

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

EL RELIEVE, EL SUELO Y LA VEGETACION COMO FACTORES  
QUE INTERVIENEN EN LA EROSION HIDRICA SUPERFICIAL  
EN LA CUENCA ALTA DEL RIO TIZAR

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

LICENCIADO EN GEOGRAFIA

PRESENTA

J O S E L U I S P A L A C I O P R I E T O

---

México, D. F.

1980

ESTE LIBRO  
NO SALE DE  
LA BIBLIOTECA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

A LA MEMORIA DE MI PADRE Y A MI MADRE, CON CUYO ESFUERZO HICIERON POSIBLE MI REALIZACION PROFESIONAL.

QUIERO PATENTIZAR MI AGRADECIMIENTO A TODAS LAS PERSONAS QUE DE ALGUNA MANERA PARTICIPARON EN LA REALIZACION DE ESTA TESIS, A LA SECCION DE GEOMORFOLOGIA DEL INSTITUTO DE GEOGRAFIA DE ESTA UNIVERSIDAD, A MI MAESTRO Y GRAN AMIGO GILBERTO HERNANDEZ CORZO POR SU ORIENTACION, A LA BIOLOGA ARCELIA CABRERA POR SU AYUDA EN LOS TRABAJOS DE LABORATORIO, AL LIC. MAURICIO ACEVES GARCIA, DIRECTOR DE LA PRESENTE, A LOS MAESTROS JORGE RIVERA ACEVES, FRANCISCO HERNANDEZ HERNANDEZ Y ENRIQUE ZAPATA, SINODALES, Y EN ESPECIAL A LOS DOCTORES LAURA ELENA MADEREY, LUIS FUENTES AGUILAR Y A LA MAESTRA EN GEOGRAFIA ELIZABETH HOLT, POR SU APOYO.

## INTRODUCCION.

La preocupación sobre la inutilización de tierras que proporcionaban alimentos a los antiguos pobladores del mundo, se acrecentó notablemente al percatarse el hombre de la importancia que tenía el suelo para su subsistencia. Esta inutilización se debía en gran parte a que los terrenos eran afectados por el fenómeno de la erosión.

En el continente americano, las primeras tribus sedentarias cultivaban terrenos con cierta pendiente, se desmontaba un bosque con fines agrícolas, y con esto se iniciaba una cadena de acciones naturales que tenderían finalmente a la pérdida del recurso suelo.

Con la llegada de los españoles, y en consecuencia de las primeras cabezas de ganado, la pérdida o inutilización del suelo creció debido al sobrepastoreo, propiciando, en diverso grado, que el suelo perdiera su capacidad productora.

Aún en nuestros días, los problemas citados se siguen sucediendo. La pérdida o inutilización del suelo se mantiene en creciente aumento. Esto debido en parte al mal uso, y por otro lado a los factores que propician que ese suelo sea erosionado.

Esto último, los factores que propician que el suelo se erosione, ha sido el motivador del presente estudio. ¿Que factores influyen para que el suelo se erosione y por tanto haya un desequilibrio ecológico?

Revisando bibliografía pudimos darnos cuenta de cuales son los factores que propician que un suelo sea erosionado y de cuales son los intentos para determinar el riesgo a la erosión.

Encontramos que estos factores son el relieve, las características físicas y químicas del suelo y la vegetación, principalmente. Es decir, estos factores condicionan en gran parte el grado de erodabilidad del recurso suelo.

Dentro de los intentos para zonificar el riesgo a la erosión cabe destacar el trabajo realizado por Middleton, en el cual se basa, en su mayor parte, esta tesis. Este investigador analizó la relación que tienen los componentes físico-químicos del suelo y el papel que estos desempeñan en el proceso erosivo. También se deben a este científico gran parte de los índices morfométricos que se aplican actualmente en los estudios de carácter hidrológico.

Los estudios del francés Fournier, lo llevaron a concluir sobre la degradación específica de una cuenca hidrográfica, ayudándose un tanto de los estudios realizados por el investigador antes citado.

Por último, los españoles López Cadenas y Blanco Criado han recopilado las experiencias tanto de Middleton como de Fournier, y ofrecen en su libro (\*) una metodología general para zonificar el riesgo a la erosión.

(\*) López Cadenas del Llano, F. y Blanco Criado, M. Aspectos cuantitativos y cualitativos de la erosión hídrica, del transporte y depósito de materiales. Ministerio de Agricultura, Madrid, 1968.

Siendo México un país que requiere, por su situación económica y social explotar racionalmente el recurso suelo, se hace imprescindible el estudio del mismo para lograr su óptima utilización en los renglones agrícola y forestal.

En nuestro país, los estudios realizados al respecto se han encaminado a la determinación de capacidades agrológicas que optimicen el uso del suelo, para la corrección de posibles deficiencias en nutrientes o bien para la corrección de terrenos atacados por la erosión.

Pero son escasos, o nulos, los estudios realizados para prevenir la erosión de los suelos antes que esta se presente; es decir, estudios que prevengan la inutilización del suelo a futuro.

El presente trabajo tiene un carácter metodológico y práctico. Nos hemos trazado el siguiente objetivo:

-Zonificar el riesgo a la erosión en la cuenca alta del río Tizar.

Como en todo trabajo, se plantean las siguientes hipótesis:

-Existen zonas potencialmente erosionables en la zona de estudio;

-La interrelación de las variables relieve, suelo y vegetación es una herramienta útil para zonificar el riesgo a la erosión.

Cabe señalar que el estudio está enfocado a determinar exclusivamente el riesgo a la erosión hídrica, sin considerar otros tipos.

## I CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

### A) Localización.

La cuenca alta del río Tizar, región de estudio de la presente tesis, queda comprendida dentro de la zona hidrológica IX, Apan, hacia el centro-este de la cuenca de México (ver mapa 1).

Esta cuenca "no pertenece de manera natural a la cuenca del valle de México, ya que en condiciones vírgenes desaguaba en la Laguna de Apan"(1). Sin embargo, el hombre ha captado la corriente del río Tizar, desviándola hasta integrarla al río Papalotla, mismo que drena a la Laguna de Zumpango.

Cuenta con una superficie aproximada de 82 kilómetros cuadrados, comprendidos entre los 19° 30' y los 104° 00' 15" de latitud Norte y los 98° 38' 30" y 98° 42' 30" de longitud Oeste, abarcando parte de los Estados de Tlaxcala, Hidalgo y México (ver mapa 2).

Sus límites naturales los constituyen el parteaguas del río de las Avenidas al Norte, al Sur el del río Calpulalpan y del Xalistaca, "al Oeste con la divisoria de las cuencas de los ríos San Juan Teotihuacan y Papalotla y al oriente con la cuenca del río Calpulalpan"(2). El límite Sur de la cuenca del Tizar dista unos ocho kilómetros del parteaguas general de la cuenca de México.

(1) Maderey Rascón, L.E. Balance Hidrológico de la cuenca del río Tizar. Tesis de Doctorado, Colegio de Geografía, UNAM 1971, p.9.

(2) Ibid, p.10.

La carta base elaborada para este estudio fué formada por las hojas 14 Q h(43), Jaltepec, y la 14 Q h(59), Santiago Cuauila, del Departamento Cartográfico Militar, escala 1 : 25 000, por considerarse la más apropiada.

#### B) Geología.

Al encontrarse la cuenca que se estudia en la zona volcánica más importante del país, está por demás decir que los materiales que la constituyen son de origen ígneo.

El mapa correspondiente, elaborado a partir del mapa Geológico de la Cuenca de México y zonas colindantes preparado por Federico Mosser, muestra las estructuras geológicas que, en su mayoría, corresponden a los períodos del Plioceno, Pleistoceno y Holoceno del Cenozoico (ver mapa 3).

Se aprecia un predominio de las lavas fenobasálticas y tobas que cubren la mayor parte de la cuenca, al centro y al norte, así como una gran área al sur que corresponde a la Formación Tarango, cuya característica es la de estar constituida por cenizas, ignimbritas y lahares principalmente. El límite de esta última formación es fácilmente detectable a lo largo de la barranca del río Temexcalco.

Siguen en importancia, atendiendo al área que cubren, las lavas recientes, constituyendo un pedregal al NE de la cuenca, cuya delimitación en la fotografía aérea es sencilla debido a la existencia de un drenaje desordenado, no integrado debido a la infiltración.

Hacia la desembocadura de la cuenca, y por tanto el lugar donde confluyen las corrientes fluviales, encontramos los depósitos aluviales, existiendo estos, también, a lo largo de la barranca de Malpais, que proviene de la porción Norte de la cuenca, aunque visiblemente de menor extensión.

Hacia el SW se encuentra el cerro de Tlamacas, que constituye un cono volcánico de grandes dimensiones. En contacto con este, hacia el oriente, se advierte la presencia de una vasta zona de suelos tobáceos y pumíticos, resultado de lluvias de cenizas volcánicas.

Resumiendo lo hasta aquí expuesto, puede observarse que "la mayoría de las formaciones geológicas de la cuenca están constituidas por material sedimentario piroclástico ... variando su permeabilidad, en general, de acuerdo con las antigüedades de la formación" (3).

### C) Clima.

Desde el punto de vista climático, la cuenca queda comprendida dentro de la misma zona de clima, según la clasificación de Koeppen. En efecto, al revisar la carta de climas publicada por la DETENAL se advierte que la totalidad de la cuenca queda comprendida dentro del tipo de clima Cwbg, es decir, templado con lluvias en verano, cuya temperatura media del mes más caliente es inferior a 22° C, presentándose la máxima temperatura antes del solsticio de verano. Al realizar el análisis termopluviométrico se

(3) Ibid, p.13.

corroborara ampliamente lo anterior (ver tabla I).

No obstante, analizando la distribución de la precipitación, vemos que existen zonas dentro de la cuenca cuya variación en cuanto a volumen llovido es definitivamente marcada (ver mapa 4).

La distribución de la precipitación media anual se ve afectada por dos factores principalmente: el viento y la altitud.

La dirección de los vientos predominantes es de NE a SW. Considerando que las altitudes máximas se localizan al norte y al sur de la cuenca, es lógico pensar que es en esta porción, la sur, donde la precipitación será mayor. Al norte los vientos son más secos por correr sobre la ladera de sotavento, mientras que los vientos que se deslizan por el corredor que se forma a lo largo del valle principal de la cuenca chocan en el sur en la ladera de barlovento, precipitando en forma abundante.

En efecto, es en la parte sur donde se agrupan los valores de precipitación máximos, mientras que en el norte y principalmente en la desembocadura de la cuenca, y por tanto la zona más baja, los valores para la precipitación son mucho menores. Así, mientras que en la estación de Teontitla, que se encuentra al sur y a 3 100 m.s.n.m. se registran valores cercanos a los 900 mm de lluvia, la estación de San Marcos, situada hacia la desembocadura de la cuenca, a 2590 m.s.n.m. registra valores poco superiores a los 600 mm de precipitación.

TABLA I: DETERMINACION DEL TIPO DE CLIMA SEGUN KOEPEN

ESTACION		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual	Clima
Charco del Zacatón	T	10.6	11.7	13.8	15.2	15.2	14.3	13.4	13.5	13.3	12.5	11.4	10.4	12.9	Cwbg
	P	12.3	7.3	17.4	38.0	58.5	137.6	101.2	112.8	92.1	40.3	9.2	4.4	629.1	
Corralejo	T	9.9	10.8	13.2	14.0	14.4	13.5	12.4	12.5	12.4	11.7	11.0	10.1	12.1	Cwbg
	P	19.7	7.9	31.2	35.5	66.6	142.7	116.3	121.4	97.0	43.9	12.1	5.5	699.8	
Xochihuacán	T	10.1	10.8	13.1	14.1	14.7	13.7	13.8	12.8	12.7	12.1	10.7	10.2	12.4	Cwbg
	P	15.1	10.3	22.5	34.4	69.1	128.8	116.5	111.1	86.4	44.8	9.8	7.8	648.7	
Achichapa	T	9.0	9.7	11.1	12.4	13.2	12.9	12.0	12.1	12.1	11.1	9.5	8.5	11.1	Cwbg
	P	15.0	9.7	24.8	38.7	77.0	163.5	128.6	120.8	138.4	58.2	13.3	11.3	799.3	
Estoyito	T	11.1	11.8	14.1	15.1	15.5	14.6	13.4	13.4	13.4	12.9	11.8	11.0	13.1	Cwbg
	P	13.6	7.5	18.8	35.0	68.2	137.9	109.6	117.3	98.5	53.6	8.6	9.0	677.6	
La Venta	T	8.2	9.0	11.5	12.4	13.2	12.8	12.1	12.1	12.0	11.0	9.4	8.8	10.9	Cwbg
	P	9.1	7.9	14.7	37.4	81.1	146.4	126.9	108.0	114.5	58.4	13.9	11.6	729.9	
San Marcos	T	9.9	10.8	13.3	14.5	15.3	14.8	13.9	14.0	14.0	13.0	11.2	10.3	12.9	Cwbg
	P	8.6	4.8	7.7	37.3	74.9	136.7	100.3	109.6	83.8	35.2	5.1	1.9	605.9	
Sombrerito	T	10.0	10.8	13.4	13.9	14.6	13.5	12.5	12.5	12.6	11.7	10.8	10.0	12.3	Cwbg
	P	12.7	9.7	14.9	34.0	77.1	166.1	124.3	138.2	129.1	70.3	12.4	7.1	795.9	
Temontitla	T	9.2	10.1	12.8	13.1	13.5	12.0	10.8	10.8	11.1	10.2	9.4	9.0	11.0	Cwbg
	P	7.4	11.1	17.0	33.9	76.8	194.4	153.1	150.9	154.0	74.7	13.5	6.7	893.5	
Llano Chico	T	6.2	6.6	8.9	11.1	11.6	12.2	11.3	11.2	11.1	10.4	8.5	8.2	9.8	Cwbg
	P	15.1	9.3	22.5	34.5	55.7	145.2	118.4	115.9	100.5	37.7	18.6	7.4	680.8	
S. Cuauila	T	10.2	10.0	12.5	14.8	14.9	14.8	13.6	14.5	14.3	13.0	12.3	11.2	13.0	Cwbg
	P	13.9	9.2	23.3	36.9	60.2	128.1	120.7	117.3	98.6	51.0	15.0	6.0	680.2	
Sn. Cristobal	T	9.9	10.1	12.3	14.3	15.3	15.0	14.2	14.5	14.3	13.8	12.8	12.0	12.2	Cwbg
	P	12.4	6.2	18.2	37.4	63.8	130.9	131.0	108.4	112.2	60.0	12.1	8.1	707.5	
Límites	T	8.6	8.8	11.2	12.7	13.1	13.0	12.2	12.4	12.2	11.4	10.7	9.8	11.3	Cwbg
	P	9.3	7.4	14.6	29.8	73.2	130.0	125.7	115.2	115.3	52.8	12.5	3.8	689.6	
San José	T	8.9	9.2	11.6	13.6	14.8	14.2	13.2	13.4	13.4	12.1	11.3	10.8	12.2	Cwbg
	P	13.6	8.2	17.3	34.7	62.1	121.5	118.5	109.6	105.3	49.5	11.1	6.3	657.6	

C, temperatura media mensual del mes más cálido mayor de 10°C y del mes más frío inferior a 18°C pero mayor de -3°C  
w, régimen de lluvias en verano; b, temperatura del mes más cálido inferior a 22°C; g, marcha anual de la temperatura tipo Ganges, es decir, el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano.

#### D) Vegetación y Uso del Suelo.

Los tipos de vegetación presentes en la zona de estudio pueden clasificarse en natural e inducido. El primer tipo estaría representado por los bosques, el segundo por los cultivos y por los pastos y arbustos que aparecen como consecuencia de la deforestación, constituyendo así la llamada vegetación secundaria (ver mapa 5).

La distribución de los bosques es bastante irregular, debido a la explotación irracional de los mismos. Las principales manchas boscosas se localizan al sur, centro y norte de la cuenca sobre las laderas de barlovento, principalmente, de las zonas elevadas.

Como consecuencia de la deforestación, se presenta en los calveros una extensa zona cubierta por vegetación herbácea, misma que se dispone en forma más o menos uniforme a lo largo de toda la cuenca. Asimismo, aparecen también porciones de terreno cubiertas por arbustos, aunque ocupan una superficie demasiado pequeña con respecto a los demás tipos de vegetación.

Un cuarto tipo de vegetación lo constituyen los cultivos y las plantaciones, que están representados por el maguey, el maíz y la cebada principalmente, teniendo la agricultura carácter de temporal.

Las actividades agrícolas se desarrollan en zonas de pendiente menor a  $15^{\circ}$  en casi su totalidad, existiendo escasas excepciones de extensión mínima.

### E) Hidrografía.

La hidrografía está representada por corrientes de carácter intermitente o temporal, que conforman las cabecezas de el río Tizar.

La porción centro y sur de la cuenca agrupa a las principales corrientes fluviales, conformando un drenaje integrado. Al norte se observa, como ya se ha mencionado, la presencia de un drenaje no integrado que no conforma cauces definidos por ser una zona de coladas de basalto en bloques, lo que constituye una zona de recarga de los mantos acuíferos subterráneos.

Entre las principales corrientes destacan el río Barranca de Temexcalco y el río del Salto en la parte sur, originando en su confluencia al río Tizar, al que se unen pendiente abajo, los ríos Barranca del Bosque y el río Barranca de Malpais. Este último, está formado por los ríos Barranca de Chamé y Barranca de Tlalpale (ver fig.1).

### F) Morfografía.

La zona de estudio queda comprendida en el declive norte de la Sierra Nevada, en la zona volcánica más importante del país.

En el relieve destacan las formas correspondientes a la actividad volcánica, apreciándose a lo largo del parteaguas, en el norte y SW volcanes entre los que destacan el Cuello y el Tlamacas, respectivamente.

La porción sur, con una altitud máxima de 3 300 metros, sería propiamente la ladera del sistema nevado, consti-

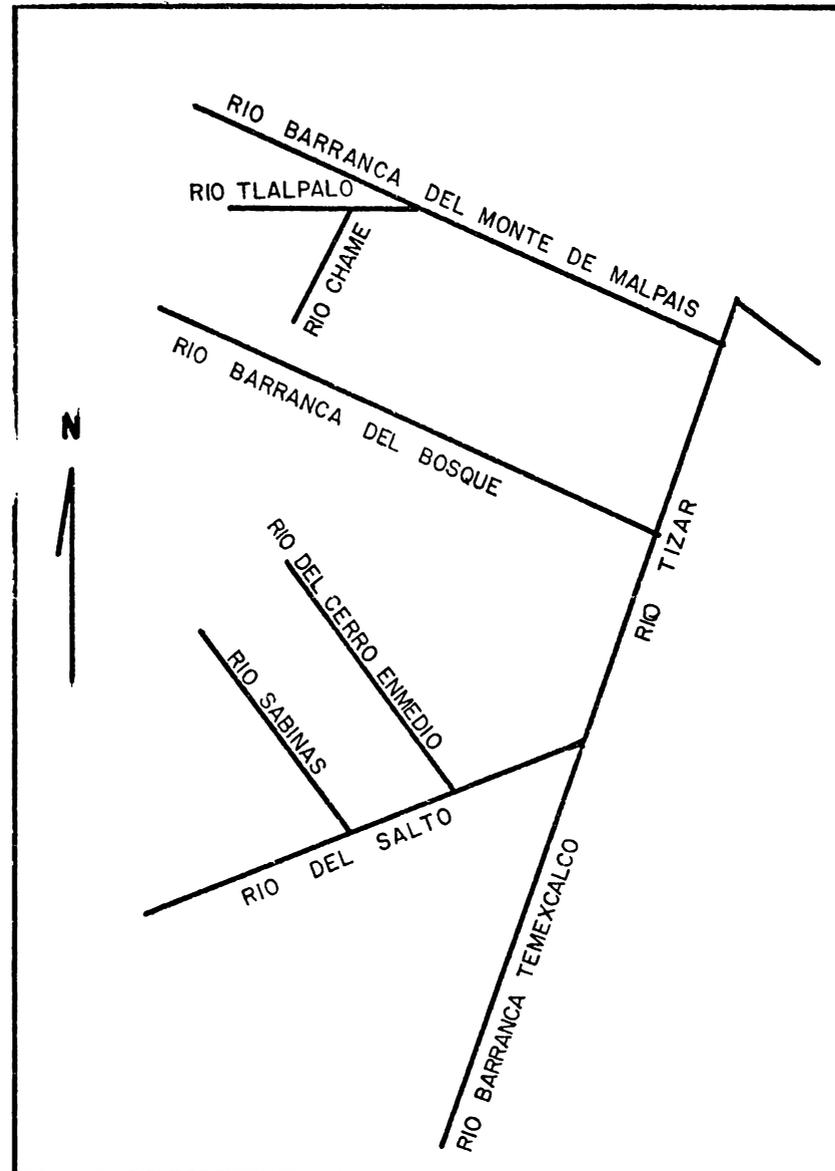


Figura -1  
Croquis hidrográfico de la Cuenca del Río  
Tizar. (\*)

(\*) Tomado de Maderey, op.cit.p.179.

tuyendo la zona con relieve más abrupto de toda la cuenca. Hacia el centro-oeste de la cuenca, destaca el cerro del Chamé como el más elevado, con 2 900 metros de altitud, constituyéndose en dicha porción una segunda zona de pendientes fuertes. Una tercera zona de pendientes considerables corresponde a la línea del parteaguas en su porción NW, en donde las estructuras de origen ígneo determinan lo abrupto del terreno.

A partir de la desembocadura, hacia el SW, NW y norte encontramos las zonas de pendientes menores, que corresponderían a las depresiones relativas intermontanas.

Así pues, podemos concluir que el relieve tiende a ser abrupto en aproximadamente un 50 % de la superficie total de la cuenca, lo cual será un factor a tomar en cuenta en el desarrollo de este trabajo.

## II EL TERMINO EROSION.

El propósito del presente capítulo es el de manifestar el concepto del término erosión que se manejará a lo largo de este trabajo. Así pues, consultando algunas obras de carácter geológico y de conservación de suelo, trataremos de abordar conceptos dados para emitir el que se adecúe y aplique a este estudio para facilitar su comprensión.

Al abordar el término erosión es común encontrarnos con diferentes conceptos que van acordes a las actividades en las que el término se aplica. Así, mientras que para un geomorfólogo implica la remoción de partículas intemperizadas para un agrónomo puede significar la degradación de un suelo desde el punto de vista de sus características agrológicas, sin implicar con ello un desgaste de su superficie. La diversidad de conceptos varía, podemos decir, de autor a autor, coincidiendo algunos de ellos en ciertos puntos y difiriendo en otros.

El diccionario "A Dictionary of Geology" define a la erosión "como aquella parte del proceso de denudación que implica el acarreo de la superficie del terreno por la acción mecánica del transporte de detritos"(1). La definición del término, nos remite a la del término denudación, mismo que se define como "la suma de los procesos que han dado por resultado el desgaste de la superficie del terreno. Consiste normalmente de los procesos de intemperismo, transporte

(1) Whitten, D.G. and Brooks, J.R. A Dictionary of Geology Penguin Books, reprinted 1977. England, G.B. p.159.

y erosión" (2).

En esta definición de erosión, se la concibe como el elemento de transporte dentro del proceso de la denudación. Sin embargo, en la definición del término denudación no queda manifiesta la diferencia entre el transporte y la erosión en sí. No obstante, queda de manifiesto que la erosión será un elemento que implique la remoción de partículas intemperizadas.

El diccionario "A Dictionary of Earth Sciences", define a la erosión como "el rebajamiento de la superficie del terreno, por agentes que implican el transporte de detritos rocosos" (3). La definición de denudación explica que "consiste en el intemperismo, desprendimiento de detritos y su consecuente transporte y depositación" (4). En estas dos definiciones, se puede apreciar también que el término erosión implica el transporte de los materiales intemperizados.

Bennet define a la erosión del suelo como "la remoción de la capa exterior de los terrenos" (5), y el Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos como "el desgaste del suelo producido por las corrientes, hielos, vientos y olas" (6).

(2) Ibid, p.121.

(3) A Dictionary of Earth Sciences. Edited by Stella Stiegler. Pan Books, London 1976. p.103.

(4) Ibid, p.83.

(5) Bennet, H.H. Elementos de Conservación del Suelo FCE, México 1965.

(6) Manual de Conservación de Suelos Servicio de Conservación de Suelos de los EE UU. Wash.D.C. 1950.

En términos generales, las concepciones abordadas coinciden en considerar a la erosión como un elemento de transporte dentro del proceso denudatorio, consideración que deja a un lado las concepciones agrológicas citadas en un principio.

Como se ha apuntado ya, el objetivo de este estudio es el de determinar las zonas potencialmente erosionables en base a parámetros del relieve, del suelo y la vegetación; es decir, la acción que desempeñan en la erosión. Por lo tanto, se concibe a la erosión, en este trabajo, como un proceso de remoción de los materiales del suelo.

### III EL RELIEVE

Dentro de los factores principales que condicionan a la erosión hídrica está el relieve como uno de los mas importantes.

La importancia del relieve queda manifiesta al exponer ciertas consideraciones lógicas y por medio de innumerables experimentos que han sido llevados a cabo principalmente en EE UU, Francia y España.

El relieve inicia su intervención en el momento en que la precipitación impacta la superficie del terreno. La llamada erosión por salpicadura, o sea la disgregación de las partículas del suelo por el impacto de la lluvia y su remoción consecuente, se manifiesta en forma más notable en zonas de pendientes abruptas que en planas, pues mientras en el primer caso las partículas desplazadas tenderán a correr pendiente abajo, en las zonas planas existe una compensación de partículas disgregadas (ver fig. 2). Así, la erosión hídrica acelerada por salpicadura no existe de hecho, en zonas planas.

Al exceder la cantidad de agua precipitada a la capacidad de infiltración del suelo, o bien cuando este se ha saturado "se formará un escurrido superficial promotor de erosiones"(1). Dicha erosión dependerá, entre otras cosas, de la inclinación de las laderas.

(1) López Cadenas del Llano, F. y Blanco Criado, M. Op. Cit. p. 28.

Resulta lógico pensar que es en las zonas más abruptas, de pendientes máximas, en las que la erosión será más potente, debido a que la fuerza de gravedad acelera las masas de agua que escurren, y por tanto su capacidad para desplazar partículas del suelo.

Otra característica del relieve que interviene en la intensidad de la erosión es la longitud de las pendientes. "Su influencia aparece manifiesta al considerar que cada zona de una ladera está sometida a la escorrentía de zonas de mayor altitud" (2). Es decir que, en la zona más baja de un río el volumen de agua será mayor, pues este constituye el volumen total de todos los escurrimientos que lo forman. Entonces un volumen mayor de agua tendrá mayores efectos erosivos sobre el terreno. Resumiendo lo anterior, a menor longitud de la pendiente menor será el volumen de agua que escurre y menor será por tanto la erosión, y viceversa. Esto queda comprobado, con datos experimentales, en la Tabla II.

Sin embargo, como lo apunta Bennet, "en algunas clases de suelo la erosión no aumenta invariablemente con el largo de la pendiente" (3). En efecto, existen otras variables que deben considerarse en este caso, como son las características físicas del suelo, densidad y tipo de vegetación, etc.

Por lo anterior podemos concluir que "la configuración topográfica de una cuenca debe estar estrechamente ligada con los fenómenos erosivos que se manifiesten en su su

(2) Ibid, p. 30.

(3) Bennet, H.H. Op.cit. p.110.

TABLA II. PERDIDAS DE SUELO EN PARCELAS CON DIFERENTE GRADO DE LONGITUD Y PENDIENTE (\*)

Longitud de las Parcelas en m.	Pendiente de las Parcelas en %	Kgs. de suelo Perdidos.
2.5	4	2.6
2.5	4	2.4
2.5	8	5.6
2.5	8	5.9
2.5	12	11.3
2.5	12	9.8
5.0	8	18.6
5.0	8	16.8

(\*) Tomado del Ibid. p. 30

perficie"(4).

Los parámetros morfométricos que han sido utilizados en estudios de erosión e hidrología son: Pendiente Media, Altura Media, Coeficiente de Masividad y Coeficiente Orográfico.

La aplicación de estos parámetros constituye un primer avance en estudios sobre erosión, aunque presentan algunas restricciones que imposibilitan su aplicación, por presentar cierto grado de falsedad en este tipo de estudios, como se fundamentará a continuación.

a) Pendiente Media. Para determinar este parámetro se utiliza, según Horton, la siguiente fórmula:

$$P = \frac{DL}{A}$$

donde: P= Pendiente Media;  
 D= Equidistancia entre curvas de nivel;  
 L= Longitud total de las curvas de nivel; y  
 A= Superficie de la cuenca.

Empleando esta fórmula en sus estudios hidrológicos, Madersey (5) obtuvo un valor de .209, o sea 20.9 % para la pendiente media de la cuenca que se estudia.

Ahora bien, este parámetro por sí solo no nos indica con certeza los procesos erosivos que se manifiestan sobre la superficie de la cuenca, o bien el grado de peligro a que sea erosionada. En la figura 3, podemos apreciar dos esquemas que representan los perfiles de dos cuencas teóricas en las que, no obstante contar con la misma pendiente me-

(4) López Cadenas del Llano, F. y Blanco Crado M. op.cit.p.52.

(5) Madersey Rascón, L.E. Características Físicas de la Cuenca del río Tizar. Boletín del I. de Geografía #5, UNAM, México, p.29.

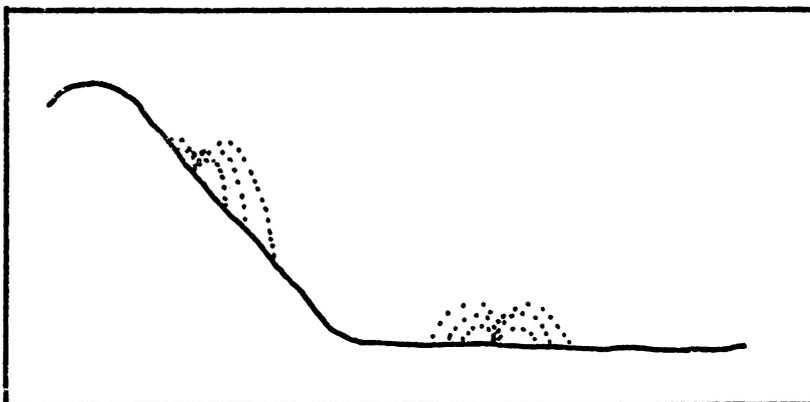


Figura 2. Erosión por salpicadura. Influencia del relieve en el movimiento de partículas disgregadas por las gotas de lluvia al impactar el terreno.

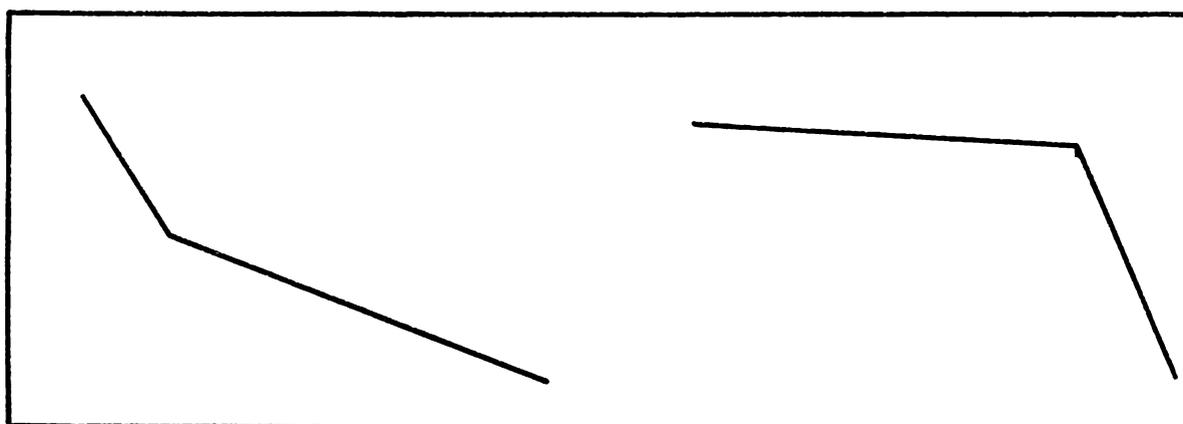


Figura 3. Perfiles teóricos de dos cuencas con la misma pendiente media, no obstante de posser una configuración topográfica distinta.

dia los procesos erosivos que sobre ella se manifiesten serán distintos por su diferente configuración topográfica.

b) Altura Media. La altura media se obtiene dividiendo el volumen total del relieve de la cuenca entre la superficie de la misma en proyección horizontal. Este cálculo se lleva a cabo a partir de la construcción de la curva hisográfica.

Tomando dos ejes cartesianos se anotan en la ordenada los valores correspondientes a las cotas de las curvas de nivel, apuntando en el origen a la altitud mínima. En las abscisas se anotará la superficie de la cuenca que corresponde a cada cota de las ordenadas (ver fig.4).

Una vez obtenida esta curva, dividiremos el área comprendida bajo ella, volumen total del relieve, entre la magnitud que representa la superficie de la cuenca.

La altura media de la cuenca del Tizar es de 170 metros (6).

Este parámetro, al igual que el anterior no puede considerarse como representativo en estudios de erosión, pues diferentes relieves en diferentes cuencas pueden poseer una altura media igual o muy semejante, sin que por ello los fenómenos erosivos que se presenten en ambas sean análogos.

c) Coefficiente de Masividad. Este coeficiente ( $C_m$ ), establecido por Martonne, resulta de la división de la altura media de una cuenca entre su superficie en proyección horizontal.

(6) Ibid., p.32.

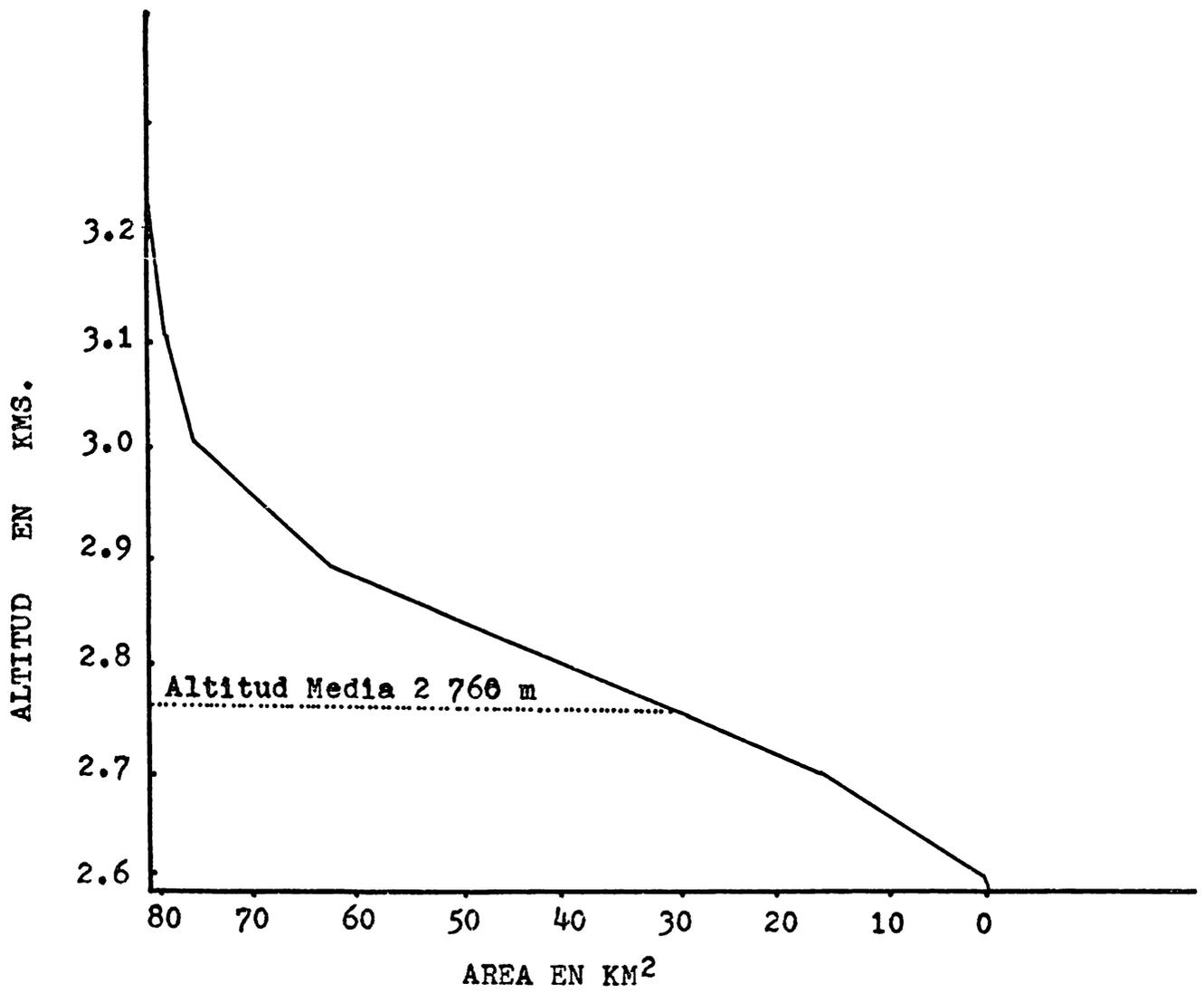


Figura 4 . Curva Hipsográfica.

A partir de la curva hipsográfica en la figura 5 el coeficiente que se trata estará representado por la relación  $BC/BA$ , siendo el numerador la altura media y el denominador la superficie de la cuenca. En dicha figura, el valor que se determina será la tangente del ángulo  $\alpha$ , o sea el cociente que resulta de dividir el cateto opuesto entre el cateto adyacente. Maderey (7), obtuvo un valor de .208 para el coeficiente de masividad de la cuenca.

En la figura 6 tenemos el caso de dos cuencas a las que daremos valores arbitrarios para comprobar la imposibilidad de establecer rangos que determinen la posibilidad de erosión. En la figura A supongamos que  $BC=200\text{mts.}$  y  $BA=400\text{Km}^2$ . Aplicando la fórmula de Martonne:

$$\text{Tan } \alpha = \frac{H(\text{en Dm})}{S(\text{en Km}^2)}$$

donde H representa la altura media de la cuenca y S su superficie, tendremos un coeficiente de masividad del orden de .05. Si en la figura B los valores fueran  $BC=1\ 000\ \text{mts.}$  y  $BA = 2\ 000\ \text{Km}^2$  el resultado sería el mismo, no obstante de que las características bidimensionales de la cuenca fueran muy diferentes al caso anterior. Resulta lógico pensar que los procesos erosivos que se manifiesten en estas dos cuencas serán distintos en magnitud y fuerza.

d) Coeficiente orográfico. Este coeficiente ( $C_o$ ), que resulta de la multiplicación de la altura media por la tangente del ángulo  $\alpha$ , fué objeto de estudios minuciosos por parte del francés Fournier. Este autor llegó a la con-

(7) Maderey, lo.cit.

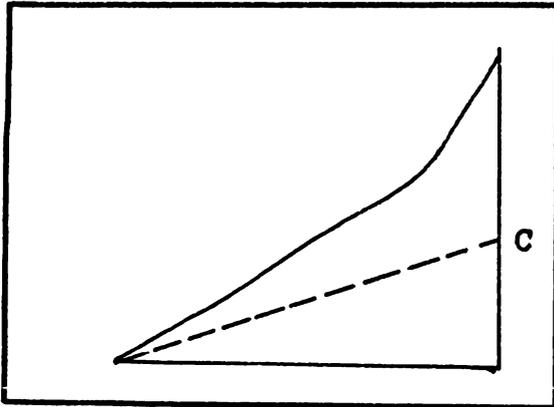


Figura 5. Curva hipsográfica.  
C representa la altura media.

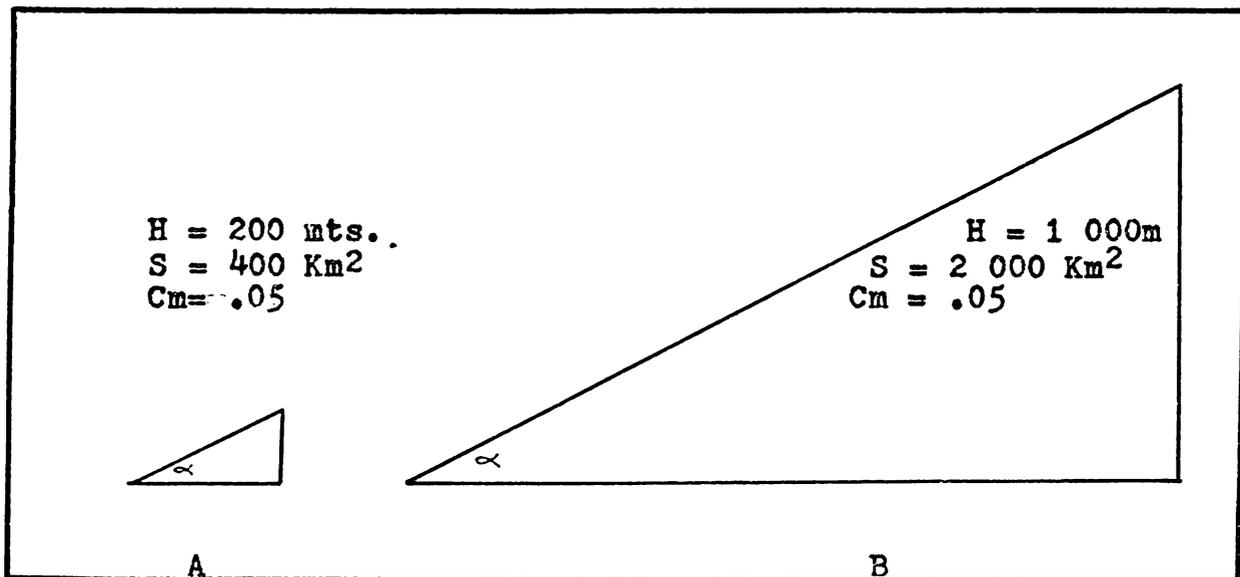


Figura 6. Representación teórica de dos cuencas con características bidimensionales distintas pero con el mismo coeficiente de masividad.

clusión de que dicho coeficiente puede aplicarse para evaluar la degradación de una cuenca, estableciendo que las cuencas con relieve acentuado estarán caracterizadas por un coeficiente orográfico mayor de 6.

Para la cuenca del río Tizar, Maderoy obtuvo un valor de 3.54, lo que equivaldría a un relieve poco acentuado (8).

Si bien este coeficiente tiende a agrupar lo abrupto del relieve de las cuencas, no permite hacer una cuantificación real del riesgo a la erosión, pues lógicamente, lo abrupto del terreno no se distribuye homogéneamente en toda la superficie de la cuenca.

Estudios posteriores, llevados a cabo principalmente en España, permiten determinar que una herramienta esencial para la zonificación del riesgo a la erosión es la carta de pendientes. Esta carta permite la localización inmediata de zonas con diferente pendiente. Para la elaboración de la carta de pendientes se establecieron los rangos adecuados a la aplicación del modelo que se utiliza, sobre el cual diremos algunas palabras en las conclusiones. (ver mapa 6).

(8) Maderoy, loc.cit.

#### IV EL SUELO

El segundo factor considerado en este estudio como interventor en la erosión hídrica superficial son las características físicas y químicas del suelo.

Dentro de estas características surgen como de especial relevancia dos factores que serán los que se manejarán en este estudio. El primero de ellos está representado por la textura; el segundo será la cantidad de partículas coloidales presentes en el suelo.

Antes de mencionar las características de los parámetros mencionados, repararemos en la metodología seguida para llevar a cabo el muestreo de los suelos que posteriormente fueron analizados en el laboratorio.

En primer lugar, fué preciso considerar dos cuestiones fundamentales:

- 1) Determinar el número de muestreos; y
- 2) Condiciones que debe presentar el sitio muestreado.

Considerando los factores que intervienen fundamentalmente en la formación del suelo, como son clima, roca madre, vegetación, pendiente y tiempo, se vió la necesidad de elaborar cartografía temática, en base a información pre-existente y principalmente a la fotointerpretación de imágenes aéreas.

Así se formaron las cartas de vegetación, geología y pendientes. La carta de clima no fué elaborada debido a que este factor formador del suelo es el mismo para toda la

zona, como se mencionó ya con anterioridad.

Resulta lógico pensar que en diferentes zonas geológicas los suelos tendrán características distintas. Asimismo, si en una misma zona geológica los tipos de pendiente o vegetación varían, las características de los suelos tenderán a diferir en forma más o menos notable.

Así pues, la sobreposición de las cartas temáticas citadas nos dará zonas únicas por sus características conjuntas. De esta manera se dió paso a determinar tanto las condiciones geográficas físicas de las subzonas comprendidas en la cuenca, como el número de muestreos de suelo a realizar.

Cabe señalar que no obstante el factor clima presenta homogeneidad dentro de la clasificación utilizada, se presentan valores pluviométricos contrastantes, lo que condujo a considerar a la precipitación como factor diferenciador de las subzonas geográficas.

Resumiendo, el tipo de muestreo tuvo un carácter esencialmente dirigido, con el fin de minimizar errores en el campo al malinterpretar el paisaje.

Dentro de los parámetros físicos del suelo a considerar está la textura. Este aspecto "tiene una marcada influencia en las demás características físicas del suelo" (1). La textura influye principalmente en la cantidad y velocidad de la infiltración. Al tener un suelo una textura arenosa, grosera, este absorberá en gran medida el agua precipitada, y por lo tanto la superficie del terreno no será erosionada. Sin embargo, si el agua precipitada sobrepasa la capacidad de infiltración, se producirá erosión.

(1) López Cadenas del Llano, F. y Blanco Criado, M. op.cit. p.31

pacidad de absorción, este será fácilmente removido, al carecer de partículas finas que ligen los componentes arenosos.

Por el contrario, si el suelo es esencialmente arcilloso, la infiltración será muy lenta, lo que ocasionará escurrimientos si el agua llovida excede a la incipiente capacidad de infiltración, lo que ocurrirá fácilmente.

Podemos concluir, pues, que en teoría, la textura media de un suelo es la más favorable. Mientras que las partículas más gruesas facilitan la infiltración, las finas le darán cohesión y resistencia a ser removido.

Ahora bien, si consideramos que las arcillas son partículas coloidales, resumimos que estos elementos revisten importancia especial en la erosión hídrica superficial, junto con otros coloides de carácter orgánico, y que su determinación cuantitativa nos será de gran utilidad.

Este aspecto, la importancia de los coloides, ha sido ampliamente estudiada por Middleton, que encontró como características fundamentales al estado de agregación, la cantidad de coloides y el equivalente de humedad.

Para la determinación de las zonas potencialmente erosionables desde el punto de vista suelo, se citan como índices representativos los siguientes:

- a) Coeficiente de dispersión;
- b) Relación coloides a equivalente de humedad; y
- c) Coeficiente de erosión

Pasaremos, pues a explicar las características de cada uno de estos índices, así como los resultados de su aplicación:

## a) Coeficiente de dispersión.

Este coeficiente, establecido por Middleton, es el cociente que resulta de la división del porcentaje de limo y arcilla sin utilizar dispersante entre el porcentaje de limo y arcilla utilizando dispersante y multiplicado por 100. Su expresión será:

$$Cd = \frac{\% \text{ limo} + \text{arcilla sin utilizar dispersante}}{\% \text{ limo} + \text{arcilla utilizando dispersante}} \times 100$$

Para determinar el denominador se utilizó oxalato y metasilicato de sodio como dispersantes.

La técnica para determinar el porcentaje de limo más arcilla en el laboratorio es la siguiente:

En una probeta de 1 000 c c de capacidad se introduce una fracción del suelo inferior a 2 mm en una cantidad de 40 gs. Se agrega agua hasta completar su capacidad, o sea, un litro, y se agita vigorosamente con el fin de que el suelo asentado en el fondo sea suspendido en el agua. Se deja reposar durante 40 segundos, tiempo en que, según la Ley de Stokes, las arenas de la muestra se han asentado, quedando en suspensión únicamente la fracción del suelo correspondiente a los limos y a las arcillas. Introduciendo en este momento el hidrómetro determinaremos el porcentaje de limo y arcilla de la muestra de suelo. Para esta determinación utilizamos la siguiente ecuación:

$$\% \text{ limo+arcilla} = \frac{(\text{Lectura en el hidrómetro})100}{\text{gramos de suelo}}$$

Para la determinación de limo más arcilla utilizando dispersante se procede así:



En primer lugar debe eliminarse la materia orgánica de la muestra del suelo. Para esto se utiliza una muestra análoga a la anterior, y se le añade agua oxigenada al 30 % en una cantidad suficiente para incorporar la muestra de suelo, conformando una masa líquida más o menos espesa. Se somete al baño maría revolviendo constantemente la mezcla hasta que se seque totalmente. Esta muestra se pasa a un vaso de agitado y se le agregan 4 ml de oxalato de sodio y la misma cantidad de metasilicato de la misma sal para que obren como dispersante; con unos 40 ml de agua se somete a agitado por espacio de 20 minutos, tiempo en el cual el dispersante habrá disuelto los agregados del suelo. Se pasa a una probeta de 1 000 c c y se completa su capacidad con agua. Se agita y se deja reposar por espacio de 40 segundos como en el caso anterior, procediendo después de la misma manera. Forzosamente, este valor será mayor al numerador de la fórmula del coeficiente de dispersión, pues los dispersantes al desintegrar los agregados permite a los limos y a las arcillas circular individualmente.

Los valores que se obtienen en este índice están en razón inversa a la formación de agregados, por lo que si el valor es alto, la formación de agregados disminuirá.

Middleton, en base a las consideraciones anteriores, concluyó en sus estudios que el valor medio era 15; si el valor obtenido era mayor el suelo es fácilmente erosionable; si el valor era menor se trata de un suelo resistente a la erosión. En la tabla III se muestran los valores

obtenidos para cada uno de los sitios muestreados.

TABLA III COEFICIENTE DE DISPERSION

Sitio de Muestreo	Limo + Arcilla (%) sin usar dispersante.	Limo + Arcilla(%) Usando dispersante	Cd
1	35	70	50
2	30	62.5	48
3	40	65	61
4	27.5	60	45
5	37.5	55	67
6	25	52.5	47
7	25	55	45
8	40	62.5	64
9	25	42.5	58
10	32.5	55	59
11	25	70	35
12	17.5	57.5	30
13	12.5	50	25

Como se puede observar, todos los valores del coeficiente de dispersión corresponden a suelos potencialmente erosionables. Es decir que, con la simple presencia del agua, los agregados pierden cohesión. Para que los valores sean menores del valor establecido por Middleton se necesita que, por lo menos, el numerador sea 6.66 veces menor que el denominador, lo que en ninguno de los casos se presenta.

b) Relación coloides a equivalente de humedad.

Este coeficiente resulta de la división del porcentaje de coloides contenidos en la muestra de suelo entre el equivalente de humedad.

$$Cr = \frac{\% \text{ de Coloides}}{\text{Equivalente de Humedad}}$$

Debido a la sofisticación del método de laboratorio para determinar el porcentaje de coloides y la carencia del material necesario, la determinación de estos elementos se hará en forma aproximativa, cuantificando los porcentajes de arcilla y de materia orgánica del suelo, principales componentes coloidales del mismo.

Para la determinación del porcentaje de arcilla se procede de la siguiente manera:

Se procede de manera análoga al experimento para obtener el porcentaje de limo mas arcilla utilizando dispersante, pero la lectura en el hidrómetro debe hacerse después de que la muestra haya estado en reposo por un lapso de dos horas, tiempo después del cual los limos se habrán asentado, dejando en suspensión exclusivamente a las arcillas. Se aplica una fórmula similar al caso citado; es decir:

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{(\text{Lectura en el hidrómetro})100}{\text{gramos de suelo}}$$

La determinación del porcentaje de materia es más complejo y requiere de cuidados excesivos al realizarla. La técnica es la siguiente:

Se introduce en un matraz de 300 ml la muestra de suelo equivalente a un gramo. Se le agregan 5 ml de dicromato de potasio y 5 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se agita y se deja reposar durante 30 minutos. Transcurrido ese lapso se le agregan unos 100 ml de agua destilada y se le añaden 5 ml de ácido fosfórico, y unas gotas de bariosulfonato de difenilamina. Se le agrega cuidadosamente el sulfato ferroso a la vez que la muestra se agita en forma cons-

tante. Una vez que la muestra vire al color verde esmeralda se interrumpe el sulfato ferroso, cuantificando la cantidad utilizada (de sulfato ferroso). En caso de que no se efectúe el viraje claramente, debe repetirse el mismo experimento con una cantidad menor de suelo, digamos .5 ó .2 gramo. La fórmula que se utiliza para determinar el porcentaje de materia orgánica es la siguiente:

$$\% \text{ de M.O.} = \frac{D - (E \times .5 \times FC)}{F} \times .69$$

donde: D = ml de dicromato de potasio;

E = ml de sulfato ferroso utilizado;

FC = Factor de corrección;

F = gramos de suelo utilizados; y

.5 y .69 = constantes

Ahora bien, en la fórmula hemos determinado el valor de todas las literales, menos el del factor de corrección. Este factor es el cociente que resulta de dividir 10 entre los mililitros de sulfato ferroso necesarios para hacer virar los reactivos utilizados en el experimento pero sin añadir la muestra del suelo. Debemos mezclar dicromato de potasio, ácido sulfúrico, agua, ácido fosfórico y bariosulfonato de difenilamina en cantidades iguales a las mencionadas, y añadirle sulfato ferroso hasta que vire al esmeralda. Es decir, debemos realizar el experimento completo pero sin añadir suelo, para obtener el llamado blanco y tener el factor de corrección, que quedaría expresado de la siguiente manera:

$$FC = \frac{10}{\text{ml de sulfato ferroso en el blanco}}$$

En la tabla IV se observan los porcentajes de partí-

culas coloidales contenidas en los suelos analizados. Se puede apreciar el alto contenido en general de materia orgánica, consideración que debe tenerse en cuenta, pues el porcentaje de coloides tenderá a formar agregados estables y por lo tanto disminuirá la erodabilidad del suelo. La importancia de estos coloides queda manifiesta en la agricultura, por su capacidad de almacenamiento de agua.

El equivalente de humedad viene definido por el porcentaje de agua retenido en un suelo cuando se somete a una fuerza centrífuga mil veces mayor a la gravitacional. Representa la máxima retención de agua por las partículas del suelo debido a la acción de las fuerzas moleculares de cohesión. Representa, pues, la dificultad del suelo a desprenderse del agua absorbida, influyendo por tanto en el poder de infiltración y de la escorrentía superficial.

El método más simple para su determinación es el de centrifugación, es decir, se ajustan los controles del aparato a los valores deseados y rápidamente obtendremos a la muestra de suelo semi-húmeda o semi-seca a partir de la cual encontraremos el equivalente de humedad.

Los experimentos realizados por Middleton sobre la relación coloides a equivalente de humedad dieron base a establecer el valor de 1.5 como medio; si es mayor el suelo será resistente a la erosión, si es menor será fácilmente erosionable.

Los valores obtenidos para este coeficiente se enmarcan en la Tabla IV, donde podemos apreciar que solo dos sitios

TABLA IV PORCENTAJE DE COLOIDES.

Sitio de Muestreo	Arcillas (%)	Mat.Orgánica (%)	TOTAL
1	25.0	9.63	34.63
2	27.5	8.47	35.97
3	35.0	8.16	43.16
4	37.5	2.73	40.23
5	22.5	2.55	25.05
6	25.0	6.15	31.15
7	25.0	7.00	32.00
8	22.5	2.00	24.00
9	20.0	1.45	21.45
10	25.0	7.98	32.98
11	35.0	9.26	44.26
12	27.5	2.94	30.44
13	22.5	5.26	27.76

TABLA V RELACION COLOIDES A EQUIVALENTE DE HUMEDAD (C/H).

Sitio de Muestreo	Coloides (%)	Equivalente de Humedad	C/H
1	34.63	19.5	1.7
2	35.97	19.5	1.8
3	43.16	21.0	2.0
4	40.23	20.5	1.9
5	25.05	17.0	1.4
6	31.15	18.5	1.6
7	32.00	18.5	1.7
8	24.00	16.0	1.5
9	21.45	15.5	1.3
10	32.98	19.0	1.7
11	44.26	21.5	2.0
12	30.44	18.5	1.6
13	27.26	17.0	1.6

de los muestreados poseen valores propios de suelos erosionables. Asimismo, se puede apreciar una correspondencia entre el equivalente de humedad y la cantidad de coloides; al aumentar el porcentaje de éstos, el equivalente de humedad también tiende a aumentar.

c) Coeficiente de erosión.

También este índice es resultado de los estudios realizados por Middleton. Es el resultado de dividir el coeficiente de dispersión entre la relación coloides a equivalente de humedad. Se expresa de la siguiente manera:

$$C_e = \frac{C_d}{C_r}$$

Al conjugar los coeficientes implicados, el coeficiente de erosión será más significativo que ellos mismos por sí solos.

Los valores obtenidos por Middleton son:

- Mayor de 10, es un suelo fácilmente erosionable ; y
- Menor de 10 es un suelo resistente a la erosión.

Los valores obtenidos para los puntos de muestreo se plasman en la tabla VI.

Como puede apreciarse en esta tabla, todos los valores corresponden en mayor o menor grado a suelos potencialmente erosionables. Estos valores obedecen, principalmente, a que el índice de dispersión es demasiado elevado, no obstante que el porcentaje de coloides y equivalente de humedad correspondería a suelos resistentes a la erosión.

Podemos, pues, concluir particularmente, diciendo que los suelos de la cuenca que se estudia presentan serias lí-

mitaciones para su explotación, pues un uso inadecuado tenderá a su rápida degradación.

TABALA VI COEFICIENTE DE EROSION (Ce).

---

Sitio de Muestreo	Cd	C/H	Ce
1	50	1.7	29
2	41	1.8	26
3	61	2.0	30
4	45	1.9	23
5	67	1.4	47
6	47	1.6	29
7	45	1.7	26
8	64	1.5	42
9	58	1.3	44
10	59	1.7	34
11	35	2.0	17
12	30	1.6	18
13	26	1.6	16

---

## V LA VEGETACION

La acción de la vegetación en los procesos erosivos queda de manifiesto al hacer ciertas consideraciones de carácter teórico y consideraciones basadas en numerosos hechos experimentales llevado a cabo en un gran número de países.

Sabemos que las causas básicas de la erosión hídrica pueden ser englobadas en dos hechos. El primero estaría representado por el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del terreno; el segundo por el escurrimiento del agua precipitada.

Ahora bien, resulta lógico pensar que la capacidad erosiva del agua que se precipita y del agua que escurre estará condicionada por la cantidad de dicho líquido y de la predisposición del suelo a ser arrastrado. Así pues, el control de la erosión se logrará disminuyendo la cantidad y velocidad del agua que escurre y protegiendo al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia. Este control al que se hace mención, lo ejerce de manera natural la acción de la vegetación.

Entonces el papel que desarrolla la vegetación queda de manifiesto al considerar que:

- Reduce el impacto directo de las gotas de lluvia;
- Modifica las características hidrológicas del suelo;
- Proporciona estabilidad al suelo al sujetarlo; y
- Reduce la cantidad y velocidad del agua que escurre.

La reducción del impacto directo de las gotas de lluvia queda de manifiesto al considerar que la gota no alcanzará al suelo inmediatamente. La vegetación constituye, así, un primer obstáculo en el que las gotas de lluvia descargan su energía de movimiento, para posteriormente escurrir lentamente por el vegetal sin causar estragos o bien precipitarse de las ramas de un árbol pero con capacidad erosiva mucho menor. Una tercera posibilidad será la evaporación directa sobre el vegetal.

La modificación de las características hidrológicas del suelo llevada a cabo por la vegetación se debe a que las raíces del elemento vegetal tenderán a formar huecos o espacios libres que facilitan la infiltración, reduciendo así, la cantidad de agua susceptible al escurrimiento. Esta acción es mucho muy importante en la constitución de mantos acuíferos subterráneos. Al desforestar una zona los mantos acuíferos disminuirán y la erosión en superficie se manifestará con más claridad.

El sistema radicular del vegetal tenderá a darle mayor coherencia al suelo al sujetar lo, impidiendo de este modo que el suelo sea removido fácilmente.

El ingeniero García Nájera (1) llevó a cabo experimentos que comprueban la eficiencia de la vegetación en la reducción de la velocidad de una sábana de agua que descende por una ladera protegida, en este caso, por vegetación arbórea y arbustiva. Determinó que la velocidad de dicha sábana

(1) Citado por López Cadenas del Llano, F y Blanco Criado, M. op.cit. p.59.

na de agua en caso de que la ladera estuviera desprovista de vegetación sería cuatro veces mayor, aumentando con esto su capacidad erosiva.

Ahora bien, no todos los tipos de vegetación actúan en la misma forma. Esta diferencia radica, principalmente, en las características del sistema radical de los vegetales.

Según Fournier (2), la cobertura herbácea es el tipo de vegetación con mayor capacidad protectora. Si bien este tipo de vegetación constituye una cubierta inmejorable para controlar, e incluso evitar la erosión provocada por el impacto de las gotas de lluvia, la acción de su sistema radical no constituye, como en el caso de la cubierta arbórea, por ejemplo, una infiltración de gran envergadura, ni fija al suelo en forma tan eficaz, pues sus raíces no son lo suficientemente profundas, por lo general.

Así pues, es el bosque el tipo de vegetación que, según López Cadena y Blanco Criado (3), protege más eficazmente al suelo de la erosión. Es decir que, con una densidad adecuada impide el impacto directo de las gotas de lluvia y los grandes espacios que provocan las raíces reducen en gran medida los escurrimientos superficiales.

Así también, la vegetación arbustiva protegerá en mayor medida que los pastos, pues el sistema radical de la primera será más potente que el de la segunda.

Las tierras cultivadas presentan una variante intere-

(2) Fournier, F. Conservación de Suelos Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 1975, p. 56.

(3) López Cadenas del Llano, F. y Blanco Criado M., op. cit. p. 59.

sante. En ciertas épocas del año, cuando las tierras se encuentran en descanso, estarán más propensas a la erosión si se presentan aguaceros excepcionales. Sin embargo, en la época de lluvias, los terrenos están generalmente protegidos por la vegetación cultivada, impidiendo en gran parte los escurrimientos y los impactos de la lluvia.

Resumiendo, Kirttredge (4), llegó a las siguientes conclusiones generales en base a la experimentación:

- En igualdad de otras circunstancias, si la cubierta vegetal es arbórea y el tapiz del suelo se mantiene en su estado natural, la capacidad de infiltración es máxima;

- La infiltración es mayor en las masas adultas que en las jóvenes; en un monte donde no se practica el pastoreo que en otro donde se practica; en las masas forestales no aclaradas que en aquellas intensamente aclaradas.

Por demás está decir, pues, que las tierras desprovistas de vegetación son las más propensas a ser erosionadas.

En la tabla VII se especifican los índices de protección que cada tipo de vegetación ejerce sobre diferentes condiciones de pendiente. Se considera también, en algunos casos, la densidad del tipo vegetativo. El índice 0.0 representa la nula protección del suelo, mientras que el índice 1.0 la máxima protección al suelo. Las pendientes corresponden: 1 a pendientes menores de  $15^{\circ}$ , 2 a pendientes entre los  $15^{\circ}$  y los  $35^{\circ}$  y 3 a las mayores de  $35^{\circ}$ .

En base a esta tabla, a la carta de vegetación y a la de pendientes se construyó el mapa correspondiente (ver mapa 7).

TABLA VII. INDICES DE PROTECCION EN BASE A LA VEGETACION Y PENDIENTES. (5).

TIPO DE VEGETACION	ESTADO DE LA VEGETACION	PENDIENTES	INDICES DE PROTECCION
	* Masas arboreas densas ( 0.7 )	Cualquiera	1.0
	* Masas arboreas con una densidad menor de 0.7 con estrato arbustivo o herbáceo no degradado	Cualquiera	1.0
	* Masas arboreas de densidad menor a 0.7 con estrato arbustivo o herbáceo degradado.	3	0.4
		2	0.8
		1	1.0
F O R E S T A L	Vegetación Arbustiva no degradada.	Cualquiera	1.0
	Vegetación arbustiva degradada.	3	0.2
		2	0.6
		1	0.8
	Pastizales bien conservados.	Sup. al 30%	0.6
		Inf. al 30%	0.9
	* Pastizales degradados.	Cualquiera	0.3
A G R I C O L A	Cultivos agrícolas sin Prácticas de conservación	3	0.0
		2	0.5
		1	0.9
	* Cultivos agrícolas con prácticas de conservación.	3	0.3
		1 y 2	1.0
		* Terrenos desnudos	3
	2		0.5
	1		0.9

(5) Tomado en base a López Cadenas del Llano y Blanco Criado, M. Op.Cit. pp.66-67.

## VI GLOBALIZACION DE LOS FACTORES CONSIDERADOS

La globalización de los factores relieve, suelo y vegetación, dieron paso a la elaboración del mapa 8, en el cual se ilustran las subzonas obtenidas y los factores que contribuyen a la erosión.

Como se aprecia y ya se indicó, el suelo es la variable más importante que actúa en los procesos erosivos. La vegetación condiciona con su presencia esta consideración, aunque no obstante desde este punto de vista la presencia de los vegetales solo tendrá un efecto retardador en el proceso erosivo, pues en pendientes pronunciadas su acción tenderá a disminuir notablemente con respecto a las zonas llanas.

En resumen, en las subzonas se ilustran los factores que propician la erosión, y se considera que, tanto para la planeación agrícola como forestal, este tipo de cartografía es de singular importancia.

## VII CONCLUSIONES

Como resultado de las actividades desarrolladas a lo largo del presente estudio podemos concluir de manera particular y general.

En el análisis morfométrico de la cuenca que se estudió pudimos comprobar la ineficacia de los parámetros establecidos para orientarlos a estudios tendientes a la detección de zonas potencialmente erosionables, pues si bien estos parámetros son aplicables a estudios de carácter hidrológico, no representan una herramienta lo suficientemente poderosa para zonificar el riesgo a la erosión, como se fundamentó en el capítulo correspondiente. Hay que hacer notar que el hecho de deshechar la posibilidad de aplicación de estos parámetros morfométricos, no implica menospreciar al relieve como uno de los factores más importantes en la erosión. Por el contrario, sería interesante y revestiría gran importancia la investigación en el renglón topográfico para llegar a obtener parámetros realmente útiles en la detección de las zonas potencialmente erosionables.

el capítulo IV, correspondiente a los aspectos edáficos y el papel que desempeñan en el proceso erosivo, cabe hacer ciertas consideraciones. La escasez o ausencia total de estudios como el presente en nuestro país, nos llevó a tomar los parámetros establecidos como un dogma, algo ya establecido, que ante la carencia de laboratorios "ad-hoc" en México no pudimos comprobar en toda su magnitud. No obstan-

te, la justificación lógica y experimental de los parámetros es clara, y aún sin poder realizar experimentos más profundos podemos decir que los coeficiente manejados son dignos de fé. Como se muestra en el Capítulo correspondiente, los coeficiente obtenidos corresponden en su totalidad a suelos erosionables, lo que quedaría comprobado al observar en la zona de estudio grandes extensiones de terreno que han sufrido el ataque de los agentes erosivos. El hecho de tener coeficientes para suelos erosionables refuerza la idea de realizar un mayor número de experimentos en zonas que difieran en características de la que se estudio, con el fin de encontrar suelos resistentes a la erosión y estudiarlos minuciosamente para conocer sus características.

En el renglón vegetación las consideraciones hechas al respecto, o sea la influencia de este elemento en la erosión, son contundentes. Estos aspectos puede decirse que han sido "experimentados" en México. Se han palpado y se siguen palpando los resultados de carecer de una cubierta vegetal sobre el terreno. No obstante, se hace urgente el estudio de los elementos vegetativos en forma profunda, determinando su acción, tanto cuantitativa como cualitativa, en el proceso de la erosión. En resumen

A partir de estas conclusiones particulares, podemos concluir de manera general.

El presente trabajo intenta motivar los estudios en el campo de la Geomorfología en especial, y en particular sobre la erosión. Estudiar concienzudamente los elementos que intervienen en la erosión posee una especial importan-

cia en un país como el nuestro, que es quizá el más afectado a nivel continental por este fenómeno, y en el que las características socio económicas y físicas no permiten darse el lujo de perder más áreas forestales y agrícolas productoras.

En este capítulo podía esperarse encontrar una serie de prácticas de conservación de suelo sugeridas para proteger a este elemento. El primer paso se ha dado, los resultados se apreciarán posiblemente a mediano plazo; la cuenca ha sido objeto de una reforestación más o menos intensa aunque mal llevada a cabo por la pésima disposición de los elementos vegetales trasplantados. No se emiten otras prácticas de conservación porque sería situarse en un plan utópico, fuera de toda realidad. La realidad socio económica de la zona impide llevar a cabo prácticas de conservación como terrazas de cultivo, construcción de bordos, eliminación de cárcavas, eliminación de áreas agrícolas en pendientes inadecuadas, suspender la explotación de los bosques que aún subsisten, etc. Todo esto quedaría en el aire si no se tienen bases concretas de despegue, otorgadas por autoridades con poder de decisión que se den perfecta cuenta de los efectos que tiene la erosión sobre el terreno y sobre todo sobre la población.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) A conference on Erosion: causes, effects, controls.  
Conservation Council of Ontario, Toronto, 1972.
- 2) Ayres, Quincy Claude. La erosión del suelo y su control. Ed. Omega, Barcelona, 1960
- 3) Estudio sobre la erosión del suelo en América Latina. FAO y The Conservation Foundation, sobretiro de los números de Julio, Septiembre y Noviembre de 1954 de el Journal of Soil and Water Conservation, USA.
- 4) Gavande, S. Física de suelos. Ed. Limusa-Willey, México, 1972.
- 5) Guimaraes, Geraldo de Assis. Métodos de Análise Física, Química e Instrumental de Solos. Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias do Norte. Brasil, 1970.
- 6) Fournier, F. Conservación de Suelos. Ed. Mundo-Prensa, Madrid, 1975.
- 7) Khonke, H. y Bertrand, A. Soil Conservation MacGraw-Hill Book Company, USA 1959.

- 8) La erosión del Suelo por el agua, algunas formas de combatirla en Tierras de Cultivo. FAO, Roma 1967.
- 9) Leopold, L. et al Fluvial Processes in Geomorphology . Ed. Freeman, San Francisco 1964.
- 10) Linsley, C. et. al. Hidrology for Engineers, Ed. Mac-Graw-Hill, USA 1972.
- 11) López Cadenas del Llano, F. y Blanco Criado, M. Aspectos Cualitativos y Cuantitativos de la Erosión Hídrica, del transporte y Depósito de Materiales. Ministerio de Agricultura, Madrid 1968.
- 12) Maderay Rascón, L.E. Balance Hidrológico de la Cuenca del Río Tizar, durante el período 1967-1968. Tesis de Doctorado, Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM.
- 13) Maderay Rascón, L.E. Características Físicas de la Cuenca del Río Tizar. Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM #5.
- 14) Penman, H.L. Vegetation and Hidrology Agricultural Bureaux, 1963.
- 15) Siller Siller, D. La Erosión por el Agua Tesis, ENA Chapingo, Mex. 1947.
- 16) Soil Conservation: an international study FAO Agricultural Studies # 4. USA.

- 17) Whitten, D.G. and Brooks, J.R. A Dictionary of Geology. Penguin Books, reprinted 1977, England, G.B.
- 18) A Dictionary of Earth Sciences Edited by Stella Stiegler, Pan Books, London 1976.
- 19) Bennet, H.G. Elementos de conservación del suelo FCE, Méx. 1965.
- 20) Manual de Conservación de Suelos Servicio de Conservación de Suelos de los EE UU, Wash. D.C. 1950.