

---

---

*Universidad de Guadalajara*

---

---

ESCUELA DE GRADUADOS



DEGRADACION ACTUAL Y POTENCIAL DE LOS SUELOS  
AGRICOLAS DE ZAPOPAN, JALISCO.

---

---

TRABAJO QUE CON CARACTER DE  
**T E S I S**  
P R E S E N T A  
EL C. ING. ARTURO CURIEL BALLESTEROS  
PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN  
MANEJO DE AREAS DE TEMPORAL  
GUADALAJARA, JAL., ABRIL DE 1989

---

---



LABORATORIO  
BOSQUE LA PRIMAVERA  
CENTRO DE DOCUMENTACION  
E INFORMACION

Esta tesis fue realizada bajo la dirección del Comité Particular que a continuación se menciona y ha sido aprobada por el mismo

Director: Dr. J Francisco Villalpando Ibarra.

Asesor: Dr. Diego R Gonzalez Eguiarte.

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

GUADALAJARA, JALISCO

1989.

COORDINADOR DE LA MAESTRIA: ING. ANTONIO ALVAREZ GONZALEZ

El jurado designado para el exámen de grado estuvo integrado por:

PRESIDENTE:	Dr Diego González Eguiarte
SECRETARIO:	Dr Abel García Vázquez
VOCAL PROPIETARIO:	MC Ricardo Nuño Romero
1er VOCAL SUPLENTE:	Dr José Ron Parra
2do VOCAL SUPLENTE:	Ing Juan Manuel Sánchez Gómez.

## AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad de Guadalajara, por darme las oportunidades de mi desarrollo profesional.

Al Departamento de Investigación Científica y Superación Académica, por darme la honrosa oportunidad de ser uno de sus investigadores.

A la Facultad de Agronomía y Escuela de Graduados, por darme la oportunidad de ser uno de sus estudiantes.

Al Dr Diego González Eguiarte, por la detallada revisión al borrador de ésta tesis.

Al Ing. Juan Manuel Sánchez Gómez por sus observaciones al presente trabajo.

Al Ing. Antonio Alvarez González, coordinador de la Maestría de Manejo de Areas de Temporal.

## CONTENIDO

	Pag.
INDICE DE CUADROS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DEL APENDICE.....	ix
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1    Degradación de Suelos en Mexico.....	3
2.1.1    Diagnósticos de la degradación.....	4
2.2    Procesos de la degradación del suelo.....	10
2.2.1    Degradación química.....	10
2.2.2    Erosión.....	13
2.2.2.1    Conceptos generales sobre la investigación de la erosión.....	13
2.2.2.2    Predicción de la erosión hídrica.....	17
2.2.2.3    Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (EUPS).....	21

2.2.2.4	Modelos para la erosión eólica.....	27
2.2.2.5	Efectos de la erosión de los suelos.....	29
2.2.3.	Degradación física.....	31
2.2.3.1	Características generales.....	31
2.2.3.2	Efectos de la Degradación Física.....	33
2.2.4	Degradación biológica.....	34
2.3	Evaluación de la Degradación de Suelos.....	34
2.4	Conservación de los Recursos Naturales.....	37
2.4.1	Prioridades en la conservación.....	38
2.4.2	Aprovechamiento sostenido de los recursos naturales.....	39
3.	OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	41
4.	MATERIALES Y METODOS.....	42
4.1	Ubicación del área de estudio.....	42
4.2	Características ambientales.....	44
4.2.1	Clima.....	44
4.2.2	Orografía.....	45
4.2.3	Hidrografía.....	45

4.2.4	Geología.....	45
4.2.5	Suelos.....	46
4.2.6	Uso del Suelo.....	47
4.2.7	Flora y Fauna.....	48
4.3	Metodología General.....	50
4.4	Métodos para la Evaluación de la Degradación de Suelos.....	53
4.4.1	Erosión hídrica.....	53
4.4.2	Erosión Eólica.....	56
4.4.3	Degradación Química.....	59
4.4.4	Degradación Física.....	59
4.4.5	Degradación biológica.....	61
4.4.6	Levantamiento de Capacidad Fertilidad del Suelo.....	62
4.4.6.1	Tipo y Subtipo.....	62
4.4.6.2	Condiciones Modificantes.....	62
5.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	65
5.1	Degradación química.....	66
5.1.1	Fertilidad actual del Valle de Zapopan.....	73

5.2	Erosión Hídrica de los Suelos.....	75
5.2.1	Erosividad de la lluvia (R).....	76
5.2.2	Erodabilidad del suelo (K).....	78
5.2.3	Topografía (LS).....	80
5.2.4	Cobertura Vegetal y Manejo (C).....	80
5.2.5	Prácticas de conservación (P).....	83
5.3	Erosión Eólica.....	83
5.3.1	Erosividad del viento (C).....	84
5.3.2	Erodabilidad del suelo (I).....	84
5.3.3	Rugosidad del terreno (K).....	85
5.3.4	Longitud equivalente del terreno (L).....	85
5.3.5	Cubierta vegetal (V).....	86
5.4	Degradación Biológica.....	86
5.5	Degradación Física.....	87
5.6	Consideraciones Finales.....	88
6.	CONCLUSIONES.....	89

7.	BIBLIOGRAFIA.....	91
8.	APENDICE.....	96

## INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Pag.
1	Extensión geográfica de las principales limitaciones edáficas en America Tropical.....	4
2	Resumen de los diagnósticos de erosión hídrica de los suelos en México.....	9
3	Diagnósticos de la erosión hídrica en el estado de Jalisco.....	10
4	Relación entre el tamaño de partículas y la cantidad de suelo salpicado.....	24
5	Pérdida de suelo (en %), según etapas del cultivo de maíz.....	25
6	Pérdida de suelo en cultivo de maíz a diferentes coberturas.....	26
7	Categorías para la Evaluación de la Degradación de los Suelos.....	36
8	Erodabilidad del suelo (ton/ha/año), en base al % de agregados mayores de 0.84 mm, (Rango de valores considerando las características de Zapopan).....	57
9	Degradación de los suelos del Valle Agrícola de Zapopan, Jalisco.....	65
10	Levantamiento de la Capacidad-Fertilidad del Valle de Zapopan Jalisco de acuerdo a Buol <u>et al</u> (1975).....	74
11	Características de los suelos del Valle de Zapopan, referentes al levantamiento de Fertilidad Capacidad.....	75

12	Valores de Erosión (A), Erosividad (R), Erodabilidad (K), Topografía (LS), Cobertura y Manejo (C) y Prácticas de Conservación (P), en el Valle de Zapopan, Jalisco.....	75
13	Valores de Cobertura Vegetal y Manejo (C), para el municipio de Zapopan, Jalisco.....	81
14	Valores de Erosión Eólica (E), Erodabilidad del Suelo (I), Factor Climático Local (C), Factor Rugosidad del suelo (K), Topografía (L) y Cubierta Vegetal (V).....	84

## INDICE DE FIGURAS

Figura No.		Pag.
1	Límites del Municipio de Zapopan, Jalisco....	43
2	Determinación gráfica del factor de rugosidad del suelo (K), a partir de la relación altura - espaciamento (Kr). Woodruff y Siddoway citado por Amante (1985).....	58
3	Relación entre el rendimiento de maíz en el Valle de Zapopan y el contenido de aluminio intercambiable en el suelo.....	67
4	Relación entre el contenido de aluminio y pH en los suelos del Valle de Zapopan, Jal.....	68
5	Necesidades de Calcio para corregir la degradación química de los suelos del Valle de Zapopan, con referencia al pH.....	69
6	Relación entre los contenidos de aluminio y potasio solubles en suelos del Valle de Zapopan.....	72
7	Distribución de la erosividad y lluvia mensual en el Valle de Zapopan, Jal.....	76
8	Relación entre lluvia y erosión en el Valle de Zapopan, Jal.....	77
9	Velocidad de destrucción de agregados por la lluvia, en suelos del Valle de Zapopan, (el punto P, señala la precipitación considerada como mas erosiva).....	79
10	Efecto de la cobertura del maíz B-840 en la erosividad de la lluvia de Zapopan, Jal.....	82

## INDICE DEL APENDICE

	Pag.
1A Degradación Química Actual.....	97
2A Degradación Química Potencial.....	98
3A Erosión Hídrica Actual.....	99
4A Erosión Hídrica Potencial.....	100
5A Erosión Eólica Actual.....	101
6A Erosión Eólica Potencial.....	102
7A Degradación Biológica Actual.....	103
8A Degradación Biológica Potencial.....	104
9A Degradación Física Actual.....	105
10A Degradación Física Potencial.....	106

## 1. INTRODUCCION

Hoy en día, la perturbación del ambiente ha ido acrecentandose notablemente afectando varias regiones de México y del mundo, modificando las características de la naturaleza hacia una degradación de consecuencias irreversibles.

El suelo es un recurso que manifiesta en forma clara, una degradación provocada por diversos factores, tales como: erosión (hídrica y eólica), exceso de sales, y deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas.

Zapopan es considerado como uno de los municipios más importantes del estado por sus recursos naturales, que le han hecho ocupar un sitio en la historia agrícola de México al ser una de las regiones mas bondadosas para la producción de maíz, al conjugarse un clima propicio y un tipo de suelo que permite un manejo eficiente. Por otra parte, su abundancia de yacimientos de agua han dado nombre a sitios geográficos como Atemajac, Colomos y Tesistán que son muestra de los recursos con los que Zapopan cuenta.

No obstante presentar características sobresalientes como las mencionadas, la Región de Zapopan ofrece en la actualidad un panorama de degradación importante a considerar. Por una parte, la recarga de los acuíferos ha ido en disminución, como consecuencia de la destrucción de los bosques; el clima se ha ido modificando en forma adversa y el suelo se ha ido perdiendo por efecto de la erosión, urbanización y contaminación. Todos estos factores, aunados a otros de índole económica y social, han propiciado que la región este perdiendo el atractivo para los productores de un cultivo de gran importancia en México como lo es el maíz.

De aquí nace la motivación para realizar la presente investigación con la que se pretende estimar, tanto la degradación actual como la degradación potencial en los suelos del Valle de Zapopan Jalisco.

Zapopan es el lugar donde habitamos y es un buen sitio para demostrar que la ciencia es la ordenadora de los esfuerzos del hombre para asegurar su permanencia en este mundo. Estamos en una época crítica donde la decisión que se tome hoy, será el seguro rumbo del mañana.

No existe tiempo para postergaciones.

## 2 REVISION DE LITERATURA

El presente capítulo comprende una revisión histórica de la degradación de suelos en México, así como los criterios con que se ha abordado este fenómeno en base a sus diversos procesos. Se considera a la degradación de suelos como una condición que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir (cuantitativa y cualitativamente) bienes y servicios, (FAO,1980), reconociéndose seis grupos de procesos:

- Erosión Hídrica
- Erosión Eólica.
- Exceso de Sales (Salinización y Sodificación)
- Degradación Química (Acidificación y toxicidad)
- Degradación Física (Encostramiento y compactación)
- Degradación Biológica (Pérdida del humus).

### 2.1 Degradación de Suelos en México.

Jalisco es un estado considerado dentro de la América Tropical y su problemática de degradación a esperar, estará relacionada en cierta forma con lo que sucede en esta superficie. Las limitantes edáficas principales, de acuerdo con Sánchez y Salinas (1983), son las que se presentan en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Extensión geográfica de las principales limitaciones edáficas en América Tropical.

Limitante	%
Deficiencia de Nitrógeno	89
Deficiencia de Fósforo	82
Deficiencia de Potasio	54
Fijación de Fósforo	53
Toxicidad de Aluminio	51
Deficiencia de Zinc	50
Deficiencia de Calcio	49
Deficiencia de Magnesio	49
Deficiencia de agua	42
Baja retención de agua	42
Erosión	36
Deficiencia de Cobre	21
Compactación	11
Deficiencia de Hierro	8

Como se observa, los procesos de degradación propios de las regiones tropicales de América, son en orden decreciente: Degradación Química, Degradación por Erosión y Degradación Física.

#### 2.1.1. Diagnósticos de la degradación

Por lo que se refiere a estudios sobre degradación de suelos, en México se ha prestado mayor atención a los diagnósticos referentes a erosión hídrica, siendo limitada hasta ahora, la información sobre los demás procesos y los diagnósticos globales. Por lo que respecta a la erosión hídrica, cabe destacar los datos y cifras que se mencionan a continuación:

En 1950, se realiza el primer censo oficial de las superficies erosionadas del país por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, (FAO,1960), concluyendo que el 72% de la superficie total estaba siendo víctima, en diferentes grados, de los estragos de la erosión en la proporción siguiente:

Erosión moderada	21 %
Erosión acelerada	43 % y
Totalmente erosionadas	8 %.

En 1953, se realizó el llamado "Congreso para Detener el Avance de la Erosión de la Tierra en México", celebrado en la ciudad de México del 17 al 20 de diciembre, (Hornedo, 1957). Aquí se presentó una idea general de los niveles de erosión en el país, considerándose que Jalisco era uno de los estados que presentaba una degradación importante, con 2 000 000 de hectáreas afectadas por éste proceso.

En 1954 la FAO publica un estudio titulado "La Erosión del Suelo en la América Latina" a escala 1:10 000 000, donde se concluye que México es quizá el país más afectado por erosión del suelo de toda América Latina, (Blanco y Ramirez, 1966), llegando a considerar que la afectación cubría el 66 % del territorio. En esta evaluación, se le considera al estado de Jalisco con un grado de erosión moderado, correspondiendo

para Zapopan la siguiente denominación: Erosión ligera dominante, con 10 al 25 % de tierras erosionadas moderada o severamente.

Tres años mas tarde, Ortiz Monasterio (1957) dividió al territorio nacional en zonas de acuerdo al daño sufrido de pérdida de suelo, basandose en el tipo y cantidad de vegetación existente. En esta clasificación, Jalisco fué dividido en tres zonas, correspondiendo a Zapopan la Zona D con las características siguientes: perfiles fácilmente erosionables, que presentan intensa erosión laminar y zanjas poco profundas. En esta misma publicación se considera de gran importancia "las torrenteras que avanzan implacablemente destruyendo los suelos arenosos del valle de Guadalajara, Jalisco". Cabe hacer mención, que en ésta misma publicación, se hace un inventario sobre otras características asociadas con la degradación del suelo, como son el contenido de Materia Orgánica (MO) y el pH; reportándose para Zapopan un contenido menor del 2 % para MO y un pH ligeramente ácido (6.0 a 6.4).

En la década de los sesentas, Salgado (1961) dividió el Territorio Nacional en regiones de acuerdo al grado de erosión considerando para la Zona Centro una afectación de erosión de un 56% y para toda la nación de un 67% en promedio.

En 1972, la Dirección General de Conservación del Suelo y del Agua publica una estimación de las superficies erosionadas

del país en base al censo de 1960, usando cinco niveles de afectación . Aquí se señala que un 80 % de la superficie de México esta afectada por erosión en diferentes grados.

La Dirección General de Conservación del Suelo y Agua de la SARH, en 1979, decidió realizar el "Inventario Nacional de Erosión", siguiendo la Clasificación FAO 1954. En 1983, se publicó un avance, que señalaba que en el 70.9 % del territorio nacional, se presentaba algún grado de erosión con el desglose siguiente:

Erosión leve:	28.3 %;
Erosión moderada:	34.0 %,
Erosión severa:	6.7 % y
Erosión muy severa:	1.9 %.

Ya en la presente década de los ochentas, Estrada y Ortiz (1982), desarrollaron el "Plano de Erosión Hídrica del Suelo en México" a escala 1:2 000,000, mediante el método paramétrico de FAO de 1979, concluyendo que se presenta erosión en un 63.41% del total del área de la República Mexicana, desglosando a nivel estatal la afectación de erosión en cuatro grados. Para Jalisco se considera: Erosión ligera en un 27.42 %; Erosión moderada en el 26.33 %; Erosión alta en un 19.83 %, y Erosión severa en el 25.03 % restante. De ésta forma Jalisco se ubico como uno de los cinco estados que presenta mayor porcentaje de erosión severa en el país y el

segundo con mayor superficie afectada . Para el municipio de Zapopan, la erosión moderada fue la de mayor dominancia.

En 1984, la Dirección General de Conservación del Suelo y Agua, publica el inventario de la afectación por erosión en el estado de Jalisco, utilizando imagenes de satélite a escala 1:250,000, y considerando las cinco categorías de la metodología de FAO de 1954. De acuerdo con este trabajo y según la metodología empleada, solo el 15 % del estado no manifiesta erosión, el 41 % presenta erosión leve, el 26 % erosión moderada, el 17 % erosión severa y un 1% erosión muy severa; dominando para el municipio de Zapopan, la erosión moderada.

De acuerdo con Bernal (1985), quien utilizó el Método Paramétrico de la FAO (1979) a una escala de 1:250,000, con un desglose a nivel de municipios, establece los porcentajes que a continuación se mencionan para las diferentes categorías de erosión en Zapopan:

Erosión ligera 22 %,  
Erosión moderada 73 %, y  
Erosión alta 5 %.

Sanchez Vielmas (1988), determinó la agresividad de la lluvia para provocar erosión en base al análisis de 101 estaciones meteorológicas del estado de Jalisco; concluyendo que los valores varían de 100 a 400 Megajoules,

correspondiendo a Zapopan una erosividad promedio de 300 Mjmm/ha hr año.

En este mismo año, Curiel (1988), señala que los diagnósticos realizados sobre erosión hídrica en el país, pudieran ser justificables, desde el punto de vista de que éste es el proceso de degradación que cubre la mayor superficie de México, sin embargo, son los diagnósticos globales (aquellos que incluyen todos los procesos de degradación), los necesarios para la planeación de esquemas de manejo conservacionista. Los diagnósticos realizados hasta el momento, tienen limitada aplicabilidad, en parte por los valores de escala y en parte por la diversidad de métodos que han sido utilizados en los diferentes diagnósticos y estos influyen en variaciones de los resultados, como se puede apreciar en el resumen presentado en el Cuadro 2.

CUADRO 2. Resumen de los diagnósticos de erosión hídrica de los suelos en México.

Nivel	1950	1954	1961	1972	1979	1982
Erosión Leve	28 %				29 %	36%
Erosión moderada	21 %				28 %	34%
Erosión acelerada	43 % y				34 %	21%
Erosión muy severa	8 %				9 %	9%
Total erosionadas	72 %	66 %	67 %	80 %	71 %	63%

De los diagnósticos mostrados en el cuadro 2, solo las evaluaciones de 1954 y 1979 pueden ser comparadas al haber usado la misma metodología (FAO); el primero hecho por la

misma FAO, y el segundo por la Dirección General de Conservación del Suelo y Agua de la SARH; en ésta comparación se aprecia el aumento de un 5% de superficie dañadas por erosión en un período de 25 años, lo que representa un avance de cerca de 400 mil hectáreas por año.

Para los estudios a nivel de estatal, existe el mismo problema en la comparación. Cuadro 3.

CUADRO 3. Diagnósticos de la erosión hídrica en el estado de Jalisco.

Nivel	1953	1982	1984
Erosión ligera		29 %	15 %
Erosión moderada		26 %	41 %
Erosión alta		20 %	26 %
Erosión severa		25 %	18 %
Total erosionadas	25 %	71 %	85 %

## 2.2 Procesos de la degradación del suelo.

### 2.2.1 Degradación química.

Los procesos que identifican a la degradación química son primordialmente: la lixiviación de bases y el efecto tóxico de algunos elementos (FAO,1980). Aquí podría ser incluida, de igual forma, la salinidad y la sodicidad, aún cuando algunos autores las consideran en otro grupo, por producir impactos no solo sobre las propiedades químicas del suelo, sino también en aquellas que son de carácter físico.

En Zapopan, por la génesis de sus suelos, así como el manejo que se le ha dado a los mismos, no es de esperarse que se acumulen sales en exceso, más bien, el problema común sería la lixiviación de bases. Esta condición, a su vez, propiciaría un incremento en la acidez, y la presencia de algunos elementos en niveles tóxicos para las plantas como son el aluminio y manganeso. Es decir, que en climas húmedos, con suelos derivados de materiales ácidos, con buen drenaje, con texturas arenosas permeables y con poca capacidad de intercambio de cationes (ya sea por un bajo contenido de arcillas y materia orgánica, ó por el tipo de arcillas del grupo del caolín), se propicia una alta lixiviación de bases.

Otras causas de acidificación (FAO,1980), podrían ser: el uso de fertilizantes con alto índice de acidez y algunos cultivos que extraen niveles elevados de bases.

En general y como consecuencia de la pérdida de bases, el complejo de intercambio del suelo estará siendo ocupado en una proporción cada vez más elevada por iones hidrógeno y aluminio, sobreviniendo un abatimiento del pH. Esta condición no acarreará, por si sola, un trastorno en el crecimiento de las plantas, a no ser que el abatimiento del pH llegue a valores de 4.2 o menos, donde los iones H pueden obstaculizar y hasta invertir la absorción de cationes por la raíz (Scott,1977); es más común que la baja fertilidad en los

suelos ácidos sea una consecuencia de la toxicidad de Al y Mn y/o la deficiencia de Ca o Mg . De éstas, es todavía más frecuente, la toxicidad por aluminio (Cuadro 1).

El nivel de la degradación de un suelo por toxicidad de Al, estará dado por la condición de estrés a la que se vea sometida una planta; lo que ocasiona que una clasificación sea conflictiva, ya que la toxicidad difiere para cada especie o variedad, según su susceptibilidad. A este respecto, cabe mencionar que el maíz es considerado por algunos investigadores como tolerante a la acidez, pero ensayos de respuesta al encalamiento en los trópicos, tienden a demostrar lo contrario, aunque habrá que reconocer que algunos híbridos y compuestos poseen un marcado grado de tolerancia al aluminio y a los niveles bajos de fósforo que son característicos de suelos ácidos, ya que bajo estas circunstancias, estos dos elementos forman compuestos estables (Sanchez, 1983).

Así pues, para definir niveles de degradación química, resulta conveniente el considerar parametros edáficos como el pH crítico para la liberación de Aluminio o algunos índices como la relación Ca/Al, misma que según se ha comprobado, influye significativamente en el crecimiento y actividad de las raíces. Cuando éste es mayor de 1 no hay riesgo, de 0.3 a 1 es riesgo bajo; de 0.1 a 0.3 riesgo alto, y menor de 0.1 muy alto riesgo. (Meiwes, 1986).

## 2.2.2 Erosión.

Los procesos de la erosión hídrica son: salpicadura, escurrimiento (ya sea laminar, en canales o cárcavas) y movimiento de masas tales como corrimientos de tierras, corrientes de fango y soliflucción.

Para la erosión eólica los procesos son: secado superficial, remoción por rodamiento, saltación y/o suspensión.

### 2.2.2.1 Conceptos generales sobre la investigación de la erosión.

La investigación de la erosión del suelo es difícil por varias razones, pero particularmente porque es un proceso intermitente. Por un lado existen suelos erodados y formas de erosión y por otro sustancias removidas del suelo, como son los eluatos, deluatos y deflatos, con los cuales en algunos casos el proceso de erosión puede ser cuantificado. (Zarazúa, 1986)

Otra circunstancia que hace 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 cuantificación 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 identificar los cambios causados por este proceso.

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

Son varios los modelos que se han desarrollado para evaluar de alguna manera la erosión sufrida en un lugar determinado; dichos modelos se manejan en el campo y en el laboratorio, o bien en ambas condiciones y son:

- Cartográficos
- Climatológicos
- Deflamétricos
- Deluométricos
- Fotogramétricos
- Hidrológicos
- Históricos
- Isotópicos
- Matemáticos
- Monolíticos
- Morfométricos o Geomorfométricos.
- Nivelación o Geodésicos

Pedológicos (erodabilidad del suelo y suelos erosionados)  
Pluviológicos (precipitación natural y pluviosimulación)  
Vegetativos  
Volumétricos.

La erosión hídrica, evaluada con la mayoría de estos métodos, se refiere a la velocidad con la que el material es removido de los declives y no a la carga de sedimentos de un curso de agua o río que drene una cuenca. Estos han sido la base para generar los modelos paramétricos usados en la actualidad.

El problema de la erosión hídrica es mayor cuando se presenta en forma de cárcavas, las cuales propician la formación de otras por erosión regresiva; de aquí la importancia del estudio de este tipo de conformaciones.

El riesgo de formación de cárcavas se manifiesta cuando:

- a) Existe un alto índice de erosividad
- b) El suelo presenta impermeabilidad
- c) El subsuelo o roca madre, presenta erosionabilidad elevada
- d) La topografía favorece un drenaje denso y en patrones dendríticos o subparalelos y/o declives cóncavos
- e) La vegetación haya sufrido algún proceso de deforestación o degradación

Para que se manifieste un movimiento de masas, es necesario a su vez, que se presenten las siguientes condiciones:

- a) Que la intensidad de la lluvia sea mayor de 50 mm/día, sobretodo si el evento ocurre en días consecutivos o sobre suelos saturados,
- b) Que la capa impermeable del suelo sea profunda,
- c) Que exista un alto contenido de arcilla de alta plasticidad,
- d) Que la roca madre haya sido una marga, pizarra o esquisto,
- e) Que la escorrentía sea escasa y la infiltración elevada
- f) Que la pendiente sea mayor del 40%, tratandose de granito y mayor del 30% cuando sea basalto o cualquier otra roca de textura fina. (Los desprendimientos son mas frecuentes donde el declive tiene la misma dirección que los estratos de la roca subyacente, o donde hay socavaciones o un declive convexo que termine en un talud o una carcava).

Debe mencionarse finalmente, que la dedicación de tierras forestales al cultivo agrícola o de pastos, aumenta el riesgo del movimiento de masas, lo mismo que los pisos de arado.

#### 2.2.2.2 Predicción de la erosión hídrica.

Segun Hudson, (Kirkby y Morgan,1984), el primer estudio científico realizado para conocer los efectos de la erosión, fue llevado a cabo por Wollny a fines del siglo XIX. El mismo autor menciona que en América los primeros estudios cuantitativos los inicio el Servicio Forestal de E.U.A. en 1915.

El interes generalizado sobre el peligro de la erosión del suelo en los años veinte y principios de los treinta, dio por resultado una intensificación en la investigación científica.

En 1926 Bennett (Kirkby y Morgan,1984) propuso un índice de erosión que predecía el comportamiento de cada suelo; este índice fue la relación Silice-Sesquioxidos y fue deducido para suelos tropicales.

Entre los años de 1930 y 1932, Middleton, (Hudson,1982) obtuvo varios índices de erosión que fueron:

- a) Índice de dispersión, basado en el contenido de "limo + arcilla" no agregados.
- b) Índice de coloides con equivalentes de humedad.
- c) Relación del índice de dispersión con el índice de coloides/equivalentes de humedad.

En 1935 y 1936, Bouyoucos y Yoder respectivamente, (Kirkby y Morgan, 1984), derivaron los siguientes índices:

- a) Índice de arcilla de Bouyoucos, que es la relación de arena total + limo y arcilla.
- b) Índice de tamizado de Yoder, que indica la distribución por tamaño de los agregados estables en agua.

Hasta este momento solo se consideraban de importancia las propiedades físicas del suelo.

Kirkby y Morgan (1984), 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 proponer 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 longitud de la pendiente, esta ecuación, como lo señala Hudson (1982), fue propuesta por Zingg en 1940, y con ella se demostró que al duplicarse el grado de pendiente, la pérdida de suelo aumenta 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, el grado de la pendiente del terreno S, la longitud horizontal L y los exponentes del grado y 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. Hasta ese momento no se habían considerado las características de la precipitación pluvial, pero en 1947 Musgrave (según Kirkby y Morgan, 1984), introdujo la relación que había entre las características de la precipitación pluvial y la cantidad de suelo erosionado. Mediante pruebas experimentales se determinó que la erosión era proporcional a la máxima precipitación pluvial en 30 minutos (P30), con un exponente de 1.75; así mismo se determinó que los exponentes para longitud y grado de pendiente debían ser 0.35 y 1.35 respectivamente, 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 cubierta vegetal (R).

Zingg (Hudson,1982), encontró una desventaja en cuanto a la evaluación de la inclinación de pendiente, ya que a valores menores del 4% la pérdida del suelo tenía una predicción menor; por lo que en 1947 y 1948, Smith y Whitt (Kirkby y Morgan,1984) propusieron una ecuación que describía el efecto de la pendiente en la pérdida del suelo, asociandola con otros factores; el resultado fue el siguiente:

$$A = C S L K P$$

donde:

A = Pérdida de suelo.

C = Rotación de cultivos.

SL = Inclinación y longitud de pendiente .

K = Grupo de suelo.

P = Prácticas de conservación

En esta ecuación no se tomaban en cuenta los efectos de la erosividad de la lluvia, pero fue el comienzo de uno de los métodos mas usados en la actualidad: la "Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo", que comenzó a desarrollarse por Wischmeier, Uhland y el ya citado Smith, a partir de 1958, cuando publican el primer trabajo científico al respecto (Hudson,1982).

### 2.2.2.3 Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (EUPS)

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

La FAO (1980), 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, principal investigador y creador de este modelo, ha señalado (United States Department of Agriculture, 1978) que la EUPS, esta designada para predecir por largo tiempo el grado de pérdida de suelo por escurrimiento en una área específica, con un cultivo y un sistema de manejo también específicos o en áreas con vegetación natural.

La Ecuación se llamo universal, 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 regiones amplias, incluyendo las de otros continentes.

Los valores de la EUPS se desarrollaron mediante una unidad de evaluación llamada "parcela estandar". Una "parcela estandar" es una área con una longitud de 22.6 m sobre una pendiente uniforme del 9% en sentido longitudinal. La parcela es labrada hacia la pendiente y está bajo barbecho continuo durante por lo menos dos años. La parcela se toma como base para definir la variación en longitud de pendiente, grado de pendiente, tipo de cobertura y práctica de conservación.

Esta ecuación propuesta por Wischmeier y Smith (1978) es:

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

donde:

- A: Pérdida de suelo en ton/ha/año.
- R: Factor de erosividad por precipitación pluvial en Mjmm/ha.hr.año.
- K: Factor de erodabilidad del suelo en Mg.ha.hr/ha.mj.mm
- 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 %.

Algunas consideraciones adicionales a los componentes de la ecuación son las siguientes:

R, es la erosividad de todas aquellas lluvias que no sean menores de 1.5 pulgadas y separadas de otras por más de 6 horas. Se recomienda manejar probabilidades durante 2 años de 6 horas de lluvia; este puede ser un buen índice.

K, es un factor que es calculado en unidades de la "parcela estandar" libre de vegetación por mas de 2 años. El valor de 72.5 pies y 9 %, es para que  $LS = 1$ . La pérdida de suelo muestra que las arenas muy finas (0.05 - 0.10mm) son comparables en erodabilidad al tamaño de limos (0.1 a 0.002 mm) y que ambas son las partículas con mayor fragilidad al fenómeno de la erosión; esto por que no tienen la resistencia causada por la cohesión de las arcillas, ni la resistencia por fricción de las arenas gruesas.

Cuando se analiza el comportamiento del tamaño de partículas del suelo, no en el resultado final de erosión, sino en alguna parte del proceso, como en el salpicado o aflojamiento del material superficial, las apreciaciones pueden ser diferentes, como se muestra en el Cuadro 4 (Ekern, 1953, de acuerdo con USDA, 1978).

CUADRO 4. Relación entre el tamaño de partículas y la cantidad de suelo salpicado.

Tamaño de partículas mm	Porcentaje relativo de material salpicado durante 5 minutos.
0.89 - 0.59	30
0.42 - 0.25	77
0.25 - 0.175	100
0.10 - 0.05	61
0.05 - 0.002	21

S, es una función del seno del ángulo de la pendiente del terreno, que es mas preciso que la tangente, ya que el impacto de las gotas de lluvia y el estrés tajante del escurrimiento, son funciones de este seno.

C, es el efecto de la cobertura de una planta, y es gradual, según sus etapas de crecimiento. Para propósitos prácticos se divide en seis períodos, y se supone que sus efectos dependerán de la fertilidad del suelo, el espaciamento entre hileras, la densidad de plantas y las condiciones generales del crecimiento. Estos períodos enunciados en el Cuadro 5 son:

- F : Preparación del terreno (barbecho y rastreo).
- SB : De la labranza hasta un 10 % de cobertura del cultivo.
- P1 : Del 10 al 50% de cobertura.
- P2 : Del 50 al 75% de cobertura.
- P3 : Del 75% de cobertura hasta la cosecha.
- P4 : Del manejo de residuos de cosecha hasta la preparación.

Las hojas y residuos que no están directamente en contacto con el suelo, tienen pequeños efectos sobre la cantidad y velocidad del escurrimiento en lluvias prolongadas; la incorporación de residuos es menos efectivo que dejarlos sobre la superficie, pero es mejor que la quema o eliminación.

Otras variantes correspondientes a manejo son:

- Cobertura de residuos.
- Incorporación de residuos.
- Labranza (tipo, frecuencia, tiempo y su influencia en la porosidad, rugosidad y compactación).
- Uso de la tierra (Efecto de las raíces) .

En el Cuadro 5, se presentan valores referentes al factor C para el cultivo de maíz en diferentes etapas y para coberturas variables. De manera general, se considera que el valor de C para este cultivo varía entre 0.1 y 0.9, por lo que el valor promedio sería de 0.5.

CUADRO 5. Pérdida de suelo (en %), según etapas del cultivo de maíz.

Etapas	F	SB	P1	P2	P3
Con Residuos:	49	70	57	41	24
Sin residuos:	77	83	71	50	27

Los valores de C, también pueden ser asignados en función de la cobertura que presenta el cultivo, independientemente de la etapa en la que se encuentre. (Cuadro 6).

CUADRO 6. Pérdida de suelo en cultivo de maíz a diferentes coberturas.

Cobertura(%)	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Perdida (%)	48	37	30	22	17	12	7	4	3

Tratandose de especies diferentes al maíz, como es el caso de las especies forestales, los subfactores que hay que evaluar, para conocer el efecto de cobertura (C), serían otros, tal y como lo mencionan Dissmeyer y Foster (1981):

- a). Cantidad de suelo descubierto.
- b). Cobertura del dosel. Este subfactor solo se aplica a las cubiertas arriba del suelo descubierto, ya que la cobertura de dosel sobre hojarasca no tiene impacto.
- c). Reconsolidación del suelo. Se basa en la recuperación de la resistencia del suelo a partir de una labranza. Se incluye en el factor C, ya que el factor K, es referido a suelos continuamente labrados.
- d). Alto contenido de Materia Organica. (Wischmeier y Smith recomiendan multiplicar por un subfactor de 0.7 para un contenido mayor de 4%).
- e). Raíces finas.
- f). Efectos residuales de agregación.

- g). Acumulación in situ por depresiones
- h). Acumulación en escalones.
- i). Surcado al contorno.

#### 2.2.2.4. Modelos para la erosión eólica

A nivel de erosión eólica, en 1965 Woodruff y Siddoway citados por Amante (1985), definieron el proceso de este tipo de erosión, con 11 variables, siendo estas:

- a). Erodabilidad del suelo
- b). Erodabilidad de colinas
- c). Estabilidad de la costra superficial
- d). Rugosidad del suelo
- e). Velocidad del viento
- f). Humedad superficial del suelo
- g). Distancia a través del terreno
- h). Distancia protegida
- i). Cantidad de cubierta vegetativa
- j). Clase de cubierta vegetativa
- k). Orientación de la cubierta vegetativa.

Después de un análisis detallado por parte de estos investigadores y para fines prácticos, se despreciaron y agruparon algunos factores, generandose la siguiente ecuación:

$$E = I, C, K, L, V$$

donde:

I = Erodabilidad del suelo.

C = Factor climático local

K = Factor rugosidad del suelo.

L = Longitud equivalente del terreno y

V = Cantidad equivalente de cubierta vegetativa.

Algunas consideraciones adicionales para los componentes de la ecuación son:

I, es la pérdida potencial de suelo de un campo extenso, aislado y sin ninguna protección; con una superficie desnuda y lisa. Este factor se basa en las condiciones climáticas de los alrededores de Garden City Kansas, durante el período 1954-1956 con 69 terrenos.

C, éste se basa en el principio de que la tasa de movimiento del suelo varía directamente con el cubo de la velocidad del viento, e inversamente con el cuadrado de la humedad efectiva del suelo.

K, esta referido a la rugosidad que no es causada por terrones o por vegetación, es decir, involucra a la rugosidad natural o artificial de la superficie del suelo en la forma de

lomos o pequeñas ondulaciones. Este factor se expresa con una relación altura - espaciamiento de 1:4

L, no determina por si sola la erodabilidad del terreno, a menos que se tomen en cuenta la dirección prevaleciente del viento y la presencia o ausencia de barreras contra el mismo.

V, su efecto depende de la cantidad, clase y orientación de la vegetación.

#### 2.2.2.5. Efectos de la erosión de los suelos.

Los daños ocasionados por el proceso de la erosión son diversos. En las zonas erosionadas, el suelo empobrece y en los casos extremos desaparece. El horizonte superior del suelo, el mas rico en materia orgánica y elementos nutritivos, es el primero en ser arrastrado dejando al paso del tiempo desnudos los horizontes inferiores con propiedades menos favorables para la vegetación.

Esta forma de degradación contribuye a la pobreza general de las áreas agrícolas, ya que se afecta su principal recurso: el suelo y los elementos químicos, que son transportados y depositados en las partes bajas. Esta sedimentación puede producir colmatación de cuencas, arroyos, ríos, etc.

De acuerdo con FAO (1967), se reconocen daños por erosión, tantos directos como indirectos. Dentro de los daños directos se incluyen:

- Pérdida de la semilla de siembra
- Dificultad del laboreo
- Pérdida de suelo
- Arrastre de nutrimentos
- Pérdida de la capacidad de almacenamiento de agua
- Pérdida de áreas de cultivo
- Suceptibilidad a la degradación física (encostramiento y compactación).

Dentro de los daños indirectos están:

- Daños a cultivos e infraestructura, por avenidas y derrumbes.
- Pérdida de cosechas y escasez de agua.
- Colmatación de lagos, embalses y canales.
- Mayor riesgo de inundaciones.

Una pérdida de suelo de 10 mm puede reducir en un 90% los rendimientos del cultivo de maíz, o hasta 5.8 ton/ha. Esto debido a la pérdida de las arcillas y MO y reducción de la profundidad. Un suelo con una erosión equivalente a 200 ton/ha/año de suelo fértil, queda expuesto a que los rendimientos lleguen a abatirse hasta un 97%. En ultisoles

este abatimiento es mas drástico, ya que con solo 2mm de pérdida por erosión, el rendimiento puede disminuir hasta en un 15%. (Stocking y Peake, 1985).

En Iowa, Lai (1985), generó un modelo matemático para predecir el rendimiento de maíz en función de la pérdida del suelo y algunos efectos asociados. El modelo citado, al que corresponde un valor de  $r = 0.9$ , es el que a continuación se describe:

$$Y = 1.79 - 0.007 E + 0.70 CO + 0.07 MO + 0.002 IC$$

donde:

Y= Rendimiento de maíz en ton/ha.

E= Erosión en ton/ha

CO= Carbón orgánico (%)

MO= Porosidad total (%), y

IC= Capacidad de infiltración (cm)

### 2.2.3. Degradación física.

#### 2.2.3.1. Características generales.

Un estudio de degradación física involucra diversas variables de suelo como son: porosidad, permeabilidad, densidad aparente o de volumen y estabilidad estructural,

usandose como unidades de evaluación el incremento de la densidad aparente o la disminución de la permeabilidad.

Son manifestaciones de la degradación física: el apelmazamiento, el encostramiento, la reducción de la permeabilidad, la compactación, la disminución de la areación y la degradación estructural.

En relación al encostramiento, cabe mencionar que este está en función principalmente de la erosividad de la lluvia, del contenido de materia orgánica y de los contenidos de limo (FAO, 1980). Existen algunos índices como los que a continuación se presentan, que permiten evaluar la susceptibilidad al encostramiento:

$$\text{Encostramiento} = (ZF + ZC) / C$$

donde:

ZF = porcentaje de limo fino

ZC = porcentaje de limo grueso

C = porcentaje de arcilla.

Si el índice es menor de 1.5, significa que no se formará costra.

Una modificación a esta ecuación propuesta por la misma FAO (1980), incluye el % de la materia orgánica (MO):

$$\text{Encostramiento} = (11.5 ZF + 0.75 ZC) / (C + 10 MO)$$

Si el índice anterior es menor de 0.2 significa que no habrá encostramiento; si este es mayor de 2 se presentará el encostramiento con alta frecuencia.

Adicionalmente, es de considerarse que el encostramiento se ve favorecido con topografía plana, y uso de maquinaria.

#### 2.2.3.2. Efectos de la Degradación Física

En suelos secos, una densidad aparente de 1.2 a 1.4 gr/cc ya puede constituir una barrera seria a las raíces de un cultivo, mientras que a partir de 1.6, estas se desvían disminuyendo el aprovechamiento de agua y oxígeno por la planta y por lo tanto de nutrimentos. (Primavesi, 1984)

También debe ser claro que con la compactación disminuye la porosidad, especialmente en lo que se refiere a los poros de mayor diámetro. Esta condición impide la extensión de raíces, ya que estas crecen a través de los poros. Por otra parte, cuando hay compactación se presentan condiciones anaeróbicas que favorecen la producción de sustancias tóxicas, ácidos orgánicos, gases de hidrocarburos, bióxido de carbono y sulfitos. También se presentan pérdidas de nitrógeno al propiciarse la denitrificación. (Scott, 1977).

#### 2.2.4. Degradación biológica.

El proceso de la degradación biológica está ligado a la velocidad de mineralización del humus. Esta mineralización, normalmente dependerá de las condiciones de intemperismo existentes en la zona y del manejo del suelo. A este respecto cabe mencionar, a manera de ejemplo, el fuego que provoca una rápida y completa mineralización de la materia orgánica, ya sea cuando se usa para eliminar residuos de cosecha o en los incendios forestales.

El resultado inmediato de la degradación biológica es la disminución de la materia orgánica, lo cual a su vez, trae como consecuencias principales la degradación física, la pérdida de nutrientes, el aumento de la escorrentía y la erosión. La pérdida de materia orgánica puede ser consecuencia también de la misma erosión, pero en este apartado, solo se considera la disminución de la materia orgánica por efecto de la mineralización.

#### 2.3. Evaluación de la Degradación de Suelos.

La FAO (1980), considera dos tipos de evaluación de la degradación del suelo: Degradación Actual y Degradación Potencial.

La Degradación Actual, es definida como la velocidad anual o intensidad del proceso; no como un daño acumulado desde el pasado hasta el presente, sino considerando solo la información relativa al estado actual; determinando cuanta degradación puede soportar el suelo, en función de la profundidad del mismo para así definir la dimensión del problema.

La Degradación Potencial o Riesgo a la Degradación, es una condición prevista para lo futuro, en el supuesto de que las condiciones actuales no varien. Es la disminución de la productividad como consecuencia de los procesos de degradación.

Los niveles de la degradación, estarán influenciados entonces, tanto por el impacto que esta causa sobre la producción, como por las características del mismo suelo, sobre todo en lo que se refiere a su profundidad.

En el Cuadro 7 (de A a F), se presentan las categorías para la evaluación de la degradación de los suelos propuestas por FAO (1980).

CUADRO 7. Categorías para la Evaluación de la Degradación de los Suelos.

A. EROSION

Ligera,	menor de 10 ton/ha/año	o de 0-0.6 mm/año		
Moderada	de 10- 50 "	" "	0.6- 3.3 "	" "
Alta	de 50-200 "	" "	3.3-13.3 "	" "
Muy Alta,	de 200 o mas "	" "	13.3 o mas "	" "

B. SALINIZACION Y SODIFICACION

Ligera,	menor de 2mmhos	y/o menor de 1 PSI
Moderada	de 2-3 "	de 1-2 "
Alta	de 3-5 "	de 2-3 "
Muy Alta	de 5 o mas	o mayor de 3 "

C. DEGRADACION QUIMICA

Ligera,	menor de 1.25 PSB (*)	o de 2.5 PSB (**)
Moderada	de 1.25-2.5 "	2.5-5 "
Alta	de 2.5 -5 "	5 -10 "
Muy Alta	de 5 o mas "	o mayor de 10 "

PSB original del suelo: (\*) menor de 50%,  
(\*\*) mayor de 50%.

D.1 DEGRADACION FISICA. (Aumento en % de la Da)

Categorías de densidad aparente (Da) inicial:  
menor de 1 g/cc, de 1-1.25 g/cc, de 1.25-1.4 y de 1.4-1.6 g/cc

Ligera	0- 5 %	0-2.5 %	0-1.5 %	0-1 %
Moderada	5-10 "	2.5-5 "	1.5-2.5 "	1-2 "
Alta	10-15 "	5 -7.5 "	2.5-5 "	2-3 "
Muy Alta	15 o mas,	7.5 o mas	5 o mas	3 o mas

D.2 DEGRADACION FISICA. (Disminución en % de la Perm)

Categorías de la permeabilidad (Perm) inicial:  
mayor de 10 cm/h, de 5-10 cm/h y menor de 5 cm/h

Ligera	0- 2.5 %	0-1.25 %	0- 1 %
Moderada	2.5-10 "	1.25-5 "	1- 2 "
Alta	10 -50 "	5 -20 "	2-10 "
Muy Alta	50 o mas "	20 o mas "	10 o mas

CUADRO 7. Categorías para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. (Continuación).

E. DEGRADACION BIOLÓGICA.

Disminución del humus en una capa de 0-30 cm

Ligera	0 - 1	% / año
Moderada	1 - 2.5	" "
Alta	2.5- 5	" "
Muy Alta	5 o más	" "

ESCALAS SEGUN NIVEL DE PLANIFICACION

Global	menor de 1 : 1 000 000
Nacional	1 : 100 000 a 1 : 1 000 000
Regional	1 : 20 000 a 1 : 100 000
Local	1 : 20 000 o mayor

2.4. Conservación de los Recursos Naturales.

Las relaciones del hombre con la biosfera, continuarán deteriorándose mientras no se logre establecer un nuevo orden económico internacional; mientras no se adopte una nueva ética hacia el medio ambiente; mientras no se estabilicen las poblaciones humanas, y hasta que un tipo sostenido de desarrollo se convierta en regla y deje de ser excepción. (UICN, 1980).

La conservación y el desarrollo han sido convalidados tan rara vez, que frecuentemente parecen incompatibles y a veces suele decirse que lo son. Son incompatibles en realidad, a no ser que se haya previsto un desarrollo sostenido.

El mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales es prioritario; como por ejemplo el suelo, que en condiciones naturales, se requiere de 100 a 400 años para que se restituyan 10 milímetros de espesor. Claro está, que la productividad de los ecosistemas agrícolas no depende únicamente del mantenimiento de la calidad de los suelos, sino de la preservación de todo el ambiente; donde se incluyen entre otros organismos, los insectos benéficos que facilitan la polinización de los cultivos y los depredadores y parásitos de plagas.

#### 2.4.1. Prioridades en la conservación.

Dentro de los principios de la conservación de recursos, se considera que las tierras de mayor potencial deberían de quedar reservadas a la agricultura. Con ello se disminuirá la presión que padecen las tierras marginales ecológicamente frágiles. No obstante, este requisito puede entrar en conflicto con las políticas de urbanización y desarrollo industrial, energética y de transportes. Si no existe una zonificación y un planteamiento cuidadoso, los asentamientos humanos de las zonas rurales, tenderán a extenderse hacia las tierras de cultivo. Tal situación debería preverse siempre y de ser posible, evitarse para que se garantizará la permanencia de las tierras fértiles y de esta forma, se asegurará el aprovechamiento del recurso.

La intención de reservar las tierras fértiles para los cultivos, puede también entrar en conflicto con otros propósitos de conservación. Tal es el caso de los ecosistemas que aún siendo de un gran potencial agrícola se pretende conservar inalterados con fines de preservar los recursos genéticos ahí presentes y de que sirvan de áreas de estudio y de investigación

#### 2.4.2. Aprovechamiento sostenido de los recursos naturales.

El aprovechamiento sostenido de los recursos naturales de acuerdo con la UICN (1980) se basa en:

- a). Determinar las capacidades productivas de las especies y ecosistemas explotados y velar por que el aprovechamiento no rebase aquellas capacidades.
- b). Adoptar objetivos de manejo conservadores en el aprovechamiento de las especies y de los ecosistemas.
- c). Asegurar que el acceso a un recurso no sea mayor que la capacidad de aquel recurso de soportar su explotación.
- d). Reducir el rendimiento excesivo a un nivel sostenido.
- e). Preparar a las comunidades de subsistencia de tal modo que puedan aprovechar los recursos en forma sostenida.
- f). Mantener los habitats de las especies que constituyen recursos.
- g). Reglamentar el uso de plantas y animales silvestres.

- h). Atribuir concesiones con mucho cuidado y manejarlas de conformidad con las mas altas normas.
- i). Limitar el consumo de recursos a niveles sostenidos.
- j). Reglamentar la siembra de pastos y otras plantas, con miras a mantener una productividad prolongada de las plantas y animales.

### 3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### Objetivo General:

Contribuir al conocimiento sobre los procesos y grados de degradación en los suelos del Valle de Zapopan, Jal.

#### A. Objetivos Específicos:

Conocer el nivel de avance de los diversos tipos de degradación presente.

Definir la dimensión de cada tipo de degradación en base a su estado actual y potencial.

Dar alternativas de manejo de los recursos del municipio con un sentido de conservación.

#### B. Hipótesis:

Hasta ahora, la degradación de mayor impacto en los suelos del valle agrícola del municipio de Zapopan, es la degradación química.

#### 4. MATERIALES Y METODOS

##### 4.1 Ubicación del área de estudio.

La investigación esta referida al Valle de Zapopan, ubicado en el centro del municipio del mismo nombre. Este se encuentra localizado en la Región Centro del estado de Jalisco, entre los paralelos  $103^{\circ} 20'$  y  $103^{\circ} 37'$  de longitud y entre los  $20^{\circ} 35'$  y  $21^{\circ} 00'$  de latitud, variando su altitud entre los 800 y 2 200 msnm (el Valle presenta una altitud media de 1 600 msnm). La extensión total del municipio es de 1 160.6 km cuadrados, que representa el 1.47% de la superficie de Jalisco. El Valle agrícola de Zapopan, representa en la actualidad, aproximadamente el 25% del municipio. Figura 1.

El municipio de Zapopan colinda con los municipios de San Cristobal de la Barranca y Tequila al Norte; Tlajomulco de Zuñiga al Sur; Guadalajara, Ixtlahuacan del Rio y Tlaquepaque al Este y Amatitan, Arenal y Tala al Oeste, quedando comprendido en la región hidrologica del Rfo Santiago.

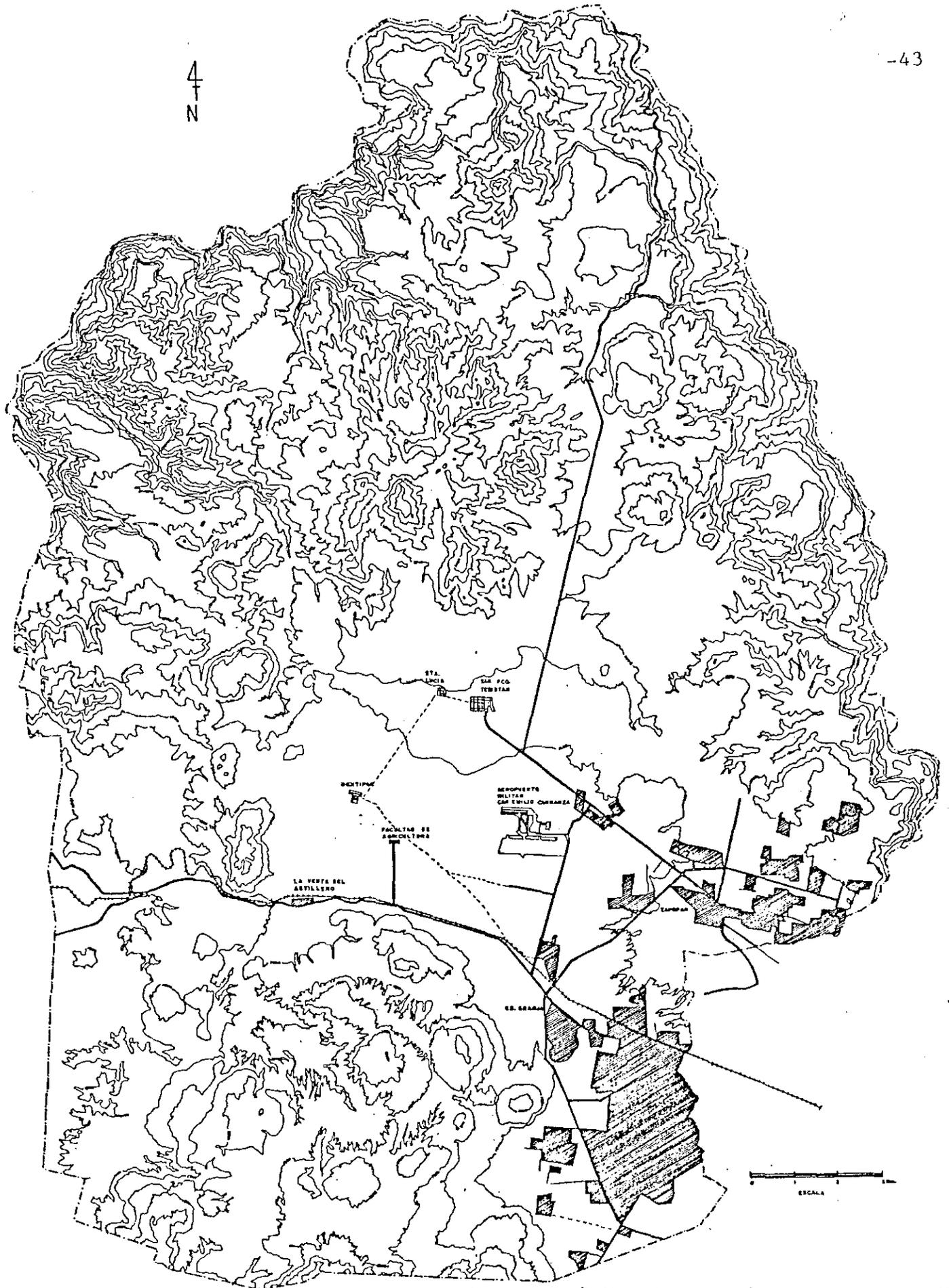


Figura 1. Límites del Municipio de Zapopan, Jalisco.

## 4.2. Características ambientales.

### 4.2.1. Clima.

Según la clasificación oficial del clima (köppen), el municipio de Zapopan presenta dos tipos climáticos: Templado Semicálido Subhúmedo y el Cálido Subhúmedo; este último en la parte norte por efecto de la condición de barranca.

La precipitación pluvial es del orden de 884mm, distribuidos entre los meses de mayo y octubre; siendo julio el mes mas lluvioso con 225 mm. La temperatura media, es de 20 °C, siendo mayo, junio y julio, el trimestre mas cálido.

En las épocas críticas de humedad (enero a mayo), los vientos dominantes proceden del oeste; la velocidad promedio es de 18 km/h, alcanzando máximas de 54 km/h en el mes de marzo.

En cuanto a características agroclimatológicas, la radiación solar es de 495 cal/cm<sup>2</sup>/día, que en la zona agrícola representa un potencial de rendimiento para maíz de 11 ton/ha. El inicio del temporal de lluvias es en la primera decena de julio con una probabilidad del 80% a presentarse una cantidad de lluvia mayor o igual a 200 mm en este período. En cuanto a otros fenómenos como las heladas tempranas y tardías estas tienen una probabilidad de 27% para una helada temprana y 55% para una tardía.

#### 4.2.2. Orografía.

El 43.3% de la superficie del municipio de Zapopan es considerada como una zona accidentada; el 19.3% como semiplana y el 37.4% restante con condiciones planas. El Valle agrícola de Zapopan se incluye en esta última condición.

#### 4.2.3. Hidrografía.

Zapopan cuenta con varios recursos hidrológicos; tiene ríos de importancia nacional como el Río Lerma, de importancia estatal como el Río Salado y algunos de importancia local como el Río Blanco, San Isidro y Atemajac, además de presentar algunos caudales temporales como los Colomos, La Soledad, Las Canoas, y los Gavilanes. Se presenta una amplia riqueza en manantiales, destacándose los del Bosque La Primavera, que presenta dentro del municipio 16 yacimientos de agua fría y 3 termales; además de 32 manantiales y 109 pozos de agua potable en el resto del municipio. Existen pequeñas presas que en la actualidad presentan serios problemas de azolvamiento, como La Peñita, San Juan Copalita y el Escaloncito.

#### 4.2.4. Geología.

La región es parte de la Faja Volcánica Mexicana (Eje Neovolcánico), producto de la subducción de la Placa de Cocos y Rivera. Las rocas predominantes son las ígneas extrusivas ácidas: riolita porfirica, toba liparítica, pómez y obsidiana

asociadas con algunos afloramientos de basalto, siendo materiales que presentan una antigüedad que va de los 25 mil a los 5 millones de años, siendo las formas mas recientes las correspondientes a La Primavera. Esta sierra manifiesta un relieve producto de una caldera de tipo explosivo aproximadamente de 11 km de diámetro modificada por diversos domos riolíticos en la zona de fractura anular, cuyos productos piroclásticos fueron depositados en la región central del municipio, dando origen a los suelos del Valle.

#### 4.2.5. Suelos.

Las unidades de suelos según clasificación FAO/UNESCO que en orden de abundancia constituyen el municipio de Zapopan, son: regosol, feozem, vertisol, fluvisol, cambisol, litosol y luvisol, con un proceso de formación in situ, coluvial y aluvial. El nivel de fertilidad de estas unidades es muy variable dado que el contenido de arcilla, materia orgánica y humedad cambian según el lugar donde se ubiquen. Las características de las dos unidades predominantes son las siguientes:

a).Regosol: Se presenta en el 51% de la zona y son considerados suelos con un desarrollo incipiente y una fertilidad de baja a moderada; estos presentan una alta proporción de arenas pomaceas aportadas por La Primavera

permitiendo la retención de humedad en épocas críticas y las siembras de maíz en el mes de Abril. Los suelos exhiben colores claros por el material de origen y su bajo contenido de materia orgánica; son muy susceptible a la erosión por la baja capacidad que tienen estos materiales para formar agregados.

b).Feozem: Se manifiestan en una superficie del 29% y su composición y características son similares a la unidad anterior, con la diferencia de un mayor contenido de materia orgánica y capacidad de retención de humedad. Su color es mas oscuro y se encuentra en los valles y mesetas al sur del municipio.

#### 4.2.6. Uso del Suelo.

Según cifras oficiales, se considera que aproximadamente, el 32.35% de la superficie del municipio de Zapopan se destina para un uso agrícola, siendo en orden de dominancia: Agricultura de humedad (28.54%, uso principal del Valle), Temporal (2.23%) y de riego (1.58%); el uso ganadero se considera en un 30.13%, y el forestal 14.18%; quedando como improductivas el 23.38%, donde se incluye el uso urbano. Es importante resaltar, que la mayor parte de las tierras agrícolas, pecuarias y forestales, pertenecen al régimen de pequeña propiedad, mientras que el mayor porcentaje de improductivas estan en terrenos ejidal y comunal.

Los cultivos de mayor relevancia, ordenados de acuerdo a la superficie que ocupan, son: maíz, caña de azúcar, sorgo, garbanzo, frijol y huertas de mango, aguacate, ciruela, nogal, guayabo y cítricos.

El sistema de cultivo utilizado para maíz de humedad y temporal tiene un período de siembra del 15 de abril al 20 de junio; utilizando aproximadamente un 25 % de los agricultores algún mejorador orgánico como la basura urbana y/o estiércol. El uso de fertilizantes es generalizado para todas las áreas de cultivo, variando para nitrógeno de 130 a 290 kg/ha y de 50 a 200 kg/ha de fósforo.

El rendimiento promedio de maíz, se ha considerado que varía entre 1.5 ton/ha para algunos ejidos como Hacienda del Lazo y Comunidad Indígena de Ixcatan; hasta 4 ton/ha, para el ejido Nextipac, Zapopan y Zoquipan. En caña de azúcar, se tienen rendimientos de 90 a 110 ton/ha.

#### 4.2.7. Flora y Fauna.

En el municipio de Zapopan la flora y fauna responden por su ubicación, a características biogeográficas de transición; por una parte, de los dos Reinos Biogeográficos de América: Neártico y Neotropical, y a la influencia de tres Provincias Biogeográficas: Sierra Madre, Chihuahua y Guerrero.

Los tipos de vegetación característicos son: Bosque de Encino y Pino y Bosque Tropical Caducifolio; y en menor proporción: Bosque espinoso, Matorral Crasicaule, y Pastizal y/o Zacatonal.

La vegetación natural de la región muestra signos claros de perturbación producto de las diversas actividades antrópicas que hasta nuestros días se han venido desarrollando, lo que ha originado la substitución de la flora nativa del Bosque de Pino-Encino por: agricultura, matorral subtropical y pastizales.

A nivel de fauna, éste es un recurso que se ha visto afectado desde la época prehispánica por la actividad de la caza que les proveía de alimento, vestido y ofrendas religiosas a los antiguos pobladores. Algunas de las especies mas buscadas fueron armadillo, tlacuache, conejo y liebre, algunas aves como las codornices, guajolote silvestre y diversos tipos de palomas, así como culebras y serpientes; tan perseguidas que se piensa que algunos generos llegaron a desaparecer del área. Otras fuentes de sustento provenían de insectos como chapulines, jumiles y la miel de abeja.

Actualmente la destrucción que se ha hecho en diferentes habitats ha dado como consecuencia una baja diversidad faunística, predominando algunas especies asociadas al hombre y a sus actividades agrícolas como es el caso de aves y

roedores, observandose parvadas de tordos, zanates y garzas garrapateras, así como gran proliferación de ratas, tuzas y topos. En la época de siembra las aves son importantes por su papel depredador de insectos dañinos como la gallina ciega, el alfilerillo y los pulgones. La clase insecta es la mas variada y abundante estando constituida por diversas plagas asociadas a los cultivos como el gusano cogollero y chicharritas; y algunos perjudiciales al bosque como los pertenecientes a la familia Scolitidae, Cerambycidae y Curculionidae.

Aun cuando algunas especies de fauna mayor se hayan eliminado definitivamente del área, como es el caso del lobo, el puma y muy probablemente se agregue en este momento al gato montes, en las zonas boscosas aun existe diversidad de animales de talla grande como zorra gris, coyote, venado y armadillo, así como cerca de 65 especies diferentes de aves migratorias y residentes, además de varios tipos de reptiles y anfibios. En cuanto a la fauna acuatica se presentan especies nativas como los poecilidos y especies exóticas producto de repoblaciones realizadas en presas como carpas y tilapias.

#### 4.3. Metodología General.

En el diagnóstico de la degradación de suelos del Valle se considero un nivel de semidetalle (escala 1:50,000).

La ejecución del trabajo se desarrolló siguiendo las etapas de un levantamiento de tierras, es decir, comprendió tres etapas:

- a). Precampo,
- b). Trabajo de campo y
- c). Postcampo.

La fase de gabinete precampo (a), estuvo constituida de las siguientes actividades:

1. Obtención de información existente: bibliográfica, fotográfica y cartográfica del Valle, que permitiera determinar los procesos de degradación a evaluar en el área y/o información de zonificaciones actuales.
2. Unificación de escalas de la información, según el nivel de detalle.
3. Análisis de la información y ubicación de sitios homogéneos como unidades provisionales para el trabajo de campo.
4. Transferencia de sitios a un mapa de campo considerando las áreas mínimas según un nivel de semidetalle.

Para la selección de sitios y número de muestreos, se consideró en una primera etapa, una zonificación en base a un análisis detallado carto-fotográfico y posteriormente a un cálculo de acuerdo a criterios de muestreo estadístico, tomando en cuenta el número de parcelas en el Valle (2 386)

se hizo la ubicación definitiva de los sitios, fijando una confiabilidad del 95 %.

La fase de trabajo de campo (b), se enfocó a la evaluación de la degradación de suelos y sus procesos con las siguientes actividades:

1. Identificación de unidades en campo.
2. Observaciones y muestreos para la determinación de:
  - Erosión hídrica y eólica,
  - Acidificación y toxicidad de Aluminio,
  - Riesgo al encostramiento,
  - Condición de materia orgánica.
  - Desarrollo del cultivo de maíz (cobertura y rendimiento).

La fase de gabinete postcampo (c), consistió en las siguientes actividades:

1. Análisis de laboratorio de los muestreos de suelo y agua.
2. Condensado de la toma de observaciones directas de los procesos de degradación.
3. Análisis estadísticos para la prueba de hipótesis mediante: correlación, regresión y coeficientes de determinación.
4. Cartografía de los niveles de degradación actual y potencial.
5. Elaboración de propuestas de manejo.

La metodología se desglosa a continuación, considerando el tipo de degradación a evaluar.

#### 4.4. Métodos para la Evaluación de la Degradación de Suelos.

##### 4.4.1. Erosión hídrica.

Para la evaluación de la erosión hídrica se utilizaron los siguientes modelos:

- a). Nivelación. Para considerar la dinámica de erosión, utilizando sus resultados para la calibración de los modelos paramétricos.
- b). Deluométrico. Con lotes de esorrentía de 4 X 10 metros se evaluó el efecto de la cobertura vegetal natural y el impacto del manejo de suelo-cultivo de maíz.
- c). Pluviosimulación. Con un simulador de lluvias diseñado por la misma Universidad de Guadalajara, se cuantificó la dinámica de esorrentía, estabilidad de agregados y salpicado de los suelos.
- d). Modelos paramétricos. Para evaluar la degradación actual y potencial de las áreas con un nivel de semidetalle, utilizando el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, ajustada para condiciones locales y considerando las formas:

Erosión Actual:

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

Erosión potencial:

$$A = R K L S$$

donde:

A: Pérdida de suelo en ton/ha/año.

R: Factor de erosividad por precipitación pluvial en Mj.mm/ha.hr.año, obtenido mediante la formula:

$$R = (EC/100) I^{30}$$

donde:

R = erosividad de un evento,

I 30 = Intensidad máxima del evento en 30 minutos,

EC = Energía cinética en Mj/ha. calculada en la forma siguiente:

$$EC = 210 + 89 \log I$$

donde:

I = Intensidad de lluvia en cm/h

K: Factor de erodabilidad del suelo en Mg.ha.hr/ha.Mj.mm según la ecuación:

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

donde:

M = (%limos + %arenas finas) (100-%arcillas)

a = % de Materia Orgánica

b = Tipo de estructura (valor codificado)

c = Permeabilidad del perfil (valor codificado)

A excepción de la permeabilidad, los demás parámetros se obtienen analizando muestra de 20cm de profundidad.

LS: Factor del efecto topográfico.

L: Factor longitud de pendiente en mts.

S: Factor de grado de pendiente en %.

Ambos factores constituyen el efecto topográfico, y se evalua conjuntamente con la ecuación:

$$LS = \sqrt{L}/100 (1.36 + 0.97 S + 0.138 S^2)$$

C: Factor de manejo de cultivos en %.

Este factor se obtiene en base a las diferencias entre pérdidas de suelo determinadass en lotes de escurrimiento con maíz, con el despeje del factor (C) de la siguiente forma:

$$C = A / RKLS.$$

P: Factor de prácticas de control de erosión en %.

Se obtiene por la relación:

$$P = \frac{\text{Suelo perdido con práctica de conservación}}{\text{Suelo perdido sin práctica de conservación.}}$$

En el caso de no existir prácticas de conservación. P = 1.

#### 4.4.2. Erosión Eólica.

Para evaluar la erosión eólica, se utilizó el modelo paramétrico desarrollado por Woodruff y Siddoway (1965), citado por Amante (1985). Las expresiones son:

Erosión Eólica Actual :

$$E = I, C, K, L, V$$

Erosión Eólica Potencial:

$$E = I, C$$

donde:

I = Erodabilidad del suelo,

C = Factor climático local,

K = Factor de rugosidad del suelo,

L = Longitud equivalente del terreno y

V = Cantidad equivalente de cubierta vegetal.

C = Para el factor climático local, Chepil et al, citado por Amante (1985), proponen la siguiente ecuación:

$$C = 100/2.9 \frac{V^3}{10 (PE)^2}$$

donde:

C = Factor climático local (expresado como % del de Garden City, Kansas).

100/2.9 = Factor para expresar a C como un porcentaje del valor medio anual de C (2,9 para Garden City)

V = Velocidad del viento.

10 (PE) = Efectividad de la precipitación de

Thorntwaite, obtenida por:

$$115 \sum_{I}^{12} (P_i/T_i - 10)^{10/9}$$

donde:

P<sub>i</sub> = precipitación mensual en pulgadas

T<sub>i</sub> = temperatura mensual (°F)

I = La erodabilidad del suelo depende del porcentaje de agregados mayores de 0.84 mm; este se determina por un tamizado en seco, y usando el Cuadro 6. También pueden considerarse otros factores, como la textura, CIC o el % de Humedad a 15 bars.

CUADRO 8. Erodabilidad del suelo (ton/ha/año), en base al % de agregados mayores de 0.84 mm. (Rango de valores considerando las características de Zapopan).

DECENAS	U N I D A D E S									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	---	696	561	494	438	404	382	359	337	314
10	301	294	287	281	272	263	254	245	238	229
20	220	213	207	202	198	193	186	182	177	171

K = Se refiere a un valor en base a la rugosidad de un terreno por el barbecho y rastra, prácticas que dejan el suelo muy mullido y casi sin lomos o pequeñas ondulaciones que le confieren al terreno cierto grado de aspereza o rugosidad superficial. Con esto se crean

pequeños bordos con una altura efectiva que va de 1 a 5 cm aproximadamente. Se toma en cuenta la altura de los lomos y la distancia de estos. En la figura 2, se presenta la gráfica para la obtención del factor K, en base a la relación entre lomos estandar de 1:4 y la relación altura - espaciamento del sitio.

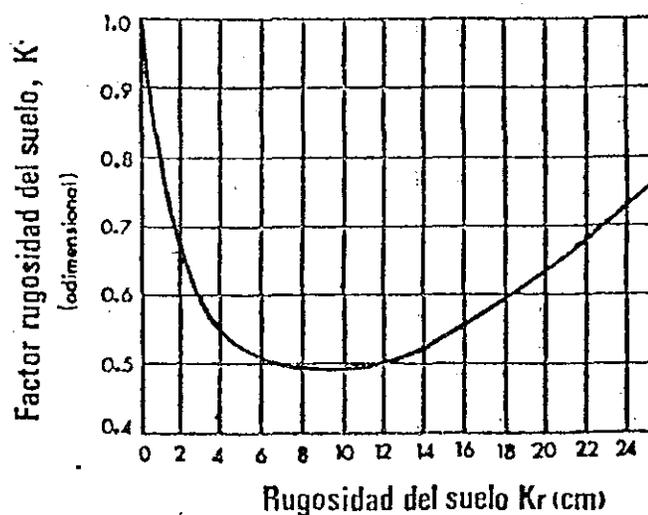


Figura 2. Determinación gráfica del factor de rugosidad del suelo ( $K$ ), a partir de la relación altura - espaciamento ( $K_r$ ). Woodruff y Siddoway citado por Amante (1985).

$L$  = Topografía. No tiene mucha importancia; se considera un factor de longitud equivalente del terreno pero este dato carece de valor práctico debido a la imposibilidad de conocerlo para cada terreno. Por lo anterior se hace la suposición de que todos los terrenos son lo suficientemente grandes para que la tasa de flujo alcance su máximo.

V = Factores humanos. Aquí se incluye la influencia del % de cobertura de la vegetación e intervalo entre obstáculos de oposición al viento, así como la aspereza del terreno.

#### 4.4.3. Degradación Química.

Este proceso se cuantificó en base a la acidificación y toxicidad por aluminio en maíz, con evaluaciones de pH y contenido de aluminio intercambiable, analizando el impacto que tiene la acidez y el contenido de aluminio intercambiable en la solución del suelo y el rendimiento del cultivo de maíz, con cuantificaciones directas utilizando muestreos parcelarios con una confiabilidad del 90% y una precisión de 300 kg/ha de rendimiento. El aluminio intercambiable, se determinó por el método del Aluminón.

#### 4.4.4. Degradación Física.

Su cuantificación estuvo relacionada con la disminución de la permeabilidad del suelo y mediciones directas de las variaciones de permeabilidad con lotes de escurrimiento. El modelo paramétrico utilizado para determinar el encostramiento consideró las siguientes características:

Clima: El encostramiento estará en función de la erosividad de la lluvia.

Suelo: La susceptibilidad de un suelo a un apelmazamiento y/o encostramiento, será muy alta si este presenta un bajo contenido de materia orgánica y un alto % de limo. A nivel cuantitativo, este factor se obtiene con la relación:

$$\frac{1.5 ZF + 0.75 ZC}{C + 10 MO}$$

donde:

ZF = % limo fino (de 0.02 a 0.002 mm)

ZC = % limo grueso (de 0.05 a 0.02 mm)

C = % arcillas (menores de 0.002 mm)

MO = % materia orgánica.

Si el valor resultante de esta relación es menor de 0.2, se considera que el suelo no forma costra, pero si este tiene un resultado mayor de 2, significa una alta facilidad para formar costras. Esta relación permite una evaluación actual. Para una evaluación potencial, se utilizo el índice:

$$\frac{\% \text{ de limo fino (ZF) + \% de limo grueso (ZC)}}{\% \text{ de arcilla (C)}}$$

Si el valor resultante de esta relación es menor de 1.5, se considera que el suelo no formará costras.

Topografía: Se considera que la topografía plana, es la condición que facilita la presencia de un encostramiento.

Fac. humanos: Un encostramiento, puede depender de algunos factores en el manejo, como es el caso de un uso excesivo de maquinaria.

4.4.5. Degradación biológica.

El modelo mas utilizado para esta determinación, considera los factores de clima, suelo y factores humanos, que se obtienen de la forma siguiente:

Clima: Este factor se calcula mediante la formula:

$$K2 = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} e^{0.1065 t} \times \frac{P}{PET}$$

donde:

K2 = Coeficiente de descomposición de la materia orgánica (Koeppf modificado).

t = Temperatura media mensual.

P = Precipitación media anual.

PET = Evapotranspiración potencial media anual.

Suelo: El factor edáfico deberá relacionarse en base a algunas características físicas y químicas como textura, pH, contenido de carbonatos, y relación carbono-nitrógeno de la materia orgánica.

Fac. humanos: Efecto de residuos del cultivo y % de cobertura.

El contenido de materia orgánica se determinó por el método de Walkley y Black.

#### 4.4.6. Levantamiento de Capacidad - Fertilidad del Suelo.

El levantamiento de fertilidad propuesto por Buol et al (Laird, 1977), se utilizó a nivel metodológico como un auxiliar en las determinaciones de degradación, ya que su formato esta relacionado estrechamente con estas condiciones. Esta clasificación se basa en un formato de:

##### 4.4.6.1 Tipo y Subtipo.

El tipo es la categoría superior y esta determinada por la textura promedio de la capa arable (20 cm). El Subtipo es la textura del subsuelo que ocurre dentro de los 50 cm de profundidad, se incluye solo si ésta difiere a la del Tipo.

##### 4.4.6.2. Condiciones Modificantes

Estas se refieren a las propiedades físicas y químicas de la capa arable que se mencionan a continuación, (se desglosan unicamente las encontradas en el Valle de Zapopan).

g = Condición gley

d = Estación seca anual

- e = Baja capacidad de intercambio de cationes. Esta condición infiere problemas debido a la lixiviación de cationes y se puede diagnosticar en base a:
- Contenido menor de 4 meq/100 g de suelo, determinada por suma de bases + aluminio, extraído con KCl 1N.
  - Contenido menor de 7 meq/100 g de suelo, determinada por suma de cationes a pH 7.
  - Contenido menor de 10 meq/100 g de suelo, determinada por suma de cationes a pH 8.2.
- a = Concentraciones altas de aluminio. Estas pueden diagnosticarse en base a:
- 60% de saturación de la capacidad de intercambio de cationes (CIC), por aluminio (Al).
  - 67% de saturación de la CIC por Al, por suma de cationes a pH 7.
  - 86% de saturación de la CIC por Al, por suma de cationes a pH 8.2.
  - pH menor de 5.3 en una relación suelo-agua 1:1.
- h = Nivel moderado de acidez. Se diagnostica en base a:
- 10 a 60% de saturación de CIC por Al, determinada por suma de bases + Al.
  - pH entre 5.3 y 6.5 en una relación suelo-agua 1:1.
- i = Fijación de fósforo por compuestos de hierro.
- x = Presencia de alofano.
- v = Suelos con alta concentración de arcillas expandibles.

k = Baja presencia de potasio.

b = Concentraciones calcáreas.

s = Problemas de salinidad.

n = Sodicidad.

c = Presencia de ácidos sulfatados.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSION.

Los resultados globales de la degradación en el Valle de Zapopan según su orden de importancia, son presentados en el Cuadro 9 y en la Cartografía del Apéndice.

CUADRO 9. Degradación de los suelos del Valle Agrícola de Zapopan, Jalisco.

TIPO	NIVEL DE LA DEGRADACION EN %		
	Leve	Moderado	Alto
DEGRADACION QUIMICA ACTUAL	2	72	26
DEGRADACION QUIMICA POTENCIAL	0	48	52
EROSION HIDRICA ACTUAL	11	82	7
EROSION HIDRICA POTENCIAL	3	86	11
EROSION EOLICA ACTUAL	3	97	0
EROSION EOLICA POTENCIAL	3	66	31
DEGRADACION BIOLOGICA ACTUAL	49	41	10
DEGRADACION BIOLOGICA POTENCIAL	00	79	21
DEGRADACION FISICA ACTUAL	83	7	10
DEGRADACION FISICA POTENCIAL	21	43	36

Dentro del balance del Cuadro 9, se observa, en terminos generales y ponderando los diferentes niveles de intensidad de los factores de degradación, que la condición actual de acuerdo a su importancia, queda ordenada así: Degradación Química, Erosión, Degradación Biológica y Degradación Física.

Por lo que respecta a la degradación potencial, es claro el riesgo que se presenta en el caso de la Degradación Química, Erosión Eólica, y Degradación Biológica.

Con estos resultados globales, se pretende a continuación hacer un análisis de los principales procesos de degradación en el área de estudio y que están influyendo en la actualidad de manera importante en la producción de maíz; cultivo que de 1980 a 1985 registro una baja en los rendimientos, superior a las 2 ton/ha.

#### 5.1. Degradación química.

Dentro de los factores físicos y químicos del suelo diagnosticados, el que presentó una mayor correlación con el rendimiento de maíz, fue el aluminio intercambiable; significativo con un 90 % de confiabilidad, con la ecuación:

$$Y = 2.976 - 2.519 x \quad (r = 0.25)$$

donde:

x = contenido de Al intercambiable en meq/100 g

Por lo que con un 90% de confiabilidad, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que a mayor contenido de aluminio intercambiable en el suelo, será menor el rendimiento de maíz.  
Figura 3.

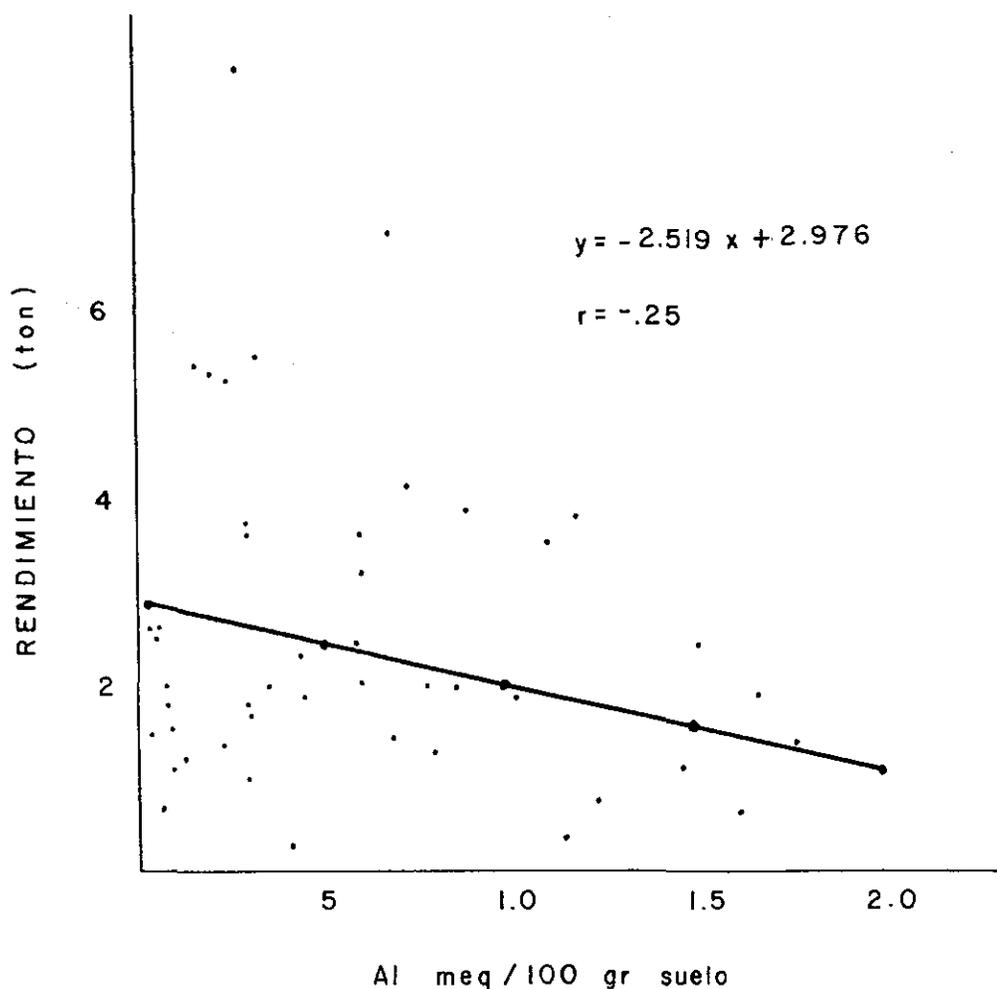


Figura 3. Relacion entre el rendimiento de maíz en el Valle de Zapopan y el contenido de aluminio intercambiable en el suelo.

El contenido de aluminio puede ser inferido en base al valor de pH, ya que este presentó una correlación confiable, con la siguiente función:

$$\text{Log } Y = - 10.32 (\text{Log } x) + 6.91 \quad (r = - 0.79).$$

donde:

Y = Aluminio Intercambiable en meq/100 g y

x = pH

Siguiendo el criterio del método gráfico de Cate-Nelson (Sánchez, 1981), se detectó el nivel crítico de la relación pH - Aluminio, mismo que para el caso de Zapopan resultó ser de pH = 5.5 y aluminio intercambiable = 0.2. Figura 4.

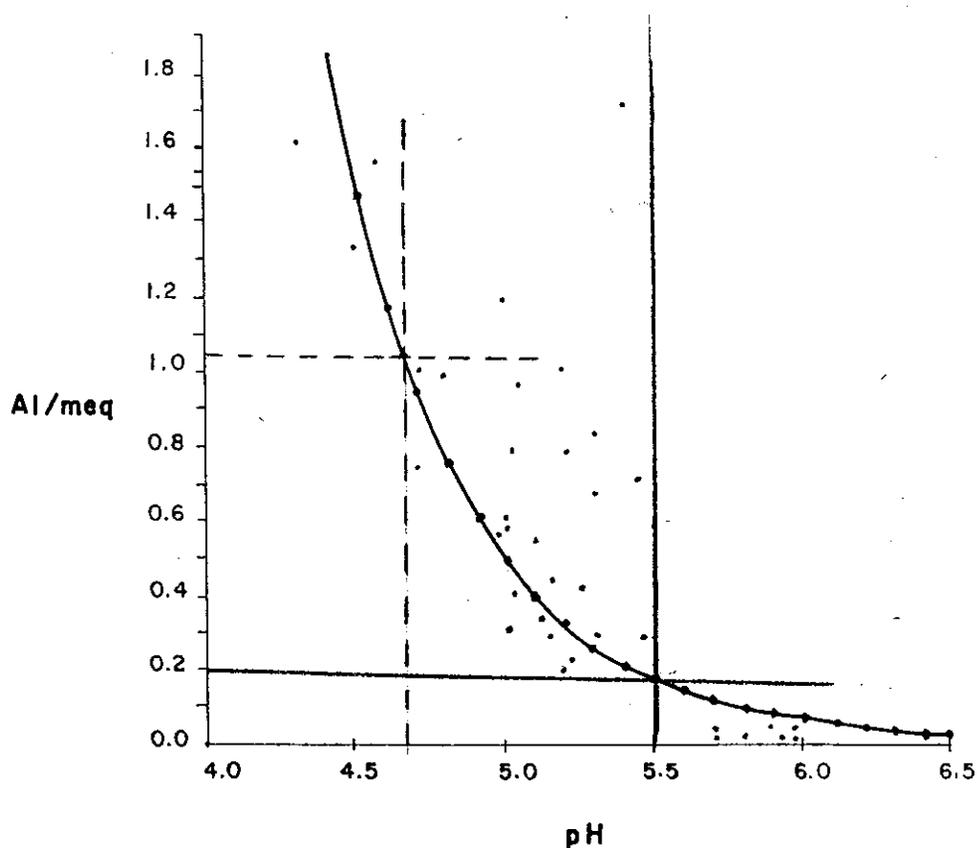


Figura 4. Relación entre el contenido de aluminio y pH en los suelos del Valle de Zapopan, Jal.

En base a estos resultados se puede inferir la cantidad de calcio que sería necesaria para neutralizar el aluminio intercambiable existente. Para ello puede usarse la siguiente ecuación:

$$\text{meq Ca}/100\text{g de suelo} = 1.5 \times \text{meq Al inter.}/100\text{g}$$

Con el criterio anterior y tomando en consideración un espesor de suelo de 20 cm, resulta la gráfica de la Figura 5, donde se representa la relación entre el pH del suelo y la cantidad de calcio que se requiere para neutralizar el aluminio; elemento que como quedó establecido con anterioridad, es indicativo de la degradación química.

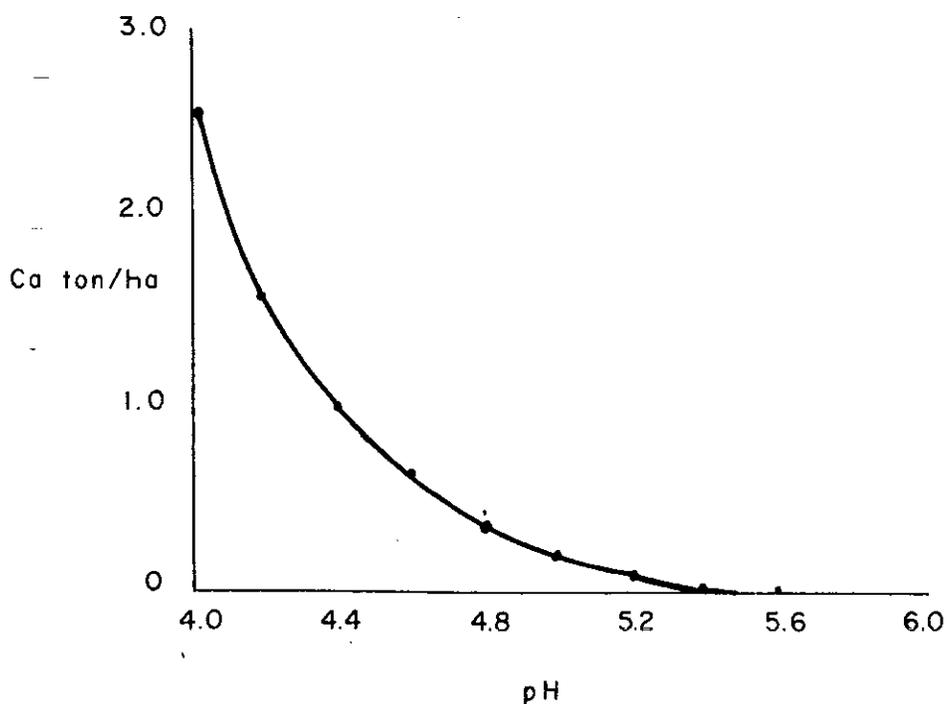


Figura 5. Necesidades de Calcio para corregir la degradación química de los suelos del Valle de Zapopan, con referencia al pH.

Por otra parte, es posible hacer referencia de manera mas específica al efecto directo que el aluminio ejerce sobre el

crecimiento del maíz; para este fin, basta examinar nuevamente la Figura 4 en su parte superior, donde se observa que a un pH de 4.7 o menor, corresponden valores de aluminio intercambiable superiores a 1 meq/100 g que ya pueden ser responsables directos de una disminución en los rendimientos. Adicionalmente, es interesante asentar que bajo estas condiciones se presenta una relación Ca/Al intercambiables menor de 2, que de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, deberá considerarse como nociva.

Debe reconocerse que además del carácter ácido de los materiales que dieron origen a los suelos en la región, varios otros factores han contribuido a intensificar la acidez; dentro de estos deben mencionarse la alta permeabilidad de los suelos que a su vez ha facilitado la lixiviación de bases. También ha influido de manera relevante la baja capacidad de amortiguamiento que es propia de suelos con bajos niveles de arcilla y materia orgánica, y de manera también muy especial el manejo que se ha dado a los suelos.

Con relación al manejo, se han presentado prácticas que han favorecido la presencia de la degradación química, como es el caso del manejo de monocultivos, el retiro de los residuos de cosecha y uso excesivo de fertilizantes.

El uso de fertilizantes de alto índice de acidez, ha sido un factor que ha asentado este problema; en la década pasada,

casi la totalidad de agricultores utilizaba como fuente de nitrógeno el Sulfato de Amonio. Esta situación ha cambiado en la actualidad, ya que casi el 80% de los agricultores utilizan la Urea para llevar a cabo la fertilización nitrogenada. Este producto tiene una acción residual ácida 30 unidades menor a la del Sulfato. Desde luego que el encalado también debe mencionarse como otra de las acciones que están contribuyendo a reducir la acidez de los suelos en la región, aunque en la actualidad solo el 24 % de los productores lo practican.

Por otra parte y haciendo referencia aún a factores que contribuyen a intensificar la acidez, es importante mencionar que en la actualidad las lluvias ácidas comienzan a jugar un papel como agente causante de acidez en los suelos de la región. Estas lluvias suelen contener niveles de ON y SO<sub>2</sub> del orden de 1 a 2 mg/l en solución; estas cantidades según Krug y Frink (1983), son suficientes para causar problemas al sistema radical de cultivos susceptibles. Los resultados observados por el Instituto de Meteorología de la Universidad de Guadalajara en los últimos años, señalan que el 52 % de las lluvias en Zapopan se pueden considerar ácidas, por presentar valores de pH menor de 5.6. Esto representa un problema que merece atención con vías de conservar el recurso suelo y planta.

Una de las principales consecuencias de la acidez de los suelos, es que la disponibilidad de varios de los nutrimentos esenciales para las plantas disminuye. Esta inmovilización es con frecuencia debida a la formación de compuestos estables con el aluminio libre. Así, para el caso del potasio, los resultados obtenidos y que están expresados en la Figura 6, dejan ver con claridad que el potasio soluble disminuye conforme aumenta el contenido de aluminio en solución.

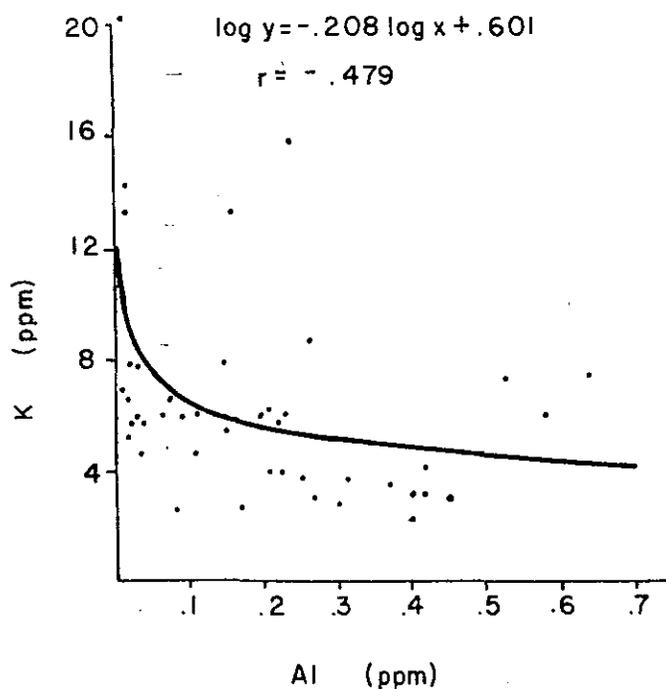


Figura 6. Relación entre los contenidos de aluminio y potasio solubles en suelos del Valle de Zapopan.

#### 5.1.1. Fertilidad actual del Valle de Zapopan.

Por ser la Degradación Química el proceso que contribuye en mayor medida al deterioro de los suelos de la región, se procedió a hacer un análisis más exhaustivo de aspectos sobre la fertilidad actual de los suelos, mediante la metodología propuesta por Buol et al (1975).

Considerando que el Valle Agrícola a tenido una evolución homogénea al aportarse el material de origen de las erupciones del Bosque La Primavera, específicamente de la Mesa del Nehajute y el Cerro del Colli que arrojaron grandes cantidades de pómez hace 20 000 años según dataciones K/Ar (Clough, 1981), debería esperarse que de una manera uniforme la textura de los suelos correspondiera al tipo franco arenoso, sin embargo, según se observa en el Cuadro 10, se presenta una variación importante a este respecto, ya que solo el 79 % de los suelos presentan la textura esperada de acuerdo a los procesos de formación, mientras que el 21 % de los suelos son de textura arenosa. Esta situación podría interpretarse como una consecuencia del impacto de la erosión. Por otra parte (Cuadro 10), los modificadores encontrados son testimonio de que la degradación química es el proceso de afectación de mayor dominancia. A este respecto se observa que el 98 % de la superficie presenta acidez como consecuencia

de la lixiviación de bases, estableciéndose que por esta misma causa, los contenidos de aluminio están alcanzando niveles que pudieran considerarse como tóxicos.

CUADRO 10. Levantamiento de la Capacidad-Fertilidad del Valle de Zapopan Jalisco, de acuerdo a Buol et al (1975).

TIPOS Y SUBTIPOS	% SUPERFICIAL
FRANCO	79
ARENOSO	21
<u>MODIFICADORES</u>	
ACIDO	98
TOXICIDAD DE ALUMINIO	26
BAJA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO	51

En relación a la Capacidad de Intercambio Cationico, es interesante observar que en mas de la mitad de los suelos, ésta resulto ser baja, de acuerdo al criterio que se está manejando. De especial importancia es tomar en cuenta la relación que esta situación guarda con la degradación biológica y la erosión de los suelos.

En forma resumida se presenta en el Cuadro 11 la información que resulto de los análisis de suelo que sirvieron de base para el diagnóstico de Fertilidad-Capacidad.

CUADRO 11. Características de los suelos del Valle de Zapopan, referentes al levantamiento de Fertilidad Capacidad.

FACTOR	VALORES			COEFICIENTE DE VARIACION
	Máximo	Mínimo	Medio	
ALUMINIO (ppm)	0.6	0.01	0.18	91.19
ALUMINIO (meq/100g)	1.62	0.03	0.45	91.19
pH	6.7	4.3	5.4	9.59
CIC (meq/100g)	26.8	9.4	16.2	23.25
ARENAS GRUESAS(%)	54.0	7.6	26.7	39.6
ARENAS FINAS(%)	63.72	18.21	37.42	25.99
ARCILLAS(%)	26.05	0.8	11.89	50.89
LIMOS(%)	56.14	6.87	24.55	36.63
MATERIA ORGANICA(%)	6.27	0.51	2.49	57.82

## 5.2. Erosión Hídrica de los Suelos.

Los resultados sobre erosión hídrica, diagnosticada por el método de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (señalada a detalle en la metodología), son presentadas resumidamente en el Cuadro 12, siendo desglosado en cada uno de sus componentes, con su correspondiente discusión.

CUADRO 12. Valores de Erosión (A), Erosividad (R), Erodabilidad (K), Topografía (LS), Cobertura y Manejo (C) y Prácticas de Conservación (P), en el Valle de Zapopan, Jalisco.

FACTOR	VALORES			COEFICIENTE DE VARIACION (%)
	Máximo	Mínimo	Medio	
A (ton/ha/año)	120.00	5.00	35.00	99
R (mj.mm/ha.h.año)	362.00	215.00	297.00	21
K (t.ha.h/ha.mj.mm)	0.95	0.32	0.49	30
LS	5.6	0.30	1.12	90
C (p'maíz)	0.84	0.21	0.58	40
P	1.00	1.00	1.00	--

5.2.1 Erosividad de la lluvia (R).

El factor erosividad, se obtuvo en base a un análisis local de seis años (Figura 7). Las características generales promedio de la erosividad fueron:

- Mes con mayor lluvia : Junio
- Mayor erosividad : Julio-Agosto
- Mayor erosión : Junio-Julio y Agosto
- Eventos por año : 63
- Lluvias erosivas : 73 %
- Mínima para iniciar erosión : 7 mm/h

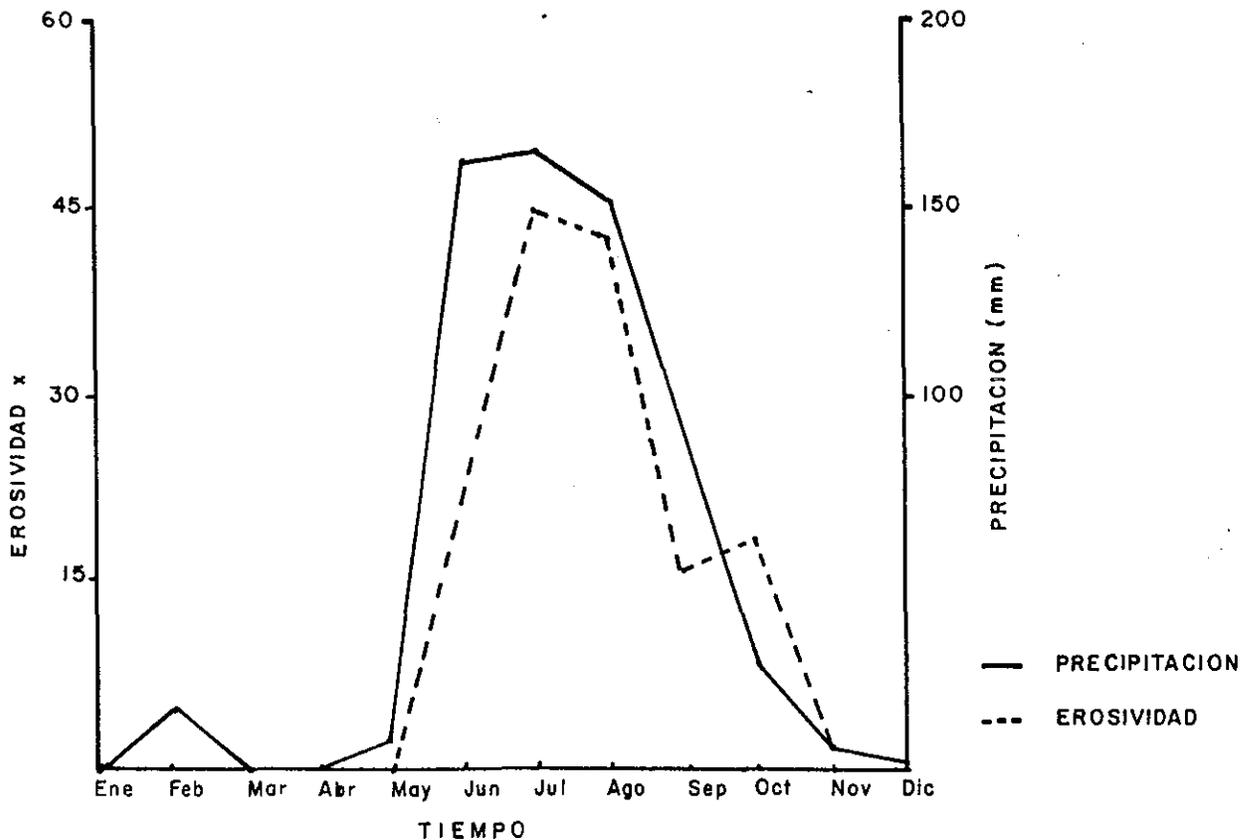


Figura 7. Distribución de la erosividad y lluvia mensual en el Valle de Zapopan, Jal.

Las correlaciones entre precipitación y escurrimientos (1), así como precipitación y sedimentos (2) en el Valle de Zapopan, para una pendiente de 3 % y suelo sin cobertura son:

$$1.- \text{Log } Y = 1.66 (\text{log } x) - 2.21 \quad (r = 0.65)$$

$$2.- \text{donde: } Y = 2.56 (x'')^2 + 16.29 \quad (r = 0.69)$$

Y = precipitación (mm)

x' = coeficiente de escurrimiento

x'' = erosión (kg/ha)

La función resultante de la relación precipitación y sedimentos originados por erosión, se presenta en la Figura 8.

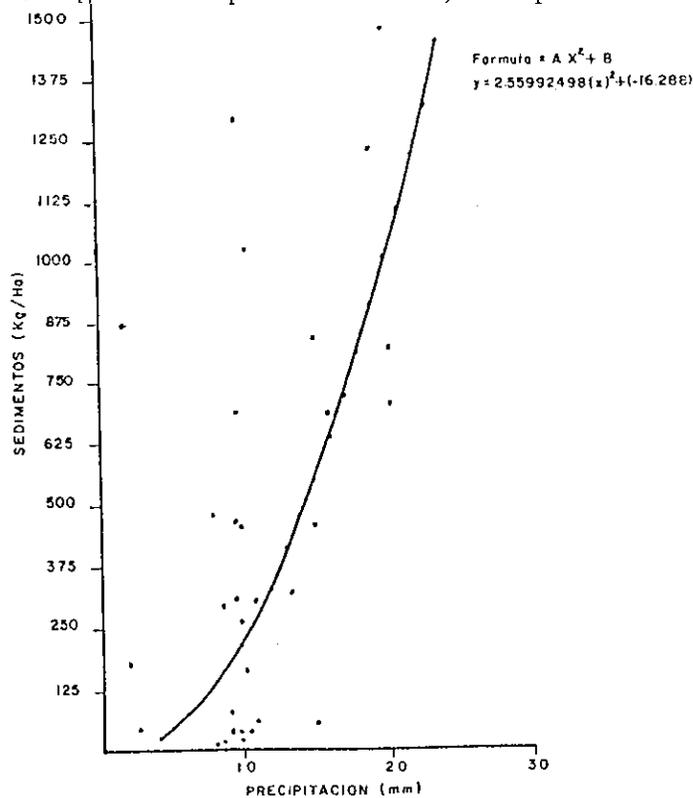


Figura 8. Relación entre lluvia y erosión en el Valle de Zapopan, Jal.

### 5.2.2 . Erodabilidad del suelo (K).

A nivel de las variaciones de erodabilidad, se encontraron los siguientes coeficientes de correlación:

	r
K vs Arenas finas	.73
K vs Arcillas	- .56
K vs Materia orgánica	- .58
K vs Agregados	- .50
K vs Sustrato de pómez	.61

En estas correlaciones se confirma que la erosión se verá restringida en la medida en que se aumenten los contenidos de materia orgánica y se utilicen sistemas adecuados de manejo para conservar los agregados del suelo. Sin embargo, poco se puede hacer en programas de conservación del suelo, si se tratara únicamente de modificar las condiciones de erodabilidad; en parte, porque una incorporación de materia orgánica con estos fines, apenas representa un valor de  $P = 0.74$ , según la relación: pérdida de suelo con un nivel de 6.27% de MO / pérdida de suelo con 0.5% de MO (71/96 ton/ha/año), es decir, esta práctica se considera como poco eficiente. Por otra parte, la agregación que se pudiera dar a un suelo con tan poca estabilidad como los de la región de estudio, estarían eliminados con las primeras lluvias; en la Figura 9, se puede observar la eliminación de agregados del

suelo de Zapopan, con una lluvia promedio en el municipio. Esta gráfica se obtuvo mediante el simulador de lluvias de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Guadalajara.

También resulta claro, al analizar las interrelaciones, la influencia del contenido de pomez y arenas finas en el aumento de la erodabilidad del suelo, aunque estos elementos están fuera de una posibilidad de manejo por tratarse de factores incontrolables e inmodificables desde el punto de vista práctico.

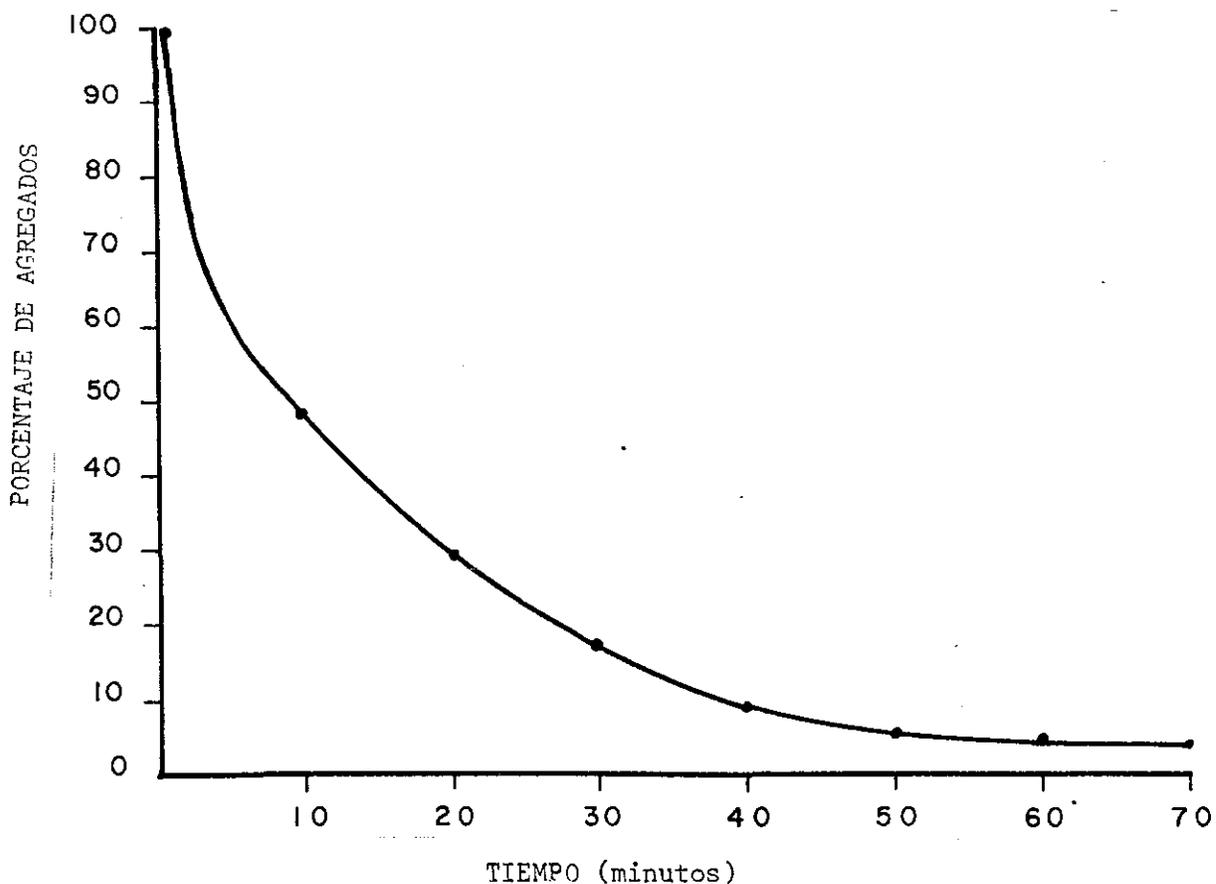


Figura 9. Velocidad de destrucción de agregados por la lluvia en suelos del Valle de Zapopan, (el punto P, señala la precipitación considerada como mas erosiva).

### 5.2.3. Topografía (LS).

Este factor, aun cuando la condición fisiográfica sea de valle, presenta una amplia variación en sus valores (CV= 90%), esto se debe a la variación que existe en la longitud de la pendiente, que va acorde a la longitud de las parcelas; de igual forma, deberá considerarse la variación existente en los porcentajes de pendiente que existen en la parte sur del valle, donde se presenta una depresión tectónica, que da origen a una pendiente ondulada y accidentada, siendo estas últimas donde sería adecuado el establecer prácticas mecánicas como las terrazas de base angosta y surcado al contorno.

### 5.2.4. Cobertura Vegetal y Manejo (C).

La cobertura vegetal sobre el suelo y no la cobertura aérea de una planta, es la clave para lograr la conservación del recurso. Analizando el efecto de la cobertura del maíz a través de lotes de escorrentía por cuatro años continuos, se encontró que el efecto del cultivo de maíz presenta un valor promedio de  $C = 0.58$ , es decir, este cultivo sembrado en humedad, tiene la capacidad promedio de reducir los efectos de la erosividad de la lluvia en un 42 %, esto por efecto únicamente de la interferencia de las hojas de las plantas a la lluvia. Estos valores coinciden con los reportados por Kirkby y Morgan (1984) sobre valores generalizados de C para

los Estados Unidos, en donde se considera para un cultivo de maíz con residuos eliminados o quemados, un valor de  $C = 0.50$  a  $0.59$ .

Si consideramos otras coberturas vegetales que existen en el municipio, como pino y encino; se podrá observar que la real protección radica en la cobertura de la hojarasca (Cuadro 13), que presenta un valor  $C = 0.015$  para pino y  $0.023$  para encino, siendo éste el único efecto significativo, según prueba de Sheffe ( $0.01$ ) no así el efecto de copas, que estadísticamente es igual a un terreno testigo desnudo. En el caso de pastos, por ser esta una cobertura al suelo, nos da un valor semejante ( $C = 0.01$ ).

CUADRO 13. Valores de Cobertura Vegetal y Manejo (C), para el municipio de Zapopan, Jalisco.

TIPO	VALOR "C"
Suelo desnudo	0.65
Maíz	0.58
Pino sin hojarasca	0.55
Encino sin hojarasca	0.31
Pastizal quemado	0.17
Encino con hojarasca	0.02
Pino con hojarasca	0.01
Pastizal conservado	0.01

En el caso de los cultivos agrícolas, la posibilidad de una conservación del suelo, va a depender en gran medida de las variaciones en el manejo del cultivo, como lo es la fecha de siembra. En la Figura 10, se observa la relación existente entre el tiempo y la erosividad cuando la cobertura está

representada por maíz B-840, que es utilizado en la actualidad por la mayoría de los agricultores en siembra de humedad.

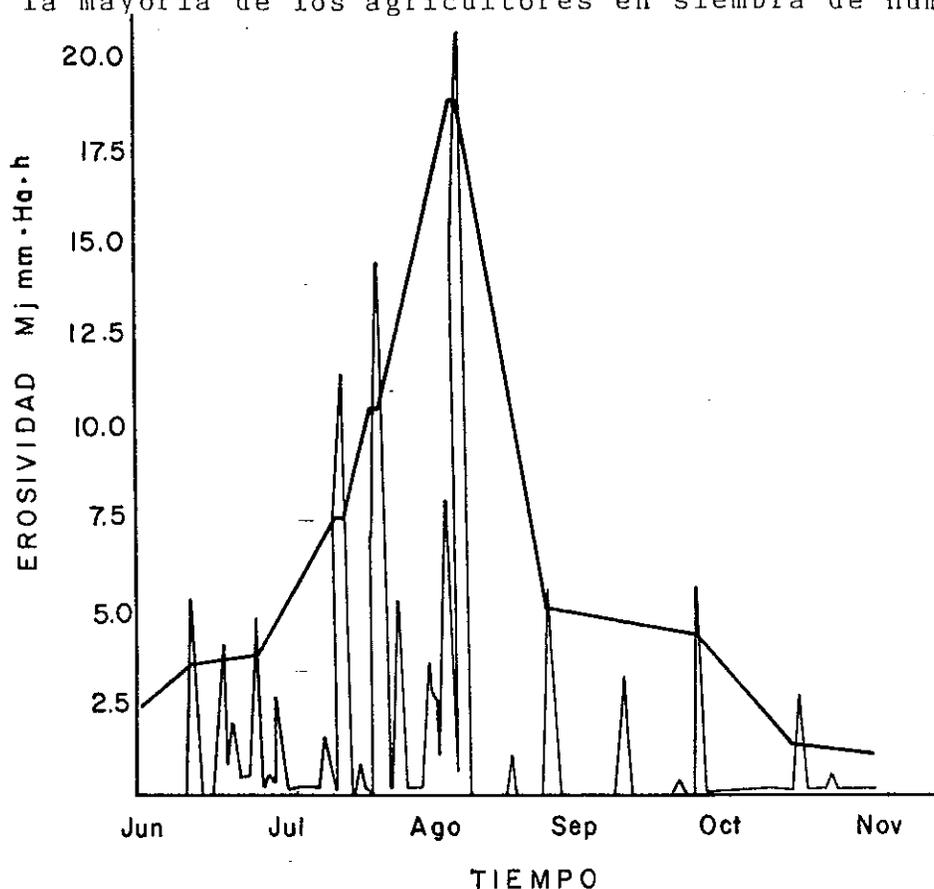


Figura 10. Efecto de la cobertura del maíz B-840 en la erosividad de la lluvia de Zapopan, Jal.

En la Figura 10, se puede notar que las coberturas del maíz en las siembras de humedad, coinciden con la presencia de las máximas intensidades y valores de erosividad de la lluvia, por lo que éstas brindarán al suelo mayor protección que una siembra de temporal.

Otra práctica que pudiera considerarse para manejo, sería el de iniciar sistemas de cultivo de "minima labranza" o de ser posible "labranza cero", que conservarían los residuos de

la cosecha sobre la superficie del suelo, provocando valores de C semejantes a los de las coberturas de hojarasca.

#### 5.2.5. Prácticas de Conservación (P)

En el Cuadro 12 se considera que el valor de P en el Valle de Zapopan es igual a la unidad; esto se debe a que no se presentan prácticas definidas de conservación de suelos, ya que aún cuando se han implantado obras mecánicas por la Dirección de Conservación de Suelos de la SARH, como es el caso de las terrazas de base angosta construidas en el Ejido de La Venta a principios de la década, éstas han sido destruidas por los mismos agricultores. Experiencia común a nivel nacional, que deberán considerarse para un plan de conservación.

#### 5.3. Erosión Eólica.

Los resultados generales de erosión eólica para el Valle de Zapopan, diagnosticados por el modelo paramétrico desarrollado por Woodruff y Siddoway en 1965 (Amante, 1985), son presentados resumidamente en el Cuadro 14, haciendo un breve desglose de sus componentes.

CUADRO 14. Valores de Erosión Eólica (E), Erodabilidad del Suelo (I), Factor Climático Local (C), Factor Rugosidad del suelo (K), Topografía (L) y Cubierta Vegetal (V).

FACTOR	VALORES			COEFICIENTE DE VARIACION (%).
	Máximo	Mínimo	Medio	
E (ton/ha/año)	47.00	18.00	26.6	29
I (ton/ha/año)	561.00	213.00	332.20	42
C (% de Garden C.)	0.42	0.06	0.17	23
K	0.54	0.49	0.50	6
L	1.00	1.00	1.00	--
V	1.00	1.00	1.00	--

Las características de importancia a discutir, son las siguientes:

#### 5.3.1. Erosividad del viento (C).

La velocidad del viento promedio de once años, fue de 11.59 millas/hora; siendo marzo y abril los de mayor intensidad, alcanzando valores de 15.54 millas/hora.

La erosividad por viento se considera como leve, siendo un problema menor al compararse con la erosividad de la lluvia, que alcanza niveles moderados.

#### 5.3.2. Erodabilidad del suelo (I).

Haciendo un análisis de la variación de los agregados mayores de 0.84 milímetros de diámetro, que son los que se consideran que darán resistencia al suelo en relación a la erosión eólica, en el Valle estos apenas alcanzan el 9.5 % del

total del suelo, por lo que la erodabilidad se considera de alto riesgo.

De acuerdo con los resultados y a diferencia de la erosión hídrica, la erodabilidad es mayor conforme aumente el contenido de partículas finas. Las correlaciones más altas relacionadas con la erodabilidad, son las siguientes:

	r
I vs Arenas finas	- .58
I vs Arcillas	.60
I vs Pomez	- .43

#### 5.3.3. Rugosidad del terreno (K).

La rugosidad de los terrenos es máxima cuando la labranza y/o el surcado coinciden con los vientos de mayor velocidad, como sucede en la mayoría de los casos en la zona de estudio donde el surcado en marzo y abril presentan profundidades entre 12 y 15 cm y separaciones promedio de 77 cm; con un mínimo de 60 cm y un máximo de 90cm.

#### 5.3.4. Longitud equivalente del terreno (L).

El área del Valle, por ser muy extenso, se hizo la suposición de que todos los terrenos son lo suficientemente grandes para que la tasa de flujo de suelo alcance un máximo.

Por lo anterior, este factor no afectara en los cálculos de la ecuación, otorgandole un valor de 1.

#### 5.3.5. Cubierta vegetal (V).

En la época donde se manifiesta la erosión eólica, sobre los terrenos agrícolas no se presenta una cobertura de residuos, por lo que el impacto del factor V sera nulo, aunado con la realidad de que a nivel de la condición del valle no existe la práctica de cortinas rompevientos, éste factor al igual que el anterior, presentara un valor de 1.

#### 5.4. Degradación Biológica.

Por las características climáticas de Zapopan, la facilidad para la descomposición de la materia orgánica se considera como alta ( $K_2 = 4.2$ ), por lo que en principio, el riesgo hacia éste tipo de degradación estará generalizado en todo el Valle.

En la actualidad y de acuerdo con Palacios (1988), se considera que cerca del 27 % de los agricultores en Zapopan incorporan alguna fuente orgánica a los suelos, siendo lo mas común la gallinaza (18 %). Algunos otros (22 %), utilizan basura de la ciudad a diferentes niveles de procesado. Esto en algunas ocasiones, crea problemas de contaminación que se contraponen al beneficio que pudiera esperarse para el suelo.

Otro problema observado, es el uso del cultivo de la caña cuyo manejo implica quemas de residuos y desgaste de la fertilidad del suelo. Los altos niveles de fertilización que comunmente se aplican, son tambien factores que inducen la degradación biológica, sobre todo cuando estos productos químicos se utilizan como única fuente de aporte de nutrimentos a los cultivos.

Desde el punto de vista de prevenir la degradación biológica, se hace necesario el reestablecimiento de la práctica de incorporar los residuos de la cosecha, tal y como lo contemplaba el llamado "Sistema Zapopano". También se hace necesario el equilibrio en el uso de fertilizantes químicos y orgánicos, manteniendo un programa de incorporación anual de residuos orgánicos para compensar la acelerada mineralización que sufren estos materiales por efecto de las condiciones de suelo, clima y manejo propios de la región.

#### 5.5. Degradación Física.

De los tipos de Degradación diagnosticados para el Valle, la Degradación Física es la que presentó un menor impacto, ya que en la actualidad, solo el 17 % de su superficie se considera susceptible al encostramiento, considerando la baja relación de limos/arcillas-materia orgánica, misma que en solo el 10 % de los muestreos presentó un valor mayor de 2,

considerandose con alta facilidad para formar intensas costras.

#### 5.6. Consideraciones Finales.

Los resultados aquí presentados, son los referidos a la degradación de suelos del Valle de Zapopan, las personas interesadas en el análisis de la degradación en las zonas forestales del municipio, se les recomienda consultar el libro: "Bosque La Primavera; Plan de manejo", de Curiel et al (1988); en esta publicación, se considera que los problemas de degradación en orden de importancia son: Erosión Hídrica, (solo el 1 % de la superficie presenta un nivel de degradación leve), Degradación Biológica, (el 80 % de la superficie presenta valores menores de 2 % de MO), Degradación Física, (compactación presente en el 40 % del bosque), Degradación Química (limitada al campo geotérmico) y Erosión Eólica (no significativa).

## 6. CONCLUSIONES

1. Dentro del Valle de Zapopan, el tipo de degradación de suelos mas dominante, en la Degradación Química.
2. De los factores físicos y químicos del suelo analizados, el que presentó una correlación significativa con el rendimiento de maíz, fue el aluminio intercambiable.
3. El nivel critico de pH para la presencia de aluminio intercambiable en los suelos de Zapopan, es de 5.5; siendo un pH menor de 4.7, los que afectan los rendimientos del maíz.
4. Se considera que 2 ton/ha de Calcio, en un encalado, es suficiente para corregir la degradación química de los suelos del Valle.
5. El Levantamiento de la Capacidad-Fertilidad, se considera como un método que concuerda con las características del Valle de Zapopan.
6. La presencia de la Erosión Hídrica en la zona de estudio, se debe principalmente a la alta erodabilidad de los suelos por la elevada proporción de arenas finas y limos, asi como al bajo valor del factor de la cobertura del maíz.

7. La presencia la Erosión Eólica en Zapopan, se debe principalmente al bajo porcentaje de agregación de sus suelos.
8. Las características ambientales analizadas en el Valle, concuerdan con una alta susceptibilidad de sus suelos a la Degradación Biológica.
9. La Degradación Física, es la forma de degradación menos importante del área de estudio.
10. La práctica más eficiente para la conservación del suelo de la degradación, es el manejo de residuos de cultivos.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Amante Orozco. 1985 . Evaluaciones de Ecuaciones Paramétricas para la Predicción de la Erosión Eólica en el Area de Estudio del CREZAS - CP. Tesis Profesional. Facultad de Agricultura, Universidad de Guadalajara. 145 p.
- Bernal Gonzalez, JL. 1985. Erosión Actual de la Zona Norte del Estado de Jalisco por el Metodo FAO - UNESCO. Tesis Profesional. Facultad de Agricultura, Universidad de Guadalajara. 51 p.
- Blanco Macias, G y Ramirez Cervantes, G. 1966. La Conservación del Suelo y Agua en México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México. pp 13-17.
- Blanco Macias, G. 1969. Realizaciones y Perspectivas en la Conservación del Suelo en México. Mesas Redondas Sobre Utilización y Conservación del Suelo en Mexico. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, Mexico. pp 87 - 100.
- Buol, SW et al. 1975. Clasificación de Suelos en Base a su Fertilidad. Manejo de suelos en la America Tropical. North Carolina State University, Raleigh, Estados Unidos de America. 34 p
- Casillas Romero, M C. 1988. Disponibilidad de Fósforo en Suelos Regosol de Zapopan, Jal. Tesis Profesional, Facultad de Agricultura, Universidad de Guadalajara. 57 p.
- Clough, BJ. 1981. The Geology of La Primavera Volcano, México. Tesis of Ph D. Royal School of Mines, Imperial College, University of London. 369 p.
- Curiel Ballesteros, A. 1986 . Factores Fisicoquímicos del Suelo Relacionados con el Rendimiento de Maíz en Zapopan Jal. XI Congreso Nacional de Fitogenética, Sociedad Mexicana de Fitogenética y Facultad de Agricultura de la Universidad de Guadalajara. p 264.

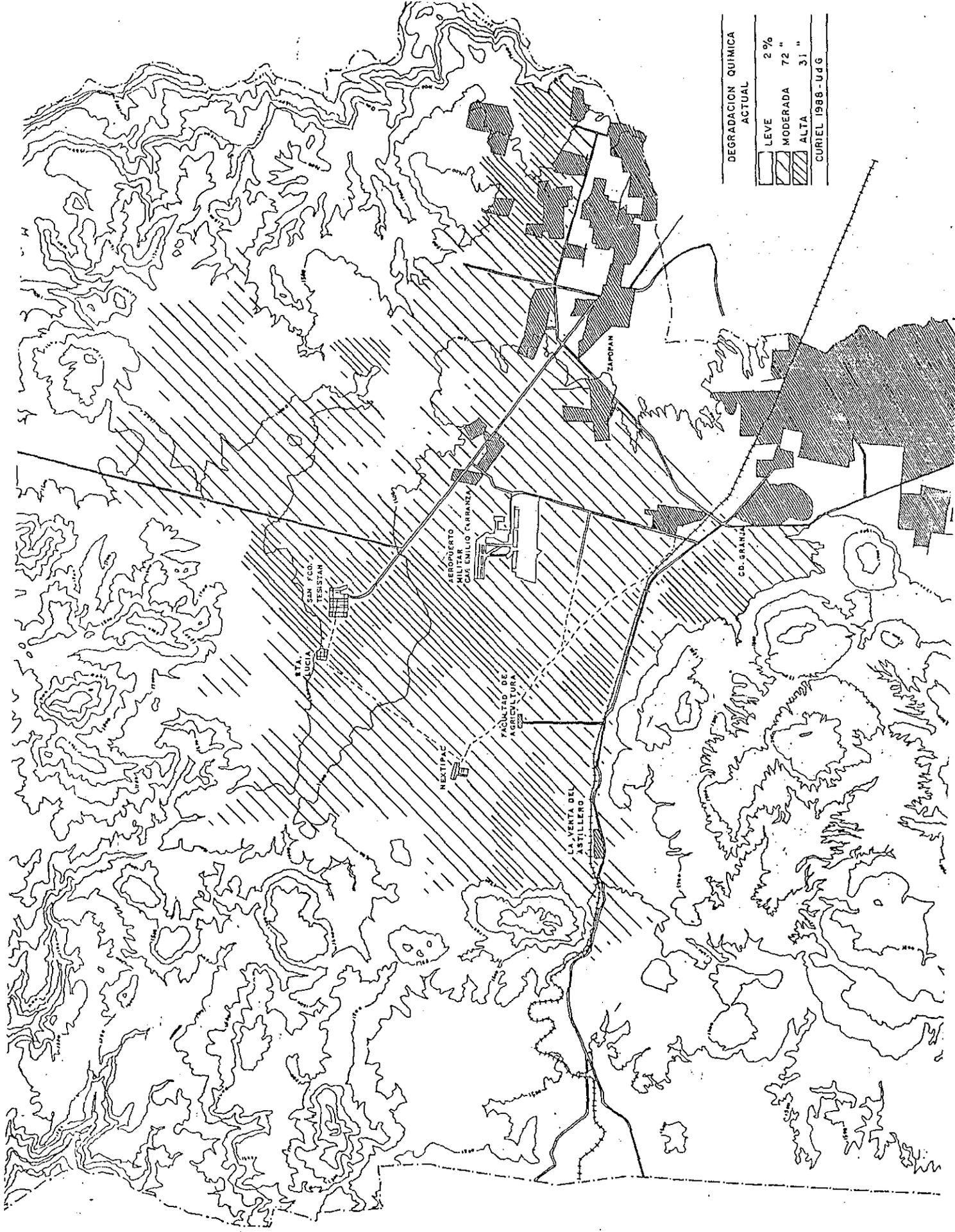
- Curiel Ballesteros, A. 1988. Degradación de las Areas Naturales Protegidas. Seminario sobre Manejo de Recursos Naturales y Uso Sostenido. Feria Internacional del Libro 1988. Universidad de Guadalajara y Gobierno del Estado de Jalisco.
- Dastane, N G. 1974. Precipitación Efectiva; en la agricultura de regadío. Roma, FAO. 68 p. (Estudio sobre Riego y Avenamiento 25).
- Dirección General de Conservación del Suelo y del Agua. 1984. Inventario de los Diferentes Grados de Afectación por Erosión en el Estado de Jalisco Mediante Imágenes de Satélite Escala 1:250,000. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Mexico. 87 p.
- Dissmeyer G E and Foster G R . 1981. Estimating the Cover-Management Factor (C) in the Universal Soil Loss Equation for Forest Conditions. Journal of Soil and Water Conservation July-August. pp 235-240.
- Estrada Berg Wolf, JW y Ortiz Solorio, C A. 1982. Plano de Erosión Hídrica del Suelo en México. Geografía Agrícola No 3. Difusión Cultural, Universidad Autónoma Chapingo, Mexico. pp 23-27.
- FAO. 1960. Prácticas de Plantación Forestal en America Latina. FAO, Roma. pp 21-22. (Cuadernos de fomento forestal No 15).
- FAO. 1980. Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. FAO, Roma. 86 p.
- FAO. 1984. Directrices para el Control de la Degradación de los Suelos. FAO-PNUMA, Roma. 38 p.
- Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia. 1975. Manual de Conservación de Suelos de Ladera. Cenicafe, Caldas Colombia. 267 p.

- Foster, G R et al. 1981. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Units. Journal of Soil and Water Conservation. November-December. pp 355-359.
- Fournier, F. 1975. Conservación de Suelos. Mundi-Prensa, Madrid. pp. 91-100.
- Hornedo, E . 1957. Trabajos Principales Presentados en el Congreso para Detener el Avance de la Erosión de la Tierra en México; Celebrado en la Cd de México del 17 al 20 de Diciembre. Editorial Periodística e Impresora de Mexico, DF. 160 p.
- Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. Reverté, Barcelona. 324p.
- Krug E C and Frink CR. 1983. Effects of Acid Rain on Soil and Water. The Connecticut Agricultural Experiment Station, New Haven. 25 p. (Bulletin 811).
- Kirkby, MJ y Morgan, RPC. 1984. Erosión de Suelos. Limusa, Mexico . 375 p.
- Lai R. 1985. Soil Erosion and its Relation to Productivity in Tropical Soils. Iowa, Soil Conservation Society of America. pp 237-247. (Soil Erosion and Conservation No 22).
- Laird, RJ. 1977. Investigación Agronómica para el Desarrollo de la Agricultura Tradicional. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp 79-106.
- Margules, L and Usher M B. 1981. Criteria Used in Assessing Wildlife Conservation Potential: A Review. Biological Conservacion 21. pp 79-109.
- Meiwes K F, Kahanna P K and Ulrich B . 1986. Parameters for Describing Soil Acidification and their Relevance to the Stability of Forest Ecosystems. Forest Ecology and Management 15. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. pp 161-179.

- Palacios Corona, V. 1988. Factores Determinantes de la Producción del Maíz bajo el Sistema Zapopano. Tesis de Maestría. Escuela de Graduados, Universidad de Guadalajara. 124 p.
- Park SW, Mitchell JK and Bubenze GD. 1983. Rainfall Characteristics and their Relation to Splash Erosion. Transactions of the ASAE 26 (3). American Society of Agricultural Engineers, Michigan. pp 795 - 804.
- Perez Rivas N. 1988. Lotes de Esgurrimiento para Evaluar Erosión y Erodabilidad de Suelos en Zapopan, JAL. Tesis Profesional. Facultad de Agricultura, Universidad de Guadalajara. 37 p.
- Primavesi, A. 1984. Manejo Ecológico del Suelo. El Ateneo, Argentina. pp 34 - 72.
- Rios Farias, J. 1988. Erodabilidad de los Suelos del Valle de Zapopan, Jal. Tesis Profesional. Facultad de Agricultura, Universidad de Guadalajara. 47 p.
- Rubio Delgado J L et al. 1983. Metodología de Evaluación de la Erosión Hídrica en Suelos del área Mediterranea. I Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, España. p 834.
- Salgado Perez, F. 1961. Dinámica de la Conservación del Suelo y del Agua en México. Secretaría de Agricultura y Ganaderia, Mexico. p 17.
- Sanchez P A . 1981. Suelos del Tropico; Características y manejo. San Jose de Costa Rica, IICA. pp 226-258.
- Sanchez P y Salinas J. 1983. Suelos Acidos; estrategias para su manejo con bajos insumos en America Tropical. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 93 p.
- Scott Russell, R. 1977. Plant Root Systems; their function and interaction with the soil. Great Britain, Mc Graw-Hill. 290 p.

- Stocking M and Peake L. 1985. Crop Yield Losses from the Erosion of Alfisols. Tropical Agriculture. (Trinidad) 63 (1). pp 41-45.
- Union Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales. 1980. Estrategia Mundial para la Conservación. UICN, PNUMA, WWF. 44p.
- Varela Cornejo, MA. 1988. Degradación Química de los Suelos del Valle de Zapopan. Tesis Profesional. Facultad de Agricultura, Universidad de Guadalajara. 62p.
- Villalpando Ibarra, JF. 1986. Apuntes de Agrometeorología. Facultad de Agricultura, Universidad de Guadalajara. (Mecanografiado).
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. United States Department of Agriculture, Washington. 57 p. (Agriculture Handbook 537).
- World Resources Institute and International Institute for Environment and Development. 1986. World Resources 1986. New York, Basic Books. pp 203 - 225.
- Zarazúa Villaseñor, P. 1986. Uso de Modelos para la Determinación de Erosión Hídrica en los Bosques Templados de Mexico. Tesis profesional. Facultad de Agricultura de la Universidad de Guadalajara. 87 p.

8. APENDICE



DEGRADACION QUIMICA ACTUAL

LEVE	2 %
MODERADA	72 "
ALTA	31 "

CURIEL 1988 - U.d.G

ETA. ALTA  
SAN FCO. TESISTAN

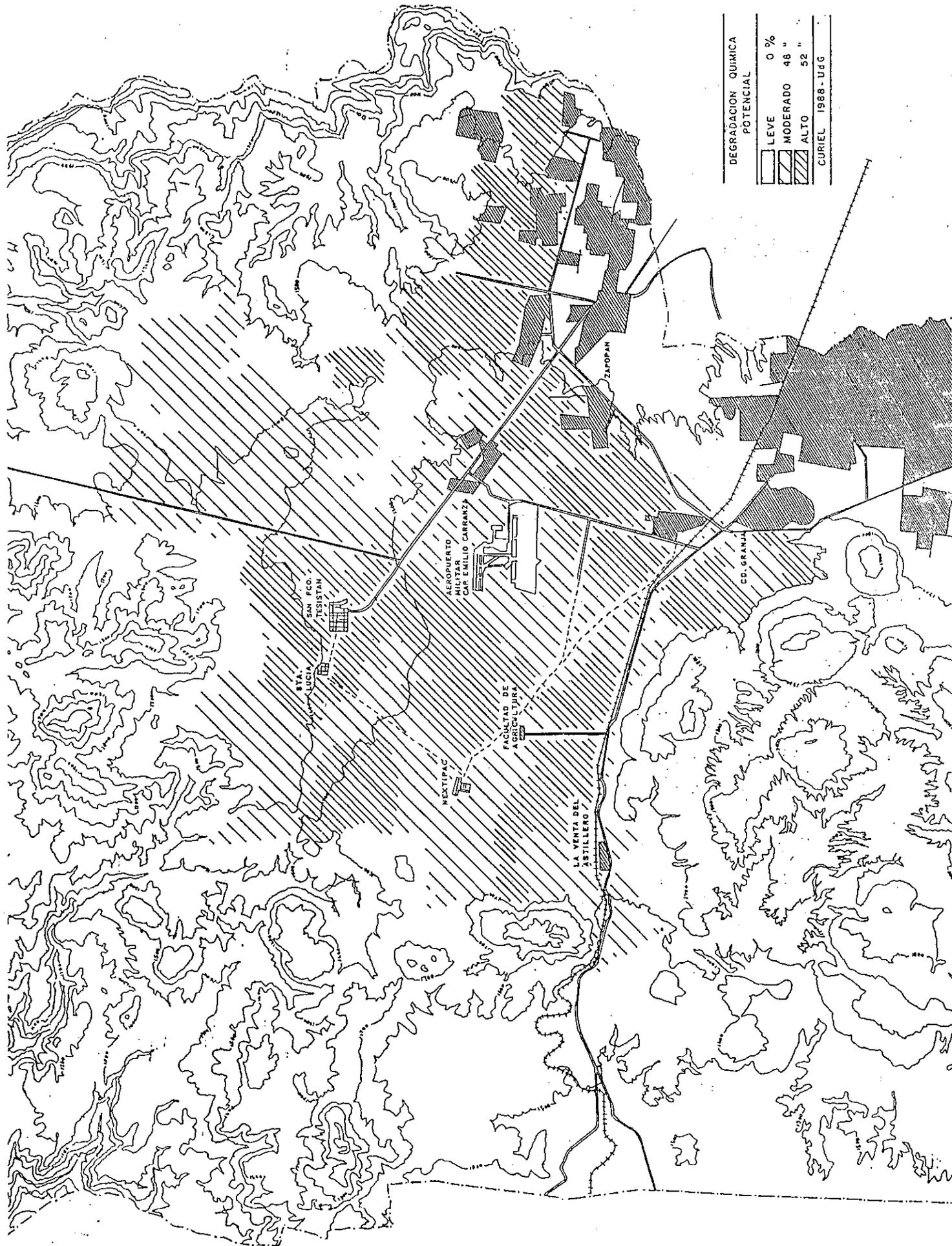
REGONERTO MILITAR  
CAR ENILLO GARZANA

NEXTIPAC  
FACULTAD DE AGRICULTURA

LA VENTA DEL ASTILLERO

C.B. SRAÑA

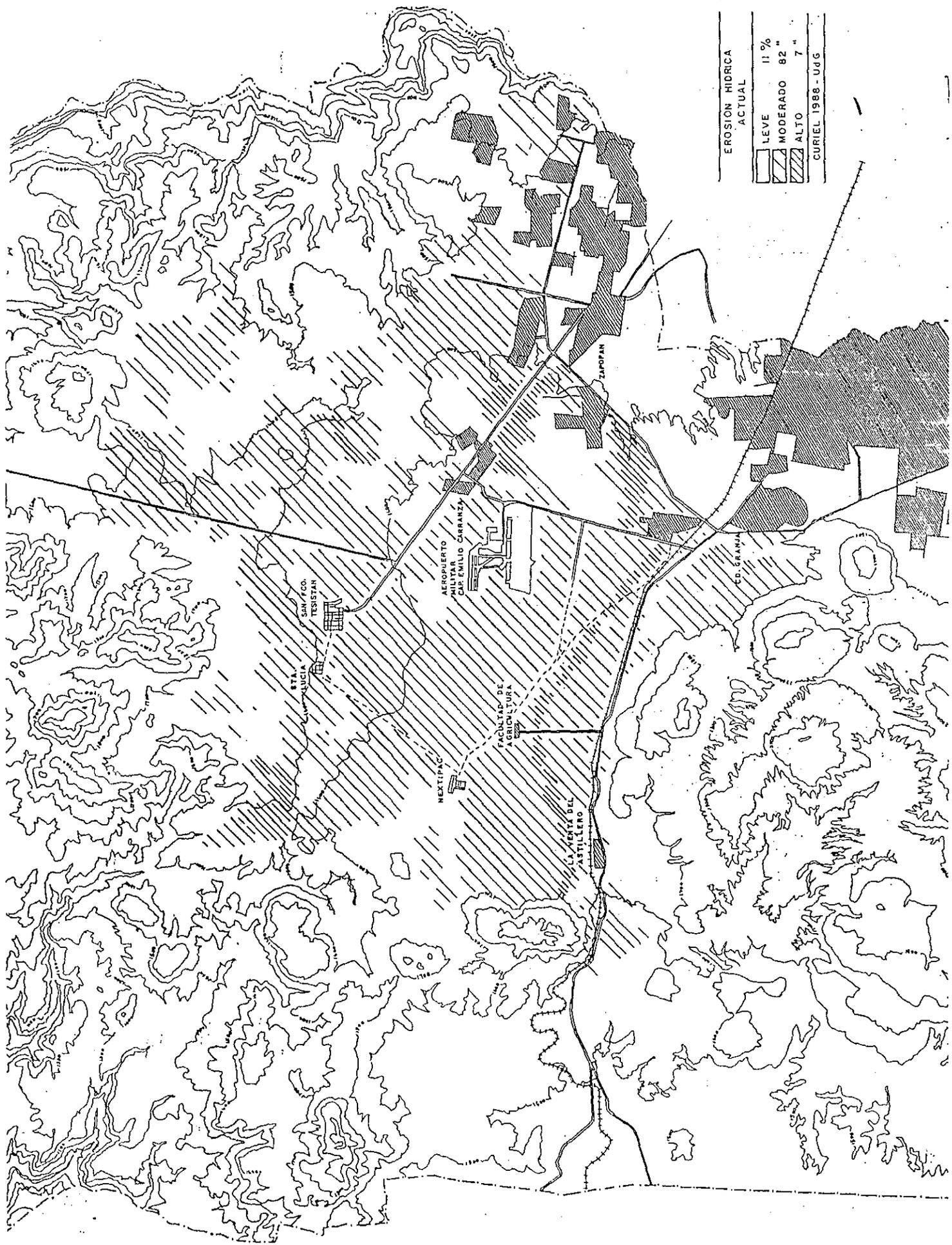
ZAPOPAN



DEGRADACION QUIMICA  
POTENCIAL

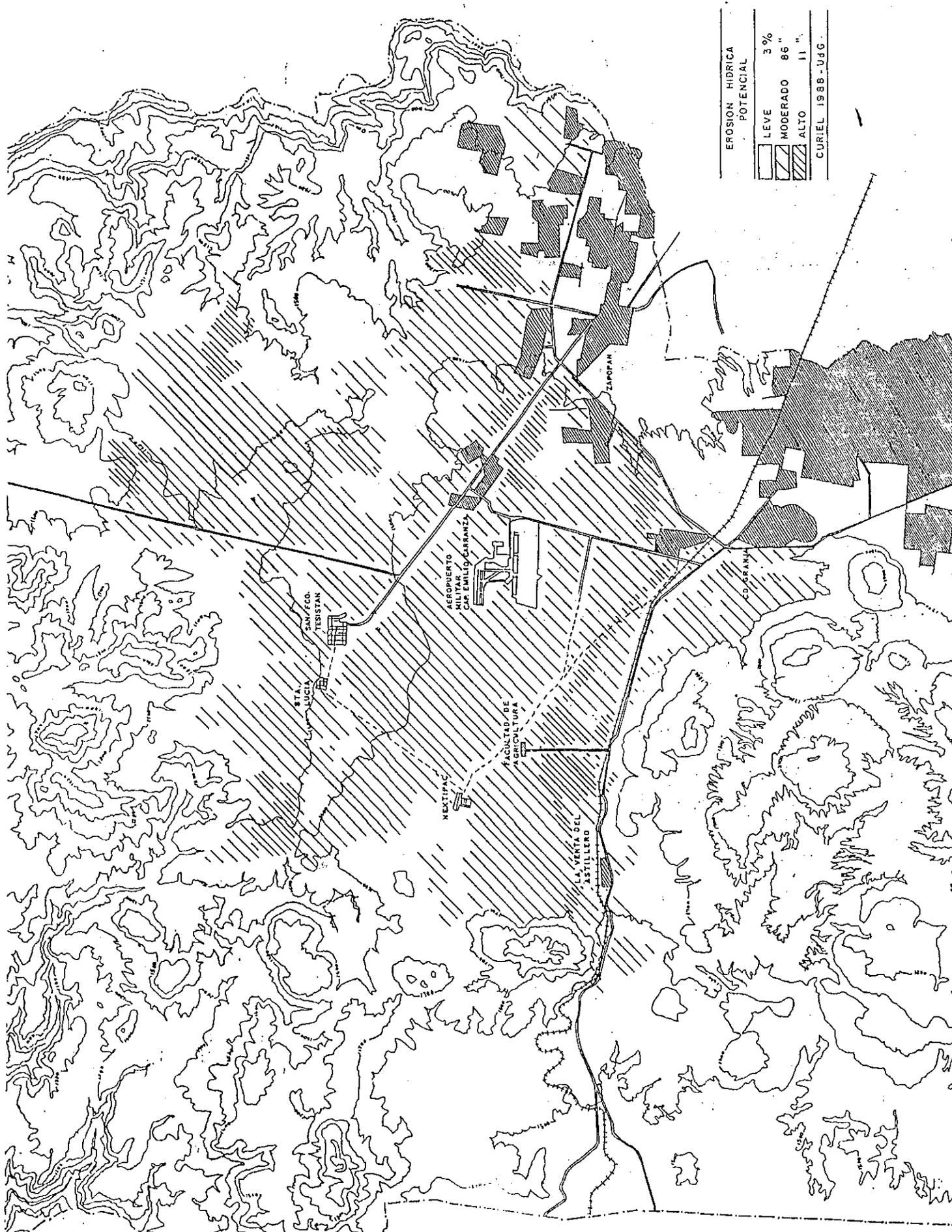
[White box]	LEVE	0 %
[Diagonal lines /]	MODERADO	48 "
[Cross-hatch]	ALTO	52 "

CURIEL 1988 - U&G



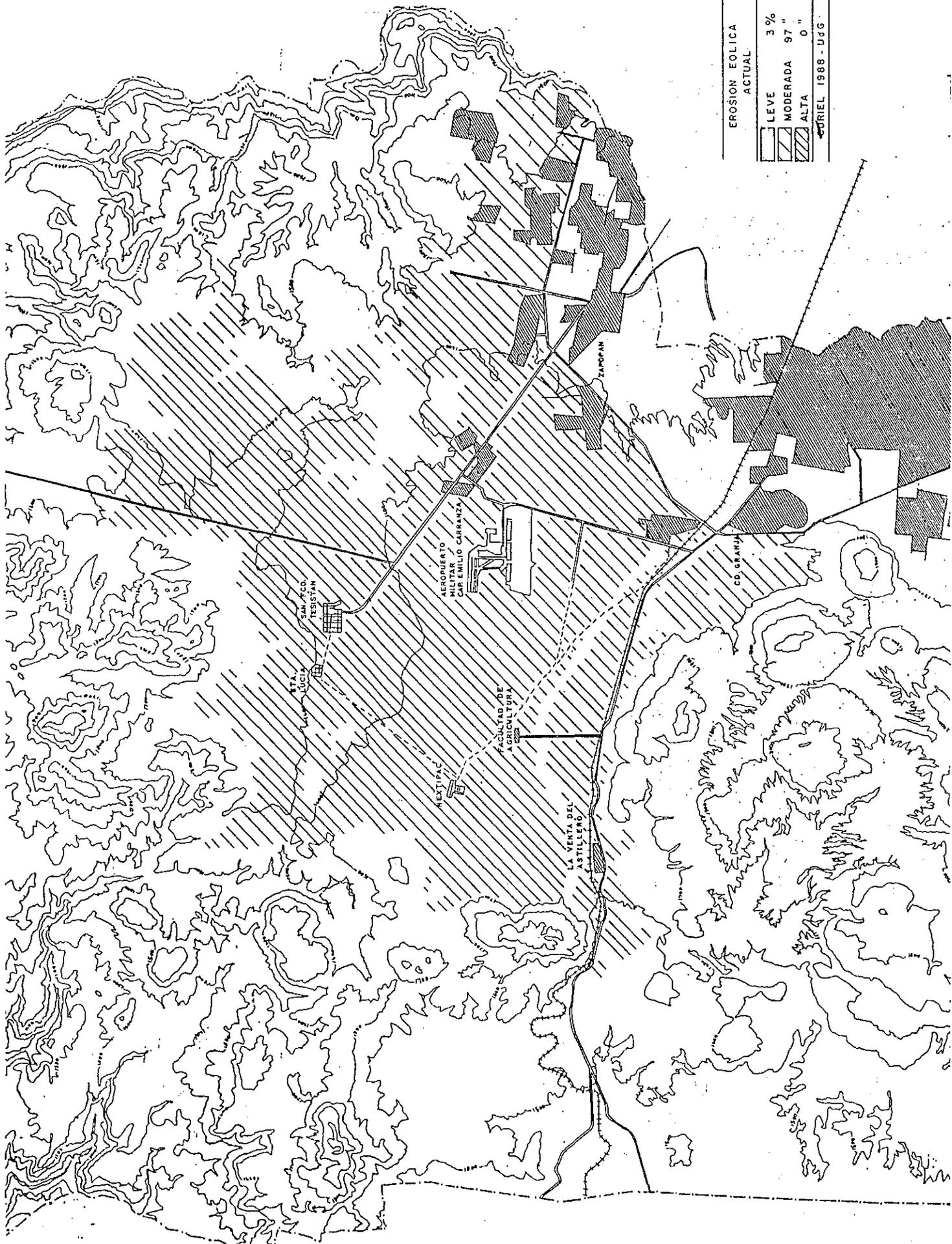
EROSION HIDRICA ACTUAL	
LEVE	11 %
MODERADO	82 %
ALTO	7 %

CURIEL 1988 - Udg



EROSION HIDRICA POTENCIAL	
□	LEVE 3%
▨	MODERADO 86"
▩	ALTO 11"

CURIEL 1988-UGC



EROSION EOLICA  
ACTUAL

[Diagonal lines /]	LEVE	3 %
[Diagonal lines \]	MODERADA	97 "
[Cross-hatch]	ALTA	0 "

◀ CRIEL 1988 - DGG

AEROPUERTO  
MILITAR  
CAP EMILIO CARRANZA

FACULTAD DE  
AGRICULTURA

LA VENTA DEL  
ASTILLERO

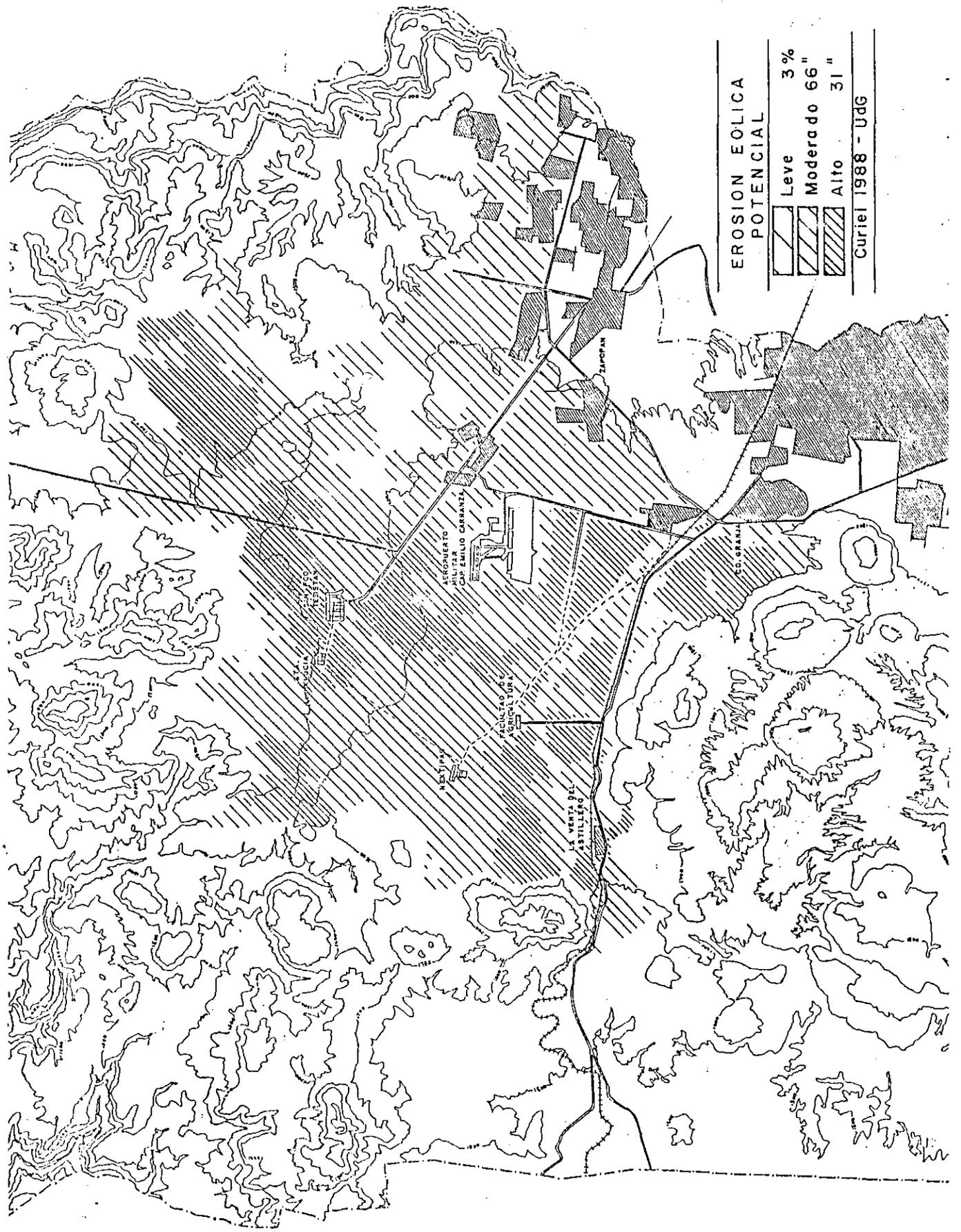
ZAROPAN

CD. GRANJA

AGUA  
MUCHA

AGUA  
POCOSA

AGUA  
MUCHA



**EROSION EOLICA  
POTENCIAL**

Leve	3%
Moderado	66%
Alto	31%

Curitel 1988 - Udg



DEGRADACION BIOLÓGICA  
ACTUAL

LEVE	49 %
MODERADO	41 "
ALTO	10 "

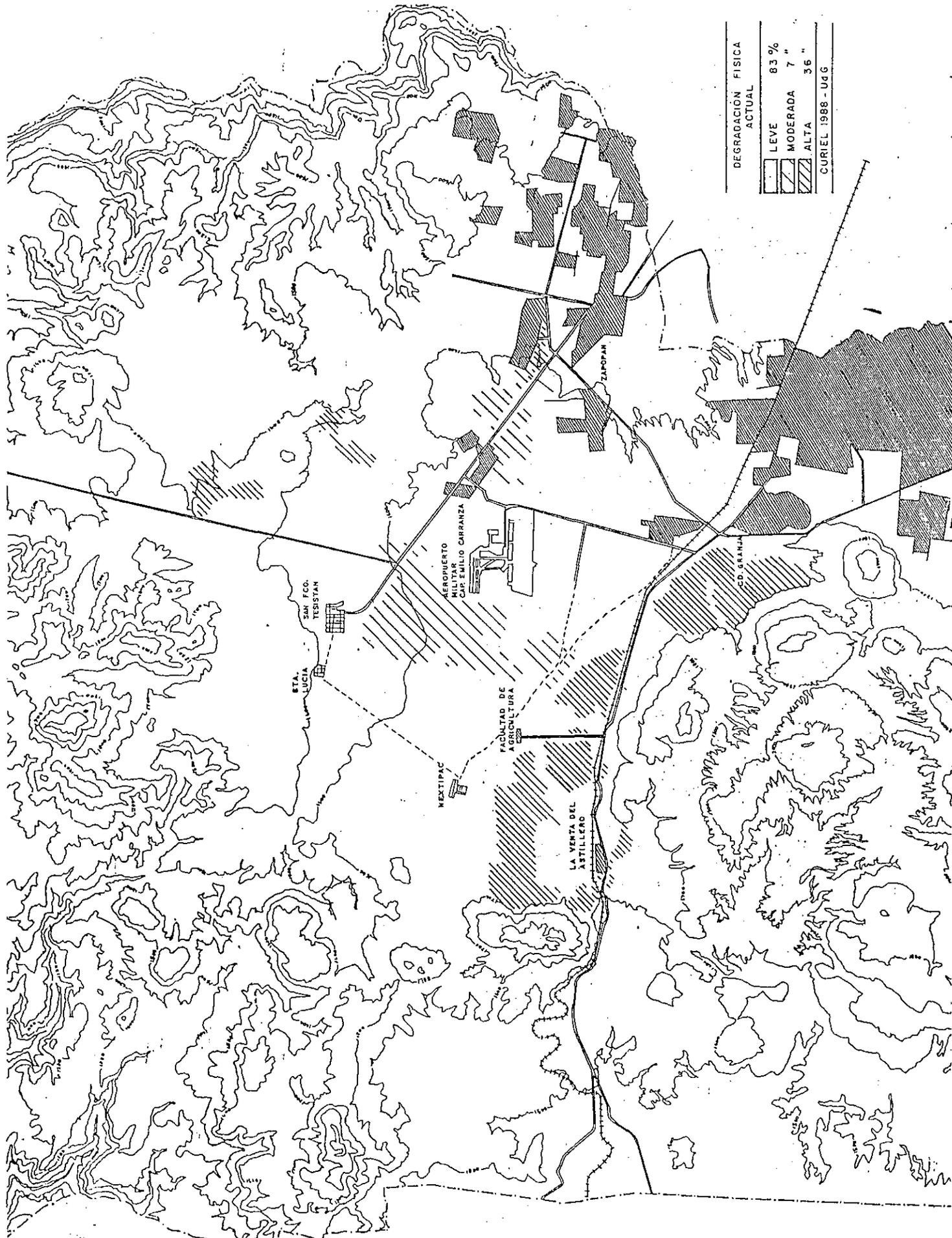
CURIEL 1988 - Udg



DEGRADACIÓN BIOLÓGICA POTENCIAL

[White box]	LEVE	0 %
[Diagonal lines /]	MODERADA	79 "
[Diagonal lines \]	ALTA	21 "

CURIEL 1988 - UJG



DEGRADACIÓN FÍSICA ACTUAL	
LEVE	83 %
MODERADA	7 "
ALTA	36 "
CUIEL 1988 - UGG	

