

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

FACULTAD DE AGRICULTURA



“USO DE MODELOS PARA LA DETERMINACION DE EROSION HIDRICA EN BOSQUES TEMPLADOS DE MEXICO”

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

ORIENTACION SUELOS

P R E S E N T A

PATRICIA ZARAZUA VILLASEÑOR

Las Agujas, Municipio de Zapopan, Jalisco 1980

LABORATORIO
BOSQUE LA PRIMAVERA
CENTRO DE DOCUMENTACION
E INFORMACION





UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Facultad de Agricultura

Expediente

Número

Octubre 8, 1985.

C. PROFESORES

ING. ARTURO CUBIEL BALLESTEROS. DIRECTOR.

ING. ARTEMIO GÓMEZ ARIAS. ASESOR.

ING. FLORENTINO GARCÍA SAMANIEGO. ASESOR.

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

"USO DE MODELOS PARA LA DETERMINACION DE EROSION HIDRICA EN BOSQUES TEMPLADOS EN MEXICO."

PATRICIA ZARAZUA VILLASEROR.

presentado por el PASANTE han sido ustedes designados Director y Asesores respectivamente para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su Dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

"PIENSA Y TRAJAJA"
EL SECRETARIO.

ING. JOSÉ ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL.

Al contestar este oficio sírvase citar fecha y número

hlg.



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
Facultad de Agricultura

Expediente

Número

Octubre 8, 1985.

ING. ANDRES RODRIGUEZ GARCIA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRICULTURA
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA.
PRESENTE.

Habiendo sido revisada la Tesis del PASANTE _____
PATRICIA ZARAZUA VILLASENOR _____ titulada,

"USO DE MODELOS PARA LA DETERMINACION DE EROSION HIDRICA EN BOSQUES
TEMPLADOS EN MEXICO."

Damos nuestra aprobación para la impresión de la
misma.

DIRECTOR.

ING. ARTURO CORIEL BALLESTEROS

ASESOR.

ASESOR.

ING. ARTEMIO GOMEZ ARIAS

ING. FLORENTINO SANCHEZ SAMANIEGO

hlg.

Al contestar este oficio sírvase citar fecha y número

CON CARINO Y GRATITUD A MIS PADRES,

MARIA ELENA Y BONIFACIO

CON RESPETO Y ADMIRACION

A MIS PROFESORES,

ING. ARTURO CURIEL BALLESTEROS

ING. ARTEMIO GOMEZ ARIAS

ING. FLORENTINO SANCHEZ SAMANIEGO

TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCION	1
II.	OBJETIVOS, HIPOTESIS Y SUPUESTOS	4
III.	REVISION DE LITERATURA	5
	III.1. El problema de la erosión	5
	III.1.1. Efecto de la pérdida de suelo	7
	III.1.2. Panorama de la erosión en México	8
	III.2. Evolución de los estudios para la evaluación de la erosión	11
	III.2.1. Primeros pasos en la predic- ción	11
	III.2.2. Investigación actual de la erosión del suelo	15
	III.2.2.1 Problemas en la inves- tigación de la erosión	16
	III.2.2.2. Modelos de Investi- gación	17
IV.	MATERIALES Y METODOS	54
	IV.1. Generalidades sobre bosques tem- plados	54

IV.2. Determinación de la zona de estudio y muestreo	55
IV.2.1. Características de la zona	56
IV.2.2. Material utilizado	59
IV.3. Métodos	60
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES	65
VI. CONCLUSIONES	76
VII. BIBLIOGRAFIA	78
APENDICES	83

I. INTRODUCCION

La población mundial ha ido creciendo en forma acelerada en las últimas décadas, y como consecuencia, la -- producción alimenticia es ahora uno de los dilemas que más aquejan al mundo y por ende a México.

Como respuesta a este problema se han venido desarrollando grandes avances científicos y tecnológicos, realizados propiamente para mejorar la producción alimenticia.

Surge entonces la cuestión de porqué, a pesar del auxilio de estos adelantos en la producción, los rendimientos obtenidos no son lo que el agricultor esperaba. Como -- resultado, se han realizado diversas investigaciones para determinar los factores que provocan esa disminución, siendo uno de los principales: el suelo, que año con año se esta perdiendo, siendo su recuperación muy lenta. A consecuencia se ha despertado el interés en su conservación, ya que es el soporte principal y el sustento de los cultivos. Este material, que es parte primordial en la alimentación de los seres vivos, no se le ha tenido el cuidado y control debido y aunque es un recurso renovable, puede perderse.

El interés en la pérdida del suelo se ha enfocado principalmente a los factores que la provocan; que son, el viento y la lluvia. Estos a su paso por la superficie terrestre, desprenden de su lugar partículas de suelo, y van arrastrándolas hacia otras áreas, volviendo improductivas tanto las zonas desnudas como las cubiertas por los sedimentos acarreados.

Como respuesta a la pérdida de suelo en dichas áreas, el hombre, tratando de abrir mayor superficie al cultivo, ha iniciado la deforestación de algunos bosques, explotándolos sin control alguno y permitiendo que el viento y la lluvia actúen más energicamente, por lo que las zonas desnudas van aumentando en tanto que la producción de alimentos disminuye.

Un gran número de personas interesadas en el problema han realizado diversos estudios para definir su magnitud, y como producto de esas investigaciones desarrollaron varios modelos, los cuales tratan de evaluar y/o predecir de alguna forma, la pérdida o erosión sufrida por el suelo, para con esto determinar las prácticas de control más adecuadas.

El presente trabajo se realizó con el fin de analizar y determinar los modelos más aceptables para evaluación de la erosión en una zona boscosa, ya que, como se mencionó anteriormente, es una de las más afectadas por es-

te problema.

Los bosques templados, por ser áreas extensas y muy difundidas en la superficie de la República Mexicana, se optó por desarrollar el trabajo en una zona con esas características en el Estado de Jalisco conocida como el Bosque de La Primavera.

La evaluación de la erosión en esta zona se realizó por medio de uno de los modelos más utilizados a nivel mundial que es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, que fue desarrollada por Wischmeier y Smith en 1959, y que predice la erosión por medio de diversos factores que intervienen de una u otra manera en dicha pérdida. Se le conoce como Universal ya que es el modelo que se puede adaptar a un gran número de regiones en todo el mundo, también se determinaron las diferencias que existen al utilizar -- distintas metodologías en el desarrollo de los factores, -- para conocer los grados de error más comunes y su impacto en las pérdidas. Otras metodologías aquí analizadas son: Levantamientos Geológico, Vegetativo, Volumétrico, Edafológico y Cuantitativo de la erosión.

Esperamos que este trabajo sirva de base a la --- realización de otros que complementen las investigaciones -- en nuestro País.

II. OBJETIVOS, HIPOTESIS Y SUPUESTOS

Objetivos

1. Definir los modelos potencialmente óptimos para la evaluación de la erosión en áreas boscosas.
2. Determinar por medio de valores calculados de erosión, - la variabilidad que puede existir al utilizar diferentes métodos de evaluación.

Hipótesis

1. La evaluación de erosión más precisa para zonas forestales es la obtenida al utilizar modelos combinados.
2. No existen variaciones en categorías de erosión al utilizar diferentes métodos para determinar los factores -- que intervienen en ella.

Supuestos

1. La erosión sufrida en áreas forestales es provocada únicamente por la lluvia.
2. No se lleva a cabo ningún control de manejo en conservación de suelos.
3. Las muestras obtenidas son adecuadas para la evaluación de errores por diferencia entre métodos.

III. REVISION DE LITERATURA

III.1. El problema de la erosión -----

Kirkby y Morgan (20), mencionan que la erosión -- del suelo es la remoción del material superficial, por acción del viento o del agua.

Por su parte Torres Ruiz (30), define a la erosión como la remoción y pérdida del suelo de su lugar de origen, y que es ocasionada por acción del agua y del viento, después de que los cambios climáticos y los agentes biológicos actuaron sobre las partículas, permitiendo que se aflojen.

En 1975, el PNUMA, la FAO y la UNESCO, iniciaron un proyecto (menciona FAO (11)), encaminado a crear una metodología para evaluar la degradación de los suelos; en dicha reunión se definió como degradación de los suelos, al proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y/o cualitativamente, bienes o servicios. Dicha degradación es provocada por diversos procesos tales como la erosión hídrica, erosión eólica, el exceso de sales, la degradación química, degradación física

y degradación biológica.

Por otro lado, comenta FAO (12), en toda la superficie terrestre, con excepción de los desiertos y las regiones polares, el suelo esta sujeto a la erosión por el agua cuando no tiene una cubierta vegetal que lo proteja durante las lluvias.

Las zonas forestales, por sus tierras supuestamente fértiles y su gran contenido de humedad, han sido motivo de interés por parte de agricultores y ganaderos, que viendo en ellas un porvenir, que por supuesto no es seguro, han talado y explotado indiscriminadamente estas regiones, por lo que han aumentado las pérdidas, tanto de flora y fauna como de suelo.

Las lluvias, incluso las moderadas, remueven el suelo desnudo iniciándose así los procesos de denudación que pueden originar graves daños si no se les detiene mediante medidas protectoras.

Cuando caen lluvias muy intensas sobre terrenos en declive dedicados al cultivo, o sobre lugares denudados en areas forestales, gran cantidad de tierra valiosa puede perderse en poco tiempo.

Esta pérdida producida por la erosión hídrica se debe al desplazamiento de un exceso de agua de lluvia que

no penetra en el suelo, iniciando con la formación de capas delgadas, enturbiadas por la tierra y demás materiales que el agua arrastra.

III.1.1. Efecto de la pérdida de suelos

Los daños ocasionados por la erosión son diversos. En las zonas erosionadas, el suelo se empobrece, y en los casos extremos desaparece. El horizonte superior del suelo, el más rico en Materia Orgánica y elementos fertilizantes, es el primero en ser arrastrado dejando a la larga desnudos los horizontes inferiores con propiedades menos favorables para la vegetación.

Todas estas circunstancias contribuyen a la pobreza general de las áreas forestales, al perder su principal recurso.

El suelo y los elementos químicos son transportados y depositados en las partes bajas. La sedimentación puede producir colmatación de cuencas, arroyos, ríos, etc.

FAO (12), nos comenta que cuando a un terreno en declive se le despoja total o parcialmente la cubierta vegetal, el agua de lluvia corre sobre dicho terreno más rápidamente, con lo que aumenta la frecuencia e intensidad de las inundaciones.

Por último, a medida que evoluciona el proceso de erosión, es menor la cantidad de agua que se infiltra en el suelo para alimentar sus reservas subterráneas. Los manantiales, arroyos y terrenos pantanosos se secan más rápidamente, con lo que se intensifica aún más la erosión.

III.1.2. Panorama de la erosión en México

En 1955, el Ing. Rafael Ortiz Monasterio (23), -- llevó a cabo el estudio de "Los Recursos Agrológicos de la República Mexicana" por parte de la Dirección de Aprovechamientos Hidráulicos de la SRH. En dicho trabajo dividió al Territorio Nacional en zonas de acuerdo al daño sufrido de pérdida de suelo, basándose para ello en el tipo y cantidad de vegetación existente. Concluyó que para ese año solo el 11.90% del total de la superficie del país era "susceptible de ponerse bajo cultivo".

Salgado Pérez (26), en 1961 divide el Territorio Nacional en regiones de acuerdo al grado de erosión existente en cada una de ellas, presentándose en la figura 1.

La Dirección General de Conservación del Suelo y Agua de la SARH, decidió realizar el "Inventario Nacional de Erosión", por medio del Ing. García Lagos (15), siguiendo la Clasificación FAO de 1954. El estudio se inició en --



ZONA	% DE EROSION	SIMBOLOGIA
Norte	93	++++++ ++++++
Golfo de México	45	.,.,.,.,. .,.,.,.,.
Pacífico Norte	81	
Pacífico Sur	60	===== ===== ===== =====
Centro	56

Fig.1 Panorama general de la Erosión en México (1961)

PLANO DE EROSION HIDRICA DEL SUELO EN MEXICO

GRADOS DE EROSION	SUELO PERDIDO EN ton/ha/año
	LIGERA 0 - 10
	MODERADA 10 - 15
	ALTA 50 - 200
	SEVERA 200

Elaboraron:
JUAN ESTRADA BERG WOLF
CARLOS A. ORTIZ SOLDADO

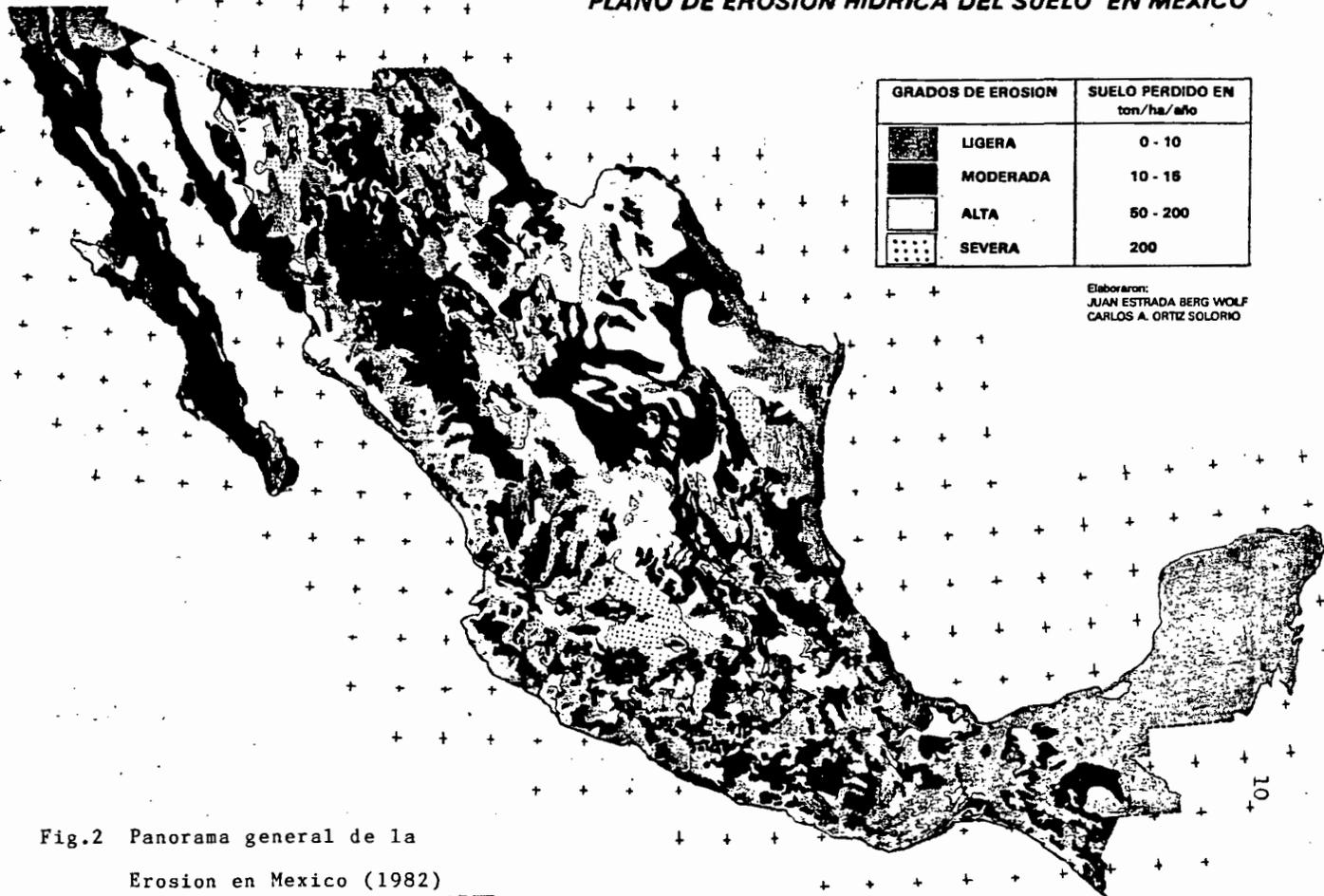


Fig.2 Panorama general de la
Erosion en Mexico (1982)

1979, y en 1982 se obtuvieron como resultados que el 28.3% del area sufría erosión leve; el 34% erosión moderada; el 6.7% erosión severa y el 1.9% erosión muy severa.

En 1982, Estrada Berg y Ortiz Solorio (9), desarrollaron el "Plano de Erosión Hídrica del Suelo en México" a escala 1:8000000, obtenido mediante la Metodología Fao de 1979, concluyendo que se presenta erosión en un 63.41% del total del area, como se muestra en la figura 2.

Actualmente se esta desarrollando el estudio del grado de erosión a nivel de estados en la Rep. Mexicana, -- iniciado en 1984 por la Dirección General de Conservación del Suelo y agua, y del que hasta esta fecha (1986), sólo se tienen recopilados los resultados de Jalisco, Zacatecas, Tabasco, Querétaro y Guanajuato.

III.2. Evolución de los estudios para la evaluación de la erosión

III.2.1. Primeros pasos en la predicción

Kirkby y Morgan (20) nos comentan, que segun Hudson, el primer estudio científico realizado para conocer -- los efectos de la erosión, fue llevado a cabo por Wollny a fines del siglo XIX, y en America los primeros estudios --- cuantitativos lo's inicio el Servicio Forestal de E.U.A. en

1915.

Así mismo, cita que M.F. Miller en 1917, comenzó un estudio en parcelas, el cual trataba del efecto de los cultivos y las rotaciones, sobre el escurrimiento y la erosión.

El interés generalizado sobre el peligro de la erosión del suelo en los años veintes y principio de los --- treintas, dio por resultado una mayor investigación científica.

Sanroque Muñoz, Rubio Delgado y Sánchez Díaz (27) por su parte, mencionan que Bennett en 1926 observó los resultados obtenidos por M.F. Miller por lo que propuso estudios similares en otras áreas del país donde los suelos, la lluvia y las prácticas de cultivo fueran diferentes; así -- mismo propuso un índice de erosión que predecía el comportamiento erosivo de cada suelo, este índice era la razón -- Sílice-Sesquióxidos, y que fué deducido para suelos tropi-- cales.

El índice era:

$$E = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3 * \text{Al}_2\text{O}_3}$$

En 1930 , Middleton obtuvo varios índices de erosión que fueron:

- Índice de dispersión, basado en el contenido de "Limo + Arcilla" no agregados.
- Índice de "Limo + Arcilla" agregados.
- Índice de coloides equivalentes de Humedad.
- Relación de erosión, basado en la relación del índice de dispersión con el índice coloides/equivalentes de humedad.

También mencionan que Bouyoucos en 1935 y Yoder en 1936, obtienen otros índices de erosión:

- Índice de arcilla de Bouyoucos $A = e/f$, que es la relación de arena total + limo y arcilla
- Índice de tamizado de Yoder, que indica la distribución - por tamaño de los agregados estables en agua.

Hasta el momento sólo se consideraban de importancia las propiedades físicas del suelo.

Kirkby y Morgan (20), hacen referencia de que la importancia del impacto de las gotas de lluvia en el proceso de erosión, no se apreció totalmente, sino hasta que se publicaron los estudios realizados por Laws en 1940, sobre precipitación pluvial natural, y el estudio sobre el análisis de la acción mecánica de las gotas de lluvia realizado por Ellison en 1947.

En esta época se comenzaron a idear ecuaciones -- empíricas para evaluar la erosión en los terrenos.

La primera de estas ecuaciones relacionaba la pérdida del suelo con el grado de inclinación y con la longitud de la pendiente, esta ecuación fue propuesta por Zingg en 1940, y con la que se demostró que al duplicar el grado de pendiente, la pérdida de suelo aumentaba de 2.61 a 2.80 veces, y al aumentar la longitud horizontal, la pérdida se incrementaba en 3.03 veces. Dicha relación se expresó de la siguiente manera:

$$A = C S^m L^{n-1}$$

en la que intervenía un coeficiente de variación C, grado de la pendiente del terreno S, longitud horizontal L y los exponentes del grado y de la longitud, a los cuales Zingg dio valores de 1.4 para m y 1.6 para n.

Posteriormente se encontró que la constante de variación C, combinaba los efectos de la precipitación pluvial, el suelo, los cultivos y su manejo.

Browning y colaboradores en 1947, ampliaron el procedimiento propuesto por Smith, para varias rotaciones de cultivos y para varios tipos de suelos.

Hasta este momento no se habían considerado las características de la precipitación pluvial, pero en 1947 Musgrave introdujo la relación que había entre las características de la precipitación pluvial con la cantidad de suelo erosionado. Mediante pruebas experimentales se deter-

minó que la erosión era proporcional a la máxima precipitación pluvial en 30 min., P30 , con un exponente de 1.75; -- así mismo se determinaron que los exponentes para longitud y grado de pendiente debían ser 0.35 y 1.35, quedando así - la ecuación propuesta por Musgrave:

$$E = (0.00527) I R S^{1.35} L^{0.35} P30^{1.75}$$

En dicha ecuación ya intervienen los factores de erodabilidad de un suelo I, y de cubierta vegetal R.

Zingg en 1940, encontró una desventaja en cuanto a la evaluación de la inclinación de pendiente, esta era -- que en pendientes menores del 4% la pérdida del suelo tenía una predicción menor, por lo que en 1947 y 1948, Smith , -- Whitt propusieron una ecuación que describía el efecto de - la pendiente en la pérdida del suelo, y presentaron un mé-- todo para estimar dichas pérdidas en el que intervenían la inclinación y longitud de pendiente, rotación de cultivos, prácticas de conservación y grupos de suelos, la ecuación - propuesta fue:

$$A = C S L K P$$

En esta ecuación no se tomaban en cuenta los e---fectos de la precipitación pluvial.

III.2.2. Investigación actual de la erosión del suelo

Los problemas de la investigación de la erosión -

son amplios y variados, menciona la Univ. de Calif. (4).

Muchos de los aspectos del fenómeno de la erosión pueden convertirse en el objeto de estudio, desde los factores que intervienen en la erosión hasta las medidas para su control.

Considerando el impacto en la agricultura, es natural que el interés se enfoque en la erosión hídrica y eólica, y más específicamente en las formas de erosión que causan el mayor daño a los cultivos. En silvicultura la atención se concentra en el control del flujo y la carga de sedimentos que quedan atrapados en cuencas y cárcavas.

III.2.2.1. Problemas en la investigación de la erosión

La investigación de la erosión del suelo es difícil por varias razones, pero particularmente porque es un proceso intermitente. Es entonces, extremadamente difícil observar la erosión por sí misma, y en la mayoría de los casos solo las consecuencias son investigadas.

Por un lado existen suelos erodados y formas de erosión, y por otro sustancias removidas del suelo, como son los eluatos, deluatos y deflatos (ver apéndice C). En algunos casos el proceso de erosión puede ser determinado por los sedimentos.

Otra circunstancia que hace más difícil la investigación de la erosión, es el hecho de que ésta no siempre es evidente, y sobre todo que sus huellas pueden ser rápidamente borradas. En estos casos la determinación de la erosión se lleva a cabo por comparación de la situación original con la resultante. Si la situación original no se conoce, es imposible la determinación de los cambios causados por este proceso.

Finalmente, un problema mayor en la investigación es el de que no ocurre como un fenómeno aislado, sino que se lleva a cabo junto con otros factores. Las dificultades aparecen al determinar las proporciones de los productos de la erosión, particularmente en ríos, lagos y otros depósitos, conteniendo sedimentos de origen diverso transportados en condiciones poco conocidas.

III.2.2.2. Modelos de investigación

De reciente utilización son los modelos que se --mencionarán, desarrollados para evaluar de alguna manera la erosión sufrida en un lugar determinado, y que nos menciona la Universidad de California (4).

Dichos modelos se llevan a cabo en el campo o en el laboratorio, o bien en ambas partes, y son:

- Nivelación o Geodético
- Volumétrico
- Deluométrico
- Deflamétrico
- Climatológicos
- Pluviológicos
 - . Precipitación natural
 - . Pluviosimulación
- Monolíticos
- Pedológicos
 - . Erodabilidad del suelo
 - . Suelos ya erosionados
- Hidrológicos
- Vegetativos
- Históricos
- Morfométricos o Geomorfométricos
- Fotogramétricos
- Cartográficos
- Matemáticos
- Complejos

de los cuales hablaremos a continuación:

Nivelación o Geodético. Los métodos por nivelación son procedimientos realizados para determinar el efecto cuantitativo de la erosión mediante la medición de los cambios verticales en la superficie del suelo.

Este método es más utilizado en casos de erosión latente, deflación, y en otras formas de erosión. Los cambios en el nivel de la superficie del suelo pueden ser determinados por métodos ambulatorios o bien por métodos estacionarios.

Los métodos ambulatorios son usados donde la superficie original del suelo se determina mediante un patrón donde existan vestigios de erosión o donde se encuentre un horizonte enterrado. Este punto de partida puede ser el borde de una zona forestal, una pradera permanente, etc.

El método estacionario de nivelación está basado en la evaluación de la diferencia de alturas en un microrelieve, por medio de la repetición de micronivelaciones utilizando una cadena de puntos fijos o estaciones, o bien mediante el uso de clavos y rondanas que muestran el desnivel ocurrido durante el proceso de erosión.

Volumétricos. Son métodos para el estudio en campo, en los cuales los cambios en el volumen de el suelo debidos a la erosión, son medidos por métodos sencillos, ya sea ambulatorios o estacionarios. Los métodos volumétricos pueden ser usados para la observación de casi todas las situaciones de erosión superficial y algunas subterráneas, y la formación de acumulaciones. Estos métodos son utilizados con gran ventaja al medir el volumen de cárcavas y arroyue-

los mediante la medición de las secciones transversales.

Como ventaja al utilizar estos modelos, es el --- costo tan bajo de los materiales necesarios y la rapidez -- con que se colectan los datos, pero una gran desventaja es que la erosión que ocurre entre los arroyos no es conside-- rada, lo que nos da una subestimación de los valores que -- son reales.

Deluométricos. La erosión por precipitación es -- determinada por métodos deluométricos, la cantidad y cali-- dad de los productos de la deluación o sea los deluatos, se pueden evaluar. De esta manera es posible establecer con un alto grado de seguridad, la intensidad y el curso de la e-- rosión bajo ciertas condiciones, así como también la inves-- tigación de los factores de la erosión. El método se rea-- liza mediante la intercepción del escurrimiento superficial por medio de lotes de escurrimiento, el cual contiene las sustancias erodadas, para posteriormente pesarlas. Para po-- der relacionar las sustancias recolectadas, es necesario -- conocer el area de producción de esos sedimentos o deluatos.

Algunas ventajas al utilizar este modelo es que - es rápido, oportuno, toma en cuenta el flujo de varias par-- tes del terreno, puede utilizarse en varias situaciones a-- grícolas. En cuanto a sus desventajas tenemos que, los am-- bulatorios son menos confiables que los estacionarios, y --

que el escurrimiento superficial de un area limitada no se realiza de manera natural, ya que varias condiciones cambian notablemente.

Deflamétricos. Este modelo es utilizado para medir únicamente la erosión eólica, aunque para este tipo de erosión puedan utilizarse métodos variados.

Los datos obtenidos nos darán una idea cuantitativa para conocer la intensidad de la erosión, y cualitativa para conocer los efectos en el suelo.

El muestreo se hace mediante la recolección de las partículas acarreadas con ayuda de bolsas, tubos y cajas, los cuales interceptan el viento que carga las partículas.

Climatológicos. Pertenecen al grupo de métodos climatológicos los pluviológicos, utilizados en la investigación de la erosión del suelo, y los métodos utilizados para evaluar la erosividad de la lluvia; que son modelos que determinan la erosividad de los factores climáticos de la erosión (precipitación y viento), y los efectos de las condiciones climáticas (temperatura, humedecimiento, secado, etc.).

Estos modelos son utilizados en todos los trabajos que comprenden la determinación de la erosividad de la lluvia y el viento bajo condiciones climáticas variadas.

Los valores obtenidos con estos modelos permiten la realización de mapas conocidos como Mapas de Isoerodentas y de Isopluvioerodentas, (ver Apéndice C).

Una desventaja de estos modelos es el hecho de -- que los índices, determinados en base a los factores del -- clima, y otros indicadores de erosividad de la lluvia, no -- toman en cuenta los factores de erosión de las llamadas --- lluvias no erosivas; otra de las desventajas es que la erosividad de la lluvia por sí misma es solo un indicador el -- cual, aunque es de suma importancia, no representa la va--- riabilidad del clima el cual determina el grado del daño -- causado por la erosión de la lluvia.

Ninguno de esos indicadores expresan las interacciones entre la erosividad de la lluvia y otros factores -- destructivos, los cuales incrementan el efecto erosivo del clima.

Pluviológicos. El propósito de los modelos plu--- viológicos en la investigación de la erosión es determinar los efectos erosivos de la precipitación, especialmente los efectos de las gotas de lluvia. En la literatura este fenó-

meno es generalmente conocido por los términos "erosividad de la precipitación" y "habilidad potencial de la precipitación para erosionar suelos".

Generalmente la erosividad de la precipitación es utilizada para determinar los llamados índices de erosividad de precipitación, que sirven como una base para el cálculo de la erosión potencial del suelo si se conocen la erodabilidad del suelo y la energía cinética disipada.

Para el estudio de la erosividad de la lluvia se han desarrollado varios métodos, tales como el de Precipitación natural y el de Pluviosimulación.

A) Precipitación natural. Es el estudio de la erosividad por medio de parcelas experimentales con lluvia natural en el campo, nos mencionan Sanroque Muñoz, (27).

Este metodo permite el estudio de la erosión en condiciones naturales. Con esta técnica se puede estudiar el proceso erosivo, los factores que lo controlan y sus consecuencias; sin embargo las observaciones deben ser continuadas durante muchos años para poder considerar la variabilidad climática de la zona y además precisan de una infraestructura costosa.

B) Pluviosimulación. La utilidad de los simuladores de lluvia en parcelas experimentales resulta evidente;

aplicando lluvia artificial de características semejantes a la lluvia natural es posible evaluar la pérdida de suelo y agua en poco tiempo y con distintas condiciones de suelo, - topografía, vegetación, intensidad de lluvia y frecuencia.

Los inconvenientes son la necesidad de una infraestructura costosa y la dificultad de generalizar los resultados.

Monolíticos. Las dificultades al experimentar riegos al aire libre, comenta la Universidad de California (4), y el hecho de que los efectos de inclinación de pendiente, no pueden ser estudiados en el mismo suelo, son problemas que pueden ser solucionados mediante el modelo monolítico, en donde un monolito de suelo con su estructura tan intacta como sea posible, es sujeta en laboratorio a pruebas de riego. En estos métodos las condiciones bajo las cuales ocurre la erosión, difieren un poco a las condiciones naturales, y por lo tanto los resultados que se obtienen son sólo para comparación.

Una ventaja del método es que para usar varias muestras de suelo, la duración de la precipitación, la inclinación de la superficie del suelo, la intensidad de la precipitación y el tamaño de las gotas, pueden variarse como se desee, y así pueden determinarse las relaciones entre la erosión y esos factores.

Sin embargo, la simulación de vegetación natural, así como el cultivo, en un monolito es muy difícil.

Pedológicos. Tanto los modelos Volumétricos, De-
luométricos, Monolíticos, Geodético y Pluviosimulación, han sido desarrollados con bases pedológicas.

Estas bases involucran la determinación de las -- propiedades específicas del suelo relacionadas con la su---ceptibilidad a erosionarse; o bien evaluaciones de los cambios cuantitativos o cualitativos causados por los procesos de erosión.

El estudio de los modelos pedológicos se clasifica de acuerdo a las características de evaluación en el ---suelo en Erodabilidad del suelo y Suelos ya erosionados.

A) Erodabilidad del suelo. Estos métodos incluyen la determinación de algunas propiedades del suelo como medio de evaluación de erosión. Entre las más importantes para tal efecto están la estructura, porcentaje de humedad, - contenido de Materia Orgánica, textura, densidad, porosidad y resistencia de los agregados.

La evaluación de las propiedades se determinará - de acuerdo al tipo de erosión investigada, es decir, para -

la erosión hídrica se consideran ciertas propiedades, y para la eólica otras.

B) Suelos ya erosionados. Este método evalúa la pérdida que ha sufrido un suelo. Para tal efecto se desarrollan los métodos conocidos como Pedogénicos, que es el estudio genético del perfil del suelo.

Como principales criterios y características que se toman para la clasificación, están el color, contenido de humus, % de remoción del horizonte A, % de remoción del horizonte B, % y espesor de A_1+A_2 y de $A+B$.

Hidrológicos. Los métodos hidrológicos son de particular interés donde es necesario determinar la intensidad de erosión del suelo en una región definida, de sedimentación o cuenca. Este método es similar al Deluométrico, con la diferencia de que no son los productos de la erosión por precipitación los observados, pero si algo del efecto total de ésta y de la erosión por los ríos.

La cantidad de sedimentos es registrada tomando muestras de agua y vertiendolas en recipientes, en los cuales la turbidez del agua es medida; con esto, y con las mediciones del flujo del agua, el flujo total de sedimentos puede ser calculado.

Actualmente la mayoría de los métodos están basados en técnicas modernas de medición del flujo de los sedimentos, tales como el aparato Fotoeléctrico, el cual continuamente registra cambios en el flujo total de sedimentos - por medio de una o varias fotoceldas puestas bajo el agua.

Vegetativos. Los métodos descritos previamente -- están estrechamente relacionados a el método de vegetación, por el cual podemos determinar: la intensidad de erosión, - el efecto de la erosión en el suelo (especialmente en fertilidad), y el efecto protector de la vegetación bajo condiciones variables.

La intensidad de la erosión y la acumulación de - depositos, pueden ser investigados por este método, principalmente en los casos en que el cultivo actual, protege al suelo adecuadamente, en comparación con los cambios ocurridos en la superficie del suelo que rodea a la vegetación.

La vegetación puede ser usada con gran ventaja en la investigación de los efectos de la erosión en las propiedades del suelo. En este tipo de erosión, baja la fertilidad, por lo que el modelo vegetativo es casi irremplazable, pues aunque no considera la pedología, puede reflejar cambios en el suelo con respecto a su valor ecológico.

Históricos. Los modelos históricos están basados

en varios registros, mapas y otros documentos, que dan evidencia de cambios en la superficie del relieve, o de movimientos del suelo causados por la erosión.

Los estudios paleontológicos no han sido ampliamente usados para los propósitos de investigación de la erosión.

Un ejemplo del modelo es el desarrollado por los científicos polacos Bac (1928) y Hilbowicki (1955), quienes determinaron la intensidad de la erosión por los cambios -- que han tenido lugar en el microrelieve registrado con exactitud en mapas de contorno; los estudios fueron llevados a cabo después de 19 y 45 años respectivamente.

Morfométrico o Geomorfométrico. Comprenden la investigación del fenómeno erosión por medio de factores morfométricos tales como la inclinación, longitud, aspecto y forma de la pendiente; la forma del relieve; la profundidad a la que ha llegado el efecto de la erosión; la forma, longitud, actividad y densidad de erosión en cárcavas; etc.

Con estos modelos la naturaleza del relieve puede ser estudiada. Si las relaciones entre el relieve y la erosión toman lugar en varias formaciones conocidas, los datos morfométricos pueden servir como una excelente base para la investigación de distribución de erosión a través de un te-

territorio dado.

Fotogramétricos. El estudio del fenómeno de la erosión por medio de fotografías aéreas tiene grandes ventajas. Esta clase de fotografías pueden ser usadas en las fases preparatorias de estudios en el terreno, y en investigaciones en cárcavas, suelos erodados, etc., con tan buenos resultados como los mapas ya realizados.

Las fotografías aéreas tienen la ventaja de ser utilizadas en toda la duración del proyecto de la investigación.

Por tanto son de gran valor los mapas especiales que fueron realizados después de la evaluación con fotografías y que se utilizan en estudios detallados de erosión.

La investigación basada en fotografías aéreas requiere de poco trabajo de campo, y la evaluación es rápida y real, tomando esta técnica como parte indispensable de cualquier proyecto de erosión.

Cartográficos. El mapeo del fenómeno de erosión se ha mencionado en conexión con los modelos morfométricos. La distribución superficial de la erosión puede expresarse claramente en mapas usando modelos cartográficos. Por medio de ellos, la distribución de condiciones y factores de ero-

sión, distribución de la erodabilidad y tierras erodadas, - la distribución de cárcavas, el uso de ciertas medidas de - conservación, etc., pueden ser representados.

Al sobreponer diferentes mapas, uno sobre otro, - la dependencia entre la erosión y varios factores, puede -- también establecerse.

Las relaciones que se obtienen de estudios deta-- llados de unidades territoriales pequeñas, pueden ser generalizadas, pero el grado de generalización debe conservarse dentro del límite de datos obtenidos, porque la interpola-- ción involucra la multiplicación de errores.

Los mapas que muestran la localización de la ero-- sión actual, potencial y pronosticada, son de mayor impor-- tancia, puesto que han sido preparados con los resultados - de investigaciones o por el uso de fórmulas empíricas, lo - que les da una mayor validez.

Matemáticos. Los modelos matemáticos empíricos -- forman una parte inseparable de cualquier investigación de erosión, en los que la erodabilidad del suelo, el grado e - intensidad de erosión, los efectos esperados en las medidas de conservación, y otros factores que son importantes para comprender los procesos de erosión y su control.

Este tipo de investigación puede formar parte de un proyecto específico, o puede ser requerido como parte de la generalización del fenómeno investigado.

Los modelos matemáticos son comúnmente usados como medio de expresión de la erosión actual, pronosticada y potencial.

La entidad básica es siempre la erosión potencial la cual esta en función de la intensidad de los procesos -- erosivos sin los efectos protectores de la vegetación.

El mérito de los métodos empíricos, en los cuales las fórmulas son derivadas para los propósitos de calculo - de la erosión, es notable, y además el progreso en la in---vestigación y en las prácticas de conservación sería difícil sin éstos modelos.

Las desventajas de los modelos matemáticos son su falta de precisión, y principalmente la necesidad de un poco de exactitud de los datos relacionados a condiciones locales, que a menudo no estan disponibles. En tal caso el -- uso de ecuaciones esta limitado.

A continuación se presenta un panorama general de algunos de estos modelos y su aplicación.

A) Ecuación Universal de Pérdida de Suelos.

Este modelo matemático es el que más aceptación ha tenido en forma casi mundial, ya que reúne los factores más importantes que intervienen en el proceso erosivo de la precipitación y escurrimiento.

La FAO (12), considera que esta nueva ecuación -- mejora la predicción de la pérdida de suelos en una localidad determinada, sin alterar profundamente los conceptos -- fundamentales y el procedimiento de aplicación de las ecuaciones antiguas.

Wischmeier (32), por su parte, dice que la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS), es un modelo de erosión designado para predecir por largo tiempo el grado de pérdida de suelos por escurrimiento en una area específica, con un cultivo y un sistema de manejo también específicos.

La ecuación se llamo Universal, nos dice Kirkby - (20), porque estaba excenta de algunas de las generalizaciones y restricciones geográficas y climáticas, inherentes a 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 han ido identificando para su

uso en mas regiones, incluyendo las de otros continentes.

Segun Wischmeier (32), la ecuación puede utilizarse adecuadamente para:

- 1) Predecir la pérdida anual del suelo de una pendiente en un campo con condiciones específicas para su uso.
- 2) Servir como guía en la selección de sistemas de cultivo y manejo, y de prácticas de conservación para suelos y pendientes específicas.
- 3) Predecir el cambio en la pérdida de suelos que resultaría de un cambio en las cosechas, mediante la conservación sobre un campo determinado.
- 4) Determinar como pueden aplicarse o alterarse las prácticas de conservación para permitir un cultivo más intensivo.
- 5) Estimar las pérdidas de suelos en areas con un uso del suelo distinto del agrícola.
- 6) Obtener estimaciones de pérdidas de suelos para que los conservacionistas determinen las necesidades de conservación forestal.

Los valores de la EUPS se desarrollaron mediante una unidad de evaluación llamada Parcela estándar. Una parcela estándar es de una longitud de 22.13 mts. sobre una pendiente uniforme del 9% 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 a-

ños. La parcela se tomó como base para definir la variación en longitud de pendiente, grado de pendiente, tipo de cobertura y práctica de conservación.

La ecuación propuesta por Wischmeier y Smith es:

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

En donde:

- A: Pérdida de suelo en Ton/Ha/año
- R: Factor de erosividad por precipitación pluvial en Mjmm/Hahraño
- K: Factor de erodabilidad del suelo en MgHahr/HaMjmm
- L: Factor longitud de pendiente en mts.
- S: Factor de grado de pendiente en %
- C: Factor de manejo de cultivos en %
- P: Factor de prácticas de control de erosión en %

Factor de erosividad por precipitación (R). La FAO (12), nos dice, que el factor R es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia que se supone ha de caer en una localidad para erosionar el suelo de un terreno sin proteger (en barbecho).

Wischmeier menciona que las investigaciones realizadas indicaron que cuando otros factores de la lluvia permanecen constantes, la pérdida de suelo por tormentas en tierras cultivadas, es directamente proporcional a un parámetro de lluvia identificado como EI.

La suma de los valores EI de las tormentas, para un período dado, es una medida numérica del potencial erosivo de una lluvia para ese período.

Por definición el valor de EI para una tormenta, es igual al producto de la energía total de la tormenta (E) por la intensidad de la lluvia máxima en 30 minutos (I30).

La energía de tormenta indica el volumen de lluvia y escurrimiento, pero esta energía por sí misma no es un buen indicador del potencial erosivo puesto que una lluvia lenta y larga puede tener el mismo valor de energía (E) que una lluvia corta y de mucha mayor intensidad. El componente I30 indica el máximo valor de intensidad para un desprendimiento y escurrimiento.

La energía de una lluvia esta en función de la cantidad de lluvia y de todos los componentes de intensidad de la tormenta.

Wischmeier y Smith, menciona Kirkby (20), en 1958 analizaron la distribución de los tamaños de las gotas de lluvia en los datos publicados por Laws y Parson en 1943, con lo que se pudo desarrollar una ecuación de regresión que describe la energía cinética de una lluvia tempestuosa o porción de un fenómeno de precipitación pluvial:

$$E = 12.142 + 8.877 \log_{10} I \quad \text{FAO (12)}$$

En donde:

E: Energía cinética en Kgm/Ha.mm.

I: Intensidad de la lluvia en mm./hora

Con ayuda de esta ecuación se pueden desarrollar mapas de Isoerodentas, tomando valores de precipitación en cada localidad.

Factor de erodabilidad del suelo (K). El significado del término "Erodabilidad del suelo", alude Wischmeier (32), es muy diferente al del término "Erosión del suelo".

FAO (12) declara, que los suelos de tipos diferentes se erosionan con velocidad distinta, mientras que -- los demás factores, que intervienen en la erosión, permanecen constantes.

Por su parte Wischmeier (32) menciona que el término "Erodabilidad del suelo" sugerido por Cook en 1936, se utiliza generalmente para indicar la susceptibilidad de un -- suelo particular a ser erosionado.

La erodabilidad de los suelos esta influida principalmente por algunas propiedades de los suelos, de las -- cuales las más importantes nos menciona la FAO (12): textura, magnitud y estabilidad de la estructura, tipo de arci--

lla, permeabilidad e infiltración y contenido y espesor de materia orgánica.

Se han hecho muchos intentos, explica Wischmeier (32), para encontrar un índice de erodabilidad basado en -- las propiedades del suelo, que se han desarrollado en campo o en laboratorio, sin embargo el método más comúnmente usado es el determinado por el valor de K.

K se define como el aumento en pérdida de suelo -- por cada unidad adicional de EI30 cuando L, S, C y P permanecen constantes y son iguales a la unidad, (13).

La ecuación que nos da el valor de K es:

$$100K = \left[2.1M^{1.14} (10^{-4})^{12-a} + 3.25(b-2) + 2.5(c-3) \right] \times 1.292$$

En donde:

M: (%limo + arenas finas) x (100 - %arcillas)

a: % de materia orgánica

b: Código de estructura del suelo

c: Código de permeabilidad del suelo

Con esta ecuación se diseñó un Nomograma que se -- utiliza cuando no se puede desarrollar la ecuación.

La codificación de la estructura se realiza como sigue:

1 Granular muy fina y grumosa muy fina

2 Granular fina y grumosa fina

- 3 Granular media, grumosa media y granular gruesa
- 4 Laminar, prismática, columnar, masiva y granular muy gruesa

La codificación de permeabilidad es la siguiente:

- 1 Rápida a muy rápida (> 12.5 cm/hora)
- 2 Moderadamente rápida (6-12.5 cm/hora)
- 3 Moderada (2-6 cm/hora)
- 4 Moderadamente lenta (0.5-2 cm/hora)
- 5 Lenta (0.12-0.5 cm/hora)
- 6 Muy lenta (< 0.12 cm/hora)

Factor de longitud y grado de pendiente (LS). La longitud y el grado de pendiente se estudian como un sólo - factor conocido como topográfico.

Sus efectos han sido evaluados separadamente en - investigaciones, y son representados en la EUPS por L y S. En aplicaciones en campo generalmente se considera a los -- dos como un solo factor, puesto que es más conveniente.

Influencia del factor inclinación. La inclinación de los terrenos influye de diversas maneras en la erosión. La mayor velocidad del agua de escurrimiento, hace que se - incremente la cantidad de suelo arrancado de su sitio y --- llevado a otros lugares. El desprendimiento y el transporte de la capa superficial de materia fina que se acumula sobre el suelo, provocan que queden al descubierto materias fá---

cilmente separables, lo que facilita la erosión.

Influencia del factor Longitud. La longitud de un declive se mide desde el punto de origen del flujo del agua sobre el terreno, hasta el punto donde la pendiente disminuye, en modo tal que comienza el depósito o hasta el punto donde el agua de escurrimiento penetra en un surco bien definido.

El desarrollo de la EUPS, comenta Kirkby (20), se basó en la longitud de una parcela estándar de 22.13 mts.,- por lo tanto, se definió como:

$$L = \left(\frac{x}{22.13} \right)^m$$

En donde:

L: Factor longitud de pendiente

x: Longitud de pendiente en mts.

m: Un exponente cuyas recomendaciones son:

m= 0.5	si	pendiente	es	>= 5%
m= 0.4	"	"	"	< 5% y > 3%
m= 0.3	"	"	"	<= 3% y >= 1%
m= 0.2	"	"	"	< 1%

Smith y Wishmeier en 1957, también determinaron - que la pérdida de suelo estaba correlacionada con una descripción parabólica del efecto de la inclinación, con lo -- que determinaron que el valor de S era:

$$S = \frac{0.43 + 0.30s + 0.043s^2}{6.613}$$

En donde:

S = Factor de gradiente de pendiente

s = Gradiente en porcentaje

Uniendo las evaluaciones de L y S, tenemos que:

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

Factor Cultivo y Manejo (C). Para determinar el factor C en un terreno de cultivo, se consideran varios --- términos, entre los que figuran el tipo de cultivo, la cantidad de la cubierta vegetal y su desarrollo radicular, así como la absorción de agua por las plantas en crecimiento, - la cantidad de restos de cultivo precedente enterrado, etc.

Con estos factores se definen 5 períodos o fases de cultivo para la evaluación de C que son:

0 Barbecho preparativo

1 Sementera

2 Fijación

3 Período vegetativo

4 Residuo o rastrojo

Para zonas forestales, explica Wischmeier (32), - se consideran como elementos para determinar el factor cultivo y ordenación el porcentaje del área con cobertura de - árboles y maleza, así como el porcentaje de área cubierta -

con hojarasca; de esta manera clasifica a las tierras fo---
restales en 3 categorías que son:

- 1) Tierras forestales imperturbadas
- 2) Bosques pastoreados y/o quemados
- 3) Bosques en tratamiento para ser renovados

Para los cuales se presentan los siguientes valo-
res de C:

Bosques imperturbados		
% area	% hojarasca	C
100-75	100-90	0.0001-0.001
70-45	85-75	0.002-0.004
40-20	70-40	0.003-0.009

Para Bosques pastoreados y/o quemados se recomi--
endan valores que van de 0.45 a 0.003, dependiendo de la --
vegetación, tipo de cobertura y porcentaje de vegetación, y
cobertura en el area.

El factor C en bosques renovados se calcula to---
mando en consideración los elementos que se utilizan tanto
en zonas de cultivo como en areas forestales.

Factor prácticas de conservación (P). FAO (12) --
nos comenta que investigaciones efectuadas en los Estados -
Unidos han proporcionado la mayoría de los datos que se em-
plean para evaluar el efecto de las prácticas de conserva--
ción sobre la erosión del suelo por el agua.

El factor de prácticas de control explica Kirkby (20), es la proporción de las pérdidas de suelo cuando se hace uso de alguna práctica específica, en comparación con la pérdida de suelo cuando se cultiva en ladera, esto es:

$$P = \frac{\text{Erosión de suelo con práctica}}{\text{Erosión de suelo sin práctica}}$$

Los métodos de control de la erosión que por lo general se incluyen en este factor son Surcos a nivel, Terrazas de zanja y bordo, y Cultivo en fajas a nivel, siendo el más utilizado de éstos en reforestación el de Terrazas, así como también son comunes los Bancales.

B) Utilización mundial de modelos matemáticos.

Hasta aquí se ha visto uno de los modelos matemáticos más utilizados mundialmente. A partir de este modelo se han realizado diversas investigaciones para desarrollar otros modelos que se adapten mejor a otras áreas.

A continuación se presentara una breve descripción de dichas investigaciones.

En 1983, Burns y Hewlett (3), llevaron a cabo una investigación para la estimación de un modelo que predecía la producción de sedimentos a partir de las prácticas fo---

restales.

El modelo que utilizan es la EUPS, pero debido a condiciones heterogéneas en los suelos forestales, las variables L, C y P no pueden ser aplicadas directamente a cualquier operación silvícola.

Como un sustituto de L, C y P, Burns en 1978 desarrolló un índice del riesgo de sedimentos 'W', basado en la generación del flujo de tormenta.

Para determinar la producción de sedimentos utilizaron el siguiente modelo:

$$E = b_0 R^{b_1} K S^{0.5} W^{b_2}$$

Donde:

E: Producción de sedimentos en un canal permanente

R y K: Erosividad y Erodabilidad, respectivamente

S: Segmento medio de la pendiente

W: Índice de riesgo de sedimentos

b₀, b₁ y b₂: Parámetros obtenidos de los datos de campo

a partir del cual se obtuvo este otro:

$$E_t = 252 Q_{vp}^{0.58} K S^{0.5} W^{0.33}$$

Donde:

E_t: Producción total de sedimentos

Q_{vp}: Producto del volumen del flujo de tormenta y del flujo de máxima descarga

con la que se tuvo una correlación de 0.75 aplicada a esos suelos.

En 1983 se desarrolló un estudio en la India, --- realizado por Dhruva y Babu (6), para la estimación de la erosión del suelo midiendo la producción de sedimentos en la rivera de 36 ríos en ese país.

Para la evaluación de los sedimentos utilizaron - la EUPS. Basados en esas evaluaciones, presentaron las siguientes relaciones estadísticas de la captación anual de sedimentos en los ríos:

$$Y = 0.014 X_1^{0.84} X_2^{1.37} \quad R^2 = 0.82$$

$$Y = 19.25 X_1^{0.84} \quad R^2 = 0.70$$

$$Y = 342 X_1^{-6} X_2^{0.84} EI_{30}^{1.65} \quad R^2 = 0.84$$

Donde:

Y: Producción de sedimentos en millones de Ton.

X: Escurrimiento total anual

X₁: Area de captación

X₂: Promedio anual de lluvia

EI₃₀: Valor promedio de EI anual
30 30

Mediante estos modelos concluyen que cerca del -- 29% del total del suelo erodado se pierde permanentemente -

en el mar, el 10% es depositado en reservorios provocando - una pérdida de capacidad de almacenamiento en el suelo del 1% al 2% por año, y, un 61% de suelo erodado es transportado de un lugar a otro.

Khanbilvardi y Rogowski (19), en 1984, aplicaron un modelo matemático para la determinación de erosión y deposición en una cuenca.

Este modelo esta basado en los fundamentos mecánicos de la erosión. Los parámetros necesarios para ejecutar el modelo incluyen la 'Sorptividad' (ver apéndice C),- y el valor de 'A' de la ecuación de Phillip (1957).

El modelo se utilizo para una serie de eventos de tormenta ocurridos en verano de 1981 y que fueron comparados con los datos de erosión y deposición evaluados.

Los resultados del análisis estadístico indicaron una buena correlación (0.88), entre los valores esperados y los valores medidos.

La ecuación de Phillip utilizada es:

$$I = St^{1/2} + At$$

Donde:

I: Infiltración

S: Sorptividad en cm/seg^{1/2}

t: Tiempo en seg.

A: Parámetro que depende del contenido de agua en el suelo

El modelo de Sorptividad presentado fué:

$$S = \left[2 \int_{\theta_i}^{\theta_1} (\theta - \theta_i) D d\theta \right]^{0.50}$$

Donde:

θ_1 : Contenido de agua en la superficie del suelo durante la infiltración

θ_i : Contenido inicial de agua en el suelo

$D(\theta)$: Difusividad del agua en el suelo

Los resultados indicaron un incremento no lineal en relación a la erosión interna, cuando el tamaño de la -- partícula de suelo disminuye.

En 1977 Hewlett y Forston (17), realizaron el --- análisis de una serie de datos que registraron durante 30 - años, de flujos de tormenta en una tierra forestal situada al Sur de los Apalaches en los EUA., para determinar si la intensidad de la lluvia influye en el volumen del flujo de tormenta o descarga máxima por unidad de area.

La serie de datos incluyen 545 eventos de tormen- ta, de los cuales 323 fueron en invierno y 222 en verano.

Los modelos utilizados fueron dos, el modelo ge--

neral y el modelo reducido, los que se presentan a conti---
nuación:

Modelo General

$$Q_s \text{ o } Q_p = f(P, I, S, D, P_{60}, P_{30}, P_{15}, P_5)$$

Donde:

Qs: Flujo de tormenta por unidad de area (pulg)

Qp: Descarga máxima por unidad de area
 $\frac{3}{\text{ft}} / \frac{2}{\text{seg milla}}$

P: Precipitación (pulg)

I: Flujo inicial de escurrimiento
 $\frac{3}{\text{ft}} / \frac{2}{\text{seg milla}}$

S: Valor de acuerdo a la estación (-1 Invierno,
+1 Verano)

D: Duración de la tormenta (horas)

$P_{60}, P_{30}, P_{15}, P_5$: Intensidades para los 60, 30, 15 y 5 minu---
tos durante la tormenta

El modelo reducido es:

$$Q_s \text{ o } Q_p = a_1 e^{a_2 S} \frac{(b_1 + b_2 S)}{P} \frac{(b_3 + b_4 S)}{I} \frac{(b_5 + b_6 S)}{D} e^E$$

Donde:

a1: Promedio de intercepción del flujo

a2: Desviación del promedio de intercepción de --
acuerdo a la estación

e: Logaritmo de base natural

b1, b3, b5: Promedio de respuesta de Q para P, I, D

b2, b4, b6: Respuesta diferencial de Q para P, I, D por la
estación

E: Término del error aleatorio

Evaluando las correlaciones de los factores con estos modelos, determinaron que hubo mayor respuesta para Q_s con precipitación de 70-80 mm, y para Q_p con precipitación de 25-70 mm.

Arias Rojo (2), en 1980, llevó a cabo un estudio en la cuenca del Río Texcoco, en México, para comparar los índices de erosividad, utilizando para ello un modelo matemático.

Los índices utilizados fueron:

EC : Energía cinética total de la lluvia

EI : Índice de erosividad

³⁰
KE>l: Energía cinética de la lluvia que ocurre a intensidades mayores a 2.5 cm/hora

AIm : Índice de erosividad

A : Agresividad de la lluvia

Ram : Correlación entre precipitación y energía cinética

El modelo utilizado fue:

$PS/B=R$

Donde:

PS: Pérdida de suelo anual

B: Constante que incluye los otros factores de la EUPS

Como resultado se obtuvo que el mejor índice para esas condiciones fue el EI
30.

En 1983 Michiel Ten Raa (28), realizó un estudio de la erosión en la Cuenca alta del río La Antigua en Veracruz, en el cual utilizó como modelo la EUPS.

Concluyó que el único método de control de erosión en una cuenca, era modificando el factor de prácticas de control.

En 1981, Aguilar Sánchez (1), desarrolló un trabajo que muestra una metodología con la cual, mediante la información existente en la mayor parte de la Rep. Mexicana es posible estimar los parámetros utilizados en la EUPS, -- llevándose a cabo en la cuenca del río Texcoco, en México.

La obtención de los factores fue:

R: Mediante técnicas estadísticas, utilizando los datos --- pluviométricos de la zona

K: Se tomó a partir de la textura superficial, al encontrar correlación entre ésta y la calculada a partir del nomograma

LS: Mediante mediciones topográficas en la curva de nivel

P: Por fotointerpretación de fotografías aéreas

C: Mediante recorridos de campo y fotografías aéreas

Después de correlacionar la pérdida de suelo calculada con la observada y ajustada, se encontró el siguiente modelo:

$$Y = 0.02258 X - 0.00572$$

Donde:

Y: Pérdida de suelo en Ton/Ha/año en el terreno

X: Pérdida de suelo en Ton/Ha/año estimada

Esta ecuación es factible de utilizarse bajo condiciones similares a las del lugar donde se desarrolló el trabajo.

Terrazas y Ortiz (29), desarrollan un estudio en 1983, para la obtención de modelos matemáticos para predecir la erosión en función del clima, en la Rep. Mexicana.

Siendo los modelos matemáticos más eficientes que obtuvieron los siguientes:

Para climas húmedos con precipitaciones mayores a 1610 mm.:

$$\text{Log}_{10} (\text{Degr.})_{\text{suelo}} = -2.565 + 4.1576 \left[\text{Sen}(\text{Log}_{10} P'/2) \right] + 0.514 \text{Log}_{10} P^2$$

Con una $R^2 = 0.7810$

Donde:

P': Escurrimiento anual medio (mm)

P : Precipitación media anual

Y para clima seco con precipitación menor o igual a 700 mm:

$$\text{Log}_{10} (\text{Degr.})_{\text{suelo}} = 0.122 + 5.5178 \text{ Sen}(\text{Log}_{10} P^{1/2}) + 0.358 \text{ Log}_{10} H$$

$$\text{Con una } R^2 = 0.5627$$

Donde:

H: Altitud

P: Precipitación media anual (mm)

Con sus resultados concluyen, que la pérdida de - suelo es debida más a los escurrimientos superficiales que a la intensidad de la lluvia. Asimismo nos indican que el índice de Fournier tiene mayor confiabilidad de predicción para climas húmedos que para secos y semisecos.

Mass et al (22), en 1984 determinan las pérdidas de nutrientes por erosión en parcelas tratadas con diferentes coberturas en el area de Chamela, Jalisco.

La determinación del cálculo de erosión fue rea-- lizado por medio de la EUPS. Mediante este trabajo determinaron que el tratamiento que producía menores pérdidas de - nutrientes, además de la selva virgen, era el cultivo de -- maíz con cobertura de hojarasca y el cultivo de maíz alter-- nado al 50% con pasto guinea.

Las mediciones de nutrientes se hicieron en el -- suelo y en los sedimentos.

Como podemos observar el uso de modelos matemáticos se ha extendido en todo el mundo, y aun siguen desarrollándose otros mejores. En México la investigación del problema de la erosión no se ha quedado atrás puesto que ya se van realizando modelos propios para las características que tiene nuestro País.

Complejos. Los métodos complejos son aquellos utilizados para evaluar la erosión y deposición de una manera muy precisa.

Para esto es necesaria la combinación de algunos de los modelos anteriores. Para llevarse a cabo algunos de ellos se necesita material y aparatos muy completos y sofisticados, que sean costeables para un trabajo tan detallado.

A parte de los modelos resultado de la combinación de los anteriores, existen otros métodos que por su equipo y complejidad pueden considerarse dentro de este grupo, uno de ellos se describe a continuación:

En 1983, Longmore, et al. (21), realizan una investigación sobre "Mapeo de la Acumulación y Erosión con lluvia Radiactiva del Isótopo Cesio-137", en Australia.

Se utilizó este Isótopo por tener una vida lo su-

ficientemente larga (30 años aproximadamente), para realizar las evaluaciones y el cual es producto de las explosiones nucleares.

La característica mas significativa por la que se ha utilizado el Cesio-137, es por la fuerte absorción con que se une a las partículas del suelo, especialmente a las arcillas.

El isótopo es transportado por el proceso de erosión, encontrándose en poca cantidad en areas con suelos erosionados, y altas concentraciones en las de acumulación.

Como resultado de esta investigación se han llegado a desarrollar mapas de acumulación y de erosión del suelo.

Otro punto de importancia es que, la evaluación de la erosión se utilizó como modelo matemático la EUPS.

IV. MATERIALES Y METODOS

IV.1. Generalidades sobre bosques templados -----

Con este nombre, mencionan Flores Díaz, et al. -- (14), se designa un tipo de vegetación de 8 a 30 m. de altura o más, en climas Semihúmedos.

Su distribución geográfica coincide con las grandes cadenas montañosas y ocupa algunas localidades en los estados de Baja California, Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Durango, Nuevo León, Tamaulipas, Nayarit, Colima, Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Hidalgo, Querétaro, Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Puebla, México, Tlaxcala, Morelos, Veracruz, Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

En cuanto a la altitud, van desde los 300 m. hasta los 3500 m. S.N.M.

Las necesidades hídricas de esta comunidad varían desde 400 hasta 1500 mm. anuales y la temperatura media anual oscila de 12° a 16° C.

Los suelos son de origen ígneo y algunos derivados de sedimentarias y metamórficas; son someros, ácidos, -

arenosos, ricos en material húmico.

Su composición florística incluye la mayor parte de las especies de Pinus, acompañado frecuentemente del género Quercus.

IV.2. Determinación de la zona de estudio y muestreo.

Para la realización del primer objetivo, era necesario determinar una zona que cumpliera con los requisitos de un Bosque Templado, por lo que se decidió por el Bosque de La Primavera en Jalisco; sobre todo se eligió esta area porque en ella se han realizado diversas investigaciones con las cuales podemos auxiliarnos para elaborar nuestro trabajo.

Dichas investigaciones se han desarrollado con el propósito de definir de alguna manera, las relaciones existentes entre la pérdida de suelo sufrida en el area y los diversos procesos que intervienen en el problema.

Los estudios con los cuales nos auxiliaremos son levantamientos Geológico, Edafológico, de Uso actual del suelo, de la influencia de la hidrología del lugar, y un levantamiento Cuantitativo de la erosión que incluye el efecto de la cubierta vegetal y la lluvia, y la influencia

de la topografía y las características del suelo.

Para cumplir el segundo objetivo de nuestro trabajo se requirió de muestreos de suelo para su análisis en laboratorio, así como ciertas evaluaciones hechas directamente en el área de estudio, por lo que se definieron zonas específicas para la recolección de muestras. Esto se determinó, ya que la utilización de las diferentes metodologías para los factores de la EUPS se hace indistintamente.

IV.2.1. Características de la zona

IV.2.1.1. Localización

La Primavera, (8), es un macizo boscoso, ubicado al poniente de la ciudad de Guadalajara, con una extensión territorial de aproximadamente 36,229 Has.; al Norte y Noroeste colinda con la carretera Guadalajara-Nogales, al Este y Sureste con la carretera Guadalajara-Barra de Navidad, al Sur con el Valle de San Isidro Mazatepec y al Oeste con el Valle de Ameca. Fig.3

Geográficamente se encuentra entre las latitudes N 20°44', 20°28' y las longitudes W 103°27', 103°50' ; tiene altitudes que van desde los 1400m a 2200 m S.N.M.

IV.2.1.2. Fisiografía

La fisiografía del lugar es accidentada en gran -

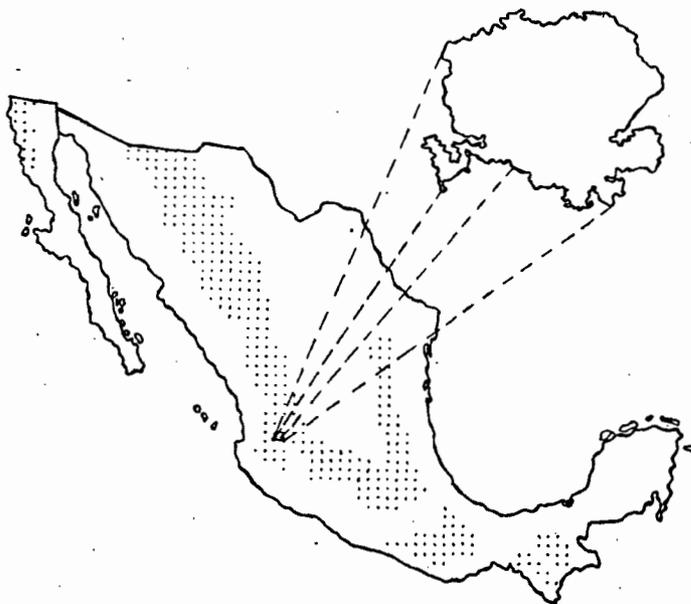


Fig.3 Localización de La Primavera
dentro de los Bosques Templados
en la República Mexicana

parte de la zona, por ser de origen volcánico y tectónico. Generalmente esta constituida por lomeríos.

IV.2.1.3. Suelos

Constituido principalmente por rocas ígneas extrusivas de composición química ácida, tales como Riolita, Toba, Pómez y Obsidiana. De estas rocas se han formado suelos tales como Entisoles que son suelos jóvenes.

IV.2.1.4. Clima

Segun la clasificación de Thornthwaite, el clima característico es C WB'4a', que se define como semihúmedo -
2
con moderada deficiencia de agua invernal, semicálido y baja concentración de calor en el verano.

Su precipitación media anual es de 988 mm., temperatura media anual de 20.6°C con temperatura ambiente del mes más cálido de 34°C y la mínima del mes más frío de 8°C.

IV.2.1.5. Hidrografía

El area esta compuesta por un drenaje natural de tipo Dendrítico y Radial, ocasionado por la erosión sobre el curso de los arroyos. En época de lluvias las corrien-

tes temporales incrementan la erosión de la zona.

Existen corrientes permanentes que nacen en ríos como el Río Caliente que presenta manantiales con temperaturas de 70° a 80° C, con flujo todo el año, y al cual se adhieren dos arroyos, El Verde y Agua Brava.

IV:2.1.6. Vegetación

Dominan en la zona el Pino y el Encino en diferentes especies, como son Pinus oocarpa, Pinus michoacana con su variedad cornuta, Quercus magnolifolia, Quercus castanea .

Como vegetación secundaria encontramos los géneros Acacia, Prosopis y Verbecina, y entre las familias del estrato arbustivo tenemos Burceráceae, Compositae, Gramíneae.

IV.2.2. Material Utilizado

Estudios anteriores:

- Levantamiento Geológico
- Levantamiento de Uso del Suelo (Vegetativo)
- Levantamiento Edafológico

- Levantamiento Volumétrico
- Levantamiento Cuantitativo de la Erosión

Mapas topográficos

Fotografías aéreas escala 1:50000 y 1:30000

Barrena

Juego de Doble cilindro con micrómetro, plancha y mazo

Clisímetro

Material de laboratorio y reactivos

IV.3. Métodos

A continuación se presentan los modelos desarrollados en el área de estudio para evaluar el primer objetivo:

Levantamiento Geológico. Entra en el modelo Morfométrico o Geomorfométrico. Mediante fotointerpretación, se determinaron en el área, zonas de muestreo de acuerdo al relieve fisiográfico e hidrología. Se llevaron a cabo análisis estratigráficos, así como petrográficos de las muestras colectadas, para definir los procesos que intervinieron en la formación del relieve y el material que dio origen al Bosque de La Primavera.

Levantamiento de Uso Actual de La Primavera. Desarrollado por Quezada Pérez A.(24), y que es la aplicación de un modelo Vegetativo, en el cual se determinó la vegetación existente en la zona por medio de fotografías aéreas,

mapas de uso del suelo, y observaciones directas, con lo -- que se la relacionó con la erosión sufrida.

En este estudio se consideró como indicador de -- baja perturbación al Pino, ya que es el tipo de vegetación original de este bosque, y que al ser desplazado por otra, nos puede indicar que ha sucedido un cambio en el contenido del suelo.

Levantamiento Edafológico. Mediante la elabora--- ción de perfiles de suelo, así como análisis en laboratorio se determinaron los tipos de suelo existentes en el area, - que se clasificarían de acuerdo a la FAO/UNESCO. Con ayuda de esto se pudo determinar su resistencia a la erosión.

Levantamiento Volumétrico. Tomando en considera--- cion la gran cantidad de corrientes que existen en la zona se desarrolló una evaluación para definir densidad de co--- rrientes, así como densidad de drenaje. Para completar el - estudio se determinó el area de cárcavas para poder rela--- cionarla con la pérdida de suelo.

Levantamiento Cuantitativo de la Erosión. Este -- estudio fue el desarrollo de un modelo Matemático como lo - es la EUPS, que fue elaborado por Díaz Maldonado E.R. (7) y Gomez Martínez J.F. (16). En este estudio se consideró la -

influencia de los factores topografía, características del suelo, lluvia y efecto de la cubierta vegetal, para lo cual fué necesario llevar a cabo mediciones, tanto en campo como en laboratorio, para poder introducir los valores al modelo.

Para desarrollar el segundo objetivo se llevó a cabo la siguiente metodología:

Determinación del muestreo. Con ayuda de fotografías aéreas y mapas topográficos se determinaron 3 zonas de muestreo tomando como base la topografía del lugar y la cubierta vegetal.

Determinación de los factores. Para la evaluación de los factores de la EUPS se desarrollaron diferentes metodologías, basándose en que para algunos de ellos, los investigadores siguen diversos métodos sin tomar en cuenta si existen o no diferencias en los resultados.

Así mismo, se analizaron las muestras en diferente laboratorio, para con esto poder definir si es posible - considerar los resultados obtenidos en cualquier laboratorio, como confiables para el investigador. Los laboratorios con los que se contó fueron el Laboratorio de Servicio Social de la Facultad de Agricultura de la Universidad de --- Guadalajara, el Laboratorio Regional de Agrología de la --- SARH en Jalisco y los análisis hechos personalmente.

Los métodos utilizados para evaluar los factores fueron:

Factor K, diferencia entre laboratorios para textura y materia orgánica; textura por Hidrómetro de Bouyoucos y textura por método de Hidrómetro y tamices (tomado de los apuntes de B. Figueroa (13)); velocidad de infiltración por el método utilizado por la SARH y el método utilizado por la FAO.

Factor L y S, midiendo la longitud más grande pero con menor pendiente; y midiendo la longitud más corta pero con mayor pendiente. Esto es en cuanto a la evaluación en campo para poder introducirlos en la EUPS se calculó la relación LS mediante tres fórmulas:

$$1) \quad LS = \left(\frac{L}{22.13} \right)^{0.5} \times 0.65 + 0.045 S + 0.0065 S^2$$

Wischmeier y Smith (32)

$$2) \quad LS = \frac{L}{100} \times 1.36 + 0.97 S + 0.138 S^2$$

FAO (12)

$$3) \quad LS = L \times 0.00111 S^2 + 0.00776 S + 0.0111$$

Trueba Carranza (31)

Factor P, se consideró como uno, puesto que en el area no existen prácticas conservacionistas.

Factor C, se tomó el valor obtenido en el trabajo de Curiel Ballesteros (5) "Degradación y Conservación de Suelos Forestales", para una cobertura del 75% de encino sin hojarasca, que fue de 0.24

Factor R, el valor R recomendado para areas forestales es - el que se obtiene de la estación meteorológica más cercana. Para el Bosque de La Primavera la estación que le corres--- ponde es la de la Facultad de Agricultura de la U. de G. Pa- ra este factor se tomó en cuenta no sólo el valor obtenido en la Facultad, sino que se tomó tambien el valor de un --- pluviógrafo temporal colocado dentro del Bosque y con una - distancia de 10 Km. de la otra estación.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

RESULTADOS

Primeramente expondremos de los modelos investigados, lo que a nuestro juicio es de importancia para el presente trabajo.

Mediante el Modelo Geológico o Geomorfométrico se determinó que las fuerzas dominantes que influyen en la fisiografía del lugar son la Tectónica y la Erosiva, que actúan sobre las formas de origen Volcánico, y que le confieren al área una inestabilidad continua. Influyen en la pérdida de suelo las laderas pronunciadas debidas a la localización en zonas volcánicas.

El análisis petrográfico mostro' que las rocas formadoras de suelo son la Toba, Pómez y Riolita, siendo las dos primeras las menos resistentes a la erosión y que cubren un 46% y 34% respectivamente del área total, lo que nos da idea de la fragilidad de la zona.

Los resultados obtenidos al realizar el modelo Vegetativo, fueron que el 35% del área la ocupa la asocia--

cion Encino-Pino, el 34% el Pino-Encino y el 1.18% el bosque natural de Pino, que nos indica una gran pérdida de suelo al ser reemplazada la vegetación original. La correlación encontrada entre vegetación y erosión sufrida fué de 0.86, esto es que la vegetación existente se debe en un 86% al daño del suelo.

Como resultado del Modelo Pedológico se encontró en el area la presencia de suelos Regosol y Litosol, cubriendo el 92% y 8% respectivamente. Los suelos Regosol estan formados por Toba y Riolita, siendo la primera de poca resistencia a la erosión. Son suelos sueltos y con escasa capacidad para formar agregados, con lo que podemos ver que aún teniendo buena cobertura vegetal, la erosión potencial es muy grande.

Con el Modelo Volumétrico se evaluaron corrientes encontradas en el area. Se determinaron los cambios de areas a base de secciones transversales encontrándose como valor promedio de pérdida de suelo en las cárcavas 668 Ton/Kilómetro lineal.

Los factores de la EUPS obtenidos fueron:

385 Mjmm/Ha.hr.año para Erosividad; 0.27 a 0.39 MgHahr/HaMjmm para Erodabilidad, (siendo la permeabilidad la característica del suelo que mayor relación tuvo con la erosión) ; 3 a 19% para el factor Topográfico; y 0.036 a 0.45% para el factor cobertura. (Para unidades ver Apéndice B).

Con estos valores la ecuación dió como resultado promedio una pérdida en el area de 229.31 Ton/Ha/año.

Los grados encontrados en el area y su porcentaje de cobertura, fueron:

Sin degradación	0.63%
Degradación moderada	35.25%
Degradación alta	25.75%
Degradación muy alta	38.37%

Podemos ver que el area ha sufrido una pérdida -- muy marcada, y que las areas con nula erosión casi han de-- saparecido.

Los resultados obtenidos al seguir diferentes metodologías y determinaciones en distintos laboratorios, así como su repercusión en la evaluación de la erosión, se ---- muestran a continuación:

Diferencias en la determinacion de Materia Orga-- nica en distintos laboratorios:

	% de M.O.	Erosión Ton/Ha/año	Categoría
Mínimo	6.34	28.0982	Moderada
Máximo	7.63	21.9893	Moderada

Diferencias en la determinación de Porcentaje de Arcilla en distintos Laboratorios:

	% Arcilla	Erosión Ton/Ha/año	Categoría
Mínimo	9.08	27.4708	Moderada
Máximo	13.59	25.9958	Moderada

En la utilización de diferentes métodos para evaluar Velocidad de Infiltración, se encontraron diferencias mínimas en los resultados, que al codificarlos para su entrada a la EUPS mostraron el mismo código de permeabilidad.

	Velocidad	Erosión Ton/Ha/año	Categoría
Mínimo	6.15	46.1215	Moderada
Máximo	7.08	46.1215	Moderada

Diferencias encontradas en el cálculo del factor Topográfico, utilizando las tres ecuaciones de 'LS' conocidas:

	Valor LS	Erosión Ton/Ha/año	Categoría
Mínimo	0.861180	49.3301	Moderada
Máximo	1.071345	61.3380	Moderada

Diferencias entre métodos para determinar % de --
Arcillas:

	% Arcilla	Erosión Ton/Ha/año	Categoría
Mínimo	4.3	29.0454	Moderada
Máximo	13.59	25.9958	Moderada

Diferencias en los métodos para evaluar L y S en
el campo:

Cálculo L/S *	Erosión Ton/Ha/año	Categoría
Criterio 1	50.2406	Moderada
Criterio 2	61.3688	Moderada

* Criterio 1: Longitud corta y pendiente grande

Criterio 2: Longitud larga y pendiente pequeña

En cuanto al factor de Erosividad, los valores --
obtenidos con diferentes localidades fueron:

Estación	R
Fac. Agricultura	109.74
Bosque La Primavera	335.65

y sus diferencias al utilizarlos para evaluar erosión:

	Valor R	Erosión Ton/Ha/año	Categoría
Mínimo	109.74	20.0643	Moderada
Máximo	335.65	61.3688	Moderada

DISCUSIONES

Sobre la factibilidad de uso de los modelos descritos en el capítulo de Revisión para un Bosque Templado, consideramos lo siguiente:

El Modelo de Nivelación, aunque nos presenta datos precisos, está muy restringido para un bosque de este tipo, ya que para desarrollarlo es necesario contar con una serie de estaciones, que en un área boscosa sería difícil controlar, ya que es común la ganadería, la tala inmoderada, los incendios, además de que su costo se elevaría.

El Modelo Deflamétrico, es exclusivamente para evaluar pérdidas de suelo debidas a la erosión eólica, además de que en un bosque la gran mayoría de las pérdidas es por efecto de la erosión hídrica.

El Modelo Hidrológico se recomienda en cuencas y riberas de los ríos, y su uso en un área forestal solo se--

ría de utilidad si se encuentran corrientes de agua permanentes considerables, aunque también hay que evaluar la erosión fuera de las cuencas por otros modelos.

La evaluación de pérdidas de suelo en un bosque por medio del Modelo Fotogramétrico es imposible, ya que la vegetación que cubre el area no permite observar la erosión sufrida.

Las areas boscosas por su relieve tan accidentado presentan , generalmente, una gran cantidad de cárcavas, -- que con el Modelo Volumétrico pueden evaluarse perfectamente.

Por los resultados obtenidos en el desarrollo del Modelo Vegetativo, podemos observar que el uso de la vegetación como índice del grado de erosión es de gran utilidad. Por lo que en un area boscosa este modelo es factible de utilizarse.

El desarrollo del Modelo Geomorfométrico en una zona forestal es de gran importancia, ya que en éstas areas se presenta una gran diversidad de relieves que se pueden considerar como causa principal de la erosión sufrida.

El desarrollo del Modelo Monolítico requiere la obtención de un monolito para representar el area de estudio, pero en los bosques de un relieve tan accidentado, la

obtención de un monolito es muy difícil, además de que no sería representativo del área.

Lo mismo que el Modelo de Nivelación, el Modelo Deluométrico para su desarrollo requiere de varias estaciones donde colocar parcelas experimentales, y en un bosque sería muy costoso ya que necesitarían colocarse varias de ellas para cubrir las condiciones del lugar.

Mediante el Modelo Pedológico, podremos determinar la fragilidad o resistencia de un suelo a la erosión, dándonos una idea más precisa del potencial erosivo de la zona, aunque tenga una cobertura, como sucede en un área forestal.

En un área boscosa no solo interviene el clima en el proceso erosivo, sino que se presentan otra clase de factores que el Modelo Climático no considera, por lo que su uso no es muy recomendable.

Para determinar el efecto de lluvia mediante el Modelo Pluviológico, a veces se necesita contar con lotes de escurrimiento, que en un bosque es difícil controlar, aparte de que sólo nos es de utilidad para determinar un factor de los varios que intervienen en la erosión.

El Modelo Histórico, lo mismo que el Cartográfico muestran el proceso de la erosión con una gran efectividad,

solo que para desarrollarlos es necesario contar con el material adecuado, lo que muchas veces impide su desarrollo. En México el material existente sobre los Bosques Templados no es de mucha utilidad, por lo que, aun siendo factibles, no pueden elaborarse.

El desarrollo de un Modelo Matemático es de mucha utilidad, ya que podemos predecir las pérdidas al presentarse un factor del proceso en determinada forma. Dentro de estos modelos se utilizan otros como son el Pluviológico y el Pedológico, contando con los mapas de Isoerodentas e Isopluvioerodentas. No se recomienda el utilizarlo como único modelo puesto que en muchas ocasiones no determina las pérdidas reales, además de que existen varias metodologías en la evaluación de los factores que en ellos intervienen.

En cuanto a los modelos complejos, son los ideales en la evaluación de pérdidas, ya que al combinar varios modelos, el efecto de los errores disminuye. En algunos de ellos podemos encontrar desventajas como lo sería su alto costo.

Para discutir las diferencias encontradas al utilizar distintas metodologías, presentamos el siguiente cuadro que nos muestra el factor a evaluar, sobre que se basan las diferencias y los valores de la diferencia:

Factor	Dif. entre :	% Dif
% M.O.	laboratorios	21.0
% Arcilla	laboratorios	5.32
LS	ecuaciones	20.88
% Arcilla	métodos	10.4
L y S	evaluar campo	18.13
R	localidades	67.30

Podemos observar en nuestros resultados que en -- las diferencias encontradas hay unas muy significativas y - otras insignificantes, relativamente.

Esto quiere decir, que al querer clasificar el -- terreno de acuerdo a su grado de erosión, con los resulta-- dos obtenidos, estaríamos cometiendo un error puesto que en la realidad pertenece a otro grado de pérdida.

Este es un problema de mucho interés, puesto que el manejo para una buena conservación del suelo en un te--- rreno o area forestal, se definirá en base a la clasifica-- ción que de el se haga, y si ésta no corresponde a la rea- lidad, se estará dando un control inadecuado.

Mediante el cuadro anterior consideramos que:

- La evaluación del contenido de arcilla por distintos la-- boratorios no muestra grandes diferencias, sin embargo es

recomendable determinar este factor con gran precisión.

- Las diferencias mostradas por los otros factores (% M.O., % Arcilla, LS, R), son muy significativas, y pueden eliminarse al definir el método o forma de evaluación más adecuado, previa o mediante una calibración.

- En cuanto a las diferencias del factor Erosividad, nos muestran que la recomendación de utilizar el valor R de la estación más cercana al Bosque, no es muy adecuada pues se presentan grandes diferencias en comparación al valor dentro del bosque. Esto es de tomarse en cuenta puesto que las condiciones climáticas varían considerablemente, aun en zonas cercanas entre sí.

VI. CONCLUSIONES

- 1.- De los modelos descritos en este trabajo, consideramos como óptimos para un bosque templado, los que para su desarrollo necesitan la combinación de otros, como es el caso de los Modelos Complejos, ya que evalúan detalladamente la erosión provocada por todos los factores que en ella intervienen, y en sus manifestaciones diversas.
- 2.- Se pueden desarrollar con buenos resultados los modelos Geomorfométrico, Volumétrico, Edafológico, Vegetativo, Matemático, Hidrológico, Histórico y Cartográfico, con estos fines.
- 3.- En nuestro País el desarrollo de los modelos Histórico y Cartográfico, está muy restringido para zonas forestales por la falta de información adecuada.
- 4.- El uso de los modelos Pluviológicos así como los Pedológicos, es frecuente en los Matemáticos, sirviendo como material auxiliar, pero no como modelos únicos, ya que permiten la realización de mapas de Isoerodetas, -- Isopluvioerodetas e Isoerodabilidad, que sirven de base a estudios posteriores.

- 5.- En bosques templados no es factible el uso de los modelos: Geodético, Deflamétrico, Deluométrico, Fotogramétrico, Monolítico y Climático, por diversas causas, --- entre las que destacan la incosteabilidad del estudio, la falta de precisión, y la falta de adaptación a la -- zona en cuestión.

- 6.- Existen diferencias en la evaluación de la erosión al -- utilizar diversas metodologías en la determinación de -- los factores de un modelo Matemático como la EUPS.

- 7.- Hay que tener cuidado en el método que se utilice al -- determinar los factores de la EUPS, como es el caso del factor erodabilidad, el factor topográfico, y la determinación de Materia Orgánica por distintos laboratorios para evitar errores al clasificar el terreno.

- 8.- La recomendación existente de evaluar Erosividad en la estación más cercana al bosque, no da un valor muy preciso, puesto que las condiciones climáticas pueden variar, por lo que es mejor utilizar el valor R determinado dentro de la zona, colocando un pluviógrafo temporal, y relacionando sus resultados con las estaciones -- de mayor antigüedad en el area; para poder determinar -- valores promedio que concuerden con la realidad.

VII. BIBLIOGRAFIA

- 1 Aguilar Sánchez G. y W.J.Estrada Berg. 1982 Pérdi--
das de Suelo en México. Revista Chapingo. 33:54 --
p.79-83
- 2 Arias Rojo H.M. 1980 Comparación entre seis índices
de Erosividad en la Cuenca del Río Texcoco. XIII Con-
greso Nacional de la Ciencia del Suelo. Toluca. p.73
-92
- 3 Burns R.G. y J.D.Hewlett. 1983 A decision Model to
Predict Sediment Yield from Forest Practices. Water -
Resources Bulletin. 19:1 p.9-13
- 4 California State Politechnic University. 1979 Ero--
sion. Apuntes de la Biblioteca en Pomona, Calif. p.
137-199
- 5 Curiel Ballesteros A. 1985 Degradación y Conserva--
ción de Suelos Forestales. Ed. Sociedad de la Ciencia
del Suelo de Colombia (en prensa)
- 6 Dhruva V.V.N. y R.Babu. 1983 Estimation of Soil
Erosion in India. Journal of Irrigation and Drainage
Engineering. 109:4 p.419-434
- 7 Díaz Maldonado E.R.M. 1983 La Erosión Hídrica en el

- Bosque de La Primavera, Jal. Efecto de la cubierta vegetal y la lluvia. Tesis Fac. de Agricultura. Universidad de Guadalajara.
- 8 Dirección General de Estudios del Territorio Nacional. 1978 Formulación de Uso Potencial del Terreno en la Serranía de La Primavera, Jal. SPP p.7-25
 - 9 Estrada Berg Wolf y Ortiz Solorio 1982 Plano de Erosión Hídrica del Suelo en México. Revista de Geografía Agrícola de la Universidad Autónoma de Chapingo No.3 JULIO p.23-26
 - 10 Evett S.R. y G.R.Dutt. 1985 Effect of Slope and Rainfall Intensity on Erosion from Sodium Dispersed, Compacted Earth microcatchments. Soil Science Society of America Journal. 49:1
 - 11 FAO 1980 Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. Editorial FAO. Roma. p.1-3
 - 12 FAO 1967 La Erosión del Suelo por el Agua. 1a.Ed. Editorial FAO. Roma. p.42-47, 160-175
 - 13 Figueroa B. 1980 Cálculo de la Erodabilidad de los Suelos. Apuntes para la clase de Conservación de Suelos. C.P. Chapingo, Mexico
 - 14 Flores Díaz A., L.González Quintero, T.Alvarez y F.de Lachica. 1974 El Escenario Geográfico. 1a.Ed.

- Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.
p.131
- 15 García Lagos Ricardo 1983 Diagnóstico sobre el Estado Actual de la Erosión en México. Revista TERRA de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo 1:1 p.11-14
 - 16 Gómez Martínez J.F. 1983 Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica en la Zona Forestal de La Primavera, Jal. Influencia de la topografía y características del suelo. Tesis Fac, de Agricultura. Universidad de Guadalajara.
 - 17 Hewlett J.D. y J.C.Forston. 1977 The Effect of Rainfall Intensity on Storm Flow and Peak Discharge from Forest Land. Water Resources Research. 13:2 p.259-266
 - 18 Instituto de Astronomía y Meteorología U. de G. 1978 Características Climatológicas de Guadalajara. 2a.Ed. Universidad de Guadalajara. p.13
 - 19 Khanbilvardi R.M. y A.S.Rogowski. 1984 Mathematical Model of Erosion and Deposition on a Watershed. Transactions of the ASAE. 27:1 p.73-79
 - 20 Kirkby M.J. y R.P.C.Morgan. 1984 Erosión de Suelos. 1a.Ed. LIMUSA México. p.15, 35-59
 - 21 Longmore M.E., B.M.O'Leary, C.W.Rose y A.L.Chandica.

- 1983 Mapping Soil Erosion and Accumulation with the Fallout Isotope Caesium-137. Australian Journal of Soil Research. No.21 p.373-385
- 22 Mass J.M., C.Jordan y J.Sarukhan. 1984 Pérdidas de Nutrientes por Erosión y Técnicas para su Control en el Area de Chamela, Jal. UGA/UNAM México
- 23 Ortiz Monasterio Rafael 1956 Ingeniería Hidráulica en México. Serie "Los Recursos Agrológicos de la República Mexicana". Enero/Febrero/Marzo p.47
- 24 Quezada Pérez A. 1984 Levantamiento de Uso Actual de La Primavera. Tesis Fac. de Agricultura Universidad de Guadalajara
- 25 Rubio Delgado J.L., J.Sánchez Díaz, P.Sanroque Muñoz y Ma.J.Molina Donate. 1983 Metodología de Evaluación de la Erosión Hídrica en Suelos del Area Mediterránea. I Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo en España. p.834
- 26 Salgado Pérez F. 1961 Dinámica de la Conservación del Suelo y del Agua en México. 2a.Ed. Dirección de Conservación del Suelo y del Agua. México p.15-17
- 27 Sanroque Muñoz P., J.L.Rubio Delgado y J.Sánchez Díaz. 1982 Evaluación de la Erosión Hídrica de los Suelos. Anales de Edafología y Agrobiología. p.855-872
- 28 Ten Raa M. 1983 Estudio de la Erosión de la Cuenca

- Alta del Río La Antigua, Veracruz. BIOTICA 8:4
- 29 Terrazas González G.H. y C.A.Ortiz Solorio. 1983
Obtención de Modelos Matemáticos para Predecir Erosión
en Función del Clima en La República Mexicana. Revis-
ta Chapingo. No.2
- 30 Torres Ruiz E. 1981 Manual de Conservación de Sue-
los Agrícolas. 1a.Ed. Ed.Diana. México p.45
- 31 Trueba Carranza A. 1981 Evaluación de la Eficiencia
de Cuatro Prácticas Mecánicas para Reducir las Pérdi-
das de Suelo y Nutrimientos por Erosión Hídrica en Te-
rrenos Agrícolas de Temporal. SARH México p.49
- 32 Wischmeier W.A. y D.D.Smith. 1978 Predicting
Rainfall Erosion Losses. USDA No.282 p.1-17

APENDICE A

CLASIFICACION DEL SUELO DE ACUERDO A SU GRADO DE
EROSION

GRADO	PERDIDA EN Ton/Ha/año	RIESGO DE EROSION
1	10	Muy débil
2	10-20	Débil
3	20-100	Moderada
4	100-300	Alto
5	300	Muy alto
0	No cuantificable	Máximo

Rubio Delgado (25), 1983

APENDICE B

UNIDADES DEL SI (Sistema Internacional), QUE SE
UTILIZAN PARA LOS FACTORES DE LA EUPS.

<u>Símbolo del factor</u>	<u>Unidades SI</u>	<u>Abreviación</u>
E Energía de la tormenta	Megajoule por Ha	Mj/Ha o MjHa ⁻¹
EI Erosividad de la tormenta	Megajoule milímetro por hectárea hora	Mjmm/Hahr
R Erosividad anual	Megajoule milímetro por hectárea hora año	Mjmm/Ha.hr año
K Erodabilidad del suelo	Megagramo hectárea hora por hectárea megajoule milímetro	MgHahr/HaMjmm
L Longitud de pendiente	Metros	mts.
S Grado de pendiente	Porcentaje	%
C Cobertura vegetal	Porcentaje	%
P Prácticas de control	Porcentaje	%

Foster et al, citado por Evett (10) 1981

APENDICE C

GLOSARIO

- DEFLATOS Partículas de la superficie del suelo que son arrastradas al ocurrir la erosión eólica.
- DELUATOS O COLUATOS Partículas de suelo acarreadas por el agua como efecto de la erosión hídrica superficial de arroyuelos y cárcavas
- DENUDADO Desnudo, se refiere al suelo desnudo de vegetación
- DESFORESTACION Tala excesiva de los Bosques
- ELUATOS Partículas de suelo acarreadas por el agua como efecto de la erosión hídrica intrasuelo o interna
- ERODADO Que ha sufrido el proceso de erosión
- ERODABILIDAD Propiedad de un suelo de ser fácilmente erosionado
- ERODABLE Que puede ser erosionado
- EROSION DEL SUELO Desgaste y pérdida de las partículas del suelo
- EROSION ACTUAL Erosión que ocurre en un terreno en ese momento
- EROSION PRONOSTICADA Es la erosión que se calcula, ocurrirá en un lugar determinado
- EROSIVIDAD Se refiere a la capacidad que tiene la lluvia

- de desgastar o erosionar el suelo
- ISOERODENTAS O ISOERODETAS Líneas que unen puntos de igual intensidad de erosión
- ISOPLUVIOERODENTAS O ISOPLUVIOERODETAS Líneas que unen puntos de igual erosividad de las gotas de lluvia
- SEDIMENTACION Resulta por efecto de la erosión, al dejar partículas acarreadas de un suelo, en otro
- SORPTIVIDAD Evaluación de la absorción del agua por el suelo, por medio de la Difusividad del agua que es resultado de la conductividad hidráulica por la relación entre la presión capilar y el contenido de humedad del suelo
- TURBIDEZ Grado de concentración de suelo en una mezcla agua-suelo