubierto, o al descubrir expuestas algunas capas que de ordinario están ocultas, esto es especialmente notable cuando se tiene suelo y subsuelo de coloración diferente (59).

Sánchez (1981), señala que la erosión laminar ocurre por el salpicamiento que produce la lluvia al caer sobre un suelo descubierto con declive y menciona que se calcula que una lluvia fuerte puede salpicar alrededor de 25 t/ha de suelo.

La erosión vertical consiste en el movimiento vertical de los materiales coloidales del suelo hacia horizontes más profundos. Ocurre principalmente en terrenos de escasa o nula pendiente, en los suelos de alta permeabilidad y en terrenos pesados cuyas arcillas al dilatarse y contraerse se agrietan y propician la erosión vertical, siendo arrastradas las partículas del suelo a través de esas grietas. La erosión vertical afecta al suelo en dos formas principales: reduciendo la fertilidad de la capa que está perdiendo coloides y acumulando materiales a determinada profundidad, formando una capa restrictiva a la penetración del agua y de las raíces de las plantas (59).

La erosión acanalada ocurre por escurrimiento, forma canalillos que pueden ser borrados por las labores agrícolas normales, y se presenta en la mayoría de los suelos (50).

La erosión por canales en condiciones extremas forma cárcavas y torrenteras, en sus fases iniciales también se le conoce como erosión en surcos, el proceso se inicia con la confluencia de dos o más escurrimientos superficiales de las partes altas del terreno hacia colas inferiores. En un terreno desprovisto de cubierta vegetal ese escurrimiento acanalado es el

principio de la formación de cárcavas, barrancas o torrenteras, arroyos y ríos.

En términos generales entre mayor sea la pendiente del suelo, mayor será el grado de erosión potencial del mismo. En pendientes suaves o en suelos sin ninguna pendiente es muy frecuente la erosión vertical, mientras que en suelos con pendientes pronunciadas se presentan la erosión laminar y sobre todo la erosión acanalada (59).

Sánchez (1981), además de la erosión laminar y acanalada menciona la existencia de la erosión por cárcavas, señalando que ésta es una forma avanzada de erosión por canales debida al flujo incontrolado de los escurrimientos. Por su profundidad no pueden ser cruzadas por la maquinaria agrícola, generalmente forman pináculos que dan idea de espesor del suelo antes de iniciarse el proceso acelerado.

4.3 AGENTES QUE DETERMINAN EL FENOMENO EROSIVO.

Lluvia. Santiago (1986), señala como características físicas de la lluvia relacionadas con el proceso erosivo las siguientes: cantidad, intensidad, duración, distribución del tamaño de gotas, velocidad terminal, y energía cinética de las gotas de lluvia.

Se ha observado que a medida que aumenta la intensidad de lluvia, se incrementan las pérdidas de suelo.

Con respecto a la distribución del tamaño de gotas, mediciones hechas por Hudson, N. y Blanchard, D.C., citados por Santiago (1986), mostraron que las gotas más grandes son de 5 mm de diámetro, gotas con un diámetro mayor de 5 mm se disgregan en gotas más pequeñas al caer. Santiago, ha encontrado también que a intensidades bajas las gotas son más pequeñas y las intensidades altas se caracterizan por presentar gotas de mayor tamaño.

Por último, la energía cinética está en función del tamaño, forma de la gota y la aceleración de la velocidad de caída con que se proyecta la lluvia hacia el suelo.

Escorrimento superficial. Springall, citado por Orozco (1984), define al escurrimiento como la parte de la precipitación drenada por las corrientes hasta su salida. El agua que fluye por las corrientes proviene de diversas fuentes y con base en ello se considera al escurrimiento como superficial, subsuperficial y subterráneo. El superficial es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo y la red de drenaje hasta salir de la cuenca. El escurrimiento subsuperficial se debe a la precipitación infiltrada, en la superficie del suelo, pero que se mueve lateralmente sobre el horizonte superficial, este puede ocurrir cuando existe un estrato impermeable adyacente a la superficie del suelo. El escurrimiento subterráneo, es aquel que proviene del agua subterránea, la cual es

recargada por parte de la precipitación que se filtra a través del suelo, una vez que este se ha saturado.

El escurrimiento superficial ocurre cuando la superficie ha llegado al final de su capacidad de almacenamiento y la intensidad de la lluvia excede a la tasa de infiltración, tiende entonces a concentrarse en las depresiones naturales empezando por los canalillos para terminar en las grandes avenidas.

Nájera citado por Santiago (1986), señala que las fuerzas que actúan sobre las partículas desprendidas son: de gravedad, de soporte, de fricción que actúan en los puntos de contacto de una partícula con otra, una forma de resistencia al flujo es la fuerza de inercia y una fuerza de fricción inducida por el agua. Las fuerzas de gravedad, de fricción y de soporte se oponen al movimiento de la partícula, en tanto que la fuerza de inercia y de fricción del agua tienden a mover a la partícula de suelo. La magnitud relativa de estas fuerzas determinan si la partícula de suelo permanece quieta o es removida.

Una vez que la partícula de suelo es desprendida se puede transportar rodando sobre el fondo, saltando o en suspensión. Las partículas gruesas generalmente ruedan o se deslizan sobre otras, las de tamaño medio (arenas) ruedan sobre otras cuando la velocidad es baja pero cuando la velocidad es alta y por ello la turbulencia se presenta, pueden ser transportadas también en suspensión y las partículas finas se transportan en suspensión.

Suelo. Hsien y Milov citados por Santiago (1986) mencionan que la resistencia del suelo a las fuerzas erosivas de la precipitación y el escurrimiento depende de sus propiedades tales como: tamaño de partículas, forma, densidad, fuerzas de cohesión y de la fortaleza de los agregados así como de la estructura del suelo ya que esta afecta la facilidad de desprendimiento de la masa del suelo y su transporte por escurrimiento.

Hsien también señala que generalmente las partículas pequeñas (coloidales) y rugosas son más difícil de desprender pero más fácil de transportar. Por otra parte muchos de estos factores afectan también la capacidad de infiltración y por tanto la tasa de escurrimiento. Los suelos francos y francolimosos son generalmente más erosionables que suelos con alto contenido de arena o arcilla, porque los primeros además de ser desprendidos y transportados con mayor facilidad sellan la superficie fácilmente propiciando el escurrimiento.

Lal citado por Santiago(1986) al observar el efecto de la textura y el contenido de material orgánico sobre la estabilidad estructural encontró que la energía requerida para destruir un ped es directamente proporcional al contenido de arcilla e inversamente proporcional al contenido de arena: además menciona que la menor estabilidad del subsuelo comparada con la de la superficie de los suelos puede ser atribuido al bajo contenido de materia orgánica.

Otras investigaciones como las de Milov, sobre el efecto de la textura en el proceso erosivo muestran que los suelos arenosos son menos susceptibles a la erosión, debido a que comparados con otros suelos son más permeables.

Topografía. La topografía de un lugar comprende grado, longitud y forma de la pendiente, elementos que afectan a la producción de volúmenes de agua y la magnitud de las avenidas en la cuenca y como consecuencia en la pérdida del suelo.

Al aumentar la pendiente, la capacidad de transporte se incrementa rápidamente, asimismo al disminuir la pendiente, la capacidad de transporte disminuye grandemente, ocasionando que ocurra la depositación.

La longitud de la pendiente influye sobre la erosión debido a que la lámina de escorrentía aumenta con la distancia a partir de la cima de la pendiente. La pérdida total del suelo aumenta más rápidamente con la distancia para los suelos que son susceptibles a formar canalillos que para aquellos que no lo son.

Viento. La erosión causada por el viento es también de gran importancia. El viento desprende, transporta y deposita las partículas del suelo. La arena u otras partículas de suelo al ser arrastradas por el viento son muy abrasivas y causan una gran erosión del suelo, desgastan y carcomen las rocas (59).

Temperatura. Los cambios de temperatura ocurridos entre el día y la noche, provocan cambios a muy largo plazo en la superficie de las rocas que se cuarteán y descostran. Los cambios de temperatura estacional de verano e invierno tienen gran efecto en la masa de las rocas (59).

Organismos vivos. Los agentes biológicos como son: musgos, líquenes en las rocas, animales silvestres, ganado, etcétera, destruyen o disgregan el suelo y lo exponen a la erosión por el agua y el viento (59).

4.4 MECANICA DEL PROCESO EROSIVO.

4.4.1 Remoción.

La remoción ocurre cuando el viento, precipitación y escurrimiento son lo suficientemente intensos para desprender y transportar partículas. El primer movimiento de las partículas se efectúa por saltación (50).

4.4.2 Transporte.

Las partículas lanzadas hacia arriba durante la saltación debido a su reducido tamaño y peso vencen la atracción de la gravedad son transportadas a grandes distancias representando una pérdida para el área afectada.

Otro movimiento de transporte es el rodamiento de partículas de textura gruesa sobre la superficie del suelo impulsadas por el viento y otras partículas que las golpean, generalmente recorren distancias mucho menores que las partículas en suspensión (50).

La cantidad de suelo movido por el viento depende de los siguientes factores (50):

- a) Tamaño de partícula.
- b) Agregación del suelo.
- c) Velocidad del viento.
- d) Distancia sobre la que actúa el proceso.

La precipitación opera principalmente a través de la acción de las gotas de lluvia, la cual es una fuente de energía para desprender el suelo de la superficie, ésta tiende a romper a los agregados del suelo en sus partículas primarias y agita la película de agua previo al flujo laminar. Si la tasa o capacidad de infiltración es menor que la intensidad de la lluvia, se presenta el escurrimiento a través del flujo laminar (51).

A medida que aumenta la profundidad del flujo, se incrementa la capacidad de remoción y transporte del escurrimiento superficial, disminuyendo el efecto directo de las gotas de lluvia, con esto se aumenta la remoción de partículas de suelo y se inicia la formación de canales. En este momento la tasa de erosión del suelo depende de la velocidad del flujo escurrido y de la susceptibilidad del suelo a las fuerzas del flujo hidráulico (51).

4.4.3 Deposición.

Esta ocurre en el momento en que la fuerza de la gravedad supera a la que mantiene al suelo en movimiento o cuando algún obstáculo físico reduce la velocidad del viento o del escurrimiento (50).

4.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO QUE DEFINEN LA VULNERABILIDAD DEL MISMO A EROSIONARSE.

Según Edwards, citado por Ruiz (1979), las características y propiedades del suelo más importantes y que definen la vulnerabilidad del suelo a erosionarse son las siguientes:

CARACTERÍSTICA DEL SUELO	PROPIEDAD DEL SUELO
Textura	Permeabilidad
Naturaleza de las arcilla	Infiltración
Consistencia	Capacidad de retención del agua
Estructura	Facilidad con la cual las partículas son movidas
Contenido de materia orgánica	Facilidad con la cual los excesos de agua se pueden eliminar del suelo
Espesor de los horizontes	
Grado de consolidación del material subyacente	

TABLA 1. Características y propiedades más importantes del suelo que determinan su vulnerabilidad a erosionarse.

4.6 LIMITES PERMISIBLES DE EROSION.

El término "tolerancia de pérdida de suelo" se usa para denotar la cantidad máxima de suelo que se puede perder por efecto de la erosión, expresada en toneladas por unidad de superficie, sin que por ello disminuya la producción de los cultivos en forma sustancial ni el índice de productividad del suelo por largo tiempo (47).

Esta tolerancia refleja la máxima pérdida de suelo que puede consentirse alcanzando todavía el grado de conservación necesario para mantener una producción económica en un período futuro previsible, con los medio técnicos actuales. La tolerancia de pérdida de suelo para los terrenos de que se trate se obtienen por cálculo y pueden variar dependiendo del tipo de suelo, profundidad y características físicas del mismo (47).

Para llegar a determinar con mayor precisión el límite permisible de pérdida de suelo en una región determinada es necesario hacer primero un "balance del suelo", entendiéndose por ello el equilibrio entre la velocidad de formación de un suelo y la erosión del mismo, buscando siempre que la formación del suelo sea mayor que la cantidad que se pierda por erosión.

A continuación se mencionan diferentes límites permisibles de pérdida de suelo propuestos por diversos autores.

Rulz (1979), señala que para los suelos de E.U.A. el valor máximo en pérdida de suelo que se ha determinado varía de 1 a 5 t/ha/año dependiendo obviamente de las características del suelo.

Por su parte Wischmeier citado por Rulz indica que la mayoría de los suelos agrícolas de E.U.A. tienen un límite permisible de pérdida de suelo comprendido entre 7-11 t/ha/año.

Garduño (1977) y Bennett (1974), consideran que el límite máximo aceptable de pérdida de suelo varía desde 0.4 t/ha/año = 0.28 mm/ha/año en suelos poco profundos, hasta 18 t/ha/año = 1.28 mm/ha/año en suelos profundos bien drenados y permeables, teniendo una densidad aparente de 1.4 gr/cm³.

Hudson (1982), señala que en condiciones alteradas artificialmente por el hombre en 30 años se forman tan solo 25 mm que equivaldría a 12.5 t/ha/año, de tal manera que la erosión no puede exceder a este valor.

Torres (1982) menciona que se ha encontrado que en terrenos abiertos al cultivo se pueden formar de 0.4 a 1.8 toneladas de suelo /ha/año. La erosión máxima permisible se ha determinado en 0.4 t/ha/año, para suelos muy poco profundos, de baja permeabilidad, y sin cultivo. Para suelos profundos, bien drenados y permeables la erosión máxima permisible es de 1.8 ton/ha/año aproximadamente.

McCormack, Young y Kimberlin (33), asigna los siguientes valores a la tolerancia de pérdida de suelo (T) para terrenos con diferente profundidad radicular.

PROFUNDIDAD RADICULAR (cm)	VALORES DE T (t/ha/año)	
	Suelo Renovable (a)	Suelo no Renovable (b)
0-25	2.2	2.2
25-50	4.5	2.2
50-100	6.7	4.5
100-150	9.0	6.7
150	11.2	11.2

TABLA 2. Valores de tolerancia de pérdida de suelo (T), para terrenos con diferente profundidad radicular

- (a) Suelos con sustrato favorable que puede ser renovado por la labranza, fertilización, materia orgánica y otras prácticas de manejo.
- (b) Suelos con sustrato desfavorable tales como roca ó roca blanda, no puede ser renovado por medios económicos.

4.7 CUANTIFICACION DE LA EROSION.

La medición del grado de erosión del suelo es un trabajo muy laborioso que requiere de un buen grado de observación y paciencia. Es muy conveniente mantener áreas bajo observación periódica para llegar a determinar las pérdidas de suelo (59).

Los métodos de reconocimiento de la erosión pueden ser directos e indirectos. Los métodos directos son a través de la medición de pedestales, marcaje de piedras, clavos y rondenas, corcholetes, marcaje de estecas y

lotes de escurrimiento; entre los métodos indirectos se encuentra la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

4.7.1 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

El cálculo de las pérdidas de suelo en tierras de cultivo mediante ecuaciones empíricas se ha convertido en instrumento valioso para los estudios de conservación de suelos. Los primeros intentos por obtener una ecuación matemática que representará el fenómeno de la erosión data de 1940 en la "faja malcera" de los E.U. en trabajos desarrollados por Zingg, el cual analizó datos de pérdidas de suelos provenientes de varios estudios en los que se midió la influencia del grado y longitud de la pendiente solamente (47).

Como una expresión de los efectos de los factores de la pendiente sobre la pérdida de suelo propuso la siguiente ecuación racional (47):

$$X = CS^{1.4} L^{1.6}$$

Donde:

- X= Total de suelo perdido (kg/ha)
- S= Grado de la pendiente (%)
- L= Longitud horizontal de la pendiente (m)
- C= Constante de variación

Zingg no asume que la ecuación representa valores absolutos para cualquier suelo o condición específica.

Musgrave citado por Ruíz (1979), en 1947 sugiere que la pérdida de suelo puede ser predicha mediante la ecuación siguiente:

$$E \text{ (erosión)} = T \text{ (tipo de suelo)} \times S \text{ (pendiente)} \times P \text{ (prácticas agronómicas)} \\ \times M \text{ (protección mecánica)} \times R \text{ (lluvia).}$$

Smith and White citados por Ruíz (1979), en 1948 usan la ecuación:

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

Donde:

- A = Promedio anual de pérdida de suelo en toneladas/acre/año.
- C = Promedio anual de pérdidas de suelo provenientes de las parcelas de escurrimiento en t/acre/año.
- S.L.K.P. = Son multiplicados para ajustar la pérdida de suelo de la parcela de escurrimiento (C). Grado de pendiente (S), longitud de la pendiente (L), tipo de suelo (K), prácticas de conservación (P), cuando los valores de campo son diferentes de los valores de las parcelas.

Los autores indican que si la ecuación es empleada en otras condiciones climáticas donde fue generada, es conveniente incluir el factor lluvia.

Olson y Wischmeier citados por Aguilar (1982), en 1961 proponen la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (30):

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

Donde:

- E: Simboliza las pérdidas de suelo por unidad de área, expresada en las unidades de K y el periodo seleccionado para R. En la práctica los resultados son dados en t/ha/año.
- R: Factor de erosividad. Es la Cantidad de lluvia que cae durante un tiempo determinado de desagüe (30 minutos), cuando este es significativo, el número de unidades índice de erosividad en el período bajo estudio, (Mjmm/h).
- K: Factor de erodabilidad. Este factor está en función del % de materia orgánica, estructura, permeabilidad del suelo y el % de limos + arenas muy finas, así como el % de arenas, midiéndose en t/ha/Unidades de R en un cierto período.
- L: Factor de longitud. Es una relación que expresa la pérdida de suelo con respecto a aquella de un campo con una longitud específica de 72.6 ft (22.1 m).
- S: Factor de pendiente. Es una relación que expresa las pérdidas de suelo con respecto a un terreno con 9 % de pendiente.
- C: Factor manejo de cultivo. Corresponde al factor de labranza, en relación de un determinado manejo de cultivos, teniendo en cuenta al cultivo mismo y comparando las pérdidas de éste, con la cantidad de pérdida de suelo en un terreno en continuo barbecho, surcado en el sentido de la pendiente.
- P: Representa el factor prácticas mecánicas de conservación del suelo, comparando las prácticas de surcado al contorno, terraceo, cultivo en fajas, con el surcado en el sentido de la pendiente.

De los factores anteriormente mencionados, unos son atenuantes de la erosión, mientras que otros son los que causan y ayudan al proceso erosivo, dentro de los primeros se encuentran C y P, los cuales son manejables por el hombre para aminorar las pérdidas de suelo y las segundas son R, K, L y S, dentro de éstas L y S pueden ser más fácilmente afectables para poder disminuir las pérdidas de suelo.

El método de uso más amplio para la predicción de pérdida de suelo por parte de los conservacionistas en los Estados Unidos es la Ecuación Universal de Pérdida de suelos (EUPS). La EUPS también está adaptada para la estimación de pérdida de suelo en otros países (28).

La ecuación se llamó "universal" porque estaba exenta de algunas de las generalizaciones y restricciones geográficas y climáticas inherentes en los primeros modelos. Se ha criticado de no ser universal porque los valores de los parámetros se presentaron condicionados a las dos terceras partes orientales de los Estados Unidos. Sin embargo, a medida que se fueron acumulando los datos, los parámetros se están identificando para su uso en más regiones, incluyendo las de otros continentes (28).

Los factores de la EUPS se desarrollaron mediante una unidad de evaluación llamada la parcela estándar. Una parcela estándar es de una longitud de 22.13 metros sobre una pendiente uniforme de 9 por ciento en sentido longitudinal. La parcela fue labrada hacia arriba y hacia abajo de la pendiente y estuvo bajo barbecho continuo durante por lo menos dos años. La parcela estándar es simplemente resultado del desarrollo histórico de la EUPS. Los datos básicos a menudo se obtenían de parcelas de 40.5 m² (0.01 acres) de tamaño. Para una anchura adecuada de 1.83 metros (6 pies) se requería una longitud de parcela de 22.13 metros (72.6 pies). Gran parte de los datos se tomaron de las superficies que se desviaban de la parcela estándar y permitió obtener las escalas para el análisis estadístico que condujeron a la formulación de la EUPS. Sin embargo, la parcela estándar se tomó como base para definir la variación en L, S, C, y P.

4.7.1.1 Factor Erosividad R.

La erosividad es la capacidad que tiene una lluvia para producir erosión. Esta energía de la precipitación es el principal agente erosivo, ya sea por su efecto disgregador de las partículas de los suelos por el arrastre de las mismas (58).

Las pérdidas de suelo ocasionadas por la lluvia en terrenos cultivados son directamente proporcionales al valor del producto de dos características del aguacero (12):

- a) Su energía cinética total
- b) Su intensidad máxima en 30 minutos.

Cuando la intensidad de una tormenta sobrepasa la velocidad de infiltración de un suelo, se presenta la escorrentía. La lluvias que ocasionan mayores pérdidas de suelos son aquellas que presentan grandes intensidades y tienen corta duración. Las lluvias de pequeñas intensidades y larga duración son las más benéficas, debido a que la mayor parte de ellas se infiltran en el suelo y en estas condiciones se encuentra a disponibilidad de las plantas (58).

4.7.1.2 Factor Erodabilidad, K.

La erodabilidad del suelo se define como susceptibilidad del suelo a ser erosionado y es una función de las propiedades físicas y químicas del suelo.

En 1971 Wischmeier citado por Orozco (1984), define un parámetro que es una medida de la interrelación de grupos de tamaños de partículas del suelo cuya expresión es: % Limos + % arenas muy finas. Con este parámetro y con el % de materia orgánica, estructura del suelo y permeabilidad del perfil, construyeron un nomograma, el cual permite calcular la erodabilidad (K) el suelo como se muestra en la figura 1 del Anexo 2.

Este factor indica que suelos de tipos diferentes se erosionan con velocidad distinta, mientras que los demás factores (pendiente, lluvia, cobertura y manejo) que intervienen en la erosión permanecen constantes.

La diferencia en cuanto a la susceptibilidad de erosionarse entre dos suelos, radica básicamente en las propiedades físicas de ellos como son la textura, la magnitud y la estabilidad de la estructura, el tipo de arcilla, la permeabilidad y la infiltración, contenido de materia orgánica y la profundidad (47).

Al respecto, Terrazas (1977) señala que un suelo con alta erodabilidad sufrirá más erosión, que otro suelo con baja erodabilidad si ambos se encuentran expuestos a la misma intensidad de lluvia. También señala que existen dos grupos de factores que influye sobre la erodabilidad del suelo: el primero se refiere a que clase de suelo es o sea a sus propiedades físicas y químicas principalmente aquellas que afectan la velocidad de infiltración, la permeabilidad y las que existen las fuerzas de dispersión y transporte de la lluvia. El segundo grupo son los relacionados con el tratamiento del suelo. Este último grupo se refiere al manejo de suelos.

4.7.1.3 Factor Grado y Longitud de la Pendiente, LS.

Para su aplicación en el campo, la longitud de la pendiente se ha definido como la distancia del punto de origen del flujo superficial al punto donde disminuye la pendiente provocando depositaciones del suelo, o donde la escorrentía alcanza un canal bien definido (51).

Debido a que la escorrentía se incrementa conforme la pendiente se hace más pronunciada, las pérdidas de suelo también se incrementan (51).

Al respecto Hudson, (1982), menciona que a medida que aumenta la pendiente, la erosión de los suelos se hace más grande porque el salpicamiento es hacia abajo, con esto habrá más escorrentía y el flujo será más rápido. En cuanto a la longitud de la pendiente señala que tiene un efecto similar sobre las pérdidas de suelo; en una pendiente larga, la cantidad de la superficie del suelo erosionada es mayor, lo mismo que la velocidad que adquiere la escorrentía. Esto no ocurre en pendientes cortas o en lugares donde la pendiente es interrumpida por las prácticas de conservación de suelos como las curvas a nivel y las terrazas.

4.7.1.4 Factor Manejo de Cultivo, C.

Dentro de los factores atenuantes de la erosión el C es de vital importancia. El factor C es la relación que existe entre la pérdida de suelo bajo condiciones específicas, con aquella que corresponde a un terreno en barbecho continuo. Este factor mide los efectos de una posible pérdida de suelo, combinando e interrelacionando cobertura y varios manejos de suelo. El valor de C varía desde 0 hasta 1.0. El valor específico depende de la combinación entre la cobertura, las técnicas de manejo y la secuencia de cultivos. Este valor también depende del estado de desarrollo de la cobertura vegetal (51).

Para calcular el valor de C de un sistema de cultivo en particular, en una localidad dada, el ciclo vegetativo se divide en 5 períodos, barbecho, siembra, establecimiento, madurez y residuos. Se calcula entonces la distribución de la curva del E_{30} anual que ocurre dentro de cada uno de los estados del cultivo. Estos porcentajes se multiplican por el correspondiente valor de C. Se suman los productos parciales de todo el ciclo y el total se divide por el número de años en el ciclo (51).

La cobertura vegetal, protege al suelo disipando la energía de las gotas de lluvia, disminuye la velocidad de escorrentía y favorece la infiltración del agua del perfil del suelo, aumentando de esa forma la cantidad de humedad disponible para las plantas (58).

Los bosques y los pastizales son las vegetaciones que protegen más al suelo, en virtud de que: los bosques tienen una gran capa de residuos vegetales sobre la superficie del suelo, lo que hace que las gotas de agua de lluvia no los disgreguen, esta misma capa reduce la formación de escorrentías, además la parte aérea también protege al suelo (5).

Palmer citado por Terrazas (1977), señala que la parte aérea de las plantas al reducir el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, evita la formación de costras superficiales disminuyendo la escorrentía y aumentando la infiltración. La vegetación es más efectiva para reducir la velocidad de la escorrentía cuando es erecta porque presenta mayor rugosidad hidráulica, lo que hace que el flujo se mantenga lento.

Los suelos desprovistos de vegetación como es el caso de las áreas erosionadas y las tierras de cultivo, en una parte del año, son las que sufren mayores pérdidas de suelo, debido a que se encuentran a merced de la erosividad de la lluvia y la formación rápida de escorrentía.

La influencia del cultivo y de las prácticas de control sobre la erosión dependen de muchos factores, entre estos figuran el tipo de cultivo, la calidad de la cubierta vegetal y el desarrollo radicular, la absorción de agua por las plantas en crecimiento, residuos vegetales, etc. Es también importante el que estas condiciones difieren en el período que va desde la siembra hasta la cosecha análogamente también difiere la distribución de las lluvias erosivas a lo largo del año, por ello la eficiencia del poder antierosivo de cada cultivo y de cada práctica de cultivo se valora en base a cinco pérdidas correspondientes a otras tantas fases del cultivo se relaciona con la intensidad de las lluvias posibles en el período correspondiente a la fase en una localidad determinada.

4.7.1.5 Factor Práctica Mecánicas de Conservación, P.

El factor P es el otro factor que ayuda a reducir la erosión en terrenos con problemas de pendiente. Wischmeier y Smith citados por Aguilar (1982), encontraron que cuando la inclinación del suelo que está siendo cultivado y expuesto a la erosión de la lluvia, y que a su vez es protegido por la cubierta vegetal de los cultivos en crecimiento debe ser apoyado por prácticas mecánicas, las cuales necesitan influir en un lento escurrimiento de agua, y de esta manera reducir la cantidad del suelo que lleva consigo, los más importantes que nos sirven para conservar el suelo son: labranza al contorno, fajas de cultivos al contorno y sistemas de Terrazas.

Finalmente, según Wischmeier (1976), la EUPS puede utilizarse adecuadamente para:

- Predecir la pérdida anual de suelo de una pendiente en un campo con condiciones específicas para uso de la tierra.
- Servir como guía en la selección de sistemas de cultivo y manejo, y de prácticas de conservación para suelos y pendientes específicos.
- Predecir el cambio en la pérdida de suelo que resultaría de un cambio en las cosechas sobre un campo específico.
- Determinar cómo pueden aplicarse o alterarse las prácticas de conservación para permitir un cultivo más intensivo.
- Estimar las pérdidas de suelo en áreas con un uso de suelo distinto del agrícola.
- Obtener estimaciones de pérdida de suelo para que los conservacionistas determinen las necesidades de conservación.

4.7.2 Método de Estacas.

La medida del grado de erosión del suelo es un trabajo muy laborioso que requiere de un buen grado de observación. Es muy conveniente mantener áreas bajo observación periódica; así como tratar de localizar el perfil virgen (sin disturbio), siempre que sea posible, en los lugares adecuados como son: pedestales naturales formados bajo pequeñas rocas, bajo raíces de árboles o arbustos, abrir fosos agrológicos en zonas que no han sido desmontados para realizar estudios comparativos y llegar a determinar las pérdidas de suelo.

Los métodos de reconocimiento de la erosión consiste en el marcaje de Estacas de 30 cm de altura. Las estacas se marcan con pintura al nivel de la superficie del suelo. A intervalos regulares (mensual o anual) se hacen observaciones sobre la altura del suelo erosionado en cada sitio de muestreo y se saca el valor medio (9).

Algunas veces al actuar la erosión en algunos sitios de observación, puede haber acumulación de sedimentos, de tal manera que por encima de la marca de la estaca permanezca el suelo sedimentado o viceversa, que la marca de la estaca quede por encima de la superficie del suelo, en cuyo caso se reflejara la pérdida de suelo (9).

4.8 PRACTICAS MECANICAS.

Las prácticas mecánicas son aquellas que se llevan a cabo con implementos agrícolas o aditamentos especiales y consisten en realizar movimientos de tierra, con el fin de disminuir los escurrimientos superficiales y evitar la erosión en terrenos con pendiente (9).

El grupo de prácticas conservacionistas de tipo mecánico comprende todos aquellos trabajos de conservación de suelos que son de naturaleza física, como la construcción de bordos de contención, curvas a nivel, nivelaciones de terrenos agrícolas, terrazas, canales, estanques, etc. (42).

El principal objetivo de las prácticas mecánicas es la conservación de suelos sin reducir su eficiencia para el control de la erosión, éstas pueden también conservar el agua o favorecer la infiltración (25).

4.8.1 Terrazas de Banco.

La terraza es generalmente la práctica de conservación más efectiva para disminuir la erosión del suelo en comparación con el cultivo en fajas, debido a que con las terrazas se divide la pendiente en segmentos iguales al espaciamiento horizontal entre terrazas, es decir disminuimos el factor LS. La terraza intercepta el flujo del agua que desciende por los declives del

terreno antes de que este flujo adquiriera bastante velocidad para dañar el suelo (41).

La terraza típica la constituye el bancale, el cual no es más que una faja transversal a la pendiente, donde por medio de cortes y rellenos se obtiene una superficie a nivel; que por un lado reduce la escorrentía y erosión y por otro facilita el manejo del suelo y aprovechamiento de los insumos utilizados en la producción agrícola (60).

Es uno de los métodos más antiguos para evitar la erosión, rehabilitar las vertientes y cultivar laderas en muchas partes del mundo. En los países donde la densidad de la población es muy grande y escasean los terrenos planos, se hacen terrazas de banqueta para poder cultivar laderas y producir alimentos (47).

Ruíz (1979) señala que se justifica la construcción de este tipo de terrazas en terrenos con pendiente de 12 a 47 % cuando se construyen a mano y de 12 a 36 % cuando es con maquinaria.

Al respecto Torres (1981), señala que nos es recomendable cultivar pendientes mayores del 15 %, sin embargo, si las circunstancias lo exigen, se deben construir terrazas de banco. Este tipo de terrazas se adapta a pendientes muy colgadas.

Las terrazas de banco, también llamadas bancales y terrazas de escalón, son una de las formas más antiguas (y más efectivas), de combatir la erosión. Consisten en fajas planas o de mínima pendiente a través de laderas con pendientes muy pronunciadas. Cada terraza consta de un banco para cultivo y un talud empastado, y pueden aprovecharse en esta forma terrenos con pendientes hasta de 50 % (59).

Para suelos someros el ancho deberá ser variable según se acerquen o se alejen las curvas de nivel (59).

La formación de estas terrazas puede ser mecánica (con maquinaria, bestias o mano de obra), o bien de formación paulatina. La construcción de Terrazas de Banco de Formación Paulatina se hace aprovechando la erosión natural, para lograr la formación paulatina de los bancos, se realiza de la siguiente manera (59):

- Se abre una zanja a todo lo largo de las líneas guías según la pendiente deseada y la tierra retirada se va depositando en la parte alta del terreno (Bordo).
- Se plantan hileras de maguey u otras plantas de tallo rígido a lo largo y sobre los bordos.
- Al realizar las labores culturales los surcos se voltean siempre en el mismo sentido, contra las plantas y el último surco forma un corte antes de la hilera superior, dejando espacio suficiente para la formación del talud.

4.9 Generalidades del Nopal.

Las cactáceas son originarias del Continente Americano, en donde se encuentran distribuidas principalmente en las regiones áridas y semiáridas. Las especies del género *Opuntia* son originarias del sur de los Estados Unidos, México, Ecuador y Perú. Pero el nopal se atribuyó como centro de origen a México, por poseer gran diversidad de especies que desde tiempos inmemoriales han jugado un papel importante en la cultura de México (11).

El nopal *Opuntia* spp. se localiza prácticamente en la mayoría de las condiciones ecológicas y ocupa cerca de 30 millones de hectáreas (300 000 Km²) distribuidas principalmente en 11 estados del país (Hidalgo, Querétaro, México, Tlaxcala, Morelos, Aguascalientes, Guanajuato, San Luis Potosí, Zacatecas, Puebla, Baja California Norte y Sur) (6, 10).

Se conocen hasta hoy, 125 géneros de la familia de las cactáceas, que abarcan 2 000 spp. y de las 253 del subgénero *platyopuntia*, 100 están representadas en México (11).

El nopal es una planta que vive en las zonas áridas, y al igual que todas las plantas que viven en este medio ha generado mecanismos para optimizar los recursos hídricos y soportar las inclemencias del medio ambiente de estos lugares; a pesar de esto es necesario proporcionarle condiciones adecuadas para su producción, principalmente en lo que se refiere al agua y las temperaturas (10).

La temperatura es uno de los elementos climáticos de mayor influencia en el desarrollo del nopal de verdura, requiere de un rango óptimo de temperatura que fluctúa entre 16-28° C, soporta una temperatura máxima de 35 °C, sin que llegue a 40 °C de temperatura ambiental, durante la brotación, ya que bajo esta condición su desarrollo se ve afectado.

El nopal, en forma silvestre se adapta a condiciones que van desde zonas con precipitación pluvial muy escasa, hasta regiones con condiciones hídricas bastantes elevadas; de manera práctica podemos afirmar que el nopal cultivado se adapta bien a lugares que presenten precipitaciones que oscilan entre 150 a 1800 mm anuales bien distribuidos.

El nopal de verdura, se puede cultivar sobre alturas que van de 900 a 1800 msnm, aunque puede prosperar fuera de este rango.

Esta planta requiere para su cultivo, suelos de origen calcáreo, de texturas francas; suelos franco-arenosos, franco arcillo-arenosos y arenas francas, que presenten buen drenaje y permeabilidad, con pH de 6.5 a 8.5 y con pendientes fuertes, se recomienda realizar prácticas de conservación de suelos; como terrazas y curvas de nivel.

El nopal tiene varios usos, destacando entre otros, el alimenticio, forrajero, industrial y en la rehabilitación de terrenos erosionados.

Como alimento hay dos formas de utilización: nopal para verdura en variados platillos y nopal para tuna con toda una gama de productos.

Desde el punto de vista industrial, se tiene como antecedente la producción de "grana" o "cochinilla" en nopaleras para extracción de colorante. Extracción de mucílago de nopal, al cuál se pretende darle diversos usos

como emulsificante, recubridor, lubricante para perforaciones, adherente en pinturas, cosméticos, etc.

Aislamiento y purificación del principio activo hipoglucemiante del nopal.

En regiones áridas o semiáridas, el nopal es utilizado como forraje para alimentar al ganado en épocas de sequía o en el invierno y aunque no cumple con una dieta completa, sí suple en gran medida el agua que los animales necesitan.

Así pues, desde el punto de vista ecológico, el nopal ofrece bondades y ventajas que debemos tener presentes al tratar de darle un uso integral (11):

Tiene pocas exigencias de cultivo, amplio rango de distribución, fácil adaptabilidad y rápido crecimiento.

Dadas las características morfológicas y fisiológicas que presenta esta planta, le permite soportar desde las condiciones ambientales de escasa precipitación, hasta las altas y bajas temperaturas. También posee una notable adaptabilidad a los suelos calcáricos y pobres en su cubierta vegetal (tepetalosos).

El nopal no solamente tiene importancia en los aspectos económicos, sino que también tiene gran importancia en la conservación del suelo, protegiéndolo contra la erosión debido a su bien desarrollado sistema radicular. Es un vegetal que logra detener y fijar al suelo debido a que el desarrollo de las raíces es extenso y se entrelazan entre sí para formar una gran malla que logra la consolidación de las finas partículas de suelo. Este desarrollo de la raíz también permitirá que el agua de lluvia una vez en el terreno, al encontrar el obstáculo de la tierra suelta pierda un poco de velocidad y con los canales que forma la raíz, el agua se infiltre sin mucha resistencia.

Aunado a esto, el nopal es utilizado ampliamente para reforestar zonas en vías de desertificación, fijar dunas en los litorales y con sus vigorosas nervaduras contribuye a formar una firme barrera contra la erosión llegando a formar cortinas rompevientos.

V. ANTECEDENTES

A continuación se realiza la descripción de algunos en los cuales se determina la pérdida de suelos y se evalúan diferentes prácticas mecánicas y/o vegetativas tendientes a disminuir dicha pérdida y por ende a la conservación del recurso suelo.

El trabajo realizado por Estrada (1982), tuvo como objetivo el obtener el plano de erosión hídrica actual del suelo de la República Mexicana, y con ello conocer los grados de afectación en cada estado a nivel general, ubicando a ese mismo nivel las zonas donde este fenómeno se presenta, a una escala 1:2,000,000. Se trabajó bajo el supuesto de que la Metodología Provisional FAO, es la adecuada para evaluar y cartografiar el fenómeno de la erosión hídrica actual en México.

Del análisis del plano obtenido se capta que México es un país con moderada erosividad por lluvia ya que más del 60 % del territorio presenta valores que fluctúan entre 50 y 500. Del plano de riesgo de erosión se observa que las áreas de mayor riesgo de erosión (> 1000 t/ha/año) se localizan en los estados de Puebla en los límites con Veracruz y Oaxaca, y Chiapas en la zona del Tacaná; obteniendo que un 63.41 % de la superficie de la República Mexicana presenta erosión hídrica actualmente, un 8.62 % esta afectada por erosión severa, 20.46 % tiene erosión alta y 34.32 % tiene erosión moderada.

Específicamente para el Estado de Puebla, Estrada reporta los siguientes porcentajes de superficie erosionada: 41.38 % con erosión ligera, 29.46 % con erosión moderada, 19.16 % con erosión alta y 9.98 % con erosión severa.

De lo anterior concluye que: en la provincia fisiográfica denominada Altiplanicie Septentrional se presentan los mayores índices de erodabilidad del suelo; las Sierras Madre Oriental, Madre Occidental y el Eje Neovolcánico al cual pertenece el área de estudio son las áreas de México con mayor riesgo de erosión; los estados afectados con más del 90 % de erosión son Baja California Sur, Guanajuato y Coahuila; el Eje Neovolcánico, la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental presentan las áreas de mayor erosión en la República, y el Eje Neovolcánico es la zona donde se concentra más erosión.

Por otra parte Trueba (1978), en su estudio de evaluación de cuatro prácticas mecánicas para reducir pérdidas de suelo por erosión hídrica en la Cuenca del Río Tezcoco, durante los años de 1976 y 1977 obtiene lo siguiente:

PRÁCTICA	PÉRDIDA DE SUELO	
	t/ha 1976	t/ha 1977
Testigo	400.5	488.5
Surcado al contorno	356.6	432.7
Terraza de base ancha SARH	291.6	338.9
Terraza de base ancha C.P.	272.6	344.7
Terraza de banco	68.3	69.6

TABLA 3. Pérdida de suelo por erosión hídrica en la Cuenca del Río Tezcoco durante los años de 1976 y 1977 según Trueba.

De acuerdo a estos resultados, el surcado al contorno redujo la erosión al 88 % en comparación con el testigo, las terrazas de base angosta SARH y C.P. al 71 % y 69 % respectivamente y la terraza de banco la abatió hasta el 14 % en relación a las pérdidas de suelo permitidas por el testigo, con lo que se deduce que la práctica más eficaz para reducir la erosión resultó ser la terraza de banco ya que además de tener la eficiencia del trazo al contorno, modifica dos factores que influyen en la erosión, la longitud y el grado de pendiente originales del terreno.

Terrazas (1979), realizó un estudio de manejo de suelos para reducir la erosión y aumentar la productividad en los suelos agrícolas de ladera de la Cuenca del Río Tezococo. Las dimensiones de las parcelas fueron 10 x 11 m, divididas en 2 partes, la primera de 10 x 1 m con el fin de evaluar las pérdidas de suelo, la segunda, de 10 x 10 m con la finalidad de evaluar el rendimiento de los cultivos. La pendiente del terreno varío de 3 a 5 %.

Los valores que obtuvo para cada uno de los factores de la EUPS fueron: $R= 216$, $K= 0.067$, $LS= 0.65$ y $P=1$. En la tabla 3a se observan las pérdidas de suelo y el valor del factor C para cada uno de los tratamientos evaluados.

CULTIVO	TRATAMIENTO DE MANEJO	PERDIDAS DE SUELO (kg/ha)	VALOR DEL FACTOR C
CEBADA	Labranza tradicional	1631	0.17
	Labranza con herbicida	1723	0.18
	3 ton/ha de rastrojo	1125	0.11
	6 ton/ha de rastrojo	1510	0.16
	10 ton/ha de estiércol	842	0.09
MAIZ-FRIJOL	Labranza tradicional	3951	0.42
	Labranza con herbicida	2891	0.30
	3 ton/ha de rastrojo	2938	0.31
	6 ton/ha de rastrojo	2388	0.25
	10 ton/ha de estiércol	3645	0.38
MAIZ	Labranza tradicional	4473	0.47
	Labranza con herbicida	4472	0.47
	3 ton/ha de rastrojo	3219	0.34
	6 ton/ha de rastrojo	2361	0.25
	10 ton/ha de estiércol	2946	0.31

TABLA 3a. Pérdidas de suelo promedio y valores que adquiere el factor C para los tratamientos de manejo del suelo para cada cultivo.

En base a los resultados que obtuvo, concluye que los cultivos probados reducen la erosión hasta en un 61 %, y que las pérdidas de suelo disminuyen por efecto de los tratamientos de manejo del mismo hasta en 49 % con el cultivo de maíz, 40 % con el cultivo de maíz-frijol y 51 % con el cultivo de cebada.

González y Ramos (1990), calcularon la erosión directamente en campo a través del método de estacas y mediante el empleo de la EUPS en Tastiitlán, municipio de Ocoitepec, Puebla. Como prácticas vegetativas y mecánicas utilizaron sorgo y surcado

al contorno, respectivamente; las dimensiones de la parcela experimental fueron de 10 x 51.4 m, con pendientes de 4 a 9°.

De la evaluación en campo mediante el método de estacas obtienen una erosión moderada de 24.682 ton/ha/4 meses, mientras que con la EUPS obtienen una erosión ligera de 0.2398 ton/ha/4 meses. Los valores que obtuvieron de cada factor de la Ecuación fueron: R= 89.87, K= 0.11, LS= 0.8, C= 0.26 y P= 0.6

Los autores consideran que el valor obtenido mediante la EUPS es el más acertado pues para que el método de estacas hubiese tenido mayor validez es necesario que se mantengan constantes la posición y el número de estacas así como el registro continuo de la densidad aparente del suelo para el caso en el que se realizan prácticas de laboreo.

Ríos (1987), evaluó el efecto de diferentes densidades de población de maíz y de siembra en cebada sobre las pérdidas de suelo y el escurrimiento superficial bajo condiciones de lluvia natural. El experimento se realizó en el Campo Experimental J-27 de la Universidad Autónoma de Chapingo, probando 4 densidades de población en maíz y 3 densidades de siembra en cebada.

CULTIVO	DENSIDAD (miles de gran./ha)	FORRAJE VERDE (t/ha)	PERDIDAS DE SUELO (t/ha)
Maíz	60	40.7	8.221
	65	43.7	7.770
	70	45.5	5.733
	75	48.3	3.925
Cebada	50	27.8	1.769
	75	31.0	1.493
	100	34.4	1.079
Teslugo	-	-	6.550

TABLA 4. Efecto de diferentes densidades de población de maíz y cebada sobre las pérdidas de suelo.

Del cuadro anterior se observa que a medida que se incrementó el nivel de densidad de ambos cultivos las pérdidas de suelo y escurrimiento superficial se redujeron. Además, estas fueron mayores en el cultivo de maíz que en el cultivo de cebada.

Ríos concluye que debido a una mayor protección contra la acción erosiva de la lluvia y el transporte de suelo por escurrimiento se obtuvo una relación inversa entre el nivel de productividad de los cultivos estudiados y las pérdidas de suelo y escurrimiento superficial.

Oropeza y Flores (1990), estimaron la erosión hídrica actual del suelo con base a la Ecuación FAO-PNUMA (1980), en la Cuenca Hidrográfica de Quechultenango, Gro. encontrando que la erosión alcanza niveles muy elevados (568 ton/ha/año) y corresponde principalmente a zonas en donde los suelos están representados por cambisol y luvisol, con cobertura vegetal esparcida y rala, y relieve montañosos

abrupto. Aquí las actividades humanas se llevan a cabo en pendientes pronunciadas estrechamente relacionadas con la agricultura y en menor grado con la ganadería. asimismo, el suelo, la cobertura y el relieve que presentan dichas zonas favorecen el proceso erosivo. El promedio de erosión en la Cuenca se estimó en 227 ton/ha/año, lo que representa alrededor de 13 mm al año de suelo erosionado. Este efecto erosivo se considera severo.

Ventura y Cortés (1990), dada la relevancia que tiene la erosividad de la lluvia como agente causal de la erosión hídrica, determinaron el E130 o Factor R de la EUPS en un período de 10 años en forma anual, mensual y por tormenta en el área de Toluca, Edo. de México para de esta manera formular medidas de control de la erosión del suelo utilizando la E.U.P.S. Ellos encontraron que el valor promedio de erosividad fue de 1971.64. La precipitación anual en 1977 fue de 578.15 mm y de 839.47 mm en 1986, esto significa que un aumento en la precipitación ocasiona un aumento en la erosividad de la lluvia, sin embargo en 1981 se presentan 867.36 mm de lluvia con una erosividad de 2475.70 lo cual hace suponer que la condición anterior no es necesaria y que son más determinantes otras características de la lluvia, entre ellas la intensidad.

Por otro lado también encontraron que el 77.2 % del E130 se presenta durante el período de Junio a Septiembre, y que casi el 40 % de la erosividad se presenta en los meses de Mayo y Junio. Esta última circunstancia es de suma consideración ya que durante estos dos meses los terrenos agrícolas se encuentran desprotegidos de cubierta vegetal y preparados para la siembra. Estas dos condiciones los hacen altamente susceptibles de erosionarse, por lo que se hace necesaria la implementación de prácticas agrícolas tendientes a proteger el suelo durante estos períodos iniciales de establecimiento y crecimiento de los cultivos.

Frausto y Volke (1990), estimaron la pérdida de suelo en forma laminar y en arroyuelos empleando la E.U.P.S. (Weischmeier y Smith, 1978) en el Paraje Zaayucuanino de Nochixtlán, Oax. durante el periodo de 1950 a 1988.

Para estimar la pérdida de suelos en forma laminar y en arroyuelos, se empleó la EUPS; el factor de erosividad R, se calculó a partir de la relación $R = 2.5612$ (lámina de lluvia anual) generada con los datos de intensidad de la lluvia de la estación de Huajuapán de León, Oax. El factor K, LS, C y P se estimaron de acuerdo a la metodología propuesta por Weischmeier y Smith.

A continuación se mencionan resultados para cada uno de los periodos estudiados.

FACTOR	PERIODO		
	1950-1957	1957-1979	1979-1988
LS	0.6108	0.5205	0.6013
C	0.5782	0.4845	0.5402
P	0.3360	0.4834	0.2357
E	0.4237	0.5103	0.2374

TABLA 4a. Valores de los Factores de la E.U.P.S.

El factor longitud y grado de pendiente presentó las mayores variaciones y, por lo tanto, es el factor que más ha influido en los cambios de velocidad de pérdidas de suelo del paraje Zaayucuanino. Estos factores han sido modificados principalmente por la construcción de terrazas dentro de los predios y bordos en los límites de éstos, situación que influye a su vez en el uso del suelo con fines agrícolas. Los autores observaron que el fraccionamiento de los predios acompañado de la construcción y destrucción de los bordos en sus límites superior e inferior ha sido la causa del cambio del factor longitud y grado de pendiente en el 47.62 % de éstos, en el 23.8 % no hubo fraccionamiento pero sí cambios en este factor, ocasionados por la construcción y destrucción de las terrazas dentro de los predios al cambiar de dueño y en el 28.57 % de los predios restantes se obtuvieron variaciones muy grandes en el grado de pendiente, situación que se le atribuye a la precisión del método empleado.

Finalmente concluyen que los factores estudiados han variado y presentan diferente grado de influencia en la pérdida de suelo en cada uno de los períodos estudiados, siendo el factor longitud y grado de pendiente el más importante.

Ruíz (1979), evaluó cinco tipos de terrazas durante un período de 2 años en Lomas de San Juan, Chapingo, en éste estudio el autor obtiene el valor del factor P de la E.U.P.S. para las prácticas experimentadas obteniendo previamente los valores de cada uno de los factores de esta ecuación.

De esta forma el valor promedio de R fue de 55.845, $K= 0.33$, $LS= 1.28$, $C=0.47$ (para cultivo de maíz con labranza tradicional) y las pérdidas promedio de suelo para cada uno de los tratamientos fueron: terraza de base ancha 160.693 kg/ha, terraza de banco a nivel 909.094 kg/ha, terraza de bancos alternos 346.258 kg/ha, terraza de Zingg 493.012 kg/ha y terraza de banco con pendiente 805.094 kg/ha. Utilizando estos datos, Ruíz obtuvo los siguientes valores de P:

TRATAMIENTO	VALOR PROMEDIO DE P
Terraza de base ancha	0.15
Terraza de banco a nivel	0.90
Terraza de bancos alternos	0.13
Terraza de Zingg	0.25
Terraza de banco con pendiente	0.28

TABLA 6. Valor del Factor P de la E.U.P.S. evaluado en cinco tipos de terrazas en Lomas de San Juan, Chapingo.

En la tabla anterior se observa que a cada terraza le corresponde un valor diferente de P por tener diferente eficiencia en el control de la erosión, de tal manera que las terrazas que tienen los valores mas bajos de P corresponden a los que pierden menos suelo. De esta forma Ruíz concluye que la terraza de bancos alternos tuvo mayor eficiencia en el control erosivo.

Reyes (1995), determinó las características hidrodinámicas de suelos en partes bajas del paisaje en una toposecuencia representativa de zonas áridas del norte de México (Reserva de la biosfera de Mapimi, Dgo.), con vista a una utilización racional de los recursos suelo y agua que repercuta positivamente en las actividades agrícolas y ganaderas. Las zonas de estudio representan unidades ambientales definidas con base en su geomorfología, topografía y estados de superficie. Las unidades fueron: la bajada inferior (pendientes de 1 a 2%; cobertura vegetal: 10 %, estrato arbustivo y herbáceo; suelos: yermosoles y xerosoles háplicos sobre aluviones), la transición bajada playa (zona de depresiones con pendientes entre 0.5 % y 1 %; cobertura vegetal: 50 %, estrato arbustivo y herbáceo; suelos: yermosoles gypsicos calcáreos de textura media sobre aluviones arcillosos), y playa (pendientes de 0.5 % o menos; cobertura vegetal: menor de 1 %, matorral halófilo; suelos: yermosoles gypsicos). Se instalaron microcuencas de estudio de 1 m² distribuidas de la siguiente manera: dos en la bajada inferior, tres en la transición bajada playa y tres en la playa.

En cada parcela, se aplicaron tres intensidades promedio de lluvia (14.18, 48.92 y 108.8 mm/h), para estados seco y húmedo del suelo. Se cuantificó el escurrimiento y la infiltración en todos los sitios y en cada lluvia aplicada.

Al analizar la secuencia de las unidades conforme a la pendiente del paisaje y a su ubicación, se ve que la lámina de imbibición (cuando el suelo superficial ha sido humectado hasta una saturación aparente e inicia el escurrimiento) decrece de la bajada inferior hasta la transición bajada playa y vuelve a incrementarse en la parte más baja del paisaje.

La capacidad de escurrimiento observada fue muy alta, y se incrementó conforme aumentó la intensidad de lluvia. Se observó que el escurrimiento se reduce 3.4 % en promedio en la zona de transición bajada playa donde la infiltración aumenta en ese mismo grado.

De esta forma los resultados indican que esta zona posee un coeficiente elevado de escurrimiento, 50 a 95 % en lluvias de 40 mm/h o más; con una capacidad reducida para la infiltración. Se concluye que la hidrodinámica en estos suelos condiciona a estas áreas a un mínimo aprovechamiento de agua por la gran cantidad que escurre y la poca infiltración que se presenta.

Turrent, et al., (55), desde 1988 ha conducido un experimento de carácter permanente en dos localidades del trópico subhúmedo de México, municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz. Los suelos son un Alvisol erosionado y un Vertisol que se manejan con el cultivo doble de maíz con sucesión de maíz, en temporal. Las pendientes promedio del Alvisol y el Vertisol eran de 14.5 % y 8.5% respectivamente. El clima es Aw2(w)(e)g, con precipitación promedio anual de 1750 mm. En este experimento se cotejan hipótesis pertinentes al proceso de formación sucesiva de terrazas de muro vivo (TMV) mediante estructuras basadas en setos de leguminosas arbóreas y camellones de residuos de cultivo, en contorno, postulando que el seto conferiría estabilidad física a los sedimentos retenidos, y formaría con sus raíces y troncos, un "muro vivo" permanente; el proceso de acumulación de sedimentos reduciría gradualmente la pendiente de la terraza, y con ello, la pérdida de materiales del suelo, hasta detenerse, cuando esa pendiente se acercara al valor cero, en tales condiciones, la ladera quedaría protegida permanentemente; mientras más profunda fuera la roturación y mayor el desmenuzamiento de las partículas de suelo, mayor

habría de ser la velocidad de desarrollo de la terraza, debido a un mayor despendimiento de partículas de suelo por el impacto de las gotas de lluvia.

Se comparan dos caídas entre setos, 1.0 y 0.75 m; dos especies leguminosas *Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*, dos intensidades en la labranza primaria, y dos órdenes de suelo. Los setos se podan radicalmente dos veces al año, cuando el maíz alcanza su estadio V3. Se evaluó el avance de las terrazas en 1993, después de cinco ciclos primavera-verano y cinco ciclos otoño-invierno, y nueve podas radicales al seto. Se encontró que la pendiente del terreno cambió desde 14.5 % a 6.1 % en las TMV en el Alfisol, y desde .5 % a 6.8 % en el Vertisol. El cambio en la pendiente se asoció con la interacción entre la lluvia y los factores pendiente original local e intensidad en la labranza primaria, y con el orden de suelos. Las TMV retuvieron sedimentos en volúmenes de 720 m³/ha (laboreo ligero) o de 937 m³/ha (laboreo intenso), equivalentes a laminas retenidas de 70 mm y 89 mm, respectivamente, en el Alfisol. La especie *G. sepium* alcanzó un diámetro basal promedio de 24 cm, un intervalo promedio de 16 cm entre plantas, y una sobrevivencia de 93 %, superando ampliamente a la especie *L. leucocephala*.

Se pudo observar en el desarrollo del experimento, que tal acción erosiva fue factor clave de la formación paulatina de las terrazas.

El mes de septiembre es el más lluvioso en la mayoría de los años y es, probablemente, en el que se presentan los eventos de lluvia más intensos, que ponen a prueba la viabilidad de las estrategias de conservación de suelos. Para entonces, el índice de área foliar del cultivo ha alcanzado ya su valor máximo y es factor de protección del suelo contra la erosión.

En otro de sus trabajos Turrent y colaboradores (56) estudian en la misma zona del caso anterior los cambios en algunas propiedades del suelo durante el desarrollo de la terrazas de muro vivo (TMV) que involucran un proceso de erosión local, en el que los sedimentos se retienen con un seto de *Gliricidia sepium* o de *Leucaena leucocephala* y un filtro de sedimentos construido a partir de residuos de los cultivos. El valor promedio del espesor máximo de sedimentos después de seis años fue de 27 cm en el Alfisol y de 13 cm en el Vertisol. Para evaluar los cambios en algunas propiedades del suelo, se recolectaron muestras compuestas de tres tratamientos, (1.00 m-TA, 0.75 m-TA, y 1.00 m-TA), seis terrazas y tres posiciones en la terraza: capa arable (CA) original, CA de la sección donante de sedimentos, y CA de la sección receptora. Se determinaron las siguientes propiedades: textura, pH, materia orgánica, N total, relación C:N, P Bray-P1, y K, Ca y Mg intercambiables. Al comparar la capa arable de los sedimentos con la CA original, se encontró que: a) se retuvo 96 % de la arcilla en el Alfisol y 97.8 % en el Vertisol; b) ocurrió un decremento en el contenido de MO en el Vertisol (de 2.96 % en la CA original a 1.11 % en la CA de los sedimentos); c) hubo una acidificación de casi media unidad de pH en el Alfisol y de un décimo de unidad en el Vertisol; d) hubo una reducción de 6, 10 y 12 % de K, Ca y Mg intercambiables, respectivamente, en el Alfisol, y sorpresivamente de 39 % del K y de 2 y 5 % del Ca y Mg intercambiables, del Vertisol.

Por otra parte diversos autores citados por Turrent, et al, reconocen ampliamente que cuando los sistemas agroforestales como el "cultivo en callejones" se instala en laderas, conducen a la formación paulatina de terrazas de muro vivo y citan evidencias del desarrollo del funcionamiento eficiente de terrazas de muro vivo

basadas en el zacate de transplante Vetiveria, sobre una amplia gama de condiciones agroecológicas.

Turrent et al. (63) en otro de sus estudios en la misma zona en donde desarrollan los dos trabajos anteriores, valoran la utilidad y rentabilidad de desarrollar terrazas de muro vivo TMV, bajo las siguientes variantes tecnológicas: caída entre setos, especie leguminosa e intensidad de labranza. Las terrazas se han manejado con el cultivo doble de maíz durante seis años y en este último trabajo se analiza el desempeño agronómico de cuatro tratamientos durante tres años, con dos ciclos por año, cinco hileras de maíz en cada terraza y seis terrazas. Uno de los tratamientos es el testigo, desprotegido contra la erosión (sin terrazas) y que tiene el mismo manejo agronómico que el de los tratamientos de TMV, para los demás factores. El experimento incluyó seis tratamientos sin repetición, en un diseño sistemático. La parcela experimental constó de seis terrazas. Los cuatro primeros tratamientos incluyeron dos caídas entre setos (0.75 m y 1.00 m) y dos especies leguminosas (*G. sepium* y *L. leucocephala*). La labranza de estos tratamientos se realizó con tracción animal. La profundidad de roturación fue de 10 cm. El quinto tratamiento implicó la roturación del suelo con tractor equipado. La profundidad de roturación fue de 20 cm; la caída entre setos fue de 1 m, y la especie fue *G. sepium*. El sexto tratamiento fue el testigo, (sin terraza), el cual se roturó con tractor equipado.

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren los siguientes puntos:

Los tratamientos de TMV que fueron laboreados con implementos ligeros (0.75 m-TA y 1.00 m-TA), se asociaron con rendimientos superiores en media tonelada por hectárea, al rendimiento obtenido con el tratamiento testigo, en el ciclo otoño-invierno. Este efecto puede deberse a una mayor eficiencia en el uso del agua de lluvia, factor limitante del rendimiento en ese ciclo de cultivo. El rendimiento asociado con el tratamiento 1.0 m-TA no difiere de aquél del testigo en el ciclo primavera-verano, cuando la disponibilidad de lluvia es abundante, en tanto que el rendimiento asociado con el tratamiento 0.75 m-TA es inferior al del testigo.

El tratamiento de TMV sujeto a laboreo intenso (1.00 m-TM) se asoció con rendimientos que, aunque mayores, no superaron significativamente a los del testigo, en el ciclo OI. En cambio, sí fue superado significativamente por el testigo, en el ciclo PV. Este comportamiento excesivo de material de suelo de la capa arable en el área donante y por una reducción demasiado rápida de la pendiente. Lo primero se asociaría con una última hilera expuesta a sequía severa en el ciclo OI, y lo segundo agudizaría el exceso de agua en el ciclo PV.

Se encontró evidencia de que la precipitación de julio-septiembre más baja en el periodo de observación (916 mm) pudo ser ya excesiva para el tratamiento de TMV 1.00 m-TA (anoxia edáfica), y en cambio ser insuficiente para el tratamiento testigo. Las precipitaciones mayores se asociaron con rendimientos progresivamente menores al tratamiento 1.00 m-TA, y con rendimientos progresivamente mayores del tratamiento testigo, dentro del ámbito de precipitación de 916 a 1296 mm.

El tratamiento de 1.00 m-TA (1 m de caída entre setos con laboreo ligero) resulta rentable a plazo mediano, para condiciones similares a la estudiada. Sin embargo, es previsible que la adopción de esta tecnología requiera de esquemas adecuados de subsidio y de otros servicios de apoyo.

Arias y Figueroa (1992) evaluaron el efecto predictivo de la ecuación universal de pérdida de suelo en varios usos del suelo en la Cuenca del río Texcoco. Los usos de suelo estudiados fueron: bosque de pino, bosque de encino, bosque de oyamel, zacatonal de altura, pastizal, zona agrícola alta, zona agrícola baja y tepetates. Para llevar a cabo este trabajo instalaron dos lotes de escurrimiento en cada uno de los usos del suelo antes mencionados. La pendiente de los terrenos vario de 2 a 45 %. Para evaluar la pérdida de suelo establecieron lotes de escurrimiento con la finalidad de captar el escurrimiento y el material transportado éste. Después de eventos lluviosos tomaron muestras de agua de escurrimiento, las cuales fueron analizadas y se determinó la cantidad de sedimentos transportados. Los eventos lluviosos fueron analizados a partir de pluviógrafos de registro diario.

La estimación de los parámetros de la EUPS fue obtenida de análisis de suelos, pendiente y longitud del terreno, uso del suelo y cobertura, y datos obtenidos de los pluviógrafos para calcular la erosividad anual, de acuerdo a la metodología propuesta por Wischmeier y Smith. A continuación se presentan los valores de los parámetros K, LS y C, además de la pérdida de suelo anual para los ocho usos de suelo.

USO DEL SUELO	K	LS	C	PERDIDA DE SUELO
Bosque de pino	0.0451	3.483	0.0002	9.9
Bosque de oyamel	0.0226	3.206	0.0025	0.3
Zacatonal	0.0518	13.783	0.000025	8.2
Z. Agrícola alta	0.0308	0.232	0.560	5156.1
Tepetatal	0.0710	1.540	0.465	6134.3
Pastizal	0.0533	3.780	0.025	93.7
Bosque de encino	0.0800	7.803	0.0001	0.8
Z. Agrícola baja	0.0458	0.191	0.710	13838.7

Los resultados obtenidos por los autores indican que las mayores pérdidas de suelo fueron observadas en los tepetatales, seguidas por las dos zonas agrícolas, después el pastizal, el bosque de pino, el zacatonal y los bosques de encino y oyamel, respectivamente. Finalmente concluyen que las zonas agrícolas son las más susceptibles a la erosión laminar y en canalillos, siguiendo las zonas con tepetate.

Zárate y Anaya (1992), evaluaron y cartografiaron en 1990 el riesgo de degradación de la tierra or erosión hídrica en Tlaxcala, usando la EUPS. Como primer paso se utilizó un imagen LANDSAT (escala 1:250 000), en la que fueron cartografiadas 128 unidades fisiográficas que mostraban homogeneidad en sus características de drenaje y color. Además mediante el uso de un banco de datos de precipitación total mensual elaborado con 46 estaciones meteorológicas se hicieron los mapas de erosividad para los periodos de mayo-octubre y de noviembre-abril, y junto con los mapas topográficos y de suelos de INEGI (1981) estimaron los factores LS y K de la EUPS.

De la representación esquemática del Índice de erosividad para ambos periodos, se obtuvieron valores que oscilaron entre 22.31 y 62.35 para el periodo noviembre-abril y de 81.25 a 188.27 para el periodo mayo-octubre, clasificandolos como ligero a moderado y moderado respectivamente. Con base en la evaluación realizada, el riesgo a la erosión hídrica varió de 1.4 a 203.1 t/ha, para el periodo de noviembre a abril y de 5.6 a 756 t/ha, para el periodo de mayo a octubre, en tanto que la pérdida potencial anual de suelo osciló entre 7.4 y 913.5 t/ha/año. La cuantificación de las áreas con riesgo de erosión hídrica, les permitió concluir que no existe la presencia de una clase de riesgo nulo. Por otro lado, domina el riesgo moderado, ya que ocupa más de la mitad de la superficie de la entidad (58.94 %). En orden de importancia continúa la clase de riesgo bajo (18.73 %), después la de severo (13.11 %) y por último la de riesgo extremo con el 9.14 %, del área total de la entidad.

En la investigación realizada por Martínez y Lasso (1991), durante los ciclos agrícolas de 1986 y 1986 con el cultivo de maíz en la localidad del Encino, Municipio de Saltillo, Coah., se plantearon los objetivos de demostrar la eficiencia de la labranza de conservación en el control de la erosión, y la disminución del grado de erosión. Los tratamientos establecidos fueron labranza cero (LC), rastreo (R), doble rastreo (DR), barbecho (B) y barbecho y rastreo (BR), siendo las variables evaluadas la pérdida de suelo, escurrimiento y lavado de nutrientes. El tamaño de parcela utilizado fue de 2500 m² por tratamiento. En cada parcela se instalaron lotes de escurrimiento de 2 x 10 m; los muestreos se realizaron después de cada evento de lluvia que producía escurrimiento, se determinó el volumen captado y se analizó física y químicamente.

Los resultados obtenidos indican que en los tratamientos de no labranza para ambos ciclos, las pérdidas de suelos fueron menores aunque en el escurrimiento estos tratamientos presentaron valores más altos. Los autores atribuyen esto a que cuando se presenta mayor rugosidad existe menor escurrimiento. En base a estos resultados se marca una tendencia al aumento de las pérdidas de suelo con el incremento del paso de labranza. Finalmente Martínez y Lasso concluyen que los escurrimientos no presentaron una relación directa con el incremento del laboreo y que la rugosidad fue el aspecto más importante que definió las pérdidas de agua por escorrentía; a su vez infieren que la labranza mínima (barbecho, rastreo) presenta menor pérdida por escurrimiento comparada con la tradicional (doble rastreo, barbecho y rastreo).

Por último Gama, et al., (1990) evalúan la erosión hídrica a través de la Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos modificada, su aplicación es en el Sistema terrestre Tepetzingo, localizado en la zona cálida-subhúmeda del Estado de Morelos. Las principales modificaciones realizadas consistieron en: sustitución de los factores S, T y V, L, M, sugeridos por FAO-PNUMA-UNESCO, por los factores D, LS y C utilizados en la EUPS, además de la inclusión del factor P. El método modificado comprende: interpretación de imágenes Landsat y fotografías aéreas, levantamiento de campo, análisis de laboratorio y el cálculo de los factores K, L, S, C y P usados por la EUPS. Este método generó información, en un lapso breve y a bajo costo, con un nivel de confiabilidad del 85 %. La estimación de la erosión hídrica presente en las diferentes unidades de suelos del área de estudio, fue obtenida de acuerdo con las siguientes condiciones específicas: 1) uso y cobertura actual del suelo y 2) prácticas de conservación actuales.

La información generada por la realización de este estudio fue la siguiente:

Las zonas afectadas por la erosión generada por la lluvia y los escurrimientos ocupan las áreas con cobertura vegetal deficiente, especialmente las localizadas en pendientes de 5 a 20 %. Las áreas con cobertura mayor que el 80 % presentaron poca o nula erosión; en contraste, las áreas con cobertura menor o igual al 40 %, localizadas en laderas denudatorias, siempre evidenciaron la presencia de una erosión laminar muy activa. Un 70 % del área presenta un uso agrícola intensivo dedicado, principalmente, al cultivo del maíz.

En cuanto a los valores obtenidos para los factores de la EUPS se tiene que para el factor R se obtuvo un valor de 168 considerándose como moderado; los valores de K oscilan de 0.16 a 0.39, lo que resulta indicativo de la disminución de la erosividad de la lluvia de 61 a 84 %; los resultados obtenidos por efecto del relieve (LS) mostraron valores característicamente bajos, siendo moderados; el valor promedio para el manejo de cultivo de maíz de temporal, con laboreo convencional, fue de 0.579, en consecuencia, este cultivo muestra bajo estas condiciones, una capacidad potencial promedio para reducir los efectos de erosividad de la lluvia en un 42 %; en cuanto al factor P, la única práctica mecánica de conservación que se emplea consiste en trazar surcos de forma perpendicular a la pendiente natural del terreno siguiendo, de modo empírico las curvas de nivel, en este estudio se utilizó el valor del factor P propuesto por el Colegio de Posgraduados, debido a que se considera el valor más representativo para las condiciones del área estudiada, este valor fue de 0.89 para las áreas agrícolas y de 1 para las áreas con pendientes fuertes y cubiertas por vegetación natural.

Con base en los resultados anteriores los autores concluyen que en los suelos de este sistema terrestre, existe un riesgo a la hidroerosión que varía de moderado a alto, y un valor de hidroerosión actual que fluctúa de leve a moderado. Concluyen que, en esta área, el factor antropogénico es la condición necesaria que genera la erosión, en tanto que la velocidad e intensidad con que actúa son variables que dependen de las características de los factores ambientales presentes y de la tipogénesis de cada suelo, respectivamente.

Antecedentes sobre Investigación en Conservación de Suelos en México.

En 1974 se inició de hecho la investigación formal sobre la conservación de suelos en México, al seleccionarse la cuenca hidrográfica del río Texcoco con fines de estudio (60).

La ventaja que se le observó a esta cuenca es que incluye amplia diversidad de ecosistemas, gran variedad en el uso del suelo y por su localización geográfica, es representativa de los principales problemas sociales del país.

El primer estudio que se estableció en la cuenca del río Texcoco tuvo como objetivos evaluar las pérdidas de suelos y nutrimentos en relación con el uso del suelo y explicar el fenómeno de la erosión con base en las causas que lo propician en los diferentes ecosistemas de la cuenca. En los resultados preliminares de este trabajo, se observó que las mayores pérdidas de suelo corresponden a las zonas altamente degradadas y de cultivo, y que estas pérdidas disminuyen conforme a la alteración de los ecosistemas naturales.

Con base en los resultados anteriores, se iniciaron estudios de observación para el manejo de las zonas altamente degradadas y su reincorporación a la productividad mediante plantaciones de nopal y pastizales principalmente. En las áreas agrícolas,

se establecieron experimentos sobre prácticas de labranza y manejo de residuos orgánicos en diferentes cultivos y se inició la evaluación de diferentes prácticas de conservación de suelos y algunos tipos de secciones transversales de terrazas.

Como puede observarse en México se está experimentando con los factores atenuantes de la erosión, mientras que los causantes de ella se manejan en segundo término considerando básicamente las experiencias generadas en otros países.

La razón de este procedimiento es precisamente la necesidad de información sobre la bondad de diferentes prácticas mecánicas y vegetativas de conservación del suelo y del agua.

VI. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

6.1 LOCALIZACION DEL ESTADO DE PUEBLA.

El estado de Puebla se encuentra localizado en la parte Sur-Oriental del Altiplano central del país, entre la Sierra Madre Oriental por el Este y la Sierra Nevada por el Oeste. Está situado entre los paralelos 17° 51' 45" y 20° 05' 45" de latitud Norte y los meridianos 96° 43' 30" y 99° 04' 30" de longitud Oeste.

Sus límites territoriales son: al Noreste el estado de Veracruz; al sur el estado de Oaxaca; al Oeste los estados de Morelos, México y Tlaxcala; al Noroeste el estado de Hidalgo y al Sureste el estado da Guerrero (Ver Fig. 1a).

La superficie territorial del estado es de 33,912 km², que representan 1.73 % de la superficie total del país; por su extensión ocupa el vigésimo primer lugar entre las entidades federativas del país.



FIG. 1a. LOCALIZACION DEL ESTADO DE PUEBLA EN LA REPUBLICA MEXICANA

6.2 LOCALIZACION DEL MUNICIPIO DE OCOTEPEC.

El municipio de Ocotepéc, al cual pertenece el poblado de Tastillán, zona específica de estudio, se localiza en la parte centro del estado de Puebla, sus coordenadas geográficas son los paralelos $19^{\circ} 33' 00''$ y $19^{\circ} 39' 42''$ de latitud Norte y los meridianos $97^{\circ} 00' 00''$ y $97^{\circ} 37' 18''$ de longitud Occidental. Tiene una superficie de 80.38 km^2 que lo ubica en el 137º lugar con respecto a los demás municipios del estado (Fig. 1b)

Cuenta con nueve localidades, entre las que destacan: Guadalupe Victoria, El progreso, El Mirador y Tastillán, perteneciendo a la región socioeconómica III-Ciudad Serdán, (Fig. 1c).

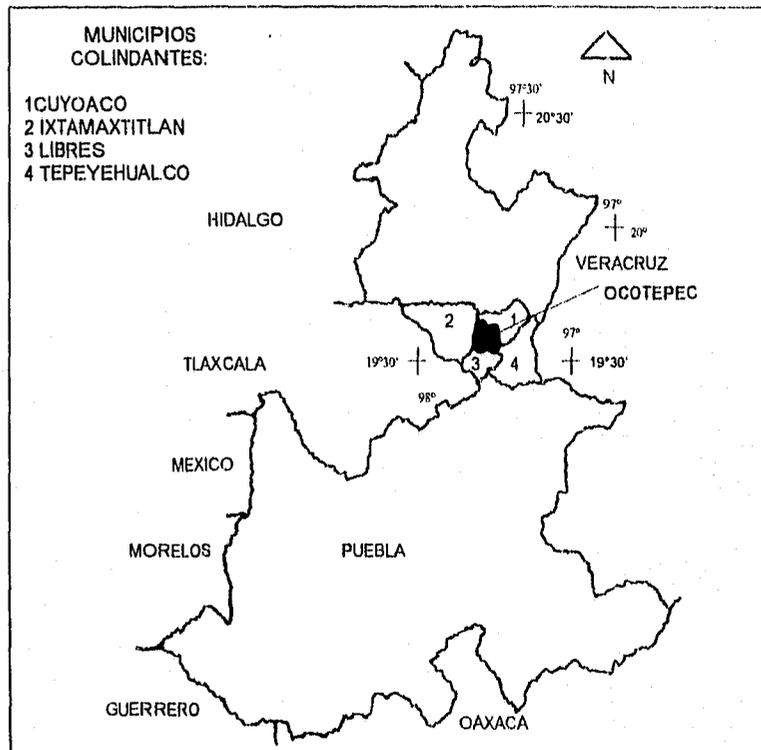


FIG. 1b. LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.

6.3 LOCALIZACION DE LA PARCELA EXPERIMENTAL.

La parcela experimental se encuentra al Oeste del casco de la Ex-hacienda de Tastilán, Rancho San Pedro en las faldas del Cerro el Tesoro a una altitud de 2400 m.s.n.m. (Fig 1c).

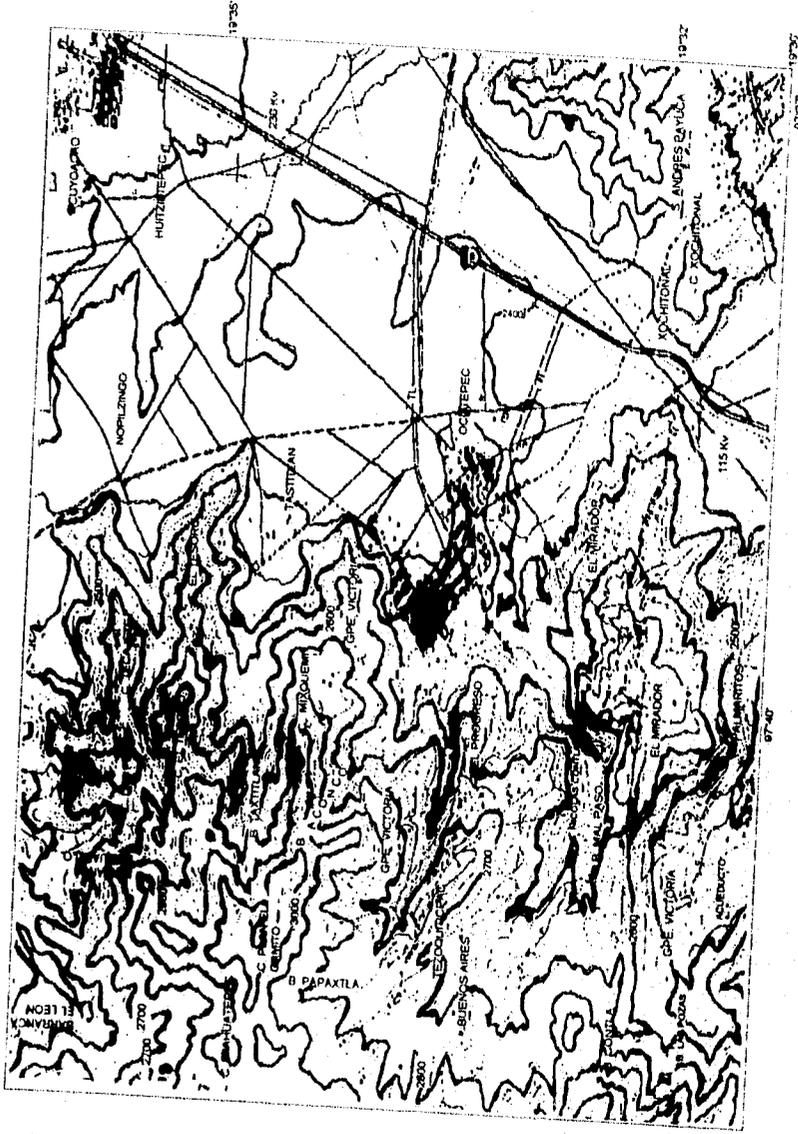


FIG. 1. UBICACION DE LA PARCELA EXPERIMENTAL

6.4 CARACTERIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.

6.4.1 MEDIO FISICO-BIOLOGICO.

6.4.1.1 Clima.

El municipio de Ocoatepec se localiza dentro de la zona de Climas Templados de la Sierra Norte.

De acuerdo a la clasificación climática de Köpen modificada por E. García (20), el clima predominante es el Templado Subhúmedo C(w1)(w) con lluvias en verano con canícula y % de precipitación invernal menor de 5.

La temperatura media anual varía de 18 °C en los valles y llanuras, a 12 °C en terrenos más elevados; la temperatura del mes Mas frío es de -3 y 18 °C, con una precipitación media anual de 600 mm.

6.4.1.2 Geología. (22)

El área de estudio se ubica en la Provincia del Eje Neovolcánico, la cual es una enorme franja de rocas volcánicas de diversos tipos y texturas, como derrames lávicos, tobas, brechas y cenizas volcánicas, que fueron emitidas sucesivamente por un gran número de volcanes durante el Cenozoico, y que actualmente forman un extenso y grueso paquete superpuesto a las rocas del Mesozoico.

Los rasgos característicos del paisaje de esta provincia en territorio poblano son, por un lado, los estrato-volcanes más espectaculares del país: el Pico de Orizaba el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl y la Malinche, cuyas cumbres son las más altas de México, y por el otro, las cuencas endorreicas con el consecuente desarrollo de lagos, que fueron originadas por la actividad volcánica al obstruir los antiguos patrones de drenaje. Entre dichas cuencas se encuentran la de Oriental.

La composición petrológica de las rocas volcánicas de esta región es muy heterogénea. Las rocas que constituyen al Iztaccíhuatl y al Popocatepetl están clasificadas como riodacitas y dacitas; estas últimas son también las que integran al cerro La Malinche. En la cuenca de Puebla las rocas son extrusivas de diversos tipos: dacitas, riolitas y andesitas. Esta diferenciación petrológica en las regiones que integran la provincia, hace suponer que el magma se formó a diversa profundidad de la corteza o del manto superior, y que fue evolucionando en su ascenso hacia la superficie.

Los grandes aparatos volcánicos se formaron sucesivamente en varias épocas del Cenozoico Superior. La Malinche, cuyo cráter presenta un estado muy avanzado de erosión, indica el periodo más antiguo del volcanismo en Puebla. El Iztaccíhuatl representa un periodo posterior, y el Pico de Orizaba y el Popocatepetl corresponden al Plioceno Medio.

Las rocas más antiguas en esta provincia son esquistos del Paleozoico, P (E). Afloran como ventanas de erosión en los terrenos predominantemente volcánicos.

Entre las unidades del Mesozoico que se representan cartográficamente en esta provincia están las limonitas y areniscas del Jurásico Medio, Jm (lm-ar); las calizas y lutitas del Jurásico Superior, Js (cz-lu).

El Cretácico Inferior está representado por calizas, Ki(cz).

Del Cretácico Superior hay unidades de calizas, Ki, (cz); de calizas y lutitas alternadas, fKi (cz-lu); y de lutitas, Ki(lu).

La unidad base del paquete volcánico característico de la provincia está constituida por rocas andesíticas del Oligoceno, Ti (lgei). Esta unidad aflora ampliamente en la región y forma las grandes estructuras volcánicas del Pico de Orizaba, El Cofre de Perote y La Malinche. En ella, cartográficamente están incluidas varias unidades de composición andesítica, de diversa textura, como brechas volcánicas, tobas y derrames. Tales unidades sobreyacen discordantemente a rocas sedimentarias del Mesozoico y a la vez están cubiertas por tobas ácidas, ignimbritas y ceniza volcánica del Terciario Superior y Cuaternario.

Los derrames basálticos del Cuaternario, Q (lgeb), forman parte del volcanismo básico que dio origen a la configuración típica del Eje Neovolcánico. Tienen una extensión amplia y constituyen numerosos aparatos volcánicos y derrames lávicos. Esta unidad incluye rocas basálticas de variada textura, que contienen material piroclástico del tamaño de "Lapilli", gran cantidad de pómez y escoria; así como bloques y "bombas" de diferente tamaño, que se encuentran escasamente consolidados y localmente estratificados. Estos materiales son los principales constituyentes de los conos cineríticos. También durante el Cuaternario, en las últimas etapas del volcanismo, se generaron rocas de composición ácida y de textura variada, entre otras vitrofiros riolíticos, brechas volcánicas, arenas y cenizas volcánicas; provenientes de magmas silícicos que tuvieron un enfriamiento rápido, dando lugar a la formación de estructuras dómicas.

Este último tipo de rocas, ígneas extrusivas ácidas (lgea), son las que existen en la zona de estudio.

Por otra parte en esta región del Eje Neovolcánico se presentan rasgos de grandes estructuras de dislocación. Tal es el caso de la Falla de La Malinche, orientada Noreste-Suroeste. En algunas partes como en el valle de Puebla, la falla está cubierta por depósitos volcánicos del Terciario Superior y del Cuaternario. El volcán La Malinche se encuentra ubicado en la intersección de la falla del mismo nombre y el Graben Central de Puebla.

Los principales aparatos volcánicos que la entidad comparte con los estados vecinos son estrato-volcanes de dimensiones considerables, como el Pico de Orizaba, el Izicacihuatl, el Popocatepetl y la Malinche. Estas grandes estructuras fueron formadas por emisiones alternadas de productos piroclásticos y derrames lávicos; además, muestran evidencias de emisiones fisurales, y numerosos conos adventicios que se han desarrollado en sus laderas. Otras estructuras importantes son: los conos cineríticos dispersos por toda la provincia y el grupo de cráteres típicos que reciben el nombre de Xalapascos y Axalapascos.

6.4.1.3 Fisiografía.

El municipio de Ocotepec pertenece a la Subprovincia 13: Lagos y Volcanes de Anahuac (22), y presenta dos regiones morfológicas, de la cota 2,400 hacia el Oeste forma parte del declive austral de la Sierra Norte, y de la misma cota hacia el sureste a los llanos de San Juan.

Los llanos de San Juan son una planicie de origen lacustre que ocupa la parte Norte de la meseta poblana: está formada por una pequeña cuenca endorreica cuya parte más baja está ocupada por la Laguna Totolcingo; el declive austral de la Sierra Norte es el descenso, bastante Irregular, de la Sierra hacia los llanos de San Juan.

La principal característica fisiografica del municipio es un ascenso contínuo, más o menos regular, en dirección Sureste-Noroeste que se inicia suavemente constituyendo un relieve plano y volviéndose marcado conforme se avanza al occidente.

El ascenso va de 2,380 a más de 3,000 m.s.n.m., interrumpido en ocasiones por cerros aislados como el Mixquemi, Plan el Gamito, Miahuatpec, Campamento, San Pablo y El Tesoro.

Cabe destacar la existencia del cerro Xochitonal al extremo Sureste, que forma parte de una sierra que se prolonga en el municipio de Cuyoaco, (Fig. 1c).

Topográficamente la parcela experimental presenta un tipo de pendiente cóncava, por lo que constituye un sitio donador-receptor, mostrando Irregularidades que se manifiestan en pendientes que van de 12.27 a 26.7 % (Fig. 3 y 4).

Es importante mencionar la existencia de "canalillos" y cárcavas de aproximadamente 4 m de profundidad en áreas aledañas a la parcela de estudio como evidencias de la erosión que se produce en la región.

6.4.1.4 Edafología.

El tipo de suelo que existe en el área de estudio corresponde a Andosol mólico (26, 48).

Estos suelos se encuentran en zonas en las que ha habido una actividad volcánica reciente. Son suelos esponjosos o muy sueltos, pues tienen texturas de migajones arenosos o francas, y en ocasiones de migajones limosos o arcillosos; en ellos hay una gran cantidad de minerales coloidales, los alófanos, que junto con las cantidades muy altas de materia orgánica dan una gran capacidad de retención de humedad. Un problema que presentan estos suelos es la retención o fijación de fósforo, por lo cual este no puede ser asimilado por las plantas.

Los andosoles mólicos son de color grisáceo oscuro en la capa superficial y pardo o pardo amarillento en las capas mas profundas. Son ricos en materia orgánica, muy ácidos y con un alto contenido de nutrientes (26).

En México estos suelos se usan en agricultura con rendimientos bajos pues el hecho de que retienen mucho fósforo hace que no pueda ser tomado por las plantas. También se usan con pastos naturales o inducidos, principalmente pastos amacollados y con ganado ovino, el uso en el que menos se destruye como recurso natural es el forestal (13).

Por otra parte los andosoles mólicos constituyen suelos muy susceptibles a la erosión (13).

6.4.1.5 Hidrología.

El área de estudio pertenece a la Región Hidrológica 18 "Río Balsas", Cuenca A: "Río Atoyac". Esta región comprende la mayor parte de la entidad (20 328.17 Km²), abarca las zonas Centro, Oeste y Suroeste. Tiene como cuenca principal la del Río Atoyac, que es la corriente formadora mas importante del Balsas y está considerada como su origen.

El río Atoyac se forma a partir de los deshielos que descienden desde altitudes superiores a los 4000 m del flanco oriental del Volcán Iztaccihuatl, en los límites de los estados de México y Puebla. En su recorrido recibe varias aportaciones relevantes por una y otra margen como son las de los ríos Nexapa, Mixteco, Acatlán, Zahuapan, Alsaseca y otros. En la Cd. de San Martín Texmelucan, Pue., las aguas de dichas corrientes y sus afluentes se aprovechan en las actividades agrícolas, domésticas e industriales.

Esta porción se caracteriza por lo accidentado de su topografía y el grado de pendiente de los cauces de sus corrientes, mismas que, sin control pueden ocasionar perdidas en la agricultura.

El rango de escurrimiento de esta Cuenca es menor de 10 m y el gasto medio de sus corrientes de 9.152 m³/seg. Dentro de esta cuenca se encuentran importantes obras hidráulicas, entre las que destacan las presas: Atexaco, con capacidad de 150 millones de m³, y cuya agua se utiliza para la generación de energía eléctrica; Boqueroncitos que tiene una capacidad de 5 millones de m³ y de la cual el agua se emplea para irrigar algunas de las zonas agrícolas. La Soledad con 62 millones de m³, empleada en la generación de energía eléctrica; y Manuel Avila Camacho (Valsequillo), con 405 millones de m³ de capacidad. Las aguas de esta última presa se utilizan en el distrito de riego No. 30 "Valsequillo", a través de canales (26).

Por otra parte y específicamente en las cercanías al área de estudio no se cuenta con corrientes superficiales bien definidas, tan sólo arroyos intermitentes que se originan en las zonas montañosas y se concentran para bajar al valle, donde son canalizadas.

6.4.1.6 Uso Actual del Suelo.

A pesar de que los suelos del tipo Andosol Mólico se consideran poco fértiles y no obstante que el área de estudio muestra un relieve accidentado e irregular con pendientes de hasta el 35 %, en esta zona existe una gran cantidad de áreas destinadas a la agricultura de temporal, en donde se cultiva principalmente maíz, haba y frijol con muy bajos rendimientos. Este tipo de agricultura se extiende a través de grandes extensiones en las partes bajas en donde el relieve es de tipo regular.

Por otra parte en menor grado se da el uso pecuario para ganado ovino, caprino y bovino.

6.4.1.7 Flora.

La vegetación del área de estudio esta representada por bosque constituido por pino, oyamel, escobilla, jarilla, senecio, palmilla y soyate. Entre las especies de pino se encuentran *Pinus ayacahuite*, *Pinus ayacahuite veitchii*, *Pinus cembroides*, *Pinus leiophylla*, *Pinus michoacana cornuta*, *Pinus montezumae*, *Pinus montezumae lindeleyi*, *Pinus oocarpa*, *Pinus patula*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus pseudostrobus apulcensis*, *Pinus pseudostrobus oaxacana*, *Pinus rudis*, *Pinus strobus chapensis* y *Pinus teocote*. Gran parte de estas especies son escasas ya que su explotación ha sido muy alta debido a que su madera es de utilidad para la industria. Por otra lado, algunas zonas han sido taladas para dedicar los terrenos a la actividad agrícola de temporal, por lo que cuando se deja de cultivar se producen problemas de erosión en suelos.

Otro tipo de vegetación que existe en el área de estudio es el Matorral desértico rosetófilo de palmilla y soyate asociado a vegetación secundaria arbustiva.

6.4.2 MARCO SOCIAL (57).

6.4.2.1 Población.

La población total del municipio se estimó en 4699 habitantes en el Censo de 1990, cifra que representa el 0.13 % de la población total con relación al estado y el 0.007 % del país.

La población indígena es de 7.94 % del total municipal. En cuanto a su distribución el 100 % se distribuye en áreas rurales.

La densidad de población del municipio es de 68.21 habitantes por Km².

6.4.2.2 Educación.

El municipio cuenta con infraestructura educativa en los niveles: preescolar, primaria, secundaria y telesecundaria; además existe preescolar bilingüe para la población náhuatl. El analfabetismo se ha abatido considerablemente a través del programa del INEA.

6.4.2.3 Salud.

La atención a la salud en el municipio de Ocotepéc se proporciona a través de instituciones del sector oficial, que tiene una cobertura descentralizada de servicios como la Unidad Médico Rural del IMSS-COPLAMAR. Asimismo cuenta con servicio médico particular.

6.4.2.4 Vivienda.

Los habitantes del municipio se alojan en 622 viviendas (6.1 habitantes por vivienda); el 91.32 % son propias y el 8.68 % alquiladas.

Dispone de agua entubada el 2 % de los habitantes. Tiene drenaje el 2.25 % de las viviendas, energía eléctrica el 35.21 %.

6.4.2.5 Comunicaciones y Transportes.

La carretera Federal 129 Amozoc-Tezuitlán atraviesa el municipio de Sur a Este. Un ramal de esta carretera llega a la cabecera municipal. Una carretera secundaria entronca con la Federal al Sur del municipio y con dirección Este llega a Cuyoaco. El resto se encuentra comunicado por medio de caminos de terracería y brechas. Recibe la señal de cadenas de TV y de estaciones radiodifusoras nacionales y estatales.

6.4.2.6 Servicios Públicos.

La población municipal cuenta con los siguientes servicios públicos: el 11 % del total de sus localidades cuenta con agua potable, el 5 % dispone de drenaje y el 88 % del municipio tiene energía eléctrica, además cuenta con parques o jardines y seguridad pública.

6.4.3 MARCO ECONOMICO (57).

La población económicamente activa en el municipio de Ocoatepec en fue de 2931 habitantes, cifra que representa el 62.38 % del total de su población. Por lo que se refiere a su distribución por sectores, el primario es el que absorbe el mayor porcentaje, aproximadamente el 68.29 %; en el sector industrial el 5.26 % y el sector terciario participa con el 26.45 %.

6.4.4. ACTIVIDADES ECONOMICAS (57).

6.4.4.1. Agricultura.

El municipio produce diferentes granos entre los cuales están el maíz, frijol, trigo y avena; en la fruticultura encontramos manzana y pera; en cuanto a las hortalizas se tienen tomate, calabacitas y cilantro.

6.4.4.2. Ganadería.

En este municipio se tiene cría de ganado bovino de carne y leche, porcino, caprino, y ovino en la que se incluye el asnal, mular y conejos. Además se cría una gran variedad de aves.

6.4.4.3 Industria.

En el municipio sobresale la actividad industrial manufacturera de matanza de ganado y aves, panadería, moliendas y tortillerías.

6.4.4.4. Explotación Forestal.

En esta actividad encontramos pino y encino además de la explotación de bosques de maderas para la construcción.

VII. MATERIAL Y METODOS

7.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

7.1.1 Delimitación de la Parcela Experimental

Para obtener la parcela experimental, se buscó un terreno que presentara una razonable similaridad en cuanto a profundidad del suelo, pendiente e historia de uso, para hacer válido el supuesto de homogeneidad. El sitio seleccionado se ubicó en las faldas del Cerro del Tesoro entre las coordenadas siguientes: Latitud: 19° 34'50" y Longitud: 97°39'48".

La parcela experimental se trazó en sentido de la pendiente con las siguientes dimensiones: 40.95 m de largo por 31.5 m de ancho y un área total de 1289.92 m².

Posteriormente la parcela se dividió en nueve subparcelas, cada una de ellas con 13.65 m de largo por 10.5 m de ancho y un área de 143.325 m² (Fig. 2).

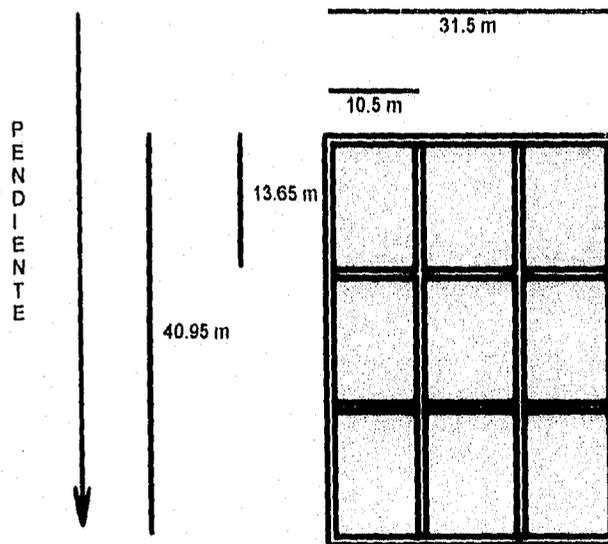


FIGURA 2. DIMENSIONES DE LA PARCELA Y SUBPARCELAS EXPERIMENTALES.

7.1.2 Levantamiento Topográfico.

Una vez que se llevó a cabo la delimitación de la parcela se realizó un levantamiento topográfico de la misma, para localizar los accidentes topográficos naturales y artificiales y en base a ello realizar el trazo de las terrazas; para ello se utilizó el Método del Cuadrulado (49), estableciendo dicha cuadrícula con estacas cada 5 metros; estos puntos fueron las referencias que sirvieron para elaborar el plano topográfico que se muestra en la Fig. 3 y su configuración tridimensional presentada en la Fig. 4.

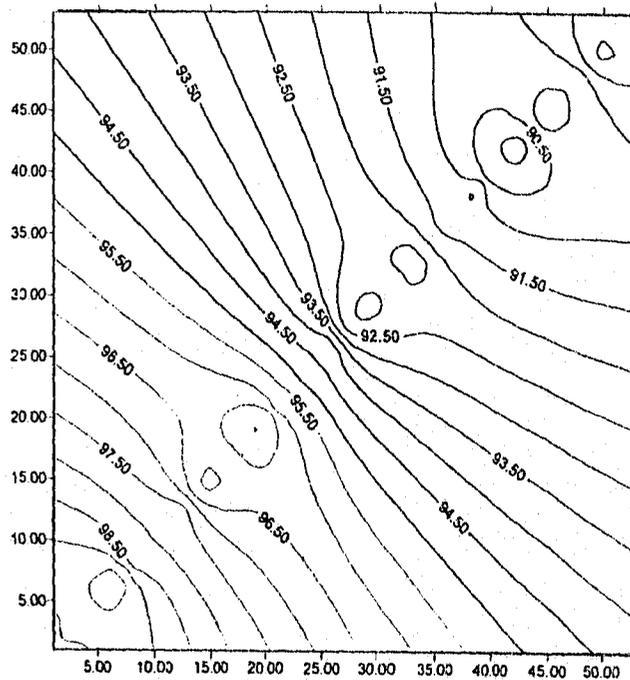


FIG. 3. PLANO TOPOGRAFICO QUE REPRESENTA LAS CURVAS DE NIVEL DE LA PARCELA EXPERIMENTAL.

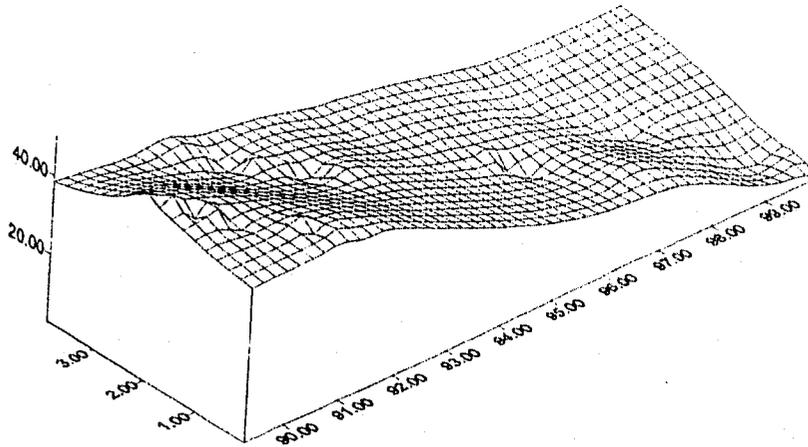


FIG. 4. REPRESENTACION TRIDIMENSIONAL DE LA PARCELA EXPERIMENTAL.

7.1.3 Muestreo de Suelo.

Previo a la realización del experimento y con el fin de caracterizar física y químicamente el suelo y de determinar el factor de erodabilidad (K) de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo se tomaron con base al área del parcela experimental seis muestras de suelo provenientes de diferentes puntos (Fig. 5) aplicando un muestreo en zig-zag, (1).

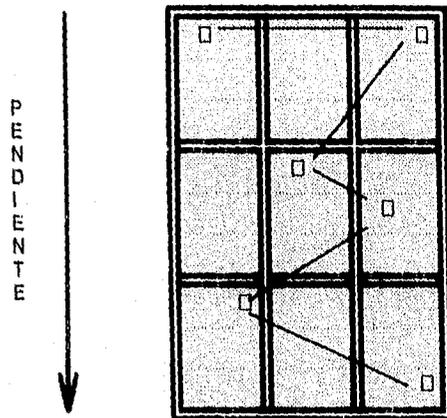


FIG 6. UBICACION DE PUNTOS DE MUESTREO EN LA PARCELA EXPERIMENTAL.

Las muestras se tomaron a una profundidad de 0-30 cm y con ellas se formó una muestra compuesta.

7.1.4 Diseño Experimental.

Para la distribución de los tratamientos en campo se seleccionó el diseño Completamente al Azar (44) debido a que se hace el supuesto de que las variables ajenas a la de estudio se mantienen razonablemente constantes en toda el área experimental.

El diseño contempla tres tratamientos con tres repeticiones

7.1.4.1 Tratamientos.

La selección de tratamientos se hizo en base a la necesidad de obtener información del sistema de terrazas de banco y del establecimiento del nopal como una de las prácticas de conservación de suelos más generalizadas en el país.

Los tratamientos sometidos a estudio fueron los siguientes:

Tratamiento A: Testigo.

Tratamiento B: Construcción de Terrazas de Banco de Formación Paulatina asociado con el cultivo de nopal de verdura.

Tratamiento C: Construcción de Terrazas de Banco de Formación Paulatina.

En la Figura 6 se muestra la distribución de dichos tratamientos.

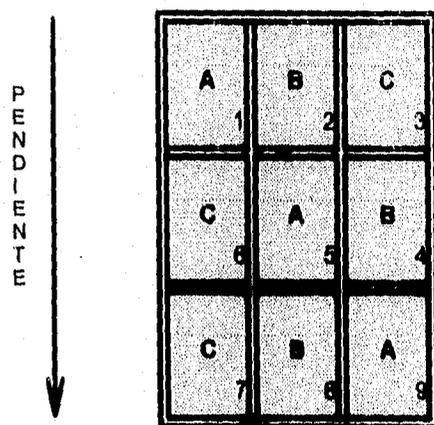


FIG 6. DISTRIBUCION DE TRATAMIENTOS DENTRO DE LA PARCELA EXPERIMENTAL.

En las subparcelas correspondientes al Testigo (A) se mantuvo el terreno en condiciones naturales.

En cada una de las subparcelas de los Tratamientos B y C se construyeron seis terrazas (Fig. 7), Teniendo las dimensiones siguientes: Intervalo Horizontal IH: 2.33 m, Intervalo Vertical IV: 0.35 m y 10.5 m de largo, (Fig. 8).

En las parcelas terracedas correspondientes al Tratamiento B se utilizaron pencas de nopal como método de estabilización de los bordos.

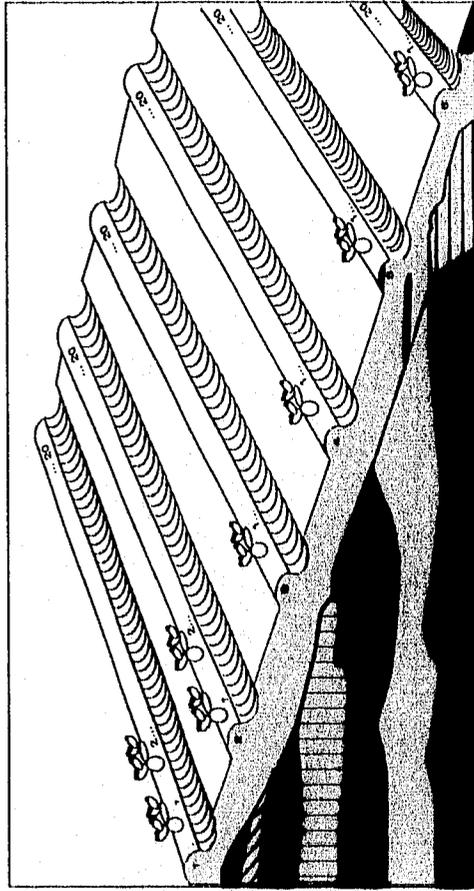


FIG 7. DISEÑO DEL SISTEMA DE TERRAZAS POR SUBPARCELA (TRATAMIENTO B).

7.2 TRABAJO DE CAMPO.

7.2.1 Construcción de Terrazas de Banco de Formación Paulatina.

Para la construcción de las terrazas se consideraron los lineamientos generales sugeridos por Torres (1981), Trueba (1979) y el Manual de Conservación del Suelo y del Agua (1977).

Para estimar el Intervalo Vertical (IV) que representa el desnivel que debe haber entre puntos correspondientes de terrazas consecutivas se utilizó la siguiente fórmula para suelos someros:

$$IV = PR$$

Donde:

PR= Profundidad del suelo (m)

El Intervalo Horizontal (IH) que es la distancia horizontal que hay entre puntos correspondientes de terrazas consecutivas se estimó con la fórmula siguiente:

$$IH = \left(\frac{PR}{S} \right) 100$$

Donde:

PR: Profundidad del suelo (m)

S: Pendiente (%)

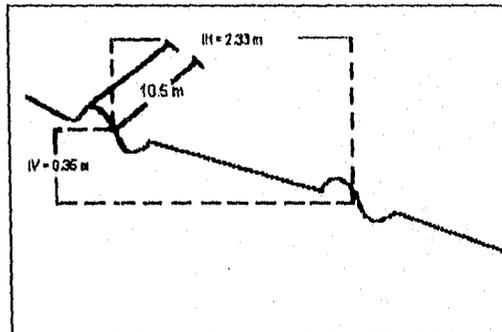


FIG. 8. DIMENSIONES DEL SISTEMA DE TERRAZAS DE BANCO DE FORMACION PAULATINA.

El criterio que se siguió para la ubicación del sistema de terrazas fue en base al macrorrelieve (levantamiento topográfico), procurando que el terreno fuese lo más homogéneo posible en cuanto a topografía, pendiente y profundidad.

El trazo directo de terrazas en el campo se llevó a cabo de la siguiente manera:

En la parte más alta del terreno se trazo la terraza guía, estableciendo para ello una línea de estacas en la parte central de lo que sería la terraza, es decir donde comienza el bordo de la misma, como se aprecia en la Figura 9.

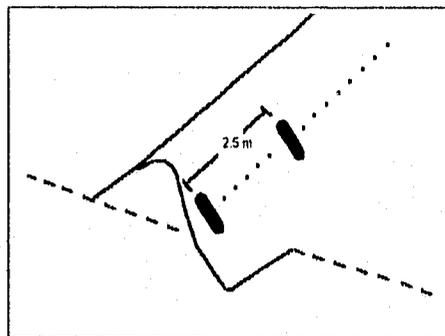


FIG 9. TRAZO Y ESTACADO EN LA PARTE MEDIA DE LO QUE SERIA LA TERRAZA.

A continuación y con la ayuda de palas y picos se abrió una zanja a todo lo largo de la línea guía y la tierra retirada se fue depositando en la parte alta del terreno ($I_V = 0.35$ m).

Siguiendo el mismo procedimiento y una vez localizada la terraza guía, se marcaron las terrazas paralelas con un distanciamiento de 2.33 m ($I_H = 2.33$ m).

7.2.2 Plantación de Nopal.

El material vegetativo utilizado en las terrazas de las subparcelas del tratamiento B, fue obtenido como una donación por parte de la Promotora del Maguey y del Nopal perteneciente a la Comisión Nacional de Zonas Áridas.

Las pencas de nopal que se utilizaron pertenecen a la especie *Opuntia ficus indica* (Nopal de Verdura) y fueron plantas enraizadas de nueve meses de edad con un diámetro de 20 a 25 cm y 40 cm de longitud.

La plantación de los cladodios se realizó sobre el bordo de la terraza dejando 50 cm entre uno y otro, de tal forma que en cada terraza se plantaron 20 cladodios (Fig. 7). La plantación se llevó a cabo enterrando la tercera parte inferior del cladodio de forma tal que quedará con una orientación de Norte a Sur.

7.3 TRABAJO DE LABORATORIO.

A continuación se mencionan los parámetros determinados a la muestra compuesta colectada en la parcela experimental:

7.3.1 Parámetros Físicos

PARAMETRO	METODO
Color	Tablas Munsell (Munsell, 1975).
% de Humedad	Gravimétrico (Grande, 1974)
% de Agua a Capacidad de Campo	Pasta de saturación (Grande, 1974)
% de Espacio Poroso	A partir de D.A. y D.R.
Densidad Aparente	De la Probeta (Chapman, 1976)
Densidad Real	Del Picnómetro (Chapman, 1976)
Textura	De Bouyoucus (Gavande, 1979)
% de Arenas finas	Utilizando tamices (Gavande, 1979)
Permeabilidad	Método del Cilindro (SARTH, 1993)
Estructura	Cempo, Palmer, 1980

TABLA 6. Métodos utilizados para determinar los parámetros físicos de la muestra compuesta colectada en la parcela experimental.

7.3.2 Parámetros Químicos

PÁRAMETRO	METODO
pH 1:1 y 1:2.5	Potenciométrico utilizando como solución CaCl_2 0.01 M (Aguilar, et. al. 1987).
Materia Orgánica	Walkley-Black (Jackson, 1982)
Conductividad Eléctrica	Conductímetro (Jackson, 1982)
C.I.C.T.	Acelalo de Amonio (Jackson, 1982)
Ca y Mg	EDTA (Jackson, 1982)
Nitrógeno Total	Kjeldahl (Jackson, 1982)
Potasio	Flamométrico (Aguilar, et al., 1987)
Fósforo	Bray I (Aguilar, et al., 1987)
Sodio	Flamométrico (Aguilar, et al., 1987)

TABLA 7. Métodos utilizados para determinar los parámetros químicos de la muestra compuesta colectada en la parcela experimental.

7.4 CUANTIFICACION DE LA PERDIDA DE SUELO.

La determinación de la pérdida de suelo se llevó a cabo por dos métodos, el Método de Estacas (7) en el cual se realizaron mediciones por un periodo de 6 meses correspondientes a la época de lluvias, y mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (15, 25, 28, 29, 43); en el primero, la cuantificación de suelo perdido se realiza en campo, por lo que constituye una forma de cuantificación directa, y la segunda representa una cuantificación indirecta, ya que para ello, previamente es necesario la evaluación de los diferentes factores que forman la ecuación, para lo cual se hace necesario el uso de información pluviométrica, de algunas características físicas químicas del suelo y de información sobre manejo del mismo.

7.4.1 Método de Estacas.

Para determinar la pérdida de suelo mediante este método se utilizaron estacas de madera de 30 cm de largo graduadas en mm, éstas se enumeraron y se marcaron con una línea en la parte inferior, posteriormente se enterraron a 10 cm de profundidad, de tal forma que la línea marcada quedo al nivel del suelo.

La distribución de estacas se llevó a cabo en forma de zig-zag, en las subparcelas testigo se colocaron cuatro estacas con una distancia de 5.83 metros entre una y otra (Fig 10 a); en las subparcelas correspondientes a los tratamientos B y C se colocaron 10 estacas con un distanciamiento de 6.72 metros aproximadamente.

La disposición de las estacas dentro de las subparcelas terrazadas se llevó a cabo de la siguiente manera:

Se colocó una estaca entre bordo y bordo y otra en la base del bordo para cuantificar la pérdida y acumulación de suelo removido y con ello evaluar la funcionalidad del Sistema de Terrazas de Banco de Formación Paulatina; en la parte central del bordo se colocó otra estaca a fin de evaluar la Funcionalidad del Nopal en la consolidación de las partículas finas del suelo y consecuentemente en la firmeza del bordo. Esta disposición de estacas se llevo a cabo para tres terrazas de cada subparcela (Fig 10 b).

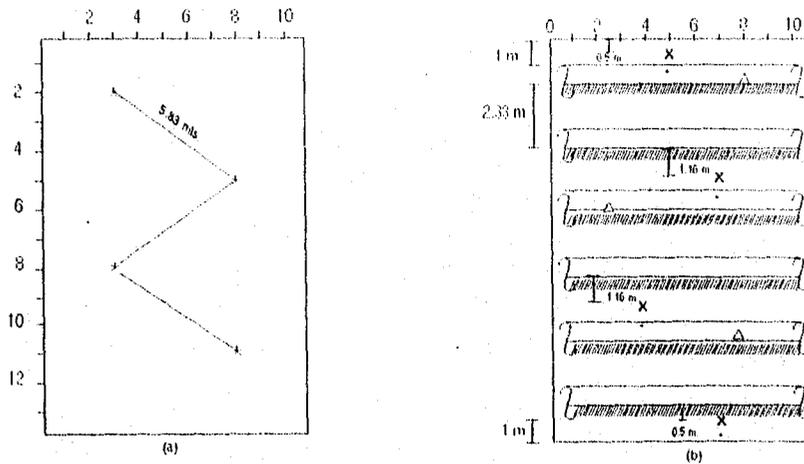


FIG. 10. DISTRIBUCION DE ESTACAS PARA CUANTIFICAR LA PERDIDA DE SUELO EN SUBPARCELAS TESTIGO (a) Y SUBPARCELAS DE LOS TRATAMIENTOS B y C

Durante un período de seis meses se realizaron lecturas de estacas a intervalos de un mes tomando como referencia la línea marcada en las estacas, de tal manera que el suelo que se encontró por encima de dicha línea se consideró como acumulación o retención mientras que en las partes en donde se encontró una distancia del límite inferior de la marca hasta el nivel del suelo se consideró como pérdida.

Las lecturas se realizaron con una regla y se registraron en cm.

7.4.1.1 Cálculo del Peso de Suelo Perdido.

Para calcular el peso de suelo perdido por subparcela se utilizó la siguiente fórmula:

$$P = (h)(A)(D.A.)$$

Donde:

P= peso del suelo perdido (t)
h= altura de la capa de suelo removido (m)
A= área del terreno (m²)
D.A.= densidad aparente (t/m³)

7.4.2 Ecuación Universal de Pérdida de Suelos.

A continuación se realiza una descripción de la metodología utilizada para el cálculo de cada uno de los factores que componen la ecuación.

7.4.2.1 Obtención del Factor de Erosividad (R) (15, 43).

El factor R se calculó a través del Índice de Fournier modificado por la FAO mediante la siguiente ecuación:

$$F = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{p_i^2}{P} \right)$$

Donde:

F= Índice climático de Fournier modificado por la FAO
p_i= Cantidad de lluvia media mensual
P= Cantidad de lluvia media anual

Para utilizar la ecuación anterior se utilizaron datos pluviométricos medios mensuales y la precipitación media anual de la Estación Meteorológica de Libres, Puebla, la cual se ubica a escasos 4 km del área experimental.

Se calculó un índice de Fournier utilizando datos del año en el que se realizó el estudio y otro utilizando datos de 10 años previos al periodo de estudio. Este último para realizar cálculos de erosión potencial.

En el Anexo 1 se presenta una tabulación de los datos pluviométricos utilizados.

7.4.2.2 Obtención del Factor de Erodabilidad (K) (28).

El valor del Factor K se obtuvo a partir del Nomograma de Wischmeier, utilizando para ello los siguientes cinco parámetros del suelo previamente determinados en campo y en laboratorio:

- a) Porcentaje de limos mas arena muy fina.
- b) Porcentaje de arena.
- c) Contenido de materia orgánica.
- d) Estructura.
- e) Permeabilidad.

En el Anexo 2 se localiza la figura 11 en donde se muestra el Nomograma de Wischmeier y el procedimiento seguido para determinar el valor de K.

7.4.2.3 Obtención del Factor Longitud-Pendiente (LS) (28).

El factor LS se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$LS = \left(\frac{x}{22.13}\right)^m (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Donde:

- x= Longitud de la pendiente en metros
- s= Gradiente de pendiente en porcentaje
- m= 0.5, si la pendiente > 5 %

En las subparcelas terraceadas el valor del Factor LS corresponde al espaciamiento entre terrazas.

En el Anexo 3 se muestra el procedimiento para el cálculo de este factor.

7.4.2.4 Obtención del Factor Manejo de Cultivos (C) (28).

El valor del Factor Manejo de Cultivos se obtuvo de la Tabla de valores de C de Wischmeier que han sido determinados para tierras ociosas, de potrero y pastoreo, (Anexo 3).

Para hacer uso de esta tabla se tomó como base la siguiente información:

- Dosel vegetal: hierbas altas o matorral bajo 0.5 m de altura efectiva.
- Capa de materia orgánica: 0 %
- Porcentaje de cubierta vegetal: 40 % para el tratamiento B y 25 % para el tratamiento C.
 - El 40 % de cubierta aumenta para el tratamiento B ya que se consideran las plantas de nopal introducidas en los bordos de la terraza.

7.4.2.5 Obtención del Factor Prácticas Mecánicas (P).

El valor de este factor se obtuvo de la Tabla de Valores del Factor de Prácticas de Conservación P propuesto por Hudson y de la tabla de valores del Factor P para terrazas en diferentes pendientes y para diferentes usos propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de la USDA (SARH, 1987) (Anexo 4).

En el primer caso los valores de P se adoptan para el Cultivo al Contorno, sin embargo tanto Hudson (25) como Koolhaas (29) recomiendan el uso de estos valores para el caso de terrazas, pues finalmente estas se cultivan al contorno.

Para el caso de los valores propuestos por la USDA, se eligen los valores de P recomendados para la planeación del control de la erosión (columna 4).

7.5 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.

La información obtenida mediante el método de estacas fue analizada estadísticamente por medio del procedimiento de Análisis de Varianza a niveles del 1 y 5 % de significancia y mediante la Prueba del Rango Múltiple de Duncan para probar diferencias entre los pares de medias de los tratamientos.

La selección de esta prueba se hizo en base a que permite cometer menor error del tipo II (Aceptar H_0 cuando es falsa) en relación a otras pruebas. Al respecto, Marques (1988) señala que algunos escritores se han dado a la tarea de estudiar cual de las pruebas entre pares de medias es mejor, tomando como criterio los valores de los errores de tipo I (rechazar H_0 cuando es verdadera) y tipo II, por lo que en estos estudios las pruebas que resultaron mejores fueron las que tienen mayor poder con menor control del

tipo I, tomando este criterio las que resultaron mejores son: la prueba del rango múltiple de Duncan y la DSM de Fisher, seguidas por la SNK (Student-Newman-Kwels), la DSH de Tukey y la S de Scheffé.

Para el caso de la información obtenida a través de la EUPS se determinaron los coeficientes de correlación y determinación entre la variable Erosión (E) y las variables Factor Longitud-Pendiente (LS), Factor Manejo de Cultivos (C) y Factor Prácticas Mecánicas (P).

VIII. RESULTADOS Y DISCUSION.

8.1 Suelos.

Los suelos del área de estudio son muy someros que apenas alcanzan los 40 a 45 cm de profundidad, lo cual representa un fiel reflejo de la pérdida de material edáfico de los horizontes superficiales que han sido eliminados por efecto de la erosión generada en dicha zona. Al respecto, en la región de estudio en puntos muy localizados existen afloramientos de material parental constituido por rocas ígneas como vitrófiros riolíticos, brechas volcánicas, arenas y cenizas volcánicas provenientes de magmas silícicos.

Por intemperismo estas rocas producen arcillas que favorecen la acumulación de agua y con ello el escurrimiento y transporte de partículas, generándose de esta forma la erosión laminar que presenta la zona de estudio.

En la tabla 8 se presentan los valores de los parámetros físicos y químicos realizados al suelo, en donde se observa que éste presenta un pH que va de moderadamente ácido a ligeramente alcalino, en cuanto al contenido de nutrimentos primarios como el N, P y K se le clasifica, respectivamente, como mediano, pobre y extremadamente rico. En cuanto al contenido de cationes básicos como el Ca, Mg, y K, se clasifican respectivamente, como extremadamente rico, medianamente rico y extremadamente rico, (Moreno, 1970). El alto contenido de Ca^{+2} indica que no existen problemas de Al^{+3} como en los suelos ácidos, ni de Na^+ como en los suelos sódicos (Ortega, 1981), por lo que el valor de pH encontrado fluctúa entre límites cercanos a la neutralidad. Se puede decir que no existen problemas de salinidad por tener una conductividad eléctrica baja.

El % de materia orgánica, cae en el intervalo que lo clasifica como medianamente pobre, esto puede explicarse debido a que los horizontes superficiales en los cuales generalmente tiende a acumularse la materia orgánica fueron eliminados a consecuencia de la erosión, factor que modifica la condición del suelo denominado por INEGI (1987) como Andosol. Este pobre contenido de materia orgánica y las arenas como partículas predominantes en el suelo determinan la baja capacidad de intercambio catiónico que presenta la parcela experimental (3.6 cmol/kg).

En cuanto a densidad aparente, cuando la aereación y el drenaje son lentos su valor oscila entre 1.5 y 1.6 g/cc (Ortiz y Ortiz, 1987), lo cual implica que existe cierto grado de compactación en el suelo y una tendencia del mismo a sufrir encharcamientos, lo cual generará escurrimiento superficial con el consecuente transporte de partículas. En base a esto, el valor de la densidad aparente de 0.8953 g/cc y el porcentaje de espacio poroso del 57.5 obtenidos nos sugieren un drenaje aceptable.

Por otra parte la textura que presenta el suelo corresponde a arcillo-arenosa, donde predominan las arenas con un 44.7 %. Estas partículas presentan mayor susceptibilidad a ser desprendidas de la masa de suelo debido a su menor superficie de contacto y su mayor tamaño, comparada con la de los limos y arcillas; al mismo tiempo su tamaño de partícula permite la infiltración de agua y por consiguiente disminuyen la tasa de escurrimiento y el transporte de partículas del suelo. A este respecto, el suelo del área experimental presenta una permeabilidad moderada.

PARÁMETRO	RESULTADO	OBSERVACIONES
Color en húmedo	10YR2/2	Café muy oscuro
Color en seco	10YR5/2	Café parduzco
Densidad aparente g/cc	0.8953	Baja (Ortiz y Ortiz, 1987)
Densidad real g/cc	2.38	Normal (Ortiz y Ortiz, 1987)
Agua a capacidad de campo %	45.84	Buena
Espacio poroso %	57.52	Normal (Ortiz y Ortiz, 1987)
Textura %	Arena 44.72 Limo 19.28 Arcilla 36.00	Arcillo-arenoso (Moderadamente fino, Torres, 15)
Conductividad eléctrica (dsm ⁻¹)	0.660	No salino (Velasco, 1983)
Materia orgánica %	1.52	Medianamente pobre (Moreno, 1970)
pH 1:1	6.0	Moderadamente ácido
1:2.5	7.4	Ligeramente alcalino (Velasco, 1983)
C.I.C.T. (cmol kg ⁻¹)	3.6	Baja (Miramontes, 1978)
N %	0.102	Mediano (Moreno, 1970)
P (ppm)	0.8186	Pobre (Moreno, 1970)
K (ppm)	213.88	Extremadamente rico (Velasco, 1983 y Moreno, 1970)
Ca (cmol kg ⁻¹)	8.38	Extremadamente rico (Moreno 1970)
Mg (cmol kg ⁻¹)	0.873	Medianamente rico (Moreno 1970)
Na (ppm)	27.60	
Permeabilidad (cm/hr)	5.6	Moderada (SARH, 1993)
Estructura	Granular mediano o burdo	Palmer, 1980

TABLA 6. Resultados del Análisis físico y químico realizado a la muestra compuesta de la parcela experimental.

8.2 CUANTIFICACION DE LA EROSION POR EL METODO DE ESTACAS.

8.2.1. Pérdida o acumulación de suelo mensual de acuerdo a posición de estacas.

La finalidad de ubicar estacas en diferentes puntos con respecto al bordo construido es detectar el comportamiento de la remoción de suelo al introducir una barrera contenedora que con el paso del tiempo contribuye a disminuir la pendiente que presenta el terreno, de tal forma que se ubicaron estacas en terreno sin construcción de bordos (Tratamiento A: testigo) y donde se contruyeron bordos (Tratamientos B y C) para evaluar pérdida y acumulación de suelo; en el centro del bordo también se colocaron estacas con el objeto de evaluar el efecto de la plantación de nopal en la consistencia y firmeza del bordo.

En el Apéndice 1 se presenta el registro de lecturas de pérdida y acumulación de suelo efectuadas en cada una de las estacas colocadas en la parcela experimental y en el Apéndice 2 se presentan los valores resumidos de dichas lecturas para cada tratamiento en forma mensual.

En la tabla 9 se presentan valores de pérdida (-) y acumulación (+) de suelo de acuerdo a la posición de estacas en cada tratamiento.

TRAT.	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.
A	0.4170 (+)	0.3740 (+)	0.6550 (-)	0.9510 (-)	0.0320 (-)	0.1810 (-)
*	0.0423 (+)	0.1139 (-)	0.2566 (-)	.4276 (-)	0.2566 (+)	0.0997 (-)
B	** 0.9979 (+)	1.0977 (+)	0.8838 (+)	0.4704 (+)	0.5987 (+)	0.8126 (+)
***	0.4276 (-)	0.1924 (-)	0.3207 (-)	0.2352 (-)	0.3849 (+)	0.1496 (-)
Σ	0.9933 (+)	0.7914 (+)	0.3065 (+)	0.1924 (-)	1.2402 (+)	0.5633 (+)
*	0.3563 (-)	0.5702 (-)	0.7984 (-)	0.5844 (-)	0.0142 (-)	0.2708 (-)
C	** 1.2074 (+)	0.5844 (+)	0.1139 (+)	0.3849 (+)	0.6700 (+)	0.4846 (+)
***	0.0569 (-)	0.1568 (-)	0.4969 (-)	0.1995 (-)	0.0854 (-)	0.1652 (-)
Σ	0.8841 (+)	0.1425 (-)	1.1634 (-)	0.3990 (-)	0.5703 (+)	0.0284 (+)

TABLA 9. Pérdida (-) o acumulación (+) de suelo mensual en Tor/Subp. por tratamiento y posición de estacas para cada tratamiento.

	Pérdida o acumulación de suelo en terreno sin bordos.
*	Pérdida o acumulación de suelo entre bordo y bordo.
**	Pérdida o acumulación de suelo en la base de bordo.
***	Pérdida o acumulación de suelo en el centro del bordo.

Del análisis de la información contenida en dicha tabla se infiere que en el terreno que comprende el tratamiento Testigo (A), la pérdida de suelo se manifestó hasta el tercer mes de iniciado el experimento, es decir de julio a octubre (periodo de lluvia), la pérdida de material edáfico en este periodo varió dentro del intervalo de 0.032 a 0.951 t/subp; por otra parte durante los dos primeros meses del experimento, mayo y junio, se registró acumulación de suelo, debido, probablemente a la contribución que se efectuó durante la

remoción de suelo que experimentaron las zonas que se encuentran aguas arriba del área experimental, pues como se observa en la figura 6, es la subparcela 1 correspondiente al Testigo la primera en recibir el aporte de suelo proveniente de las partes más altas de la ladera.

En cuanto a la remoción de suelo que se registró en el terreno comprendido entre bordo y bordo (*) se observó un comportamiento similar al del testigo pues para ambos tratamientos B y C hubo pérdida de suelo como resultado principalmente del efecto que ejerce la pendiente que presenta el terreno, la cual es de tipo cóncava y tiene un gradiente del 12.2 al 26.7 %, además de que el suelo permaneció desprovisto de cubierta vegetal que le proporcionará protección contra la agresividad de factores ambientales como el agua y el viento.

Es importante mencionar que la pérdida de suelo que se presentó entre bordo y bordo en los tratamientos B y C es menor a la que se originó en el Testigo "A" en donde no se construyeron bordos, lo cual pone de manifiesto el efecto de retención de suelo que está produciendo el bordo al disminuir la pérdida de suelo con respecto al tratamiento Testigo. Este comportamiento se ilustra en la Fig. 12, en donde a cada uno de los tratamientos le corresponde una línea que representa pérdida de suelo para los puntos localizados por debajo del valor cero y acumulación del mismo, para los puntos ubicados por arriba de dicho valor.

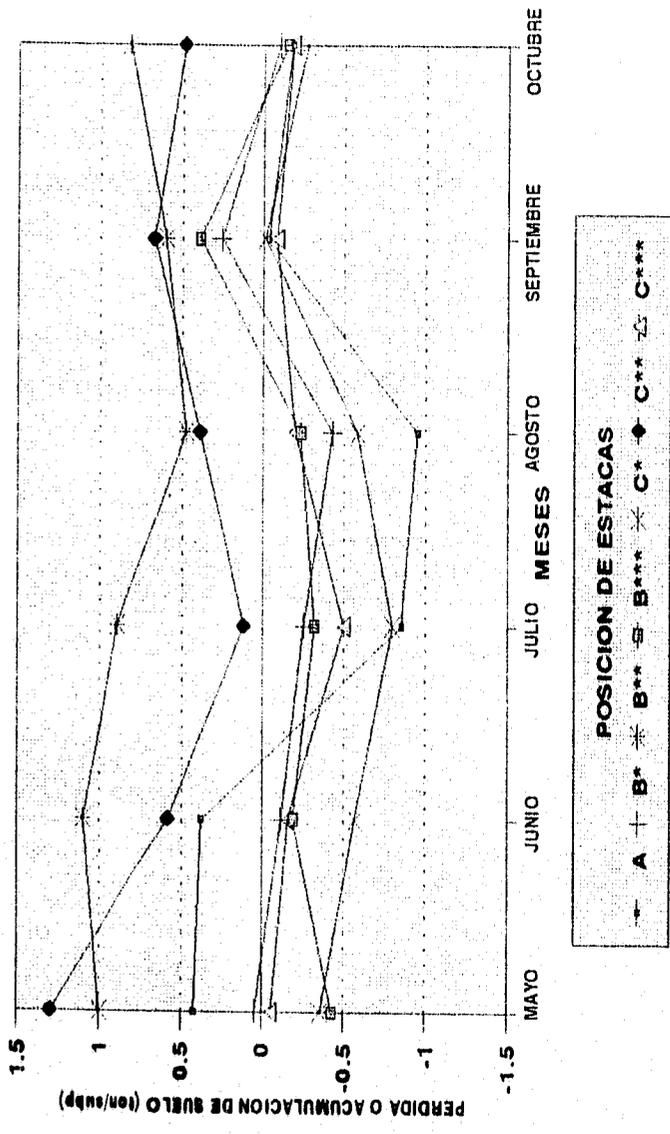


FIG. 12. PERDIDA O ACUMULACION DE SUELO MENSUAL DE ACUERDO A LA POSICION DE ESTACAS EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.

En esta figura se observa que la línea correspondiente al tratamiento "A" permanece a partir del mes de julio por debajo de las líneas que representan acumulación o pérdida de suelo entre bordo y bordo (*) de los tratamientos B y C, lo cual significa que el tratamiento "A" experimenta mayor pérdida de suelo.

Con respecto a las mediciones hechas en la base del bordo solo se obtuvieron valores que representan acumulación de suelo durante todo el periodo de estudio, lo cual da mayor soporte a lo discutido anteriormente, pues es precisamente la base del bordo lo que llegó a constituir una barrera firme para el control de la pérdida de suelo.

La cantidad de suelo retenido en la base del bordo (*) para el tratamiento B varió de 0.4704 a 1.0977 t/subp, siendo los meses de agosto y junio en donde se acumuló menor y mayor cantidad de suelo respectivamente; mientras que para el tratamiento C la menor cantidad de suelo acumulado ocurrió durante el mes de julio con 0.1139 ton/subp y la mayor cantidad correspondió a mayo con 1.2974 ton/subp. De tal información se deduce que los meses en los que ocurrió menor acumulación de suelo fueron julio y agosto y en los que se presentó la mayor acumulación fueron mayo y junio. Cabe hacer notar que las precipitaciones que se presentaron durante los dos primeros meses del experimento corresponden a las precipitaciones más bajas ocurridas durante el periodo de estudio (44 mm y 32 mm respectivamente), las precipitaciones más altas se presentaron en los meses de septiembre y octubre con 76.2 mm y 104.9 mm respectivamente.

Nuevamente en la figura 12 se observa que son las líneas que corresponden a la base del bordo de los tratamientos B y C las que se encuentran por encima de las demás líneas, indicando de esta forma que fueron los tratamientos que sobresalieron en cuanto a acumulación y por tanto retención de suelo durante todo el periodo de estudio.

Caso contrario al anterior fue el que se registró en el centro del bordo (***) en donde los datos obtenidos corresponden a pérdida de suelo. Así, para los tratamientos B y C se obtuvieron registros de pérdida de suelo que van de 0.1496 a 0.4276 t/subp y de 0.0569 a 0.4989 t/subp respectivamente. Esta pérdida de suelo que se presentó en ambos tratamientos (a excepción del mes de septiembre para el tratamiento B***) indica que la cresta del bordo careció de firmeza suficiente para evitar el deslizamiento de suelo proveniente de la parte alta de éste, asimismo los resultados obtenidos nos sugieren que para el caso del tratamiento "B", el sistema radicular del nopal no alcanzó a tener el suficiente desarrollo vertical ni horizontal para evitar la pérdida de suelo, sin embargo sí contribuyó a disminuir dicha pérdida, pues como se observa en los resultados de la tabla 10, el tratamiento B perdió menor cantidad de suelo (0.9406 t/subp) en relación al tratamiento C (1.1827 t/subp), manifestándose de esta forma la influencia que tuvo la plantación de nopal en el centro de los bordos de dicho tratamiento, pues el desarrollo de la raíz de este tipo de planta es excelente para la consolidación de los suelos ya que su desarrollo es extenso y debido a su cercanía con otras pencas de nopal se entrelazan para formar una gran red que logra detener, fijar y consolidar las partículas de suelo evitando que éste sea arrastrado por la escorrentía, lo que permite que el agua no produzca desprendimiento de partículas, a este respecto es importante señalar que las pencas de nopal durante su crecimiento no proporcionan una gran protección al suelo contra el impacto de las gotas de lluvia debido a que no forman una gran cubierta,

pero si lo protegen contra la escorrentía y en el presente caso dando mayor solidez al bordo.

En el Apéndice 3 se presenta la tabla de valores utilizados para llevar a cabo diferentes análisis de varianza; estos valores se obtuvieron sumando cinco unidades a los valores originales contenidos en el Apéndice I. Tal modificación se llevó a cabo con el fin de eliminar valores negativos.

En el Apéndice 4 se muestra el análisis de varianza (12) y la prueba del rango múltiple de Duncan (30) desarrollados para probar la existencia de diferencias significativas de pérdida y acumulación de suelo en los diferentes puntos del terreno experimental (posición de estacas) y para saber específicamente que tratamientos son diferentes.

En el análisis de varianza se aprecia que a un nivel de significancia del 1% y 5 % existe diferencia significativa entre los datos de pérdida y acumulación de suelo de los diferentes tratamientos, como efecto de la cuantificación hecha en diferentes puntos del terreno (terreno sin bordos, terreno entre bordo y bordo, base del bordo y centro del bordo).

En cuanto a la Prueba del Rango Múltiple de Duncan para los mismos datos se obtiene que el único par de medias diferente corresponde a las siguiente posición de estacas:

- * Terreno sin bordos - Centro del bordo sin nopal.

A partir de tales resultados se infiere que de las siete posiciones probadas la posición (**) correspondiente a la cuantificación hecha en la base del bordo es estadísticamente diferente. Esto se manifiesta de forma clara en la Tabla 10 en donde se observa que para las estacas colocadas en terreno sin bordos, entre bordo y bordo, y en el centro del bordo se registraron valores de pérdida de suelo, mientras que en el único tratamiento en el que se registró acumulación fue precisamente el que comprende cuantificación en la base del bordo.

A manera de resumen, en cuanto a la pérdida y acumulación de suelo originada en cada uno de los meses comprendidos en el periodo de mayo a octubre y como resultado de lo discutido anteriormente, se tiene lo siguiente: para el tratamiento A (Testigo) existió acumulación solamente en los meses de mayo y junio y posterior a estos meses, los registros realizados correspondieron a pérdidas de suelo, (Ver tabla 9). Para el tratamiento B, como se observa en la tabla 9 en el renglón que resume pérdida o acumulación de suelo para cada mes (Σ), existió acumulación de material edáfico durante el periodo de estudio a excepción del mes de agosto. Finalmente en el tratamiento C se obtuvo acumulación de suelo en los meses de mayo, septiembre y octubre; en los meses restantes se registró pérdida de suelo.

Lo descrito anteriormente se aprecia en la Fig. 13, en donde resalta la línea que representa el tratamiento B por ser el tratamiento que mayor retención de suelo registro debido al papel que jugó la plantación de nopal en el centro del bordo.

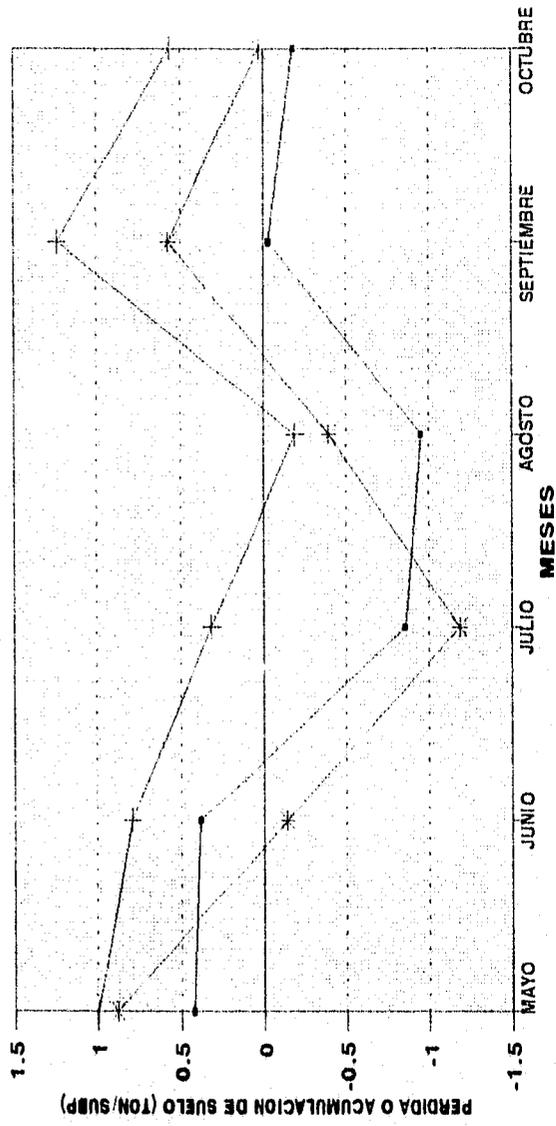


FIG. 13. PERDIDA O ACUMULACION DE SUELO MENSUAL PARA CADA TRATAMIENTO.

Por otra parte, en el Apéndice 5 se muestra el análisis de varianza elaborado para probar diferencias significativas durante los meses de estudio; a partir de este análisis se concluye que existe diferencia significativa de pérdida y acumulación de suelo en los meses que comprendió el estudio al 1% y 5% de significancia. En este mismo apéndice se incluye la Prueba del Rango Múltiple de Duncan de donde se obtiene que la pérdida y acumulación de suelo originada en los meses de julio y agosto es significativamente mayor que la experimentada en los meses de mayo, junio y septiembre. Con respecto a los meses restantes, éstos no son significativamente diferentes en relación a la pérdida y acumulación de suelo originada.

8.2.2. Pérdida o acumulación de suelo durante el periodo de mayo a octubre de acuerdo a posición de estacas.

A continuación en la Tabla 10 se resume la cantidad de suelo perdido o acumulado por unidad de área experimental, es decir en una superficie de 143.325 m² durante el periodo que duró el experimento.

TRATAMIENTO	Posición meses
A	1.2280 (-)
*	0.5985 (-)
B	4.8613 (+)
**	0.9408 (-)
***	2.5946 (-)
C	3.5355 (+)
**	1.1831 (-)

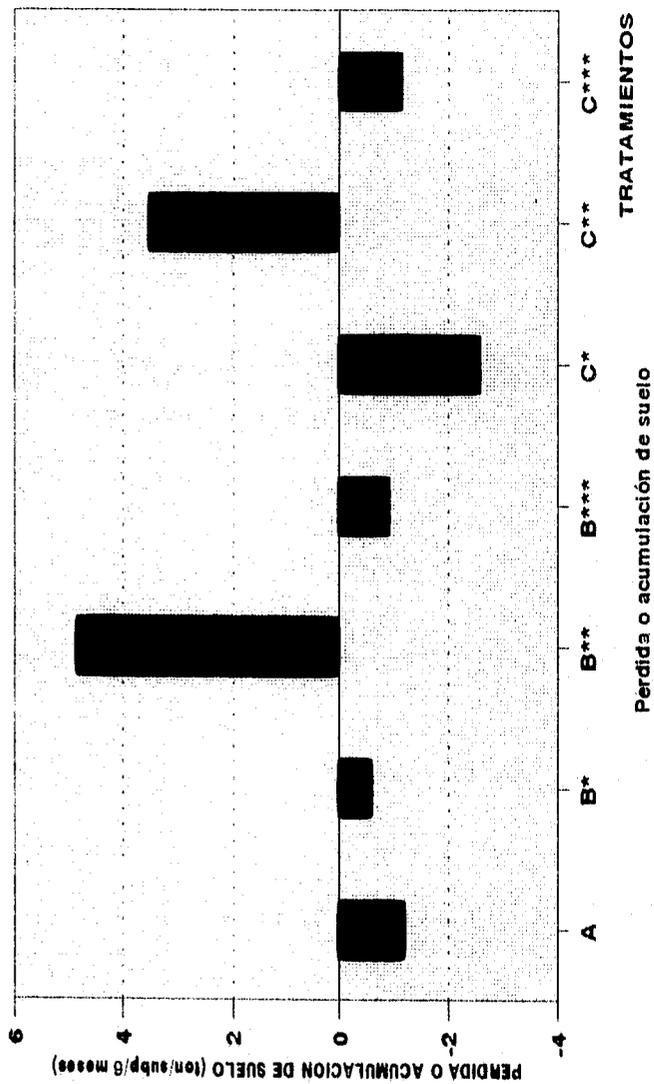
TABLA 10. Pérdida (-) o ganancia (+) de suelo por tratamiento de acuerdo a la posición de estacas.

Los datos contenidos en la segunda columna de la Tabla nos indican que las pérdidas de suelo se registraron en terreno sin bordos (Tratamiento Testigo, A), en terreno entre bordo y bordo, y en la parte central del bordo para los tratamientos B y C, generándose retención de suelo únicamente en la base de los bordos de ambos tratamientos.

Como se observa el segundo valor de pérdida de suelo mas alto (1.228 t) corresponde al tratamiento testigo, lo cual resulta evidente, pues la superficie destinada a este tratamiento permaneció libre de cualquier estructura que pudiese detener el arrastre de suelo que se genera en las partes mas altas de la ladera. Cabe hacer mención que el valor más alto en

cuanto a pérdida de suelo corresponde al registrado en el tratamiento C entre bordo y bordo (*) sin embargo el párrafo anterior se discute en base al valor más alto correspondiente al tratamiento A, pues éste constituye un valor único y definitivo para el total de la subparcela, mientras que el valor del tratamiento C* solamente constituye un valor para una de las secciones de la subparcela (superficie entre bordo y bordo).

Asimismo resulta lógico que en el tratamiento B, en el cual se llevó a cabo la plantación de nopal se hallan presentados menores pérdidas de suelo en la superficie que queda comprendida entre bordo y bordo y en el centro del mismo comparado con las pérdidas obtenidas en los mismos puntos del tratamiento C, pues en el primer tratamiento se hace patente el efecto que tuvo la raíz (a pesar de su mediano desarrollo) al proporcionar mayor solidez y firmeza al bordo, presentando éste una mayor eficiencia para la retención de suelo como lo sustentan los datos de mayor acumulación de suelo en la base de los bordos y la menor pérdida de suelo registrada en la superficie entre bordo y bordo (*) y en la parte central del bordo (***). Esta situación se aprecia en la Figura 14.



en:
 A: Terreno sin bordos
 *: Entre bordo y bordo
 **: En la base del bordo
 ***: En el centro del bordo

FIG. 14. PÉRDIDA O ACUMULACIÓN DE SUELO POR SUBPARCELA DE ACUERDO A LA POSICIÓN DE ESTACAS PARA CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.

8.2.3. Pérdida o acumulación de suelo durante el periodo de mayo a octubre por tratamiento.

Mediante la realización de un balance de las pérdidas y acumulación de suelo que se presentaron en los diferentes puntos de la subparcela (terreno entre bordo y bordo, base del bordo y centro del bordo) se obtuvo un valor único para los tratamientos B y C.

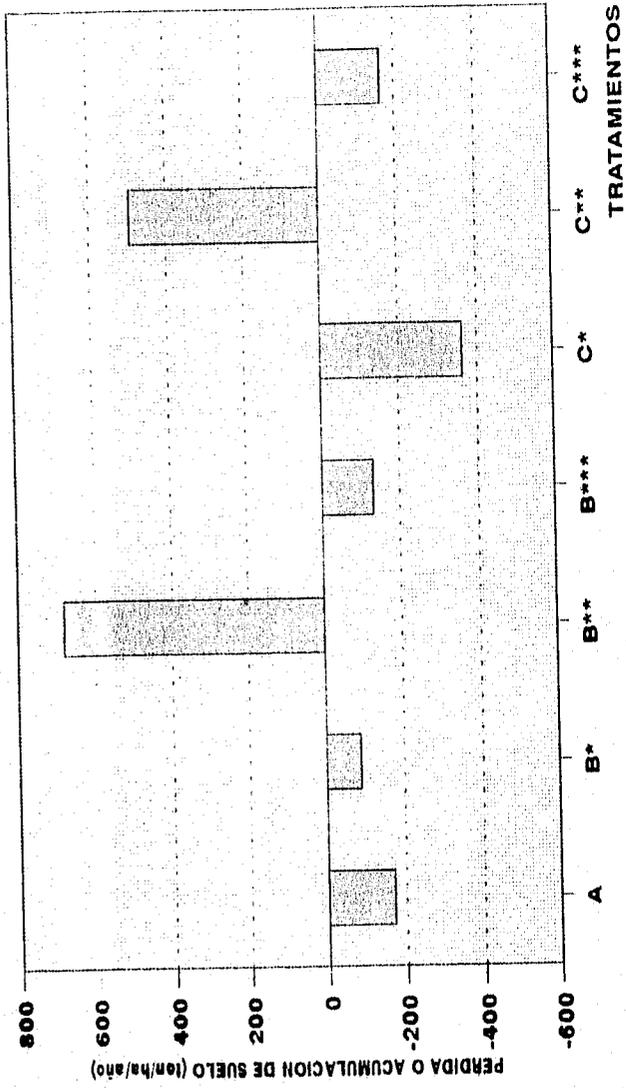
De esta forma la pérdida o acumulación de suelo obtenida para los tratamientos que fueron probados (A: Testigo, B: Construcción de terrazas de banco de formación paulatina asociado con el cultivo de nopal de verdura y C: Construcción de terrazas de banco de formación paulatina), muestran que para el primer y tercer tratamiento se produjeron pérdidas de suelo, 1.228 y 0.2420 t/subp respectivamente, mientras que para el segundo tratamiento existió una acumulación de 3.3218 t/subp, tal y como se observa en la Tabla 11.

Sin embargo, y a pesar de que estas diferencias cuantitativas se aprecian claramente en dicha tabla, estadísticamente, los tratamientos no presentan diferencias significativas, (Apéndice 6).

TRATAMIENTO	TON/UMPR MESES	t/ha/año	NIVEL DE EROSION FAO (1990)
A	1.2280 (-)	171.568 (-)	ALTA
B	3.3218 (+)	463.492 (+)	
C	0.2420 (-)	33.769 (-)	MODERADA

TABLA 11. Pérdida (-) o ganancia (+) de suelo por tratamiento

Lo descrito anteriormente se aprecia en la Figura 15 en donde sobresale el tratamiento C debido a la cantidad de suelo que acumuló.



Perdida o acumulación de suelo

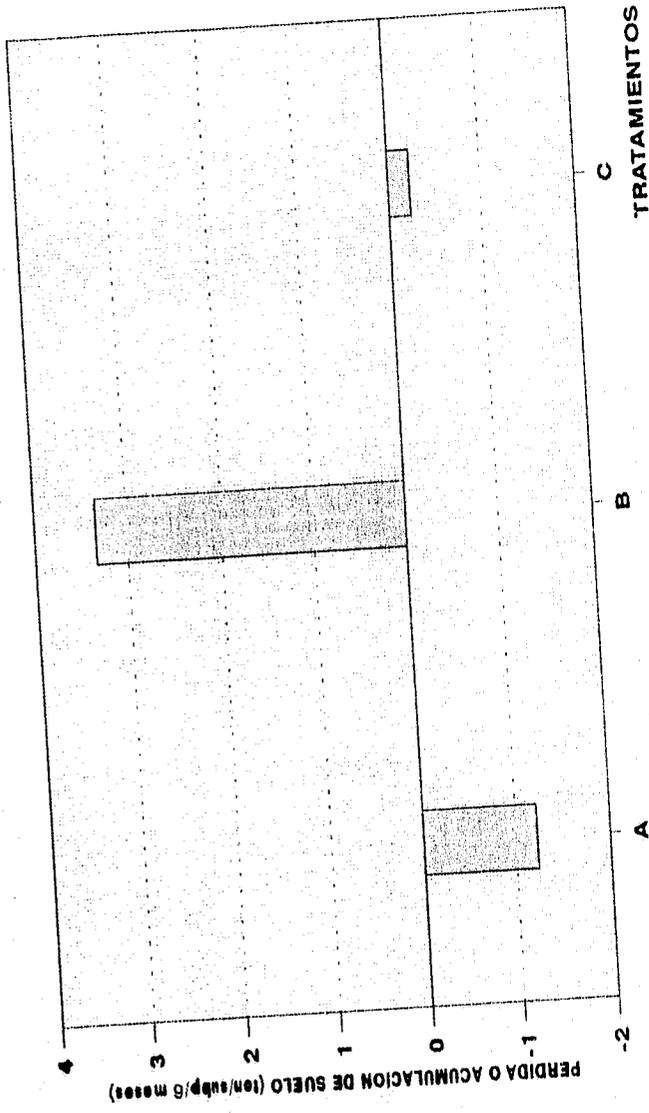
en:

- A: Terreno sin bordos
- *: Entre bordo y bordo
- ** : En la base del bordo
- ***: En el centro del bordo

FIG. 15. PERDIDA O ACUMULACION DE SUELO EN ton/ha/año DE ACUERDO A LA POSICION DE ESTACAS PARA CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.

Finalmente, para poder clasificar el grado de erosión que presentó cada uno de los tratamientos fue necesario convertir los valores de la segunda columna de la Tabla 11 a t/ha/año según lo especifica la Clasificación de Erosión propuesta por la FAO (16), siendo tales valores los especificados en la tercera columna de la misma tabla. En la Figura 16 se presentan de manera gráfica estas conversiones.

De acuerdo a éstos valores y en base a la clasificación citada, se tiene que el tratamiento A presentó un nivel de erosión moderada.



A: Testigo.
 B: Construcción de Terrazas de Banco de Formación Paulatina asociado con el Cultivo de Nopal.
 C: Construcción de Terrazas de Banco de Formación Paulatina.

FIG. 16. PERDIDA O ACUMULACION DE SUELO EN ton/subp/6 meses PARA CADA TRATAMIENTO.

8.3 FACTORES DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO.

El segundo método utilizado para evaluar la pérdida de suelo en el área experimental lo constituyó el modelo paramétrico conocido como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, (EUPS), $E = RKLSCP$.

De los factores de la ecuación el C y el P son atenuantes de la erosión pues son fácilmente manejados por el hombre, mientras que R, K, L y S son los que causan y ayudan al proceso erosivo, dentro de éstos últimos, R y K son invariables para un determinado tiempo y espacio, y L y S pueden ser más fácilmente afectables mediante la modificación del relieve con lo que resultara más factible la disminución de pérdida de suelo.

Una de las razones por las que se escogió la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo es que presenta la ventaja de poder predecir el efecto de un manejo, ya que por ser un modelo matemático permite variar cualquier factor y predecir cual será su impacto.

Así, en el presente trabajo se acondicionó un manejo en los factores topografía y vegetación, llevando a cabo la implementación de terrazas y del cultivo de nopal.

A continuación, con la información del área experimental se presentan los resultados y el análisis de los mismos para cada uno de los factores de la EUPS.

8.3.1. Factor de Erosividad, R.

El factor R de erosividad de la lluvia se calculó mediante el Índice de Fournier modificado por la FAO utilizando para ello valores de precipitación media mensual que se registraron durante el año de estudio y valores de precipitación correspondientes a 10 años anteriores.

Cabe hacer mención que los datos de precipitación con que se cuenta resultaron útiles para el cálculo del Factor de Erosividad mediante el Índice de Fournier, sin embargo el hecho de que en México no se cuente con información pluviométrica aplicable a los lugares específicos de trabajo e información completa y detallada en cuanto a cantidad y duración para todos y cada uno de los eventos de lluvia que llegan a presentarse, impidió trabajar el factor R mediante el Índice de Erosividad EI_{30} que representa el producto de la energía cinética de las gotas de lluvia por su intensidad máxima en 30 minutos, y el cual se considera el indicador más exacto hallado hasta ahora para medir el potencial del aguacero.

En cuanto a valores de R obtenidos se tiene lo siguiente: para el cálculo de la pérdida de suelo durante el año de estudio se obtuvo un valor de $R=61.373$ y para el cálculo de la erosión potencial se tiene un valor de $R=99.96$, tales valores se clasifican de acuerdo a FAO (1980), como valores de erosividad moderada. En el Apéndice 7 se muestra el cálculo realizado para cada uno de los factores.

Por otra parte, como se observa en el Anexo 1, la precipitación ocurrida en 1990 fue de 491.1 mm y su distribución a lo largo del año se registro en forma regular durante los meses de Enero a Octubre, a excepción de los dos

últimos meses de este periodo en donde septiembre y octubre registraron juntos 18.1 mm, lo que representa el 36.8 % de la cantidad de lluvia anual. Al respecto se sabe que grandes precipitaciones causan altas intensidades de escurrimiento el cual comienza a aparecer a partir del momento en que el suelo alcanza su capacidad de campo. Por otro lado la energía cinética de las gotas de lluvia constituyen la causa principal para que se produzca salpicado de las partículas de suelo, pues al impactarse sobre la superficie de éste causan una separación de los agregados que posteriormente son acarreados por el escurrimiento. Así, cuando la intensidad de una tormenta sobrepasa la velocidad de infiltración de un suelo se presenta la escorrentía, siendo las lluvias que ocasionan mayores pérdidas de suelo aquellas que presentan grandes intensidades y tienen corta duración, las lluvias de pequeñas intensidades y larga duración se consideran benéficas debido a que la mayor parte de ellas se infiltra en el suelo y en estas condiciones se encuentra a disponibilidad de las plantas.

Vargnette citado por Duque (1988), reportó que la cantidad de agua requerida para que se produzca el fenómeno de erosión es de 20 a 30 mm es un solo evento, esto es debido a que lluvias menores pueden ser absorbidas por el suelo y no se presenta ningún escurrimiento, por su parte Oropeza (1980), reportó que según estudios realizados en la Cuenca del Río Texcoco, las precipitaciones mayores de 10 mm causan erosión en áreas de cultivo, pastizales y tepetates. Para áreas boscosas la cantidad necesaria es mayor a 30 mm por evento, y finalmente Wischmeier citado por Duque (1980), reporta que el valor de intensidad para causar erosión es de 10 mm/h:

8.3.2. Factor de Erodabilidad K.

El factor de Erodabilidad K que representa la susceptibilidad de un suelo a ser erosionado se determinó a través del Nomograma de Wischmeier (Anexo 2), haciendo uso de los resultados obtenidos de textura, materia orgánica, estructura y permeabilidad del suelo correspondiente al área de estudio.

Los valores obtenidos para estos parámetros fueron los siguientes:

% limo + arenas muy finas = 19.28

% arena = 44.72 %

% materia orgánica = 1.52

Estructura: Granular mediano a burdo (Código 3)

Permeabilidad: Moderada (Código 3)

Interpolando estos resultados en las curvas del Nomograma se tiene que el valor que le corresponde a K es de 0.10 por lo que tomando en cuenta que los valores que este factor puede tomar varían de 0 a 1, el valor obtenido indica que desde el punto de vista físico y químico, el suelo no es fácilmente erosionable y al mismo tiempo es indicativo de la disminución de la erosividad de la lluvia en este suelo en un 90 %.

Desde el punto de vista geológico se podría considerar al área de estudio como una región poco susceptible a la erosión por encontrarse en una zona en donde existen principalmente rocas ígneas ácidas con un alto contenido de sílice, predominando en ellas el cuarzo y feldespato como es el caso de

la riolita que constituye una roca dura y resistente. En lo que respecta a la textura arcillo-arenosa que tiene el suelo, la cual corresponde a una textura media a fina, esta estrechamente relacionada con la permeabilidad moderada que presenta el suelo, pues el porcentaje de partículas gruesas (arenas que presenta (47.7 %) es ligeramente inferior al porcentaje de partículas finas (limos y arcillas), lo que compensa por una parte la alta permeabilidad que le confieren al suelo las arenas y por otra la baja permeabilidad que tienen las partículas finas. Finalmente, la estructura es otra propiedad que determina la velocidad de infiltración de agua, por lo que la estructura granular que presenta el suelo permite que se facilite el movimiento del agua a través de los espacios que se forman entre los agregados, de tal forma que esta estructura permite la circulación rápida del agua, disminuye la escorrentía y aún cuando esta se presente, los gránulos son mas pesados y resultará menos probable que sean arrastrados por el escurrimiento que las partículas sueltas de arcilla o limo, e impide la erosión del suelo.

En base al porcentaje de arcillas (36%) que contiene el suelo, se puede inferir que la estabilidad de los agregados y por tanto de la estructura es buena, pues el efecto agregante de la arcilla se debe a su acción cementante y a su propiedad de hinchamiento y contracción con los cambios de humedad provocando con ello que se tenga un mayor número de agregados puesto que se producirá la unión de partículas de tamaños mayores para formar agregados.

8.3.3. Factor Longitud - Pendiente, LS.

Los efectos del gradiente y de la longitud de la pendiente en la pérdida de suelo se evalúan como un factor topográfico único que es el factor LS.

En el Apéndice 8 se presenta el cálculo realizado para obtener los valores de LS en cada una de las subparcelas obteniendo posteriormente un valor promedio para cada tratamiento.

De esta forma se tienen los siguientes valores de LS:

- * Para el tratamiento Testigo (A), $LS_A = 0.4274$ (adim).
- * Para el tratamiento B (Construcción de terrazas de banco de formación paulatina asociado con el cultivo de nopal), $LS_B = 0.9872$ y
- * Para el tratamiento C (Construcción de terrazas de banco de formación paulatina), $LS_C = 1.115$.

Dado que los valores de LS varían de 0.9872 a 4.274, cuando se produzca lluvia la energía de escurrimiento aumentará en una proporción de 0.9572 a 4.274 veces con respecto a la energía del evento.

La diferencia de los valores de LS de los tratamiento B y C con respecto al tratamiento Testigo se debe a que con la construcción de terrazas, la longitud de la pendiente se divide en segmentos de menor longitud (2.83 m), con lo cual el factor Longitud-Pendiente (LS) tiende a disminuir para que de esta forma influya de manera importante en la reducción de la erosión, pues

en una pendiente larga la cantidad de superficie de suelo erosionada es mayor, lo mismo que la velocidad que adquiere la escorrentía que fluye sobre la superficie del suelo, de manera que al disminuir la longitud de la pendiente el agua de lluvia que escurre no llega a alcanzar una velocidad alta que le permita remover y transportar partículas de suelo.

De manera similar influye el gradiente de la pendiente ya que la velocidad con que se mueve el agua se incrementa con el ángulo de inclinación.

8.3.4. Factor manejo de cultivos, C.

Los valores obtenidos para el factor manejo de cultivos C, que constituye una práctica vegetativa atenuante de la erosión fueron obtenidos de la tabla que se presenta en el Anexo 3, la cual está enfocada a terrenos ociosos. A continuación se presentan los valores para cada tratamiento:

Para el tratamiento Testigo, se asumió el valor de 1 ya que no se utilizó ningún tipo de vegetación para disminuir las pérdidas de suelo; para el tratamiento B que comprende la plantación de nopal y además la existencia de hierbas que de manera natural presenta el terreno se consideró un porcentaje de cubierta de 15 % para el Nopal y 25 % para las hierbas haciendo un total del 40 %, el tipo de cubierta vegetal que se consideró es el de "Hierbas altas o matorral bajo"; con estos datos se obtuvo un valor de $C_B = 0.303$; en el caso del tratamiento C sólo se consideró el 25 % de la cobertura correspondiente a las hierbas, obteniendo un factor de $C_C = 0.36$. De esta forma los valores asignados a C para cada tratamiento reflejan la influencia que tiene la vegetación en la protección del suelo contra la erosión, teniendo sus principales efectos en: la intercepción de la lluvia, ya que el agua interceptada por la vegetación no llega al suelo sino que es evaporada directamente en las hojas y tallos, además la cubierta vegetal absorbe el impacto directo de las gotas de lluvia; disminuyendo la habilidad del agua para dispersar los agregados del suelo y consecuentemente reduce los efectos destructivos sobre la estructura. Los efectos de las raíces que son tan abundantes en el nopal actúan sobre la porosidad del suelo, permitiendo una infiltración más rápida del agua con lo que se conserva la humedad del suelo con efectos positivos en la estabilidad de los agregados.

Por último, si se presenta el escurrimiento superficial, los tallos y las raíces de las plantas inhiben el movimiento de las partículas de suelo, además de que las raíces producen consolidación de éstas últimas.

8.3.5. Factor Prácticas Mecánicas, P.

Los valores asignados al factor P se obtuvieron a partir de los valores propuestos por Hudson (1992) y SARH (1987), (Anexo 4), los cuales representan valores para el desarrollo de cultivos al contorno de acuerdo a la pendiente del terreno; a pesar de esta situación, tanto Hudson como Koolhaas (1977), recomiendan el uso de estos valores para los casos de

implementación de terrazas. El primer autor recomienda hacer uso de estos valores y emplear entonces en la EUPS el factor LS correspondiente al espaciado entre terrazas, mientras que el segundo autor comenta que el uso de estos valores de P son válidos en el caso de construcción de terrazas pues finalmente éstas se cultivan al contorno. De esta forma se adoptan los siguientes valores de P, para el tratamiento Testigo $P_A = 1$ ya que no existieron terrazas; para el tratamiento B, el factor prácticas mecánicas es $P_B = 0.8$ y para el tratamiento C $P_C = 0.86$. Los valores de P para el tratamiento B y C son diferentes debido a que aún y cuando se asumió homogeneidad en cuanto a características del terreno, éstas no se cumplieron en un 100 % desde el punto de vista topográfico.

Por otra parte las diferencias existentes entre los valores de P de estos dos últimos tratamientos con respecto al Testigo, reflejan el efecto de atenuación de la erosión que confiere el uso de terrazas ya que con estas prácticas la longitud de la pendiente se reduce al espaciamiento entre terrazas, con lo que se reduce la velocidad del escurrimiento y por tanto disminuye su capacidad de transporte de suelo.

8.4. Pérdida de Suelo.

Las pérdidas de suelo estimadas para los diferentes tratamientos se obtienen al multiplicar el valor de cada uno de los factores analizados con anterioridad.

En el Apéndice 9 se presenta el valor de los factores de la EUPS y la erosión por subparcela.

8.4.1. Pérdida de suelo ocurrida durante el año de estudio.

A continuación se presenta para cada tratamiento la pérdida de suelo ocurrida durante el año de estudio.

$$E_A = (61.373) (0.10) (4.274) (1) (1) = 26.230 \text{ t/ha/año}$$

$$E_B = (61.373) (0.10) (0.987) (0.303) (0.8) = 1.468 \text{ t/ha/año}$$

$$E_C = (61.373) (0.10) (1.115) (0.36) (0.86) = 2.118 \text{ t/ha/año}$$

Como puede observarse fue el testigo el que tuvo las mayores pérdidas de suelo, siendo los tratamientos B y C los que redujeron esta pérdida como resultado del efecto de retención que proporciona el sistema de terrazas de banco de formación paulatina (tratamiento C), y la asociación de éste con el cultivo de nopal (tratamiento B). Con respecto a estos dos últimos

tratamientos, el que experimentó menor pérdida de suelo fue el tratamiento B, debido a que éste involucró las dos prácticas atenuantes de la erosión que comprende la EUPS, por un lado el sistema de terrazas de banco como práctica mecánica y por otro el cultivo de nopal como práctica vegetativa.

De acuerdo a los resultados de pérdida de suelo obtenidos y en base a la Clasificación de Erosión de la FAO (Anexo 5), en la Tabla 12 se observa que los tratamientos B y C lograron bajar el nivel de erosión de Moderada que presenta el Testigo a un nivel de erosión de Ninguna a ligera.

	TRATAMIENTO	PERDIDA DE SUELO (E) t/ha/año	NIVEL DE EROSION (FAO, 1980)
Erosión en 1990	A	26.230	Moderada
	B	1.468	Ninguna a Ligera
	C	2.118	Ninguna a Ligera

TABLA 12. Valores de pérdida de suelo calculados en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Mediante este cálculo se estima el nivel de erosión para el periodo de estudio.

De acuerdo a las tolerancias de pérdida de suelo para terrenos con diferente profundidad radicular establecidas por McCormack, *et al.*, (1982) (Tabla 2), las pérdidas de suelo que se produjeron con los tratamientos B y C quedan por debajo del límite de tolerancia de 2.2 t/ha/año establecido para suelo no renovable (suelos con substrata desfavorable tales como roca o roca bianda) con una profundidad radicular de 25-50 cm.

Con referencia a lo anterior, el análisis de varianza desarrollado para la variable pérdida de suelo (Apéndice 10), concluye que existe diferencia significativa entre los diferentes tratamientos a un nivel de significancia del 1 % y 5 %, mientras que en la Prueba del Rango Múltiple de Duncan se concluye que el tratamiento que difiere en cuanto a pérdida de suelo es el tratamiento A, el cual corresponde al Testigo y como se mencionó anteriormente no presenta construcción de terrazas lo que hace que la longitud y el grado de pendiente sean mayores a las presentadas en los tratamientos B y C en donde tales medidas están determinadas por el espaciamiento entre terrazas, es decir por longitudes mas pequeñas que determinarán un factor LS menor, lo que a su vez hace que el escurrimiento generado en pendientes con menor longitud adquiera menor velocidad y arrastre menor cantidad de sedimento pues la mayor parte de éste queda retenido en la base de la terraza y por tanto la cantidad de pérdida de suelo es menor. Esta diferencia del factor LS es probada estadísticamente en el Apéndice 11 a un nivel de significancia del 5 % y nuevamente mediante la Prueba del rango Múltiple de Duncan se concluye que el tratamiento que difiere en cuanto a éste factor es el Testigo.

Con respecto a la pérdida de suelo generada en los tratamientos B y C estadísticamente no son diferentes entre sí, sin embargo en la Tabla 12 se aprecia que el tratamiento B difiere cuantitativamente del C ya que éste último pierde 0.65 ton. mas de suelo que el tratamiento B.

En el Apéndice 12 se obtienen los coeficientes de correlación y determinación entre la variable Erosión (E) y las variables LS, C y P, en donde se observa que la mayor correlación existe entre las variables E y LS ($r = 0.985$) y la menor entre E y P ($r = 0.838$); en base a estos valores de correlación podemos decir que el factor longitud-pendiente es el que tiene mayor peso con respecto a los demás factores de la EUPS en la disminución de la pérdida de suelo.

Con respecto al coeficiente de determinación de E y LS $r^2 = 0.970$, se infiere que el 97 % de la variación de una de las variables esta asociada a la variación de la otra, no podemos decir que variable determina a cual puesto que en el Análisis de Correlación a ambas variables se les considera aleatorias.

8.4.2. Pérdida potencial de suelo.

El potencial erosivo que presenta el suelo del área experimental se calculó mediante los mismos valores de los factores K, LS, C y P utilizados en el tratamiento testigo, siendo el factor de erosividad R el único que varía pues éste corresponde a la erosividad que ha presentado la lluvia en los últimos 10 años, es decir constituye un factor de erosividad potencial; así el valor de R fue calculado mediante el promedio de los R anuales durante un periodo de 10 años es de 99.96, de modo que el potencial erosivo del suelo es:

$$E_p = (99.96) (0.10) (4.274) (1) (1) = 42.722 \text{ t/ha/año.}$$

Este potencial erosivo que presenta el suelo es reducido mediante la implementación de los tratamientos bajo estudio a los siguientes valores:

$$E_{\text{Pot. de B}} = (99.96) (0.10) (0.9872) (0.303) (1) = 2.990 \text{ t/ha/año.}$$

$$E_{\text{Pot. de C}} = (99.96) (0.10) (1.115) (0.36) (1) = 4.012 \text{ t/ha/año.}$$

En la siguiente Tabla se clasifica el nivel de erosión potencial para cada tratamiento.

	TRATAMIENTO	PÉRDIDA DE SUELO (t/ha/año)	NIVEL DE EROSIÓN (por año)
Erosión Potencial	A	42.722	Moderada
	B	2.990	Ninguna a ligera
	C	4.012	Ninguna a ligera

TABLA 13. Valores de pérdida de suelo calculados en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Mediante este cálculo se estima la erosión potencial.

Así el tratamiento B reduce un 93 % el potencial erosivo del suelo y el tratamiento C un 90.6 %, (Apéndice 13).

De acuerdo a esto, vemos que el comportamiento en cuanto a reducción de pérdida de suelo por los tratamientos B y C es similar al comportamiento de reducción mostrado durante el año de estudio.

8.5. Funcionalidad del sistema de terrazas de banco de formación paulatina en la reducción de pérdida de suelo.

8.5.1. Método de Estacas.

A continuación mediante la siguiente fórmula se realiza el cálculo de la eficiencia en la disminución de la erosión proporcionada por la terraza de banco de formación paulatina.

$$E_r = [(a - c) / a] \times 100$$

Donde:

E_r = Eficiencia de la terraza de banco de formación paulatina.

a = Peso de suelo perdido por el tratamiento Testigo (t).

c = Peso de suelo perdido por el tratamiento C (t).

$$E_r = [-1.228 - (-0.2420) / -1.228] \times 100 = 80.29 \%$$

De acuerdo al resultado obtenido se tiene que el sistema de terrazas de banco de formación paulatina tuvo un efecto positivo en la reducción de pérdida de sedimentos, pues la disminuyó en un 80.29 % con respecto a la remoción de sólidos producida en el tratamiento Testigo, de esta forma los sedimentos acarreados por efecto de la erosión se irán incorporando para incrementar la base y altura del bordo en forma paulatina hasta lograr disminuir la pendiente del terreno, objetivo fundamental de la construcción de los bordos.

8.5.2. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

De los cálculos realizados para obtener la eficiencia del tratamiento C en la reducción de la pérdida de suelo con respecto al tratamiento Testigo, se obtiene que con este tratamiento la erosión disminuye un 91.9 %, es decir pierde 24.112 t. menos que el tratamiento Testigo. Los cálculos realizados se muestran en el Apéndice 14.

8.6. Funcionalidad del sistema de terrazas de banco de formación paulatina asociado con el cultivo de nopal.

8.6.1. Método de Estacas.

Con respecto a la eficiencia que mostró en la disminución de la erosión la asociación de una práctica mecánica como lo es la terraza de banco de formación paulatina con una práctica vegetativa como el nopal (tratamiento B) se tiene que fue del 100 % ya que abatió la pérdida de suelo registrada en el tratamiento Testigo y además retuvo suelo proveniente de la parte superior, (Ver Tabla 11).

Cabe hacer notar que el uso del nopal fue importante desde el punto de vista de su sistema radicular pues éste proporciona mayor fijación, consistencia y por lo tanto firmeza al bordo para que incremente su poder de retención de sólidos.

En relación a este tipo de asociaciones para el control de la erosión Camacho, et al (1993), utilizó *Gliricidia sepium* para darle mayor consistencia a las terrazas construidas en 1988 en la región de los Tuxtlas, Veracruz, concluyendo que el suelo erosionado ya no se pierde sino que queda retenido en los setos vivos. Este autor también recomienda el uso de rastrojo de cosechas anteriores para reforzar la base de la terraza, y comenta que éstos resultan eficientes para disminuir la pendiente de las áreas de ladera y estabilizar la formación paulatina de una terraza para disminuir la erosión y conservar el agua de lluvia.

Flores, et al (1991), probó diferentes prácticas mecánicas en la Cuenca del Lago de Patzcuaro para el control de la erosión, entre ellas, las terrazas a nivel, el sistema Gradoni, afinación de talud y formación de terrazas con estacas, utilizando plantación de nopal, maguey y carrizo como métodos estabilizadores de la terraza, obteniendo que las plantaciones que mejor prosperaron fueron las de maguey y nopal en las terrazas formadas con estacas disminuyendo la erosión en un 40 % de la inicial.

8.6.2. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

De acuerdo a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo la asociación del sistema de terrazas de banco de formación paulatina con el cultivo de nopal correspondiente al tratamiento B, redujo la erosión en un 94.4 % (24.762 t/ha/año) con respecto a la generada en el tratamiento Testigo.

En el Apéndice 14 se presentan los cálculos realizados para determinar tal eficiencia.

8.7. Comparación de la erosión determinada mediante el método de estacas y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos.

A continuación en la siguiente tabla se muestran los valores de pérdida de suelo obtenidos mediante el Método de Estacas y la EUPS para los tratamientos estudiados.

TRATAMIENTOS	PÉRDIDA DE SUELO t/ha/año	
	METODO DE ESTACAS	EUPS
A	171.568	26.230
B	403.533 (+)	1.468
C	33.769	2.118

TABLA 14. Erosión obtenida mediante el Método de Estacas y la EUPS.

 Acumulación de suelo.

En esta tabla se observa la gran diferencia que existe en los resultados obtenidos con uno y otro método. La diferencia más notable se tiene en el tratamiento B del Método de Estacas en donde no se registra pérdida de suelo sino acumulación de una gran cantidad de éste. Respecto a los tratamientos testigos, con el Método de Estacas se alcanza un nivel de erosión Alto mientras que a través de la EUPS se obtiene una erosión moderada. En cuanto al tratamiento C con el Método de Estacas se obtiene una erosión Moderada y mediante la EUPS se alcanza un nivel de erosión que va de Ninguna a Ligera.

Se considera que las divergencias originadas en la evaluación de la pérdida de suelo mediante los dos métodos pueden ser atribuidas a las siguientes causas:

En relación al Método de Estacas:

1. A pesar de que la cuantificación de la erosión se llevó a cabo en la época de lluvias lo cual constituye uno de los principales factores físicos que determinan el proceso erosivo como efecto del arrastre de sedimentos que produce la escorrentía que se genera, y de utilizar un área experimental que mostrará una razonable similitud en cuanto a pendiente, profundidad del suelo e historia de uso, el Método de Estacas presenta algunas desventajas fuertes que de algún modo contribuyeron en la determinación de un nivel de erosión alto, como por ejemplo el hecho de que la graduación de las estacas debe de ser hecha con la mayor fineza posible para que al momento de realizar las lecturas se logren registros con la mayor fidelidad posible pues en estas situaciones y para el caso particular de este estudio, un error de captación de tan solo 1 mm más o 1 mm menos conduciría a errores de 128.31 Kg/subp o el equivalente a 8.953 ton/ha. Otras causas comunes que contribuyeron a incrementar error en las cuantificaciones fueron la pérdida de estacas, y el movimiento de éstas por la gente o por los animales que transitan por el lugar.

2. El manejo de valores promedio producto de la gran cantidad de lecturas registradas para cada tratamiento y sus repeticiones.
3. Las estacas colocadas en el centro del bordo fueron las estacas en las cuales se agudizó el error de "captación de lectura" señalado anteriormente, pues la posición de estacas en la cresta del bordo fue la más susceptible a sufrir modificación al momento de realizar la lectura por el movimiento del suelo de la parte alta del bordo, lo que finalmente influyó en la determinación de pérdida o acumulación del tratamiento.
4. Otra causa que tuvo efecto en la determinación de una erosión alta fue el hecho de que se realizó una extrapolación a un año de la cantidad de suelo perdido o acumulado durante el periodo de estudio.

En relación a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo:

1. Los datos empleados para la determinación del factor de erosividad R son datos promedio de la precipitación pluvial de toda la región y no datos pluviométricos del área específica de trabajo.
2. A pesar de que se busco uniformidad del terreno en cuanto al grado de pendiente, esta varió dentro de un intervalo.
3. Los valores del factor P fueron asignados de acuerdo a varios autores en base al % de pendiente y a la forma en como se cultivan las terrazas.

Sin embargo, merece especial atención el mencionar que la tendencia que muestran los resultados obtenidos para cada uno de los tratamientos es coherente y sobre todo fundamentada, pues en general existe la mayor cantidad de pérdida de suelo para el Testigo el cual no presentó construcción de bordos; para los tratamientos B y C en el terreno que se encuentra entre bordo y bordo sigue existiendo pérdida pero en menor proporción a la generada en el Testigo como resultado del efecto de contención que proporcionaron los bordos contiguos. Por otra parte en la base de éstos existe acumulación, mostrándose nuevamente el efecto de retención para el cual se construyeron dichos bordos, y por último en la parte central de los bordos se produjeron pérdidas de suelo como resultado de que el desarrollo de la raíz no fue el suficiente como para proporcionarle mayor firmeza a la cresta del bordo, sin embargo la eficiencia del nopal se manifiesta en la reducción de suelo perdido en esta posición con respecto al perdido en el tratamiento C.

IX. CONCLUSIONES.

En base a el análisis de los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye que:

Método de Estacas:

1. De acuerdo a la posición de estacas en el terreno experimental los puntos que registraron pérdida de suelo fueron los ubicados en terreno sin bordos, entre bordo y bordo y en el centro del bordo, registrandose acumulación de suelo unicamente en la base del bordo lo cual pone de manifiesto el efecto que tiene la terraza como estructura de retención de material edáfico.
2. De los puntos en los que se presentó remoción de suelo el que registró mayor pérdida fue el terreno sin bordos; comparado con éste la pérdida registrada en el terreno comprendido entre bordo y bordo disminuyó notablemente debido a que la mayor parte del suelo fue detenida por la terraza.
3. En el centro de los bordos del tratamiento B en el cual se llevó a cabo la plantación de nopal se presentó menor pérdida de suelo comparado con las pérdidas obtenidas en los mismos puntos del tratamiento C, pues en el primer tratamiento se hizo patente el efecto que tuvo la raíz (a pesar del poco desarrollo alcanzado) al proporcionar mayor solidez y firmeza al bordo, persentando éste una mayor eficiencia para la retención de suelo.
4. Las pérdidas de suelo alcanzadas por los tratamientos probados durante el periodo de estudio y por subparcela (143.325 m²) fueron: tratamiento A: 1.228 t., tratamiento C: 0.2420 t. y el tratamiento B experimentó una acumulación de suelo de 3.3218 t.
5. Mediante la extrapolación de los valores anteriores a t/ha/año, se uso la Clasificación de la Erosión Propuesta por FAO obteniendo los siguientes niveles de erosión, para el Testigo se determinó un nivel de erosión Moderada (171.568 t/ha/año) y para el tratamiento C un nivel de erosión de Ninguna a ligera (33.741 t/ha/año).
6. El sistema de terrazas de banco de formación paulatina (tratamiento C) tuvo una eficiencia del 80.29 % reduciendo en éste porcentaje la pérdida de suelo experimentada por el tratamiento Testigo.
La asociación del sistema de terrazas de banco de formación paulatina con el cultivo de nopal (tratamiento B) tuvo una eficiencia del 100%.

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

1. Para el año de estudio el tratamiento en el que se determinó la mayor pérdida de suelo corresponde al tratamiento Testigo (A) en el cual se obtuvo una pérdida de 26.230 t/ha/año clasificándose esta cantidad como un nivel de erosión Moderada. Por otra parte los tratamientos B y C redujeron tal erosión hasta un nivel de Ninguna a ligera obteniendo pérdidas de suelo de 1.468 t/ha/año y 2.118 t/ha/año respectivamente. En base a estos resultados se concluye que la disminución de la pérdida de suelo con respecto al tratamiento Testigo es atribuida a la presencia de las terrazas que disminuyen la longitud de la pendiente y con ello la escorrentía y acarreo de partículas del suelo.
2. La funcionalidad del sistema de terrazas de banco de formación paulatina (tratamiento C) se manifestó al reducir la pérdida de suelo en un 91.9 %, es decir perdió 24.112 t/ha/año menos con respecto al tratamiento Testigo.
3. La funcionalidad de la asociación del sistema de terrazas de banco de formación paulatina con el cultivo de nopal fue de 94.4 %, perdiendo 24.762 t/ha/año menos que el Testigo
4. Las eficiencias mostradas por los tratamientos A y B ayudan a reducir la erosión por debajo de 2.2 t/ha/año que constituye el Límite de Tolerancia de pérdida de suelo establecido para suelos no renovables con una profundidad de 25-50 cm.

Finalmente:

5. El modelo matemático de la EUPS constituyó el método mas acertado para la evaluación de la pérdida de suelo, pues a diferencia del método de estacas representa un método que considera los factores mas importantes que determinan la erosión, como es la lluvia, grado y longitud de pendiente y características físicas y químicas del suelo.

Por su parte el método de estacas proporcionó datos imprecisos sobre la pérdida de suelo llegando a constituir en el presente estudio un método cualitativo que permitió conocer la pérdida y acumulación de suelo en diferentes puntos de la terraza, esto debido al movimiento, pérdida y reposición de estacas durante el periodo de estudio. Sin embargo, aún y con los datos obtenidos el método presentó la misma tendencia que la EUPS en cuanto a la reducción de la erosión para uno de los dos tratamientos estudiados.

X. SUGERENCIAS

Con base en el desarrollo del presente trabajo y del análisis de los resultados obtenidos, se plantean las siguientes sugerencias:

1. Para trabajos en los que se evalúe la pérdida de suelo a través del método de estacas, implementar algún método para estabilizarlas de tal forma que no se produzca su movimiento durante el periodo en el que se realizan las lecturas de remoción de suelo.
2. Buscar una distribución representativa de las estacas en el área experimental para minimizar los errores que implica la microtopografía del terreno, evitando de esta manera la extrapolación de lecturas de pérdida o acumulación de suelo que pertenecen a puntos muy específicos del terreno, a el total de la parcela.
3. La aplicación del Índice de Fournier para la evaluación de pérdida de suelo, es válido para ser usado en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, sin embargo se recomienda caracterizar con mayor precisión las lluvias que se presentan en el sitio experimental y probar otros índices, para reducir las fuentes de error que implica el uso de la Ecuación Universal en nuestro país.
4. Se recomienda la necesidad de establecer programas de control de la erosión en suelos derivados de cenizas volcánicas, como lo es el suelo del área experimental, dada la susceptibilidad a la erosión de los horizontes subyacentes.
5. Dado que la EUPS sobrepredice los valores de pérdida de suelo, se sugiere afinar metodologías empleadas en estos trabajos de investigación y repetirlos en otras regiones, con el fin de obtener mayor información de las obras de conservación que se recomiendan y de esta manera hacerlas más eficientes para el beneficio del agricultor y de la conservación del suelo. Asimismo, debido a la alta variabilidad en la predicción, se recomienda mejorar la estimación de los parámetros para nuestras condiciones.
6. Se sugiere realizar pastización en áreas con pendientes fuertes e incluso en el terreno que queda comprendido entre terrazas de tal forma que en época de lluvias, principalmente, el desarrollo de las raíces de la plantación logre la consolidación del suelo evitando la escorrentía y consecuentemente el transporte de partículas de suelo.

7. Así mismo se recomienda el uso de reforestaciones como método de amortiguamiento contra el impacto de las gotas de lluvia en el suelo, además del beneficio que trae consigo el uso de vegetación como aportador de materia orgánica al suelo.

XI. BIBLIOGRAFIA.

1. Aguilar S.A, Etchevers B.D.J. y Castellanos R.Z.J., 1987, Análisis químico para evaluar la fertilidad el suelo, SMCS, México.
2. Aguilar, S.G., 1982, Metodología para obtener y aplicar factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos para condiciones de México, Tesis de Maestría en Ciencias, Depto. de Suelos, UACH, Chapingo, México.
3. Anaya Garduño Manuel, et al, 1977, Manual de Conservación del Suelo y del Agua, CPENA, Chapingo, México.
4. Arias, R.H.M. y Figueroa, S.B., 1992, La ecuación universal de pérdida de suelo en la Cuenca del Río Texcoco, Revista Terra, Vol. 10, No. 2, México.
5. Bennett, H.H., 1974, Elementos de Conservación del Suelo, Fondo de Cultura Económica, México.
6. Borrego, E.F. y Burgos, V.N., 1986, El nopal, UAAAN, Saltillo Coahuila, México.
7. Camacho, R., Zúñiga, J.L., Turrent, A., y Uribe, S., 1993, Terrazas de muro vivo: una tecnología de manejo del suelo en áreas de ladera, en el trópico húmedo de México., Revista de difusión científica, tecnológica y humanística, Vol. II, No. 5, México.
8. Chapman, H. D. y Pratt, P.F., 1976, Métodos de análisis para suelos, plantas y agua, Ed. Trillas, México.
9. Colegio de Postgraduados de Chapingo, 1977, Manual de Conservación de Suelos y del Agua, SARH, México.
10. Comisión Nacional de Zonas Aridas, 1984, Apuntes sobre el nopal para el personal docente de bachillerato, Promotora del Maguey y del Nopal, México.
11. Comisión Nacional de Zonas Aridas, 1987, El cultivo del nopal tunero, México.

12. Daniel, W.W., 1990, Bioestadística, Base para el análisis de las ciencias de la salud, quinta reimpresión, Edit. Limusa, México.
13. DETENAL, 1979, Descripción de la Leyenda de la Carta Edafológica, DETENAL, México.
14. Duque, M.G., 1988, Evaluación de la eficiencia de un bordo para retención de sedimentos construido con tecnología tradicional en Sta. María Tiltepec, Oax., Tesis Profesional, Especialista en suelos, UACH, Chapingo, México.
15. Estrada, B.W. y Ortiz, S.C., 1982, Plano de erosión hídrica del suelo en México, Revista de Geografía Agrícola, # 3, Chapingo, México.
16. FAO, 1980, Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos, UNESCO/PNUMA, Roma, Italia.
17. Flores, H.R., Magallanes, P.J., y Mestre, R.I.E., 1991, Evaluación de las técnicas para el control de la erosión, aplicación en la Cuenca del Lago de Patzcuaro, Michoacán, Colección Lerma-Chapala, Comisión Nacional del Agua, Vol. I. No. 6, México.
18. Frausto R.J., y Volke, H.V., 1990, Caracterización de la erosión hídrica laminar y en arroyuelos caso: Paraje-Zaayucuanino de Nochixtlán, Oax., Primer simposio nacional de degradación del suelo, México.
19. Gama-Castro, J.E., Palacios-Mayorga, Sergio y Villegas-Soto, Mariano, 1990, Evaluación de la hidroerosión en la Provincia de la Sierra Madre del Sur-Sistema Terrestre Tepetzingo, Estado de Morelos, Contribución a la edafología mexicana, UNAM, Instituto de Geología, México.
20. García, E.M., 1983, Apuntes de climatología, Tercera edición, UNAM, México.
21. Gavande, S.A., 1979, Física de suelos, principios y aplicaciones, Ed. Limusa, México.
22. González B.A. y Ramos G.R., 1990, Estimación y cálculo de la erosión en campo y con el empleo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en parcelas que serán incorporadas a la agricultura en Tastillán, Municipio de Ocoatepec, Puebla, FES-Zaragoza, Inédito, México.
23. Grande, L.R. 1974, Métodos para análisis físicos y químicos en suelos agrícolas, U.N.A. de S.L.P., México.

24. Hernández, S.G., 1995, Degradación de suelos otro enfoque, Simposio Universitario de Edafología, Fac. Ciencias, UNAM, México.
25. Hudson, N., 1982, Conservación del suelo, Editorial Reverte, Barcelona, España.
26. INEGI, 1987, Síntesis Geográfica, Nomenclator y Anexo Cartográfico del Edo. de Puebla, México.
27. Jackson, M.L., 1982, Análisis químico de suelos, Ed. Omega, Barcelona, España.
28. Kirkby, M.J. y Morgan, R.P., 1984, Erosión de suelos, Editorial Limusa, México.
29. Koolhas, M.H., 1977, La ecuación universal de pérdida de suelo, Boletín No. 130, Octubre, Montevideo, Uruguay.
30. Marques C.J.J., 1988, Probabilidad y estadística para ciencias químico-biológicas, UNAM, México.
31. Martínez, R.L.M. y Lasso, M.L.M., 1991, Efecto de la labranza tradicional y la labranza de conservación para el control de la erosión en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de temporal, Revista Terra, Vol. 9, No. 1, México.
32. Mass, M.J. y García, O.F., 1993, Erosión de suelos y conservación biológica en México y Centroamérica, UNAM, Centro de Ecología, México.
33. McCormack, D.D., K.K. Young and L. W. Kimberlin, 1982, Determinants of soil loss tolerance, Current criteria for determining soil loss tolerance, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 45, Madison, Wisconsin, USA.
34. Miramontes, F.B., 1978, Interpretación agronómica de datos de análisis físicos y químicos de suelos y plantas, SARH, México.
35. Montes G, L.E., 1984, Establecimiento de terrazas tipo laguna para la captación de escurrimiento superficial en zonas áridas y semiáridas, Tesis Profesional, UACH, Chapingo, México.

36. Moreno, D.R., 1970, Clasificaciones tentativas para materia orgánica y nitrógeno, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, SARH, Departamento de suelos, México.
37. Munsell, 1975, Soil Color Charts, Macbeth Division of Kollmorgan Corporation, Baltimore, E.U.A.
38. Oropeza R. J.y Flores D. R., 1990, Dinámica de la hidroerosión en una cuenca del estado de Guerrero, México, Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo, D.F., México.
39. Orozco, G. M., 1984, Cuantificación de las pérdidas de suelo y escurrimiento superficial en tres tipos de cobertura de pasto, bajo condiciones de lluvia simulada en Lomas de San Juan, Tesis Profesional, UACH, Chapingo, México.
40. Ortega, T.E., 1981, Química de Suelos, UACH, Chapingo, México.
41. Ortiz, V.B. y Ortiz, S.C.A., 1987, Edafología, 7a. Edic., UACH, México.
42. Palmer, R.G., 1980, Introducción a la ciencia del suelo, Manual de laboratorio, GT Editor S.A., México.
43. Rey, C.J., 1981, Indices de erosividad, Depto de Suelos, UACH, Chapingo, México.
44. Reyes, C.P., 1981, Diseño de experimentos aplicados, Ed. Trillas, México.
45. Reyes, G.M.V., 1995, Hidrodinámica de suelos bajos en zonas áridas del norte de México, Revista Terra, Vol. 13, No. 3, México.
46. Ríos, B.J.D., 1987, Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo, Tesis de Maestría en Ciencias, Sección Suelos, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
47. Ruiz F.J.F., 1979, Evaluación de cinco tipos de terrazas en suelos de laderas de la cuenca del río Tezcoco, Tesis Maestría en Ciencias, Sección Suelos, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
48. Rodríguez, D.L., 1991, Levantamiento de suelos semidetallado en el Municipio de Ocoatepec, Estado de Puebla, FES-Zaragoza, Inédito, México.

49. Russel C. Brinker, Paul R. Wolf, 1982, Topografía Moderna, sexta edición, Editorial Harla, México.
50. Sánchez, F.S., 1981, Conservación del suelo, Tesis de licenciatura, Facultad de Agronomía, U.A.N.L., Monterrey, México.
51. Santiago J.J.L., 1986, Evaluación de una práctica tradicional de conservación de suelos en la comunidad de Santa María Tiltepec de la Mixteca Alta Oaxaqueña, Tesis Profesional, Especialista en suelos, UACH., Chapingo, México.
52. SARH, 1982, Principales acciones del programa de conservación del suelo y agua realizado durante el sexenio 1977-1982, México.
53. SARH, 1987, Subsecretaría de Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal, Dirección General de Normatividad Agrícola, Curso sobre conservación y manejo de suelos con problemas de erosión hídrica, la erosión y conservación del suelo en México, realidad y perspectivas, México.
54. SARH, 1993, Instructivo para las determinaciones e interpretación de los análisis físicos de los suelos agrícolas, México.
55. Secretaría de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Conservación del Suelo y Agua, 1975, Conservación del suelo y el agua, SAG, México.
56. Servicio de Conservación de Suelos, 1988, Manual de conservación de suelos, Ed. Limusa, México.
57. Secretaría de Gobernación y Gobierno del Edo. de Puebla, 1988, Colección: Enciclopedia de los Municipios de México, México.
58. Terrazas, G. J.L., 1977, Manejo de suelos para reducir erosión y aumentar productividad en los suelos agrícolas de ladera de la Cuenca del Río Tezcoco, Tesis de Maestría en Ciencias, Especialista en suelos, C.P. Chapingo, México.
59. Torres, R.E., 1981, Manual de conservación de suelos agrícolas, Ed. Diana, México.
60. Trueba, C.A., 1979, Terrazas de banco, costos, construcción y manejo, SARH, México.

61. Turrent, F.A., Uribe, B.S., Francisco, N.N. y Camacho, C.R., 1995, La terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México, I. Análisis de desarrollo de la terraza durante 6 años, Revista Terra, Vol. 13, No. 3, México.
62. Turrent, F.A., Uribe, B.S., Francisco, N.N. y Camacho, C.R., 1995, La terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México, II. Cambios en algunas propiedades físicas y químicas del suelo, Revista Terra, Vol. 13, No. 3, México.
63. Turrent, F.A., Uribe, B.S., Francisco, N.N. y Camacho, C.R., 1995, La terraza de muro vivo para laderas del trópico subhúmedo de México, III. Desempeño agronómico del cultivo doble del maíz en temporal, Revista Terra, Vol. 13, No. 3, México.
64. Velasco, M.H.A., 1983, Uso y manejo del suelo, 1a. edición, Editorial Limusa, México.
65. Ventura R.E. y Cortés T.H., 1990, La erosividad de la lluvia en Toluca, Edo. de México, Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo, México.
66. Ventura, R.E., y Ríos B.J.D., 1988, Dinámica de la erosión hídrica bajo diferentes niveles de productividad en maíz y cebada, Conferencia en el XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Cd. Juárez Chihuahua, México.
67. Wischmeier, W. H. 1976, Use and misuse of the universal soil loss equation. J. Soil and Water Conserv., 31, 5-9.
68. Wischmeier, W.H., y Smith, D.D., 1978, Predicting rainfall Erosion losses, Agriculture Handbook No. 637, United States Department of Agriculture, Washington, D.C.
69. Zarate, Z.R. y Anaya, G.M., 1992, Evaluación y cartografía del riesgo a la degradación del suelo por erosión hídrica en el estado de Tlaxcala, Revista Terra, Vol. 10, No. 1, México.

XII. ANEXOS

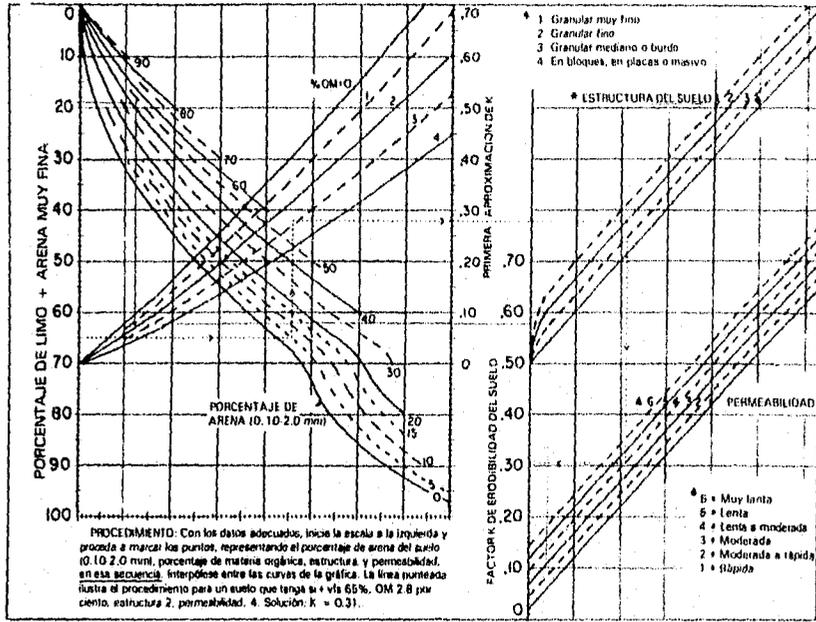
ANEXO 1

DATOS DE PRECIPITACION MEDIA MENSUAL UTILIZADOS PARA EL CALCULO DEL FACTOR DE EROSIVIDAD, R.

	Ena.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1979	Inap	Inap	Inap	Inap	Inap	Inap	Inap	Inap	95.9	18.0	0.0	10.0
1980	9.5	2.0	2.5	28.2	39.0	83.0	73.0	186.5	50.0	27.0	113.9	121.9
1981	6.5	32.5	40.0	28.0	56.0	156.0	63.5	108.0	32.0	84.0	4.0	7.0
1982	0.0	25.5	10.0	65.0	68.0	44.0	43.5	68.5	5.0	73.0	0.0	0.0
1983	Inap	23.8	19.0	0.0	24.5	30.8	Inap	95.7	131.0	32.0	38.0	135.0
1984	31.5	11.5	47.5	16.0	244.2	126.0	138.0	88.5	158.6	17.0	14.5	39.4
1985	3.0	15.0	38.6	107.4	113.0	Inap	41.5	88.7	168.0	1.5	0.0	35.0
1986	24.0	0.0	-	67.0	23.5	48.0	38.5	92.5	157.7	43.6	0.0	37.5
1987	29.5	0.0	55.5	16.0	193.0	125.5	63.0	55.5	8.5	0.0	5.0	35.0
1988	6.0	21.0	35.0	17.0	89.0	52.0	76.0	94.0	133.0	33.0	0.0	0.0
1989	0.0	3.0	13.0	72.5	224.7	117.0	54.5	248.0	-	18.5	0.0	0.0
1990	23.0	25.0	22.0	39.0	44.0	32.0	69.0	49.0	78.2	104.9	7.0	0.0

Inap	Lluvia Inapreciable
-	Valores no registrados

ANEXO 2
NOMOGRAMA DE WISCHMEIER PARA DETERMINAR EL FACTOR DE
ERODABILIDAD, K.



Nomografía para determinar el factor de erodibilidad del suelo, K'

ANEXO 3

VALORES DEL FACTOR MANEJO DE CULTIVOS C EN PORCENTAJE^a

Capa de materia orgánica o vegetación sobre la superficie del terreno ^b							
Dosel vegetal							
Tipo y Altura	Porcentaje de Cobertura ^c	0	20	40	60	80	95-100
Ninguno		45	24	15	9.1	4.3	1.1
Hierbas altas o matorral bajo 0.5m de altura efectiva	25	36	20	13	8.3	4.1	1.1
	75	17	12	9	6.8	3.8	1.1
Matorral o arbustos, 2 m de altura efectiva	25	40	22	14	8.7	4.2	1.1
	75	28	17	12	7.8	4.0	1.1
Arboles, 4 m de altura efectiva	25	42	23	14	8.9	4.2	1.1
	75	36	20	13	8.4	4.1	1.1
Factor para obtener los valores C con pasto o con cubierta superficial de hojarasca ^d		1.0	0.83	0.67	0.46	0.30	0.27

^a Tomado de Kirkby (1984).

^b Los valores de C de la tabla son para cubierta superficial de hierbas o residuos no descompuestos.

^c Para una cubierta por dosel de 25-75 por ciento, una interpolación en línea recta es adecuada.

^d Para obtener los valores de C de cubiertas superficiales de pasto u hojarasca compacta, multiplíquese el valor C de la tabla por el factor.

ANEXO 4

VALORES DEL FACTOR DE PRACTICAS DE CONSERVACION P, PROPUESTO POR HUDSON (1982)

PENDIENTE EN %	VALOR DE P
1 a 2	0.40
2 a 7	0.50
7 a 12	0.60
12 a 18	0.80
18 a 24	0.90

VALORES DEL FACTOR P PARA TERRAZAS, SARH (1987).

PENDIENTE %	VALORES DE P
1.1 - 2	0.60
2.1 - 7	0.50
7.1 - 12	0.60
12.1 - 18	0.80
18.1 - 24	0.90

A: Valores recomendados para la planeación del control de la erosión en terrenos agrícolas.

ANEXO 5

CLASIFICACION DE LA EROSION PROPUESTA POR FAO 1980.

EROSION	PERDIDA DE SUELO	
	t/m ² /año	mm/año
Ninguna a ligera	< 10	< 0.6
Moderada	10 - 50	0.6 - 3.3
Alta	50 - 200	3.3 - 13.3
Muy alta	> 200	> 13.3

XIII. APENDICES

APENDICE 1
METODO DE ESTACAS
LECTURAS DE PERDIDA Y ACUMULACION DE SUELO (cm) MENSUAL
PARA CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS Y SUS REPETICIONES.

TRATAMIENTOS	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	Σ	k
A ₁	0.2(+)	0.0	1.3(-)	0.3(-)	0.2(-)	0.3(-)	1.9(-)	0.958 (-)
	0.3(+)	0.3(+)	1.0(-)	1.0(+)	0.4(-)	0.1(+)	0.3(+)	
	0.2(+)	0.5(+)	1.7(-)	1.0(-)	0.0	0.4(-)	2.4(-)	
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
A ₂	0.3(-)	0.4(-)	0.9(-)	4.5(-)	1.0(+)	1.0(-)	6.1(-)	
	0.5(+)	0.7(+)	1.2(-)	1.5(-)	0.4(+)	0.2(-)	1.3(-)	
	0.3(+)	0.3(+)	1.8(-)	0.8(-)	0.5(+)	0.3(-)	1.8(-)	
	0.2(+)	0.3(+)	1.0(-)	0.0	0.1(-)	0.1(-)	0.7(-)	
A ₃	0.8(+)	0.5(+)	0.0	0.5(-)	0.5(-)	0.1(-)	0.8(-)	
	0.2(+)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1(+)	0.3(+)	
	0.2(+)	0.0	0.9(+)	1.5(-)	0.0	0.1(-)	0.5(-)	
	1.3(+)	1.3(+)	0.0	0.2(+)	0.0	0.6(+)	3.4(+)	
B ₁	0.0	0.0	0.0	0.2(-)	0.1(-)	0.1(-)	0.4(-)	0.466 (-) 3.788 (+) 0.733 (-)
	0.6(+)	0.4(+)	0.7(-)	0.0	0.5(+)	0.2(+)	1.0(+)	
	0.2(-)	0.0	0.5(-)	0.7(-)	0.0	0.2(-)	1.1(-)	
	1.2(+)	1.0(+)	2.5(+)	1.0(-)	0.8(+)	0.9(+)	5.4(+)	
	0.1(-)	0.0	0.0	0.4(-)	0.0	0.1(-)	0.6(-)	
	0.1(-)	0.8(+)	1.7(-)	1.7(-)	0.0	0.4(-)	2.3(-)	
	0.3(+)	0.3(+)	0.5(+)	0.7(+)	0.4(+)	0.4(+)	2.3(+)	
	0.4(-)	0.2(+)	1.5(-)	1.1(-)	0.0	0.4(-)	2.5(-)	
	0.7(-)	0.5(+)	1.2(-)	1.1(-)	0.7(+)	0.2(-)	1.1(-)	
	0.5(+)	0.4(+)	0.6(+)	0.0	0.2(+)	0.3(+)	2.0(+)	
	0.2(-)	0.3(-)	0.2(+)	0.1(-)	0.2(+)	0.1(+)	0.1(-)	
	0.3(+)	0.3(+)	0.2(+)	1.1(+)	0.6(+)	0.3(+)	2.0(+)	
0.5(+)	0.4(+)	0.6(+)	0.5(+)	0.6(+)	0.5(+)	2.9(+)		
0.5(+)	0.4(+)	0.5(+)	0.4(+)	0.2(+)	0.4(+)	2.4(+)		
2.2(+)	2.0(+)	1.7(+)	1.1(+)	0.2(+)	1.5(+)	9.2(+)		
0.4(+)	0.3(+)	0.0	0.3(+)	0.5(+)	0.3(+)	1.8(+)		
0.4(+)	0.3(+)	0.3(+)	0.2(-)	0.2(+)	0.2(+)	1.2(+)		
2.0(-)	2.5(-)	0.4(+)	1.1(-)	0.0	1.0(-)	6.1(-)		
B ₂	0.2(+)	0.0	0.0	0.6(-)	1.7(-)	0.1(-)	0.6(-)	0.466 (-) 3.788 (+) 0.733 (-)
	1.2(-)	1.6(-)	1.6(-)	0.7(-)	0.5(+)	1.0(-)	5.0(-)	
	0.3(+)	0.2(+)	0.0	1.5(-)	0.0	0.2(-)	1.2(-)	
	0.3(+)	0.3(+)	0.6(+)	0.3(+)	0.0	0.3(+)	1.8(+)	
	1.0(+)	1.0(+)	0.5(+)	0.1(+)	0.9(+)	0.9(+)	5.0(+)	
	1.8(+)	2.0(+)	1.6(+)	1.5(+)	1.7(+)	1.7(+)	10.3(+)	
	1.0(+)	1.3(+)	0.0	0.9(+)	1.2(+)	0.9(+)	5.3(+)	
	0.2(+)	0.0	0.8(-)	0.1(-)	0.0	0.1(-)	0.6(-)	
	0.4(+)	0.8(+)	0.3(+)	1.2(+)	0.5(+)	0.6(+)	3.6(+)	

C ₁	*	0.0	0.0	0.0	0.5(-)	0.8(+)	0.1(+)	0.4(+)			
		0.0	0.2(-)	1.3(-)	0.6(+)	0.2(+)	0.4(+)	1.5(-)			
		0.2(+)	0.2(+)	1.4(-)	0.0	0.0	0.2(+)	0.8(-)			
	**	0.2(+)	0.0	0.8(-)	0.0	0.0	0.1(-)	0.7(-)			
		0.3(+)	0.2(+)	0.8(-)	0.1(-)	0.0	0.1(-)	0.5(-)			
		2.2(+)	2.0(-)	2.5(+)	1.5(-)	0.0	0.2(+)	1.4(+)			
	***	0.3(+)	0.0	0.5(+)	0.3(-)	0.0	0.1(+)	0.6(+)			
		0.2(-)	0.3(-)	1.5(-)	0.2(+)	0.5(+)	0.3(-)	1.8(-)			
		0.0	0.0	1.0(-)	0.3(-)	0.3(-)	0.3(-)	1.9(-)			
C ₂	*	0.3(-)	0.4(-)	0.9(-)	0.3(-)	0.6(+)	0.5(-)	2.9(-)			
		1.0(-)	1.2(-)	0.5(-)	0.6(+)	0.5(-)	0.5(-)	3.1(-)			
		0.5(-)	0.8(+)	0.4(-)	0.2(+)	0.0	0.3(-)	1.8(-)			
	**	1.5(+)	1.3(+)	0.0	1.0(+)	1.3(+)	1.0(+)	6.1(+)			
		1.5(+)	1.8(+)	2.0(+)	2.0(+)	2.0(+)	1.0(+)	10.1(+)			
		0.9(+)	0.8(+)	1.2(+)	1.0(+)	1.0(+)	1.0(+)	5.9(+)			
	***	0.2(+)	0.0	0.5(-)	0.3(-)	0.1(-)	0.1(-)	0.8(-)			
		0.3(-)	0.5(-)	1.0(-)	0.1(-)	0.0(-)	0.6(-)	3.6(-)			
		0.9(+)	1.1(+)	0.7(+)	0.1(-)	0.1(-)	0.9(+)	5.4(+)			
	C ₃	*	0.5(-)	0.8(-)	0.2(+)	1.3(-)	0.1(-)	0.3(-)		2.0(-)	
			0.2(+)	0.0	0.0	0.5(-)	0.5(+)	0.2(+)		0.3(+)	
			0.6(-)	1.0(-)	1.3(-)	1.7(-)	1.1(-)	1.1(-)		6.8(-)	
**		1.2(-)	1.0(-)	0.0	0.5(+)	0.4(-)	0.4(-)	2.5(-)			
		1.5(+)	1.2(+)	0.3(-)	0.0	1.1(-)	0.8(+)	3.6(+)			
		2.2(+)	2.0(+)	3.0(-)	0.2(-)	1.1(-)	0.2(+)	1.4(+)			
***		2.3(-)	2.0(-)	0.4(-)	0.7(-)	1.1(-)	1.3(-)	7.8(-)			
		2.0(+)	1.9(+)	0.3(-)	1.2(+)	1.1(-)	1.2(+)	7.2(+)			
		1.0(-)	1.3(-)	0.0	1.5(-)	0.1(-)	0.9(-)	5.9(-)			

(+) Acumulación de suelo
 (-) Pérdida de suelo

* Terreno entre bordo y bordo
 ** Base del bordo
 *** Centro del bordo

 Valores calculados (Estacas Perdidas)

APENDICE 2

**VALORES DE PERDIDA (-) O GANANCIA (+) DE SUELO MENSUAL EN
cm DE SUELO POR SUBPARCELA.**

TRAT.	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	CM SUELO	
A	0.3250 (+)	0.2916 (+)	0.6666 (-)	0.7416 (-)	0.02500 (-)	0.1416 (-)	0.9582 (-)	
B	*	0.033 (+)	0.0888 (-)	0.2000 (-)	0.3333 (-)	0.2000 (+)	0.0777 (-)	0.4665 (-)
	**	0.7777 (+)	0.8555 (+)	0.6808 (+)	0.3666 (+)	0.4666 (+)	0.6333 (+)	3.7885 (+)
	***	0.3333 (-)	0.1500 (-)	0.2500 (-)	0.1833 (-)	0.3000 (+)	0.1166 (-)	0.7332 (-)
	Σ	0.4774 (+)	0.6167 (+)	0.2388 (+)	0.0500 (-)	0.9666 (+)	0.4390 (+)	2.5888 (+)
C	*	0.2777 (-)	0.4444 (-)	0.6222 (-)	0.4555 (-)	0.0111 (-)	0.2111 (-)	2.022 (-)
	**	1.0111 (+)	0.4555 (+)	0.0888 (+)	0.3000 (+)	0.5222 (+)	0.3777 (+)	2.7553 (+)
	***	0.0444 (-)	0.1222 (-)	0.3888 (-)	0.1555 (-)	0.0666 (-)	0.1444 (-)	0.9220 (-)
	Σ	0.6890 (+)	0.1111 (-)	0.8111 (-)	0.1777 (-)	0.4445 (+)	0.0333 (+)	0.0669 (-)

APENDICE 3

TABLA DE VALORES UTILIZADOS EN LOS ANALISIS DE VARIANZA DEL METODO DE ESTACAS.

TRATAMIENTO	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT	OCT	
A ₁	5.2	5.0	3.7	4.7	4.8	4.7	
	5.3	5.3	4.0	6.0	4.6	5.1	
	5.2	5.5	3.3	4.0	5.0	4.6	
	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
A ₂	4.7	4.8	4.1	0.5	6.0	4.0	
	5.5	6.7	3.8	3.5	5.4	4.8	
	5.3	5.3	3.2	4.2	5.5	4.7	
	5.2	5.3	4.0	5.0	4.9	4.9	
A ₃	5.8	5.5	5.0	4.5	3.5	4.9	
	5.2	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	
	5.2	5.0	5.9	3.5	5.0	4.9	
	6.3	6.3	5.0	5.2	5.0	5.6	
B ₄	•	5.0	5.0	5.0	4.8	4.9	4.9
		5.6	5.4	4.3	5.0	5.5	5.2
		4.8	5.0	4.5	4.8	5.0	4.8
	••	6.2	6.0	7.5	4.0	5.8	5.9
		4.9	5.0	5.0	4.6	5.0	4.9
		4.6	5.8	3.3	4.8	5.0	4.6
	•••	5.3	5.3	5.5	5.4	5.4	5.4
		4.6	5.2	3.5	4.6	5.0	4.8
		4.3	5.5	3.8	4.8	5.7	4.8
B ₅	•	5.5	5.4	5.6	5.0	5.2	5.3
		4.8	4.7	5.2	4.9	5.2	5.1
		5.3	5.3	5.2	5.3	5.6	5.3
	••	5.5	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5
		5.5	5.4	5.5	5.4	5.2	5.4
		7.2	7.0	6.7	6.6	5.2	6.5
	•••	5.4	5.3	5.0	5.3	5.5	5.3
		5.4	5.3	5.3	4.8	5.2	5.2
		3.0	2.5	5.4	4.0	5.0	4.0
B ₆	•	5.2	5.0	5.0	4.4	4.9	4.9
		3.8	3.2	3.4	4.3	5.5	4.0
		5.3	5.2	5.0	3.5	5.0	4.8
	••	5.3	5.3	5.6	5.3	5.0	5.3
		6.0	6.0	5.5	5.8	5.8	5.9
		6.6	7.0	6.6	6.5	6.7	6.7
	•••	6.0	6.3	5.0	5.9	6.2	5.9
		5.2	5.0	4.2	5.1	5.0	4.9
		5.4	5.6	5.3	6.2	5.5	5.6
C ₃	•	5.0	5.0	5.0	4.5	5.8	5.1
		5.0	4.8	3.7	4.4	5.2	5.4
		5.2	5.2	3.8	5.0	5.0	5.2
	••	5.2	5.0	4.2	5.0	5.0	4.9
		5.3	5.2	4.2	4.9	5.0	4.9
		7.2	3.0	7.5	3.5	5.0	5.2
	•••	5.3	5.0	5.5	4.7	5.0	5.1
		4.6	4.7	3.5	5.2	5.5	4.7
		5.0	5.0	4.0	4.7	4.7	4.7

C ₆	*	4.7	4.6	4.1	4.7	4.5	4.5	
		4.0	3.8	4.5	5.6	4.5	4.5	
		4.5	4.2	4.6	5.2	5.0	4.7	
	**	6.5	6.3	5.0	5.0	6.3	6.0	
		6.5	6.6	7.0	7.0	7.0	6.0	
		5.9	5.6	6.2	6.0	6.0	6.0	
	***	5.2	5.0	4.5	4.7	4.9	4.9	
		4.7	4.5	4.0	4.6	4.4	4.4	
		5.9	6.1	5.7	5.9	5.9	5.9	
	C ₇	*	4.5	4.4	5.2	3.7	5.5	4.7
			5.2	5.0	5.0	4.5	5.5	5.1
			4.4	4.0	3.7	3.7	3.9	3.9
**		3.8	4.0	5.0	5.5	4.6	4.6	
		6.5	6.2	4.7	5.0	5.8	5.6	
		7.2	7.0	2.0	4.8	5.2	5.2	
***		2.7	3.0	4.6	4.3	3.7	3.7	
		7.0	6.9	4.7	6.2	6.2	6.2	
		4.0	3.7	5.0	3.5	4.1	4.1	

- * Terrano entre bordo y bordo
- ** Base del bordo
- *** Centro del bordo

APENDICE 4

ANALISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR (DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR) Y PRUEBA DEL RANGO MULTIPLE DE DUNCAN PARA DATOS DE PERDIDA Y ACUMULACION DE SUELO DE ACUERDO A LA LA POSICION DE ESTACAS.

ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE DE VARIACION	G.L.	S.C.	C.M.	F _{calc}	F _{tabla}	
					1%	5%
Tratamientos	6	40.617	6.752	10.387	2.10	2.80
Error	389	253.033	0.650			
Total	395	293.65				

$F_{calc} > F_{teor.}$, por lo tanto H_0 se rechaza y se concluye que la perdida y acumulación de suelo es significativamente diferente en los distintos puntos del terreno (posición de las estacas) al 1 y 5 % de significancia.

PRUEBA DEL RANGO MULTIPLE DE DUNCAN

Media Armónica.

$$H = 7 / [1/72 + (1/54) 6] = 56$$

$$D_p = d_{05, p, 389} (0.65/56) \\ = d_{05, p, 389} (0.107)$$

$$D_7 = 3.193 (0.107) = 0.341$$

$$D_6 = 3.146 (0.107) = 0.336$$

$$D_5 = 3.089 (0.107) = 0.330$$

$$D_4 = 3.017 (0.107) = 0.322$$

$$D_3 = 2.918 (0.107) = 0.312$$

$$D_2 = 2.772 (0.107) = 0.296$$

POSICION DE ESTACAS

- A : Terreno sin bordos
- B* : Terreno entre bordo y bordo, con nopal
- C* : Terreno entre bordo y bordo, sin nopal
- B** : Base del bordo, con nopal
- C** : Base del bordo, sin nopal
- B*** : Centro del bordo, con nopal
- C*** : Centro del bordo, sin nopal

		B**	C**	B***	B*	C***	A	C*
		6.631	6.440	6.072	4.822	4.860	4.840	4.670
C*	4.670	0.961 0.341	0.770 0.336	0.402 0.330	0.252 0.322	0.180 0.312	0.170 0.296	0
A	4.840	0.791 0.336	0.600 0.330	0.232 0.322	0.082 0.312	0.01 0.296	0	
C***	4.860	0.781 0.330	0.590 0.322	0.222 0.312	0.072 0.296	0		
B*	4.822	0.709 0.322	0.518 0.312	0.150 0.296	0			
B***	6.072	0.559 0.312	0.368 0.296	0				
C**	6.440	0.191 0.296	0					
B**	6.631	0						

Pares De Medias Diferentes:

- B** - A
- B** - B*
- B** - C*
- B** - B***
- B** - C***
- C** - A
- C** - B*
- C** - C*
- C** - B***
- C** - C***
- B*** - C*

APENDICE 5

ANALISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR (DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR) Y PRUEBA DEL RANGO MULTIPLE DE DUNCAN PARA DATOS MENSUALES DE PERDIDA Y ACUMULACION DE SUELO ENTRE LOS MESES DE MAYO A OCTUBRE.

ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE DE VARIACION	G.L.	S.C.	C.M.	F _{calc}	F _{tabla}	
					5%	1%
Tratamientos	5	12.556	2.511	3.487	2.21	3.02
Error	390	280.994	0.720			
Total	395	293.55				

$F_{calc} > F_{tabla}$, por lo tanto H_0 se rechaza y se concluye que la pérdida y acumulación de suelo es significativamente diferente entre los meses de Mayo a Octubre al 1 y 5 % de significancia.

PRUEBA DEL RANGO MULTIPLE DE DUNCAN

$$D_p = d_{05, p, 390} (0.720/66)$$

$$= d_{05, p, 390} (0.104)$$

$$D_6 = 3.146 (0.104) = 0.327$$

$$D_5 = 3.089 (0.104) = 0.321$$

$$D_4 = 3.017 (0.104) = 0.313$$

$$D_3 = 2.918 (0.104) = 0.303$$

$$D_2 = 2.772 (0.104) = 0.288$$

$$\text{Si } \bar{X}_1 - \bar{X}_2 > D_p \Rightarrow \mu_1 \neq \mu_2$$

		MAYO	SEPT.	JUNIO	OCT.	AGOSTO	JULIO
		5.267	5.200	5.167	5.063	4.837	4.789
JULIO	4.789	0.468 0.327	0.411 0.321	0.368 0.313	0.274 0.303	0.048 0.288	0
AGOSTO	4.837	0.420 0.321	0.363 0.313	0.320 0.303	0.226 0.288	0	
OCT.	5.063	0.194 0.313	0.137 0.303	0.094 0.288	0		
JUNIO	5.167	0.100 0.303	0.043 0.288	0			
SEPT.	5.200	0.057 0.288	0				
MAYO	5.267	0					

Pares De Medias Diferentes: Mayo-Julio
Junio-Julio
Sept.-Julio
Mayo-Agosto
Junio-Agosto
Sept.-Agosto

APENDICE 6

ANALISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR (DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR) Y PRUEBA DEL RANGO MULTIPLE DE DUNCAN PARA LOS TRATAMIENTOS DEL METODO DE ESTACAS.

ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE DE VARIACION	G.L.	S.C.	C.M.	F _{cal}	F _{tablas}	
					5%	1%
Tratamientos	2	0.2059	0.1029	1.941	5.14	10.92
Error	6	0.318	0.053			
Total	8	0.524				

$F_{cal} < F_{tablas}$, por lo tanto H_0 se acepta y se concluye que los datos de pérdida y acumulación de suelo no son significativamente diferentes para cada tratamiento al 1 y 5% de significancia.

APENDICE 7
CALCULO DEL FACTOR DE EROSIVIDAD.

FACTOR R DURANTE EL AÑO DE ESTUDIO.

MESES	p	p²
ENERO	23	529
FEBRERO	25	625
MARZO	22	484
ABRIL	39	1521
MAYO	44	1936
JUNIO	32	1024
JULIO	69	4761
AGOSTO	49	2401
SEPTIEMBRE	76.2	5806.44
OCTUBRE	104.9	11004.01
NOVIEMBRE	7.0	49
DICIEMBRE	0.0	0

$$R = 30\ 140.45 / 491.1$$

$$R = 61.373$$

FACTOR R POTENCIAL.

AÑO	FACTOR R
1979	77.64
1980	108.24
1981	88.73
1982	58.31
1983	93.40
1984	142.64
1985	106.37
1986	89.16
1987	111.81
1989	82.49
1990	179.33

$R_{prom} = 99.96$

$R_{Potencial} = 99.96$

APENDICE 8

CALCULO DEL FACTOR LS PARA LAS DIFERENTES SUBPARCELAS.

$$LS = (X / 22.13)^m (0.065 + 0.045 s + 0.0065 s^2)$$

Donde:

X= Longitud de la pendiente en metros.

s= Gradiente de la pendiente en %.

m= 0.5 si la pendiente es $\geq 5\%$.

m= 0.4 si la pendiente es $< 5\%$ y $> 3\%$.

m= 0.3 si la pendiente es $\leq 3\%$ y $\geq 1\%$.

m= 0.2 si la pendiente es $< 1\%$.

SUBPARCELA	B	R	L _B	L _R
A ₁	26.79	19.65	5.593	4.274
A ₂	17.68	13.65	2.271	
A ₃	7.66	21.30	4.949	
B ₁	15.47	3.83	0.963	0.8088
	15.47	2.33	0.751	
	15.47	2.33	0.751	
	15.47	2.33	0.751	
	15.47	2.83	0.826	
B ₂	23.09	3.83	1.900	1.596
	23.09	2.33	1.482	
	23.09	2.33	1.482	
	23.09	2.33	1.482	
	23.09	2.83	1.634	
B ₃	12.27	3.83	0.663	0.6568
	12.27	2.33	0.517	
	12.27	2.33	0.517	
	12.27	2.33	0.517	
	12.27	2.83	0.570	

C ₁	23.08	3.83	1.899	1.5948
	23.08	2.33	1.481	
	23.08	2.33	1.481	
	23.08	2.33	1.481	
	23.08	2.83	1.632	
C ₄	19.53	3.83	1.424	1.1956
	19.53	2.33	1.110	
	19.53	2.33	1.110	
	19.53	2.33	1.110	
	19.53	2.83	1.224	
C ₇	12.27	3.83	0.663	0.5568
	12.27	2.33	0.517	
	12.27	2.33	0.517	
	12.27	2.33	0.517	
	12.27	2.83	0.570	

APENDICE 9

**VALOR DE CADA UNO DE LOS FACTORES DE LA EUPS Y EROSION
GENERADA POR SUBPARCELA DURANTE EL AÑO DE ESTUDIO.**

SUBP.	R	K	LA	C	P	E (mm/año)
A ₁	61.373	0.10	5.593	1	1	34.325
A ₂	61.373	0.10	2.271	1	1	13.837
A ₃	61.373	0.10	4.949	1	1	30.373
B ₁	61.373	0.10	0.808	0.303	0.8	1.203
B ₂	61.373	0.10	1.596	0.303	0.8	2.374
B ₃	61.373	0.10	0.556	0.303	0.8	0.828
C ₁	61.373	0.10	1.5948	0.36	0.9	3.171
C ₂	61.373	0.10	1.1956	0.36	0.9	2.377
C ₃	61.373	0.10	0.5568	0.36	0.8	0.984

APENDICE 10

ANALISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR (DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR) Y PRUEBA DEL RANGO MULTIPLE DE DUNCAN PARA LA PERDIDA DE SUELO ANUAL (Año de Estudio) POR TRATAMIENTO, EUPS.

ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE DE VARIACION	G.L.	S.C.	C.M.	F _{calc}	F _{tablas}	
					5%	1%
Tratamientos	2	1190.384	595.192	15.03	5.14	10.92
Error	6	237.536	39.589			
Total	8	1428.007				

$F_{cal} > F_{tablas}$, por lo tanto H_0 se rechaza y se concluye que la pérdida de suelo entre tratamientos es significativamente diferente al 1 y 5 % de significancia.

PRUEBA DEL RANGO MULTIPLE DE DUNCAN

$$D_p = d_{05, p, 6} \cdot 5.668 / 3$$

$$= d_{05, p, 6} (1.374)$$

$$D_3 = 3.587 (1.374) = 4.928$$

$$D_2 = 3.461 (1.374) = 4.755$$

$$\text{Si } \bar{X}_1 - \bar{X}_2 > D_p \Rightarrow \mu_1 \neq \mu_2$$

		A	C	B
		26.211	2.177	1.468
B	1.468	24.743 4.028	0.709 4.755	0
C	2.177	24.034 4.755	0	
A	26.211	0		

Pares De Medias Diferentes: A y B
A y C

APENDICE 11

ANALISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR (DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR) Y PRUEBA DEL RANGO MULTIPLE DE DUNCAN PARA EL FACTOR LS DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELOS, POR TRAMIENTO.

ANALISIS DE VARIANZA

FUENTE DE VARIACION	G.L.	S.C.	C.M.	F _{tab}	F _{cal}
Tratamientos	2	20.758	10.379		
Error	6	7.344	1.224	8.479	5.14
Total	8	28.102			

$F_{cal} > F_{tab}$, por lo tanto H_0 se rechaza y se concluye que el Factor LS de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo es significativamente diferente para cada tratamiento al 5 % de significancia.

PRUEBA DEL RANGO MULTIPLE DE DUNCAN

$$D_p = d_{05, p, 6} (0.246 / 3) \\ = d_{05, p, 6} (0.286)$$

$$D_3 = 3.587 (0.286) = 1.025 \\ D_2 = 3.461 (0.286) = 0.989$$

$$\text{Si } \bar{X}_1 - \bar{X}_2 > D_p \Rightarrow \mu_1 \neq \mu_2$$

		A	C	B
		4.271	1.115	0.987
B	0.987	3.284 1.025	0.128 0.989	0
C	1.115	3.156 0.989	0	
A	4.271	0		

**Pares De Medias Diferentes: A y B
A y C**

APENDICE 12

COEFICIENTES DE CORRELACION Y DETERMINACION ENTRE LA VARIABLE EROSION (E) Y LAS VARIABLES FACTOR LONGITUD-PENDIENTE (LS), FACTOR MANEJO DE CULTIVOS Y FACTOR PRACTICAS MECANICAS (P).

VARIABLES			
E (mm/a)	LS	C	P
34.325	5.593	1	1
13.937	2.271	1	1
30.737	4.949	1	1
1.203	0.808	0.303	0.8
2.374	1.598	0.303	0.8
0.828	0.556	0.303	0.8
3.171	1.594	0.36	0.9
2.377	1.195	0.36	0.9
0.984	0.556	0.36	0.8

VARIABLES	COEFICIENTES	
	CORRELACION	DETERMINACION
E y LS	0.985	0.970
E y C	0.911	0.831
E y P	0.838	0.703

APENDICE 13

REDUCCION DE LA EROSION GENERADA DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO CON RESPECTO A LA EROSION POTENCIAL.

Tratamiento B.

42.722 Ton/Ha/Año - 2.990 Ton/Ha/Año = 39.732Ton/Ha/Año

42.722 → 100 %

39.732 → X

X = 93.001 %

Tratamiento C.

42.722 Ton/Ha/Año - 4.012 Ton/Ha/Año = 38.71 Ton/Ha/Año

42.722 → 100 %

38.71 → X

X = 90.60 %

APENDICE 14

REDUCCION DE LA EROSION GENERADA DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO CON RESPECTO AL TRATAMIENTO TESTIGO.

Tratamiento B.

$$26.230 \text{ Ton/Ha/Año} - 1.468 \text{ Ton/Ha/Año} = 24.762 \text{ Ton/Ha/Año}$$

$$26.230 \longrightarrow 100 \%$$

$$24.762 \longrightarrow X$$

$$X = 94,403 \%$$

Tratamiento C.

$$26.230 \text{ Ton/Ha/Año} - 2.118 \text{ Ton/Ha/Año} = 24.112 \text{ Ton/Ha/Año}$$

$$24.112 \longrightarrow 100 \%$$

$$2 \longrightarrow X$$

$$X = 91,92 \%$$