

Universidad de Guadalajara

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y
Agropecuarias

División de Ciencias Agronómicas
Coordinación de Posgrado



“Degradación Potencial de los Suelos de Jalisco”

Francisco Copado González

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestría en Manejo de Áreas de Temporal

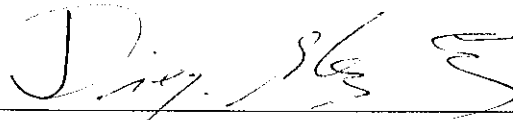
Zapopan, Jalisco
Enero del 2006.

La presente tesis se desarrolló bajo la dirección del Consejo Particular señalado, ha sido aprobada para su impresión y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

Maestría en Manejo de Áreas de Temporal

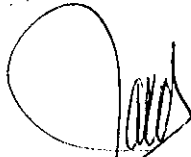
Consejo Particular

DIRECTOR:



Dr. Diego Raymundo González Eguiarte

ASESOR:



Dr. José Ariel Ruíz Corral

ASESOR:



MC. Leticia Loza Ramírez

ASESOR:



MC. Patricia Zarazúa Villaseñor

ASESOR:



MC. Ernesto Alonso Miramontes Lau

Reconocimientos

A la Universidad de Guadalajara, *alma mater* que me ha brindado la oportunidad de ser universitario.

A mi Consejo Particular:

Dr. Diego González Eguiarte

Por su entusiasmo y desinteresada actitud de apoyo técnico con el más alto profesionalismo y calidad moral para el desarrollo de la presente Tesis.

Dr. José Ariel Ruíz Corral

Por sus oportunas y muy atinadas recomendaciones que han impactado positivamente el proceso definitivo del trabajo que aquí se muestra.

MC. Leticia Loza Ramírez

Por la intensa participación durante todo el proceso del estudio, por compartir sus conocimientos y tiempo valioso en su colaboración profesional para la presente Tesis.

MC. Patricia Zarazúa Villaseñor

MC. Ernesto Alonso Miramontes Lau

Por su apoyo a la realización de la presente Tesis

A mis amigos el Ing. Guadalupe Quezada Chico, Ing. Francisco Medina, Ing. Marciano Emmanuel Argote. Por su desinteresado apoyo.

DEDICATORIA

A Dalila, Dalila Adriana, Luis Francisco y José Guillermo, por su amor, comprensión y apoyo.

I Contenido

	Página
I CONTENIDO.....	1
II ÍNDICE DE TABLAS.....	2
II ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
III ÍNDICE DE MAPAS.....	4
1 INTRODUCCIÓN.....	5
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1 DEGRADACIÓN DE SUELOS.....	6
2.1.1 <i>Procesos de degradación de los suelos.....</i>	<i>6</i>
2.2 LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS.....	8
2.2.1 <i>Degradación Física.....</i>	<i>9</i>
2.2.2 <i>Degradación química.....</i>	<i>21</i>
2.2.3 <i>Degradación biológica.....</i>	<i>24</i>
2.3 ANTECEDENTES REGIONALES.....	27
2.4 DEFINICIÓN DE ESCALAS DE TRABAJO.....	28
2.4.1 <i>Tipos de los levantamientos.....</i>	<i>29</i>
2.4.2 <i>Propósitos de los levantamientos.....</i>	<i>30</i>
3 OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	31
3.1 OBJETIVOS.....	31
3.1.1 <i>Objetivo general.....</i>	<i>31</i>
3.1.2 <i>Objetivos específicos.....</i>	<i>31</i>
3.2 HIPÓTESIS.....	31
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
4.1 DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	32
4.1.1 <i>Ubicación.....</i>	<i>32</i>
4.1.2 <i>Climatología.....</i>	<i>33</i>
4.1.3 <i>Orografía y Geología superficial.....</i>	<i>40</i>
4.1.4 <i>Hidrología.....</i>	<i>40</i>
4.1.5 <i>Suelos.....</i>	<i>43</i>
4.1.6 <i>Cartografía.....</i>	<i>48</i>
4.1.7 <i>Factores climáticos.....</i>	<i>48</i>
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
5 CONCLUSIONES.....	65
6. BIBLIOGRAFÍA.....	66
APÉNDICE 1.....	68
<i>Erosión Hídrica (Ehp) y Erosión Eólica (W).....</i>	<i>68</i>
<i>Salinización y Alcalinización.....</i>	<i>68</i>
<i>Salinización.....</i>	<i>68</i>
<i>Alcalinización.....</i>	<i>68</i>
<i>Degradación química (Li).....</i>	<i>68</i>
<i>Si la saturación de bases es menor a 50%.....</i>	<i>68</i>
<i>Degradación estructural (De).....</i>	<i>69</i>
<i>(De) Disminución de la permeabilidad en % con respecto a su valor inicial en cm/h.....</i>	<i>69</i>
<i>Degradación biológica (Mo).....</i>	<i>69</i>

II Índice de Tablas

		Página
Tabla N° 1	Clases de Erosionabilidad de acuerdo a la Unidades de Suelos de la FAO	13
Tabla N° 2	Factor Textura (para Erosión hídrica)	17
Tabla N° 3	Factor Cubierta Vegetal (para Erosión Hídrica)	14
Tabla N° 4	Grupos Texturales y Erosionabilidad Eólica	17
Tabla N° 5	Tipos de Agricultura y Erosionabilidad Eólica	17
Tabla N° 6	Tipos de Vegetación y Erosionabilidad Eólica	18
Tabla N° 7	Índice de agresividad climática para la degradación estructural	18
Tabla N° 8	Tipos de topografía para el cálculo de le degradación estructural	19
Tabla N° 9	Tipos texturales para el cálculo de la degradación Química por lixiviación	22
Tabla N° 10	Tipos de arcilla para el cálculo de la degradación Química por lixiviación	22
Tabla N° 11	Tipos de topografía para el cálculo de la degradación Química por lixiviación	22
Tabla N° 12	Tipos texturales para el cálculo de la degradación Biológica	25
Tabla N° 13	Tipos de contenidos de CaCO ₃ para el cálculo de la degradación Biológica	25
Tabla N° 14	Regiones Hidrológicas	42
Tabla N° 15	Unidades de Suelos	43
Tabla N° 16	Resultado de los cálculos de los Factores Climáticos	50

II Índice de Figuras

		Página
Figura N° 1	Nomograma de Weischmeier	12
Figura N° 2	Las escalas de los levantamientos de suelos en el mundo	28
Figura N° 3	Localización del área de estudio	32

III Índice de Mapas

		Página
Mapa N° 1	Los tipos de suelos en Jalisco	47
Mapa N° 2	Índice de la Agresividad Climática para estimar la Degradación Potencia por Erosión Hídrica	55
Mapa N° 3	Índice de la Agresividad Climática para estimar la Degradación Química Potencial por Lixiviación.	56
Mapa N° 4	Índice de la Agresividad Climática para estimar la Degradación Biológica Potencial por Mineralización de la Materia Orgánica	57
Mapa 5	Factor Topografía para estimar la Degradación por Erosión Hídrica Potencial	58
Mapa 6	Factor Textura para estimar la Degradación por Erosión Hídrica Potencial	58
Mapa 7	Factor Erodabilidad por tipo de suelos para estimar la Degradación por Erosión Hídrica Potencial	58
Mapa 8	Factor Textura para estimar la Degradación Química Potencial por Lixiviación	60
Mapa 9	Factor Topografía para estimar la Degradación Química Potencial por Lixiviación	60
Mapa 10	Factor Tipo de Arcillas para estimar la Degradación Química Potencial por Lixiviación	60
Mapa 11	Factor Topografía para estimar la Degradación Estructural Potencial	62
Mapa 12	Factor Agresividad Climática para estimar la Degradación Estructural Potencial	62
Mapa 13	Factor Textura para estimar la Degradación Biológica Potencial por Mineralización de la Materia Orgánica	64
Mapa 14	Factor Contenidos de Carbonatos para estimar la Degradación Biológica Potencial por Mineralización de la Materia Orgánica	64

RESUMEN

Los daños a los suelos se explican como procesos que degradan su capacidad de ser suelos, es decir, la de servir como puente con los vegetales y otros organismos que en él viven para permitir que la energía radiante del sol sea capturada y transformada en sustancias orgánicas que se integran en la cadena trófica de los grandes ecosistemas terrestres. Si bien es cierto que los suelos, como producto de procesos pedogenéticos transcurren en el planeta hacia severas modificaciones que ofrecen los diferentes medios donde son formados, también es una realidad que el hombre es el principal agente perturbador de la naturaleza y de la capacidad de los suelos para producir cosechas. Las propiedades más afectadas generalmente son aquellas que disminuyen su biodiversidad microbiológica, su profundidad por pérdida de material, la disminución de su contenido orgánico, la pérdida de nutrimentos y un desequilibrio en la concentración de otros elementos. En consideración a esta realidad de los suelos, se hace necesario identificar las regiones más expuestas o sensibles; de esta manera, habría información auxiliar para plantear la investigación, así como el fomento y desarrollo sustentable de las áreas rurales. La presente investigación tuvo como objetivo hacer un diagnóstico sobre el estado potencial de los principales procesos de degradación de los suelos en el estado de Jalisco, mediante procedimientos de cartografía paramétrica. Específicamente, se pretendió calcular índices o valores de los diferentes procesos de degradación y elaborar cartografía paramétrica de estos mismos procesos en la entidad. Se usó la metodología de la FAO para la evaluación de la degradación de los suelos. El soporte cartográfico proviene de la cartografía digital de la Dirección General de Geografía del INEGI a escalas 1:250,000 para formar un mapa base con la topografía y de la Carta Digital Edafológica a escala 1:250,000 para la agrupación de las principales unidades de suelos. Se delimitó el estado de Jalisco en cartografía digital topográfica creando un primer mapa procesado con Civil Series R 3. Con el comando de "*modelador de terrenos*" en Autodesk CS R3, se clasificaron las superficies del estado por sus pendientes de acuerdo a las categorías de la FAO, para ser aplicadas en el riesgo de erosión hídrica, degradación química y para el riesgo por degradación estructural. A partir de la carta edafológica digital del INEGI, se transfirieron los límites de los tipos principales de suelos al mapa base del presente estudio; en este nuevo mapa, se prestó especial atención a las unidades de suelos, así como a sus clases texturales. La información climática procede de 116 estaciones del estado de Jalisco con datos de 43 años. Para cada estación se calculó el factor de agresividad climática, el factor de agresividad climática para la degradación química por lixiviado de bases y el índice estimador de la velocidad de mineralización de la materia orgánica estable, recomendado por la FAO para el cálculo del riesgo para la degradación biológica. Con estos cálculos y con el resto de la metodología aplicada se generaron mapas interpretativos para inferir sobre los riesgos de erosión hídrica potencial, de lixiviación de bases y de degradación biológica. En total, se generaron 15 mapas que, entre otras cosas, permiten afirmar que con la metodología empleada es posible calcular los índices de vulnerabilidad a la degradación de suelos, propuestos por la FAO. Por otra parte, se concluye que la mayoría de los suelos de Jalisco son vulnerables a la degradación por un efecto combinado de texturas gruesas, relieve ondulado, pendientes fuertes y una agresividad climática elevada. Los resultados también permitieron elaborar una cartografía paramétrica que muestra los principales factores que inducen a la degradación de los suelos y que sería una información útil para encausar estudios y hacer interpretaciones objetivas relacionadas con la degradación de los suelos.

Evaluación de la Degradación Potencial de los Suelos del Estado de Jalisco.

1 Introducción

Los daños al recurso suelo son tan contundentes con respecto a la vida en el planeta que es imposible concebir a nuestra civilización sin los suelos, base fundamental de la mayor parte de las formas de vida terrestre. Los daños a los suelos se explican como procesos que degradan su capacidad de ser suelos, es decir, la de servir como puente -con los vegetales y otros organismos que en él viven- para permitir que la energía radiante del sol sea capturada y transformada en sustancias orgánicas que se integran en la cadena trófica de los grandes ecosistemas terrestres. Si bien es cierto que los suelos como producto de procesos pedogenéticos transcurren en el planeta hacia severas modificaciones que ofrecen los diferentes medios donde son formados; pero también es cierto que el hombre es el principal agente perturbador de la naturaleza y capacidad de los suelos para producir cosechas.

Las propiedades más afectadas generalmente son aquellas que disminuyen su profundidad por pérdida de material, la disminución de su contenido orgánico, la pérdida de nutrimentos y un desequilibrio en la concentración de otros elementos; este desbalance puede exponer la sobreabundancia relativa de otras sustancias hasta niveles que producen toxicidad a las plantas, además, se modifica su capacidad natural de formar estructura, porosidad y con ello su habilidad para el intercambio adecuado de fluidos. Un fenómeno que acompaña a los cambios físicos y químicos es el biológico, que se manifiesta con la disminución en la biodiversidad microbiológica, lo cual tiende a inducir la predominancia de ciertos organismos (hongos y bacterias) que por lo regular son promotores de enfermedades de la mayoría de los cultivos.

Las consecuencias económicas son enormes, ya que los cambios adversos en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos afectan directamente a su capacidad para producir cosechas, encarecen su mantenimiento y cada vez se requerirá de mayores inversiones para producir cosechas equivalentes, es decir, se alejan de una producción sostenida y sustentable de cosechas.

A lo anterior habrá que agregarle la pérdida de suelos por ocupación de las grandes manchas urbanas, las cuales se asientan generalmente en los mejores suelos de cada región.

Esto último conduce a ser cada vez más eficaces en el aprovechamiento y explotación racional de los suelos que todavía quedan, de manera tal que su uso sea tan racional que después de cada cosecha quede el recurso un poco mejor que cuando iniciamos su explotación.

Por lo antes expuesto, el identificar objetivamente a las regiones más expuestas o sensibles a que sus suelos sean degradados puede conducir las inversiones en investigación, fomento y desarrollo para el uso sustentable sean mejor administradas.

2 Revisión de literatura

2.1 Degradación de suelos.

De acuerdo con la FAO (1980), la “degradación del suelo es un proceso que disminuye la capacidad actual y potencial del suelo para producir (cuantitativa y/o cualitativamente) bienes o servicios. La degradación de los suelos no es necesariamente continua, sino que puede ocurrir en un periodo relativamente corto entre dos estados de equilibrio ecológico. Se distinguen a tres enfoques sobre la degradación.

- a) *Velocidad actual de degradación del suelo* es la velocidad de degradación del suelo por año o por ciclo agrícola.
- b) *Riesgo de degradación del suelo* es la disminución de la productividad actual o potencial como consecuencia de uno o más procesos de degradación, que pueden ocurrir por causa de una mala explotación, por ejemplo, la supresión de la vegetación natural y sus substitución por barbecho desnudo.
- c) *Estado actual del suelo* es el estado actual del suelo en relación con los tipos particulares de degradación. Cuando es erosión hídrica se evalúa la profundidad del suelo, en tanto que la textura, la conductividad eléctrica y el porcentaje de sodio intercambiable se determinan en los casos de erosión eólica, la salinización y la sodicación respectivamente.

El presente trabajo parte del supuesto de que el estado actual de los suelos es conocido, asumiendo que existen estudios previos sobre evaluación de los tipos principales de degradación. Se procede a estimar tanto la *Velocidad actual de degradación* como el *Riesgo de degradación del suelo*.

2.1.1 Procesos de degradación de los suelos.

Se han agrupado en seis a los diferentes tipos de degradación de los suelos, siendo cada uno de ellos en realidad “procesos de degradación de los suelos”. Dichos procesos en la naturaleza siempre se encuentran interactuando, sin embargo, para fines de su estudio se han aislado, lo cual facilita su medición relativa o intensidad de acción. La FAO (FAO, 1980) considera que los procesos interactúan, pero los agrupa en seis: *Erosión Hídrica*, que se refiere a la remoción del suelo por el agente agua. *Erosión Eólica*, o remoción del suelo por el agente aire. *Exceso de Sales*, que incluye a la salinización y sodicación.

Degradación Química, que incluye al lavado o pérdida de bases y a la acumulación de sustancias tóxicas como el aluminio.

Degradación Física, que incluye a cambios adversos en los suelos por su porosidad, densidad, y estabilidad de su estructura.

Degradación Biológica, referida al aumento en la velocidad de mineralización de la materia orgánica estable. Por la forma de actuar de dichos procesos, para efectos del presente estudio, se han reagrupado en tres y son Degradación Física, Degradación Química y Degradación Biológica.

Degradación física. Este tipo de degradación de los suelos describe a los cambios adversos en las propiedades físicas de los suelos en los primeros 60 centímetros, tales como la pérdida por erosión, estabilidad estructural, porosidad, permeabilidad, densidad aparente y densidad real.

La erosión o pérdida del suelo se diferencia por el vector de remoción de los mismos, cuando es agua se denomina Erosión Hídrica y si es por viento se llama Erosión Eólica. **Erosión hídrica** es la pérdida de suelo por remoción de sus materiales por los escurrimientos de agua principalmente. Este proceso incluye a la pérdida de materiales por salpicaduras, por arrastre en forma laminar o en cárcavas y diversos tipos de movimientos de masas tales como, corrimiento de tierras, aludes de lodo y solifluxión. Se mide en toneladas por hectárea por año t/ha/año o en milímetros por año. **Erosión eólica** es la pérdida de suelo y su deposición por la acción del viento y los efectos abrasivos que las partículas en suspensión ocasionan al entorno. Se mide en toneladas por hectárea por año t/ha/año o en milímetros por año. **Degradación estructural** se mide en el aumento de la densidad aparente expresada en gramos por centímetros cúbicos por año g/cm³/año o la disminución de la permeabilidad en centímetros por hora por año cm/hora/año.

Degradación química. Este proceso de degradación de los suelos describe a la **pérdida por lixiviación de las bases** por un lado y por el otro a la **acumulación de sustancias que ejercen toxicidad a los cultivos y plantas** en general. La acidificación se mide en la disminución del por ciento de saturación de bases por año PSB/año y la toxicidad en aumento del o los elementos químicos en partes por millón por año (ppm/año).

Aquí se incluye al **exceso de sales y/o sodio intercambiable** en los primeros 60 cm de profundidad de los suelos a niveles tales que impiden el desarrollo natural de los cultivos tradicionales. Este proceso describe a los fenómenos de Salinización y Alcalinización. Las unidades usadas para la Salinización son el aumento de la conductividad eléctrica de la pasta saturada del suelo a 25°C en milimhos por centímetro por año mmhos/cm/año. La alcalinización se mide en el aumento del por ciento de sodio intercambiable por año PSI/año.

Degradación biológica. Este proceso se refiere a la pérdida acelerada de la materia orgánica en los primeros 30 centímetros superficiales en términos del aumento de la velocidad de mineralización del humus. Se mide en disminución porcentual por año. (Ver Apéndice 1 Clases de degradación de suelos)

2.2 La Evaluación de la degradación de los suelos.

Las metodologías que sirven para evaluar la degradación de los suelos son agrupadas en cuatro grandes grupos, las cuales se diferencian entre sí por el o los procedimientos para obtener la información sobre el tema. De ahí que la FAO (FAO, 1978, 1980, 1994) las agrupe en cuatro, que supone que pueden ser aplicados en aquellos sitios donde no se cuenta con datos definitivos sobre pruebas de degradación y para periodos de tiempo suficientemente largos.

- a) Mediante observaciones directas en campo.
- b) Por medio de teledetección.
- c) Con modelos matemáticos,
- d) Evaluación por métodos paramétricos.

Las metodologías que se basan fundamentalmente en observaciones y mediciones directas en campo, generalmente cubren superficies pequeñas, tales como un rancho o pueden ser consideradas como sitios de muestreo o corroboración puntual de otros estudios realizados a escala más pequeña. Muchas veces son aplicadas a sitios que acusan severos grados en algún tipo de degradación y con frecuencia a suelos severamente erosionados. Por lo general reportan solo el estado actual de la degradación de los suelos y casi nunca evalúan la velocidad actual de la degradación. Su escala de trabajo es grande y pueden ser usados para fines de manejo parcelario.

El empleo de la teledetección conlleva un fuerte trabajo de gabinete y una baja proporción de trabajo de campo, siendo este último destinado para hacer observaciones puntuales o “muestreo” que sirva para afinar las unidades cartográficas propuestas y que surgieron con la fotointerpretación de pares estereoscópicos o bien en la interpretación de imágenes de satélite. Generalmente se usa la teledetección para estudios primarios de grandes regiones. Es de gran economía y permite la confección de cartografía muy exacta a escalas intermedias a nivel de planificación regional o nacional.

Los modelos matemáticos usados en la evaluación de los procesos de degradación de los suelos aun son experimentales y sus resultados no son satisfactorios ya que no se han ensayado ampliamente para predecir la degradación de los suelos. El uso de modelos matemáticos ha servido sin embargo para el desarrollo de modelos paramétricos empíricos con buenos resultados y a escalas intermedias.

Los métodos paramétricos en la evaluación de los procesos de degradación de los suelos parten de la ecuación universal de la degradación de los suelos, (Wischmeier W. H. & Smith, 1965, 1971) para luego generar fórmulas que estimen a cada proceso de degradación con cierta independencia. La FAO ha propuesto algunas adecuaciones que considera aplicables en metodologías para estudios a escala regional, estatal o nacional (Arnoldo H. M. J. 1977). Las fórmulas paramétricas parten de la siguiente ecuación general (FAO 1980):

$$D = f(C, S, T, V, L, M) \text{ donde}$$

- D = Degradación del suelo.
C = Factor agresividad climática.

- S = Factor suelo.
- T = Factor topográfico.
- V = Factor vegetación natural.
- L = Factor uso de la tierra.
- M = Factor explotación.

Cuando es posible zonificar a factores que son relativamente poco variables, se estandarizan por zona facilitando la evaluación de riesgos en la degradación, pudiéndose expresar de la manera siguiente:

$$D = f(C, S, T, K)$$

donde: K = representa de manera constante a las condiciones más o menos estándares de V, L y M.

2.2.1 Degradación Física

2.2.1.1 Evaluación de la Erosión Hídrica

Si bien la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE del Inglés) requiere de un número de datos exhaustivo, ya que dicha ecuación se ha diseñado para ser aplicada a nivel parcelario (Wischmeier W. H. & Smith, 1965), no obstante, ha servido de base para derivar otra más simplificada para trabajos a escala más pequeña; utilizando valores aproximados de medias de datos de grandes áreas. Sin embargo, es necesario partir del conocimiento de la ecuación universal de pérdida de suelo.

La ecuación original es la siguiente:

$$A = RKLSCP$$

donde:

- A = Pérdida de suelo por unidad de superficie.
- R = Precipitación, expresado en unidades índice de erosión (unidades EI) aplicado a un período. Mide el poder erosivo de una lluvia determinada.
- K = Erosionabilidad del suelo. Expresa la velocidad con que se erosiona un suelo determinado, en unidades EI, estimado a partir de su equivalencia de un *suelo barbechado continuamente con una pendiente del 9% y en una longitud de 22.1 m o parcela tipo*.
- L = Longitud de la pendiente. Equivalencia a la pérdida de suelo con respecto a la *parcela tipo*.
- S = Pendiente del terreno. Equivalencia entre la pérdida de suelo por efecto de la pendiente con respecto a la *parcela tipo*.
- C = Cultivo o uso de la tierra. Es la relación equivalente entre la pérdida de suelo de un terreno sometido a un uso o cultivo determinado con respecto al que ocurre en una *parcela tipo*.

P = Prácticas de conservación de suelos. Es la relación que existe entre la pérdida de suelo en una parcela equivalente pero con obras de conservación (tales como: surcos en contorno, terrazas, fajas, etc) contra un terreno en el cual los surcos son rectos y se hacen en el sentido de la pendiente.

La ecuación universal de pérdida de suelo, evalúa la velocidad con que los materiales de los suelos son removidos de un sitio a otro o a las partes más bajas o cuerpos de agua y finalmente a los océanos. Se observa que son cuatro los factores actuantes como variables en la ecuación universal: *El Clima* del cual se interpreta su agresividad en términos de la intensidad del meteoro actuante; *El suelo* y particularmente su fragilidad o resistencia a la erosión o *erosionabilidad* (Wischmeier W. H. 1971); *La Topografía* que considera la pendiente y el relieve de cada terreno (Arnoldos H. M. J. 1977); y *La Actividad Humana* medida por sus efectos en la cubierta vegetal, su desarrollo a lo largo del año, su % de cobertura y rugosidad conferida por su manejo (Wischmeier W. H. & Smith, 1965).

La erosión hídrica es laminar cuando la pérdida de suelo es en capas, es en cárcavas cuando la pérdida de suelo en formando canales pequeños o grandes e irregulares y en masa cuando se generan desprendimientos de bloques de suelos, generalmente en forma de deslizamientos, este último generalmente es el precursor de los aludes. Cada uno de los factores es calculado de acuerdo a los procesos siguientes.

2.2.1.1.1 Factor climático (R)

El factor climático o "R" de la Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE de sus siglas en Inglés) se usará la ecuación propuesta por la FAO, (FAO, 1978) la cual es una adaptación del índice de Fournier (Fournier F. 1960), siendo la siguiente:

$$R = f \left(\sum_{1}^{12} \frac{p^2}{P} \right)$$

donde:

R = Índice de erosividad de la lluvia
 p = Precipitación mensual
 P = Precipitación anual

La diferencia entre esta ecuación y la original es que Fournier (Fournier F. 1960), consideró a p^2 , como la precipitación pluvial al cuadrado del mes más húmedo, en tanto que la FAO (FAO, 1980) considera la suma de todos los meses lo cual parece razonable para estimaciones en regiones extensas como es el caso en el presente estudio.

Se considera un estimador aceptable del índice por precipitación pluvial o R originalmente propuesto por Wischmeier y Smith (Wischmeier W. H. & Smith, 1965) tomando en cuenta la energía cinética de las gotas de lluvia y su intensidad máxima durante 30 minutos, ya que según sus cálculos, las pérdidas de suelo en parcelas cultivadas estaban muy correlacionadas con la energía cinética total y la intensidad máxima de precipitación durante 30 minutos. La energía cinética es calculada por medio de $E=1.213+0.890\log_{10}I$.

Este producto es conocido como EI, y se admite como un estimador que mide la manera en que se combinan la energía y la intensidad de una tormenta o efecto conjunto del

impacto de las gotas de lluvia y la turbulencia de la escorrentía con el transporte de las partículas del suelo procedentes de un terreno dado, quedando como sigue:

$$R = \frac{\left[\sum_{j=1}^n (1.213 + 0890 \log_{10} I_j)(I_j T_j) \right] I_{30}}{173.6}$$

en donde:

- R = Índice de erosividad por precipitación pluvial
- I_j = Intensidad de la precipitación pluvial para un incremento específico de la intensidad en mm/hr.
- T_j = El periodo del incremento de tempestad específica en hr.
- I_{30} = Intensidad máxima de precipitación pluvial durante 30 minutos para la tormenta, en mm/hr.
- J = Incremento de la tempestad específica.
- N = El número de incrementos de la tempestad.

En el presente estudio se ha considerado importante tomar a todas las estaciones climatológicas posibles de Jalisco, (Ruiz C. J. A. 2005) para un periodo de 35 años, en las variables que intervienen en todos los cálculos.

2.2.1.1.2 Factor erosionabilidad del suelo (K).

El factor erosividad del suelo de la ecuación universal de pérdida de suelo estima la tasa potencial de erosión de un suelo dado, tomando en cuenta a las siguientes propiedades de los mismos: velocidad de infiltración, permeabilidad, textura, contenido de materia orgánica, estructura y estabilidad de la estructura, profundidad a un estrato impermeable. Por ser abundantes los datos requeridos se puede optar por usar un nomograma (Wischmeier & Smith, 1971) que se muestra en la Figura 1, (USDA, 1953, 1966) dado que según ellos mismos el porcentaje de arenas y limos explicó el 85% de la variación de los valores K observados en sus trabajos.

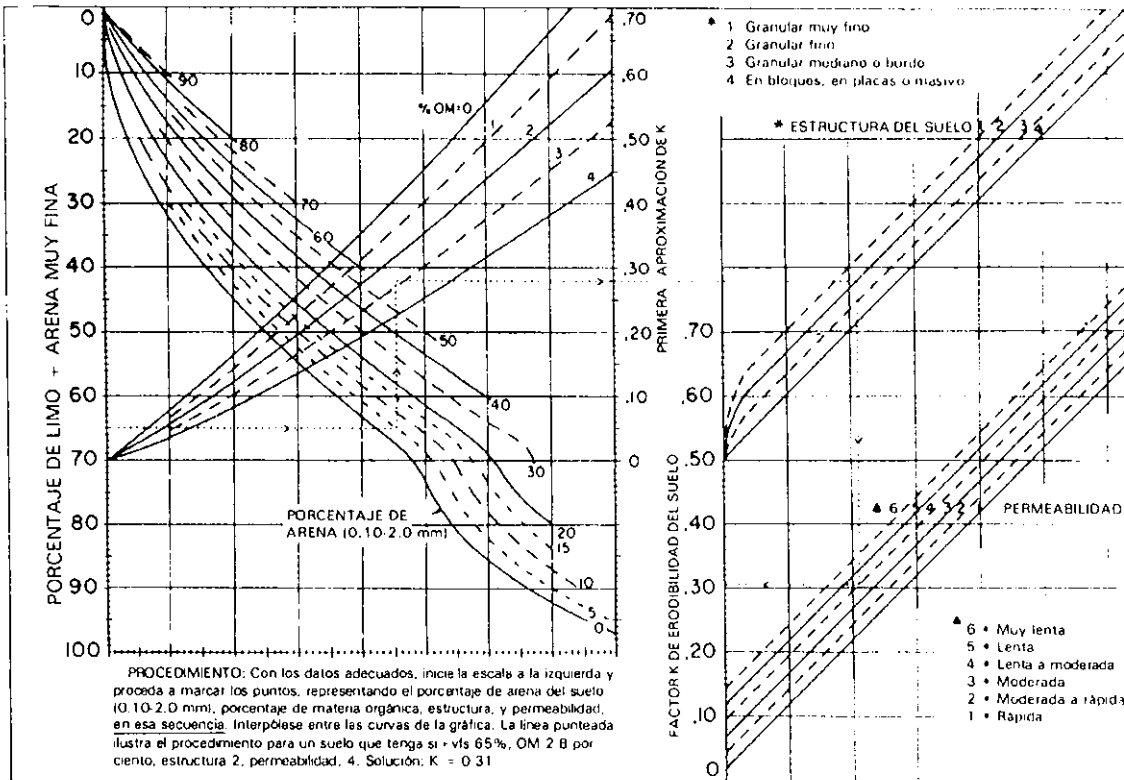


Figura 1. Nomograma de Wischmeier (1971).

Una opción (Adoptada por la FAO, 1980) en estimaciones de la erodabilidad de los suelos es a partir de una clasificación sugerida para las unidades cartográficas de suelos que se presenta en la Tabla 1, donde se incluyen a las 25 unidades de la carta edafológica del INEGI, dándoles tres categorías de erosionabilidad:
 I Ligera = 0.5; II Moderada = 1.0 y III Alta = 2.0.

La estimación puede ser utilizada para estudios nacionales o estatales, dado que a esa escala datos a mayor detalle no sería posible dibujar, como ocurre a una escala de 1:1'000,000 o menor, donde un milímetro en el papel representa a un kilómetro, o bien en unidades de superficie, un milímetro cuadrado representa a 100 ha.

Si bien las unidades usadas por INEGI están en proceso de evolución, los cambios a escala nacional serán poco significativos como para cambiar la metodología y parámetros que se aplican en el presente estudio.

De forma similar, se aplican valores según la clase textural en cuatro grupos mostrados en la Tabla 2.

TABLA 2 FACTOR TEXTURA LA EROSIÓN HÍDRICA

Textura	Gruesa	Media	Fina	Fase gravosa o pedregosa
Valor	0.2	0.3	0.1	0.5

El factor *Topografía* tomado para escalas pequeñas menores a 1:1'000,000 la FAO (FAO, 1980) propone que sean agrupadas en categorías generales sobre la base de la carta de los suelos del mundo: siendo:

- 1^a. Clase **aa Valor 0.15**. Planas con muy poca pendiente en Fluvisoles y Gleysoles.
- 2^a. Clase **a Valor 0.35**. Plana o suavemente ondulada con pendientes dominantes entre 0 y 8%.
- 3^a. Clase **ab Valor 2.0**. Plana o suavemente ondulada con pendientes de 8 a 20%.
- 4^a. Clase **b Valor 3.5**. Fuertemente ondulada con pendientes dominantes entre 8 y 30%.
- 5^a. Clase **bc Valor 8.0**. Fuertemente ondulada o colinosa con pendientes dominantes entre 8 y más de 30%.
- 6^a. Clase **c Valor 11.0**. Fuertemente disectada a montañosa con pendientes dominantes superiores a 30%.

Pueden resultar apropiadas las categorías anteriores incluso a escalas mayores, probablemente hasta 1:250,000, dado que a esta última un milímetro lineal en el dibujo representa 250 metros o si fuera cuadrado representa a 6.25 ha. Abundando en el apoyo de este criterio, pensemos que para fines prácticos la longitud máxima suele ser de 200 metros en tierras agrícolas, sobre la base de la longitud máxima de surco usada en Jalisco, en tanto que en parcelas con cobertura vegetal (pasto, bosque, matorral etc.) la longitud máxima deja de ser un factor determinante comparado con el tipo de cobertura y la pendiente, por lo menos a escala menores a 1:200,000. Probablemente en estudios detallados o parcelarios debería tomarse además el factor longitud de la pendiente, variable no incluida en esta clasificación, pero que en el manejo parcelario si es posible diferenciar.

El factor *humano* o *de cubierta vegetal* se consideran a dos valores principales, uno si es uso agrícola y otro si es pecuario o con vegetación arbórea o arbustiva, quedando como sigue: Para las zonas agrícolas se emplean dos valores el de 0.4 para la región tropical húmeda y de 0.8 para el resto. Los Bosques, Selvas Bajas, Matorrales y Pastizales se considera su factor de acuerdo a la Tabla 3:

TABLA 3 FACTOR COBERTURA VEGETAL

Tipos de usos	Porcentaje de cobertura superficial					
	1%	1-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
Pastizales	0.45	0.32	0.20	0.12	0.07	0.02
Bosques	0.45	0.32	0.16	0.18	0.01	0.006
Selva baja y	0.45	0.32	0.20	0.10	0.06	0.01

Matorrales						
-------------------	--	--	--	--	--	--

2.2.1.2 Evaluación de la Erosión eólica.

La Erosión Eólica es la que mide la pérdida de suelos generada por el viento, para su cálculo más exacto se aplica la *Ecuación de la Erosión Eólica* (Chepill W. S., Sinddoway F. H. & Armbrust D. V. 1963) basada en el principio de que la erosión eólica varía directamente con el cubo de la velocidad del viento e inversamente con el cuadrado de la humedad del suelo estimada a partir de la precipitación efectiva:

$$C_e = \frac{100}{2.9} \times \frac{v^3}{(P - E)^2}$$

donde:

C_e = Índice que mide la agresividad climática del viento o índice eólico de Chepil.

v = Velocidad media del viento a 9.1 m de la superficie.

$(P - E)$ = Índice de efectividad de la precipitación de Thornthwaite, calculado a partir de

$$(P - E) = 115 * \left[\sum_{i=1}^{12} \left(\frac{P_i}{T_i} - 10 \right) \right]$$

Siendo P_i la precipitación pluvial mensual en pulgadas y
 T_i la temperatura media mensual en °F.

A su vez, la agresividad climática con respecto a la erosión eólica, (Woodruff N. & Sinddoway F. H., 1965) está influenciada por la naturaleza textural de los suelos además de la humedad imperante en ellos.

En la confección de mapas a pequeña escala, la FAO ha modificado la ecuación de Chepil (Chepill W. S., Sinddoway F. H. & Armbrust D. V. 1963) quedando como sigue:

$$C_e = \frac{1}{100} \sum_1^{12} v^3 \left(\frac{ETP - P}{ETP} \times n \right)$$

donde:

C_e = Índice que mide la agresividad climática del viento o índice eólico de Chepil.

P = Precipitación media mensual en mm.

v = Velocidad media mensual del viento a 2 metros de altura de la superficie en m/s.

ETP = Evapotranspiración potencial media mensual en mm.

n = Número de día del mes

En los distritos de riego se considera el agua adicionada como Q , de manera que si $(P + Q)$ es igual a ETP , entonces el índice eólico para ese periodo adquiere el valor de cero.

Para que un suelo se degrade en mayor o menor grado por efecto de la erosión eólica depende principalmente de su granulometría, coherencia, adhesividad, contenido de

materia orgánica, humedad y su cubierta vegetal. El viento como otros fluidos es cargado por sólidos en suspensión cuya estabilidad depende de la energía con que son desplazados y su efecto gravitatorio en contraparte. La energía es medida con la velocidad media en m/s y el efecto gravitatorio de los sólidos es estimado indirectamente por los diámetros de partículas en movimiento, es decir la textura que ofrece cada suelo. Las características tales como grado de coherencia y adhesividad solo pueden ser consideradas en ensayos de laboratorio controlados y a nivel parcelario, ya que el fenómeno climático de viento asociado a su posibilidad de ocurrencia abarca extensiones geográficas amplias, que generalmente solo pueden ser dibujadas a escalas más pequeñas que 1:100,000 sin embargo, sabemos que un suelo con mayor contenido de partículas arcillosas y limosas forma agregados más estables que otro pobre en partículas finas. Por otro lado, el factor humedad está considerado indirectamente en el índice de Chepill, (Chepill W. S., Sinddoway F. H. & Armbrust D. V. 1963) el contenido orgánico es un factor muy dependiente del uso y/o tipo de cobertura vegetal. De ahí que resulte válido considerar principalmente a la textura de los suelos y a su cobertura vegetal o uso, como factores que influyen en la estimación del riesgo de la erosión eólica.

El factor *Suelo* en la estimación del efecto de la erosión eólica tiene que ver fundamentalmente con su textura (Lyles L., 1977) se han propuesto “Grupos de erosionabilidad eólica” (FAO 1980) mismos que se usan para estudios a nivel nacional o de grandes regiones, se muestran en la Tabla 4.

TABLA 4 GRUPOS TEXTURALES Y EROSIONABILIDAD EÓLICA

SUELO	GRUPO TEXTURAL		
	GRUESA	MEDIA	FINA
No calcáreo	3.5	1.25	1.85
Calcáreo	3.5	1.75	1.85
Pedregosos o gravosos	1.75	No calcáreos 0.62	0.92
		Calcáreo 0.87	

El factor *Topografía* influye directamente en la velocidad, la cual ya está considerada, por lo tanto no aplica en estimaciones a escalas nacionales o regionales en su efecto en la erosión eólica.

El factor humano se describe en términos de la cobertura vegetal o uso de la tierra, fundamentalmente en el tipo de agricultura y tipo de vegetación nativa, con el mismo criterio empleado para escalas nacionales o estatales se proponen los siguientes valores en la Tabla 5 para los factores por uso agrícola.

TABLA 5 TIPO DE AGRICULTURA Y EROSIONABILIDAD EÓLICA

Tipo de agricultura	Valor
Agricultura de temporal	0.7
Agricultura de riego	0.2
Agricultura en trópico húmedo	0.4

El factor *Vegetación nativa* en estudios detallados afecta de forma variable con respecto a la erosión eólica dependiendo de su tipo, altura dominante y densidad o porcentaje de cubierta superficial. Para estudios a escalas más pequeñas, es válido tomar asociaciones de diferentes tipos de vegetación, en la Tabla 6 se propone una adaptación a nuestras condiciones de los valores de erodabilidad eólica por tipo de cubierta vegetal propuesta por la FAO (FAO, 1978, 1980) para estudios Nacionales.

TABLA 6 TIPOS DE VEGETACIÓN Y EROSIONABILIDAD EÓLICA

Tipo de vegetación	Porcentaje de cobertura superficial					
	0 - 1	1 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	80 - 100
Praderas	1.00	0.70	2.50	0.30	0.15	0.05
Matorrales	1.00	0.70	0.40	0.25	0.10	0.03
Selvas	1.00	0.60	0.30	0.20	0.10	0.01
Bosques	0.90	0.50	0.30	0.15	0.05	0.001

2.2.1.3 Evaluación de la Degradación estructural.

Aquí se agrupan a todos los procesos tendientes a disminuir la porosidad en el suelo, procesos tales como: apelmazamiento, compactación, encostramiento, reducción de la permeabilidad, falta de aireación, pérdida de estructura y limitaciones de enraizamiento. Los factores actuantes se agrupan en cuatro: Clima, Suelo, Topografía y factores Humanos.

El *Clima* es considerado en términos de su agresividad, ya que la intensidad y energía de la lluvia puede propiciar apelmazamiento y encostramiento. El anegamiento induce al deterioro estructural de algunos suelos muy plásticos (CP, 1977).

Para que el fenómeno de la degradación estructural sea posible llevarlo a una representación cartográfica a escala estatal, se toma el valor del calculado para el índice de agresividad climática para la erosión hídrica o factor *R* y a partir de el mismo surge la valoración *Cf* que representa al índice climático para la estimación de la degradación estructural de los suelos a escala regional o estatal. Se muestra en la Tabla 7.

TABLA 7. ÍNDICE DE AGRESIVIDAD CLIMÁTICA PARA LA DEGRADACIÓN ESTRUCTURAL

$R = f\left(\sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}\right)$	0 a 50	50 a 500	500 a 1000	>1000
Valor <i>Cf</i>	0 a 5	5 a 7.5	7.5 a 10	10

Se toma el valor *Cf* = 10 para suelos regados o inundados.

Para el estudio del factor *Suelo* en los procesos de la degradación estructural son considerados fundamentalmente a la compactación y al encostramiento de la siguiente manera: Los Suelos pobres en Materia Orgánica y limosos son susceptibles al

apelmazamiento y encostramiento. El encostramiento puede ser tipificado mediante el siguiente índice:

$$I_e = \frac{Z_f + Z_c}{C}$$

donde:

I_e = Índice de encostramiento

Z_f = % de limo fino (2-20 mm)

Z_c = % de limo grueso (20-50 mm)

C = % de arcilla

Sus valores son interpretados de la siguiente manera: Cuando el índice de encostramiento es <1.5 los suelos no forman costras y para valores >2.5 para los suelos con un intenso encostramiento.

Se ha propuesto un índice alternativo que considera el contenido de materia orgánica:

$$I_e = \frac{1.5Z_f + 0.75Z_c}{C + 10MO}$$

donde:

MO = % de materia orgánica

Este índice considera a los suelos cuyo datos arrojan valores <2 para suelos que no forman costras y >2 para los que están sujetos a formar encostramiento.

Los suelos alcalinos con elevadas concentraciones de sodio intercambiable son muy propensos a la degradación estructural (USDA 1953), pero este efecto es revisado en la Degradación Química en el presente estudio.

Una propiedad que engloba a este tipo de degradación estructural es la disminución en la permeabilidad por los suelos, esta última puede ser estimada a partir de los factores de textura de la Tabla N° 2 y de la erosionabilidad por tipo de suelo de la Tabla N° 1. Con la única excepción de los suelos sódicos se incluyen siempre en la clase III o de valor 2.0

La *Topografía* o forma dominante de los terrenos, puede inducir a la degradación estructural de los terrenos, aumentando o disminuyendo la escorrentía superficial y la infiltración, dependiendo de la pendiente y el relieve de cada sitio, ver Tabla 8.

TABLA 8 TIPOS DE TOPOGRAFÍA PARA EL CÁLCULO DE LA DEGRADACIÓN ESTRUCTURAL: $m =$ pendiente

Tipo de Topografía	Plana o Suavemente ondulada $m \leq 8\%$	Muy ondulada $8\% < m < 30\%$	Muy disectada a montañosa $m > 30\%$
Valor	1.0	0.5	0.3

El *Factor humano* actúa sobre la base del tipo e intensidad de labranza y porcentaje de cobertura superficial de los cultivos. Así, el abuso de la labranza con maquinaria pesada, aumenta el riesgo a la degradación estructural, por otro lado, los cultivos de poca cobertura superficial pueden facilitar encostramiento, compactación y apelmazamiento. Por ser factores apreciables solo a nivel de parcela o detallado, no es posible llevarlos a la escala del presente estudio.

2.2.2 Degradación química.

2.2.2.1 Exceso de sales.

La degradación de los suelos por exceso de sales y/o sodio intercambiable, tiene que ver con el clima (aridez), forma del relieve (plano, cóncavo, etc) y la naturaleza de las aguas superficiales y subterráneas, por lo cual no se aplica una ecuación universal como en los casos anteriores. Cada sitio es evaluado dependiendo de su naturaleza histórica, atendiendo al uso y manejo de los suelos y sus aguas tanto superficiales como freáticas además de su naturaleza edáfica. En el mundo los suelos de naturaleza salina se forman principalmente en climas áridos (USDA, 1953). En Jalisco, los suelos salinos se están desarrollando en pequeñas porciones de los distritos de riego y en las cuencas endorreicas.

Las posibilidades de desarrollo de nuevos sitios con riesgo a la acumulación de sales y/o sodio es mínimo, por lo que este concepto de degradación escapa de los objetivos del presente estudio por ser diseñado para escala estatal o nacional donde escaparía el detalle necesario para los distritos de riego.

2.2.2.2 Lixiviación de bases.

La lixiviación es el proceso de remoción de solutos de las diferentes capas de los suelos, (CP, 1977). Como proceso de degradación química se entiende cuando la lixiviación de bases sobrepasa a la capacidad de los suelos para restituirlos. Ocurre intensamente en climas húmedos con suelos de texturas medias y gruesas, drenaje interno alto y baja capacidad de intercambio catiónico. Además, se pierden grandes cantidades de fertilizantes por lixiviación, sobre todo los nitrogenados. Los factores actuantes se agrupan en cuatro: Clima, Suelo, Topografía y Actividad humana (Young A. 1976).

El efecto del Clima en la Lixiviación de bases, se aplica por medio del índice siguiente (FAO, 1978, 1980):

Cuando $(P - ETP) > 0$

$$C_{Li} = \sum_1^{12} P - ETP$$

donde:

C_{Li} = Factor Clima en la degradación química por lixiviado de bases.

P = Precipitación media mensual en mm.

ETP = Evapotranspiración potencial en mm.

cuando la $P > ETP$ o estación húmeda se usa la siguiente:

$$C_{Li} = \left(\sum_1^{12} P - ETP \right) - Hs$$

siendo la Hs la reserva de humedad en el suelo.

El factor *Suelo* debe ser interpretado a partir de la susceptibilidad del mismo para perder con rapidez sus bases mediante la lixiviación. Este tipo de degradación se acentúa en

suelos con baja capacidad de intercambio catiónico y/o textura gruesa con alta permeabilidad. Estos suelos tienden a acidificarse, a perder con facilidad su materia orgánica y a concentrar aluminio en el complejo de intercambio. Por lo anterior, las características texturales de los suelos y su tipo predominante de arcilla influyen la lixiviación de las bases como proceso de degradación química, tomando los valores de las tablas 9 y 10 propuestos por la FAO, (FAO, 1978).

TABLA 9. TIPOS TEXTURALES PARA EL CÁLCULO DE LA DEGRADACIÓN QUÍMICA POR LIXIVIACIÓN

Tipo textural	Gruesa	Media	Fina
Valor	2.0	1.0	0.5

TABLA 10. TIPOS DE ARCILLA PARA EL CÁLCULO DE LA DEGRADACIÓN QUÍMICA POR LIXIVIACIÓN

Tipo de arcilla	Kandita, Caolinita	Illita	Esmectita, Montmorillonita
Valor	1.0	0.5	0.25

El factor *Topografía* actúa acelerando la escorrentía ocasionando una degradación por erosión acentuada, lo cual hace que la lixiviación pase a segundo término, por lo tanto en topografía menos accidentadas es más fácil aislar el proceso de lixiviación. Sin embargo no puede dejar de tomarse en cuenta.

TABLA 11. TIPOS DE TOPOGRAFÍA PARA EL CÁLCULO DE LA DEGRADACIÓN QUÍMICA POR LIXIVIACIÓN; $m = \text{pendiente}$

Tipo de Topografía	Plana o Suavemente ondulada $m \leq 8\%$	Muy ondulada $8\% < m < 30\%$	Muy disectada a montañosa $m > 30\%$
Valor	1.0	0.5	0.25

El factor *Actividad humana* se manifiesta en la medida que el hombre desnuda a los suelos, o bien los mantiene desprovistos de vegetación por largos periodos, manejos como el aclareo en bosque, roza-tumba-quema en laderas. O bien con el uso intenso de fertilizantes nitrogenados acidificantes. El riego excesivo causa lixiviación y conduce a la acidificación de los suelos. Por ser estos procesos muy puntuales, resulta difícil llevarlos a un mapa a escala pequeña.

2.2.2.3 Toxicidad de elementos químicos.

La toxicidad ocurre cuando uno o varios elementos químicos sobrepasan los niveles adecuados para las plantas, afectando su productividad negativamente o incluso inhibe el

desarrollo de los mismos cuando sobrepasan ciertos valores en su concentración (USDA, 1953); (Curiel B. A., 1989).

El efecto de toxicidad más frecuente en las zonas agrícolas es el inducido por la acidificación de los suelos, (Zdenko R., 2000) teniendo que ver principalmente con una disponibilidad excesiva para los cultivos de algunos elementos menores tales como Aluminio, Cobre, Boro, Zinc, Hierro, Manganeso y Molibdeno o excepcionalmente la acumulación de Selenio a pH's alcalinos en ciertas plantas (*Sium sp.*, *Astragalus sp.*) que afectan al ganado que las consuma.

Otra fuente de toxicidad ocurre con los suelos derivados de rocas con elevado contenido en ciertos elementos menores. Por otro lado, existe una tendencia cada vez mayor a incrementar los efectos tóxicos generados por el confinamiento de residuos urbanos y/o industriales, los cuales van desde los efectos radioactivos, toxicidades por metales pesados hasta los medicos infecciosos virales y bacterianos. Estos sitios generalmente son dibujados a escala de detalle por ser de naturaleza espacial puntual.

Una fuente de toxicidad por azufre puede ocurrir en zonas pantanosas y manglares donde la oxidación del azufre puede propiciar la formación de ácido sulfúrico (Young A. 1976). Por ser procesos evidenciables a escala parcelaria y en machones dentro de cada parcela y para cada cultivo de manera diferente, no resulta posible representarlos cartográficamente a la escala de trabajo del presente estudio.

2.2.3 Degradación biológica.

Es considerada como degradación biológica a la acelerada mineralización de la fracción orgánica más estable de los suelos, es decir, el humus, el cual influye en la capacidad de los suelos para proporcionar nutrimentos, y se forma en su superficie como resultado de un equilibrio muy delicado entre la naturaleza de los suelos y los residuos orgánicos disponibles, el humus tiene además, propiedades únicas las cuales determinan el carácter de muchos horizontes superiores, siendo las principales; su gran capacidad para absorber grandes cantidades de agua, aumentando su retención en los suelos, su elevada capacidad como ligamiento en la formación de estructura suave y porosa y posee una elevada capacidad de intercambio catiónico de alrededor de 3 me/g. (FitzPatrick E. A. 1984). Una degradación biológica acentuada facilita la degradación estructural, aumento de la escorrentía, la erosión y pérdida de nutrimentos de los suelos.

También aquí los factores actuantes son: Clima, Suelo, Topografía y Factores Humanos.

El **Clima** influye mediante la temperatura y humedad principalmente, según Alexander Martin (Martin A. 1977) la temperatura ambiental y sus variantes temporales determinan la rapidez con que la materia orgánica es mineralizada, siendo su mayor velocidad a elevadas temperaturas. Además, la humedad afecta indirectamente al ser motivo de generar anaerobiosis temporal o permanente, lo cual modifica a la actividad microbiana por su alta dependencia de aire en el suelo, ya que la respiración de la microflora del suelo se desarrolla a expensa de nutrimentos orgánicos en un óptimo ambiental dentro del rango de 60 a 80% de la capacidad de retención de agua de los suelos.

Se ha propuesto un índice que estima la velocidad de descomposición del humus en porcentaje anual, el cual es a su vez un estimador del coeficiente de mineralización del humus de Henin (Henin S. & Dupouis M. 1945), donde explican que existe una relación de cambio del contenido de humus en el suelo, dado por:

$$\frac{dB}{dt} = K_1 m - K_2 B$$

donde:

K_1 = coeficiente de humificación.

K_2 = coeficiente de mineralización

m = adición anual de materia orgánica fácilmente descomponible.

B = contenido de humus en equilibrio.

Y por lo tanto el contenido de humus en equilibrio es:

$$B = m \frac{K_1}{K_2}$$

La FAO ha propuesto un índice (FAO, 1978) que considera una velocidad de descomposición 2.9% entre 10°C y 20°C, siendo el siguiente:

$$K_2 = \frac{1}{12} \sum_1^{12} e^{0.1065t} * \frac{P}{ETP} \text{ cuando la } P < ETP$$

Sí la $P > PET$, entonces: $\frac{P}{ETP} = 1$
 Y si $t < 0 \therefore t = 0$

Donde:

- t = Temperatura media mensual
- P = Precipitación
- ETP = Evapotranspiración potencial

En el factor *Suelo* intervienen la textura, la naturaleza de la materia orgánica, el pH, el contenido de carbonato de calcio y el contenido de humedad por arriba de la capacidad de campo.

La textura de los suelos afecta en la descomposición de la materia orgánica, siendo más acelerada en los suelos arenosos que en los arcillosos. La naturaleza de la materia orgánica afecta en términos de su relación carbono:nitrógeno y a los tipos de humus, bien sean ácidos húmicos a fúlvicos. La reacción del suelo o pH afecta en la degradación biológica cuando sale del umbral entre pH's 5.0 a 7.5, a excepción de los suelos sulfurosos ácidos y sódicos básicos, los cuales tienen una baja mineralización de humus. La mineralización del humus por efecto del contenido de carbonatos de calcio ha sido estimada por Remy (Remy J. C. & Martin L. A., 1974), siendo el siguiente: $K_2 = \frac{1,200}{(A+200)(C+200)}$

donde A=%arcilla y C=%CaCO₃.

La hidromorfía retrasa los efectos de la mineralización del humus dado el bajo contenido de O₂ disuelto.

Para una representación cartográfica a escala Estatal se usan los valores mostrados en las Tablas 12 y 13.

TABLA 12. TIPOS TEXTURALES PARA EL CÁLCULO DE LA DEGRADACIÓN BIOLÓGICA

Tipo textural	Gruesa	Media	Fina
Valor	1.5	1.0	0.5

TABLA 13. TIPOS DE CONTENIDO DE CaCO₃ PARA EL CÁLCULO DE LA DEGRADACIÓN BIOLÓGICA*

Tipo de suelo	No calcáreo	Calcáreo	Con horizonte Cálculo	Rendzinas
% de CaCO ₃	0	5	15	40
Valor	1.0	0.8	0.6	0.3

*A excepción de los suelos hidromórficos, sulfúricos o sódicos, los cuales se les asigna el valor de 0.2

El factor *Topografía* viene dado por la variabilidad en la temperatura y humedad conferida por la pendiente y relieve de los terrenos, por lo tanto se considera incluido hasta este momento de los procesos de cálculo.

El factor *Humano* es el más activo, ya que impacta a la incorporación de los residuos, bien sea por las quemas o por su incorporación mecánica variando la relación C:N, por otro lado, la labranza intensa acelera la mineralización del humus, a su vez la época de realización de la labranza impacta debido a que en invierno acentúa el enfriamiento de los suelos a mayor profundidad. A la escala del presente estudio no es posible representarlo, debería ser tratado a escala de detalle y parcelaria.

2.3 Antecedentes regionales.

Los primeros estudios sobre la degradación de los suelos para el estado de Jalisco datan de 1953, durante el “Congreso para Detener el Avance de la Erosión de la Tierra en México” (Hornedo, 1957, citado por Curiel B. A. 1989), donde citan al estado de Jalisco dentro de las entidades más afectadas algún tipo de erosión. En 1956 Rafael OrtizMonasterio (OrtizMonasterio R. 1956) se refiere a Jalisco como una entidad con fuerte erosión laminar y zanjas. En 1960 La Dirección de Conservación del Suelo y Agua de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (citado en SARH,1984) menciona que Jalisco reportó un 23% de su superficie sin erosión, el 1% con erosión incipiente, 18% co erosión moderada, el 51% con erosión acelerada y un 7% totalmente erosionado. En el “Plano de Erosión Hídrica en México” (Estrada B., Wolf J.W., Ortiz S. 1982) reporta al estado de Jalisco con Erosión ligera en un 27.4%, Erosión moderada con el 26.3%, Erosión alta en un 19.8% y con Erosión severa el 26.5% restante. Pérez Rivas N (Pérez R. N. 1988) encuentra con lotes de escurrimientos para los suelos de Zapopan con pendientes de 3% y desnudos pierden 20 ton/ha/año En 1989 Curiel Ballesteros. A. (Curiel B. A. 1989) determina que la principal degradación a que están sometidos los suelos de los Valles de Zapopan y Tesistán es la química, por acidificación, además que su alta erodabilidad es facilitada por su elevado contenido de partículas gruesas. Otro estudio específico para el estado de Jalisco se realizó en 1984 (SARH, 1984), a escala 1:250,000 con los resultados siguientes: 13% de la superficie con Erosión no Manifiesta, el 41.4 % con erosión leve, el 26% con erosión moderada, el 16.5% con erosión severa y 0.8% con erosión muy severa.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT 2002), en su estudio nacional sobre la “Degradación del suelo causada por el hombre” presentan para el estado de Jalisco que el 54.09% aparece con algún grado de afectación, el 39.77% de la superficie es considerada como estable, el 4.45% sin uso aparente y un 1.69% de cuerpos de agua; señalando además que los principales procesos son en un 24.7% la erosión hídrica, el 22.24% la degradación química, el 4.44% de degradación física y un 2.71% de la superficie con erosión eólica. Sobresaliendo como factores causantes a la actividad agrícola en un 49.07%, la deforestación con un 24.56%, el sobre pastoreo con el 17.69%, el urbanismo con un 5.26% y la sobreexplotación con un 3.31%.

2.4 Definición de escalas de trabajo.

La intensidad del trabajo va de la mano con la escala a la que se presenta un estudio. A mayor escala, *mayor detalle*- se incrementa la intensidad del muestreo, guardando una mayor proporción el trabajo de campo que el de oficina. La interrogante inicial es ante todo, que se quiere demostrar con dicho trabajo. Así por ejemplo, el uso excesivo del agua de riego como de fertilizantes amoniacales, cambian con frecuencia a nivel regional y local, por lo que resulta inapropiado -por inexacto- el considerar a estos procesos de degradación de los suelos en estudios globales o de grandes extensiones, en tal caso se recomienda evaluar el riesgo potencial a largo plazo por ser esta una característica más estable del medio ambiente.

Los nombres de las escalas por lo regular dan una idea de los objetivos de los estudios, en la Figura 2 se relacionan los principales grupos de escalas con que son representados los estudios en el mundo, esta revisión es tomada de A. Young (Young, A. 1976) así como la revisión por la FAO (FAO, 1978), anotando los rangos de escala, nombres de los estudios y sus objetivos principales.

Los levantamientos de suelos en el mundo, observados a través de tres enfoques: por su Escala, el Tipo de Levantamiento y sus Objetivos Generales.

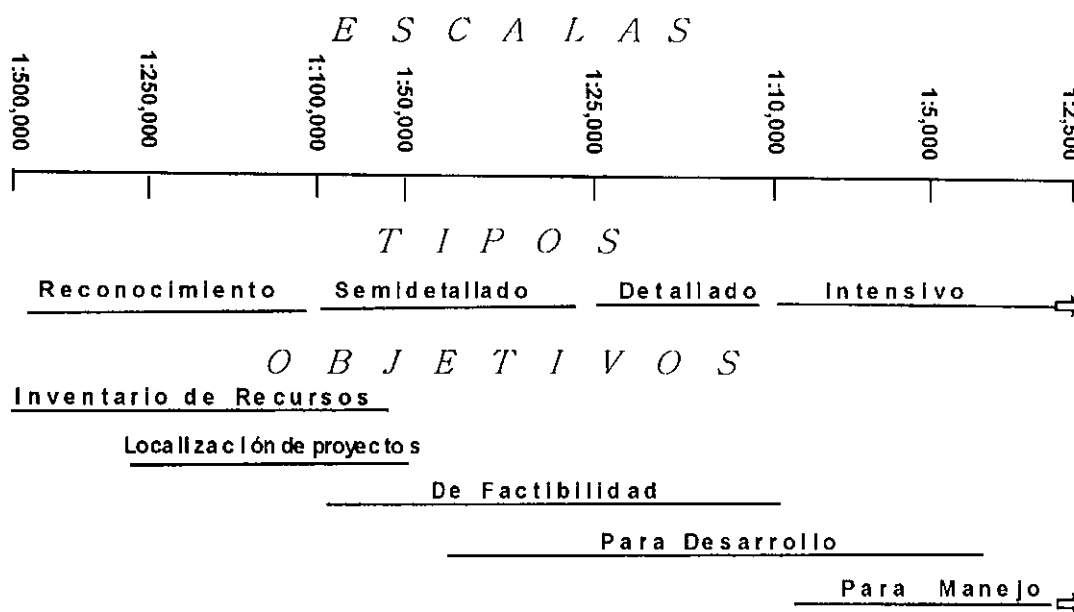


Figura 2. Las escalas de los levantamientos de suelos en el mundo. (Young A. 1976).

2.4.1 Tipos de los levantamientos.

Mapas de *Compilación* (FAO: Síntesis). Son mapas de suelos realizados a partir de la abstracción de otros levantamientos a mayor escala, detallando solo lo indispensable usando la inferencia. Las escalas de trabajo comúnmente son desde 1:1'000,000 o menores. La mayoría de los mapas nacionales de suelos en el mundo se hacen a esta escala.

Mapas *Exploratorios* (FAO: Exploratorios). No son levantamientos en el sentido estricto, ya que no intentan hacer una cobertura de toda el área. Se hacen mediante recorridos terrestres y/o aéreos colectando la información de regiones desconocidas; sus escalas varían desde 1:2'000,000 a 1:500,000. Son aplicados en estudios de nivel nacional. La FAO-UNESCO se apoyó grandemente en este tipo de levantamientos para su Mapa de los suelos del Mundo.

Levantamientos de *Reconocimiento*. (FAO: De baja Intensidad). Son de los levantamientos con cobertura completa de un área que se realizan a escala más pequeña, siendo comúnmente a 1:250,000, sin embargo se incluyen mapas realizados desde 1:500,000 hasta 1:120,000. Con frecuencia son el producto de la integración de levantamientos y de uso intenso de la fotointerpretación. Existen muchos ejemplos de este tipo de levantamiento en países pequeños de África.

Levantamientos *Semidetallados*. (FAO: de Mediana Intensidad). Este tipo de levantamientos se ha realizado dentro de un rango de escalas que va desde 1:100,000 a 1:30,000 y típicamente a escala 1:50,000. Son levantamientos realizados mediante fotointerpretación combinada con una importante proporción de datos levantados en campo.

Levantamientos *Detallados*. (FAO: De Alta Intensidad). Cubren un rango de escalas que va desde 1:25,000 a 1:10,000. Se hace principalmente por trabajo de campo. Las unidades de mapeo permiten organizar el manejo parcelario.

Levantamientos *Intensivos*. (FAO: De muy Alta Intensidad). Son realizados a escalas más grandes que 1:10,000. En este tipo de levantamiento es común realizar los muestreos sobre la base de una retícula. Las unidades mapeadas no solo sirven para el manejo parcelario, sino que además se pueden editar mapas paramétricos de propiedades individuales de los suelos, pudiendo ser: pH's, contenido de materia orgánica, nitrógeno, etc.

2.4.2 Propósitos de los levantamientos.

Los propósitos de los levantamientos de suelos y su producto Mapas-texto, se puede ver desde dos perspectivas: La primera o más inmediata, su propósito es para proveer a los usuarios de información de las condiciones de los suelos y las formas de cualquier sitio de interés. El segundo o último propósito es para suministrar información la cual asista en la toma de decisiones sobre el uso de la tierra y la planeación para su desarrollo. Tales decisiones abarcan un rango que va desde la localización de un uso particular (ejemplo, agricultura, forestal) a detalles sobre prácticas específicas de manejo de algún cultivo.

Los objetivos perseguidos por cada levantamiento, corresponden en parte a diferentes escalas, por lo que se dan algunos traslapes tal como se aprecia en la Figura N° 1. Por sus objetivos generales se distinguen a:

Levantamientos para Inventario de Recursos se hacen a nivel nacional o regional, son una guía para conocer la variación potencial de los recursos y problemas específicos para ciertas áreas. Proveen información científica básica de uso, por ejemplo, ingeniería, ecología vegetal, geografía humana. Son análogos a los levantamientos geológicos sistemáticos.

Los *Levantamientos para la Localización de Proyectos* tienen la intención de ubicar y definir alternativas de esquemas de desarrollo, por ejemplo colonización, proyectos de irrigación, etc. Se realizan en aquellas áreas donde tenga un más promisorio desarrollo potencial, su escala más frecuente es a nivel de Semidetalle.

Los *Levantamientos de Factibilidad* se aplican para establecer la factibilidad técnica y económica para proyectos específicos de desarrollo; no proveen un plan completo sino que únicamente estima si el proyecto tiene suficientes posibilidades de éxito como para garantizar una investigación más detallada. Tanto Los Inventarios de Recursos como los Levantamientos de Factibilidad son también denominados como de "Pre-investigación", dado que no se conjunta aún a la investigación con la aplicación de la inversión de capital.

Los *Levantamientos para Desarrollo* se consideran como parte de una planeación actual de algún proyecto. Tanto los de Factibilidad como los de Desarrollo se realizan a escalas detalladas o de Semidetalle, ampliándose en algunos proyectos intensivos y de riego.

Los *Levantamientos de Manejo* se hacen normalmente a escala intensiva. Se aplican a cuestiones específicas de manejo, tal como la aplicación de agua para riego, localización precisa de cultivos específicos o aplicación de fertilizantes.

El presente proyecto por los métodos empleados sería del tipo de Compilación ya que hace abstracción de otros estudios, pero también sería de reconocimiento por integrar para todo un estado (que pudiera equivaler a un país en Europa) a otros levantamientos y con un uso intensivo de la fotointerpretación, en este caso teledetección. Por sus objetivos es del tipo de Inventario de recursos por servir de guía para conocer la variación potencial de problemas específicos para el estado. Su escala es a nivel estatal o nacional entre 1:1'000,000 hasta 1:500,000.

3 Objetivos e Hipótesis

3.1 Objetivos.

3.1.1 Objetivo general.

Diagnosticar el estado potencial de los principales procesos de degradación de los suelos en el estado de Jalisco mediante procedimientos de cartografía paramétrica.

3.1.2 Objetivos específicos.

- 3.1.2.1 Calcular índices o valores de los diferentes procesos de degradación potencial de los suelos en el estado de Jalisco.
- 3.1.2.1 Elaborar cartografía paramétrica del estado de Jalisco con los principales procesos de degradación de los suelos en el estado de Jalisco.
- 3.1.2.1 Establecer una metodología para realizar estudios similares en otras regiones.

3.2 Hipótesis.

Se tiene evidencia que en las diferentes regiones del Estado de Jalisco se presentan diferentes niveles de degradación de los suelos. Por lo tanto se plantea la hipótesis:

“Los índices de degradación potencial de los suelos en el estado de Jalisco, mantienen un carácter regional en cuanto a su intensidad”.

4. Materiales y Métodos

4.1 Definición del área de estudio.

4.1.1 Ubicación.

La presente investigación ha sido aplicada al estado de Jalisco, México, el cual se localiza en la porción centro-occidental de la República Mexicana, lindando al sudoeste con el océano Pacífico, al sur con el estado de Colima, al oriente con los estados de Michoacán, Guanajuato y San Luis Potosí, al norte con los estados de Zacatecas, Aguascalientes, y Durango, al poniente con Nayarít. El estado de Jalisco se ubica geográficamente entre los paralelos 18°58' y 22°45' de latitud norte y los meridianos 101°28' y 105°43' de longitud oeste. Cuenta con una superficie aproximada de 80.137 millones de kilómetros cuadrados.



Figura 3. Localización del área de estudio.

4.1.2 Climatología.

El estado de Jalisco se puede definir a grandes rasgos en tres grupos climáticos de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por E. García para la clasificación climática nacional de la Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP, 1981), con climogramas de las estaciones disponibles en INIFAP (Ruiz Corral J. A. 2005).

4.1.2.1 Grupo de climas cálidos.

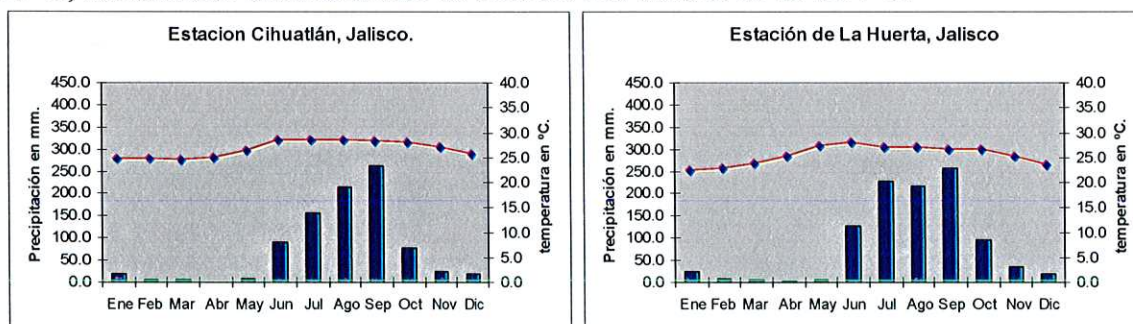
Subgrupo de Climas Cálidos Subhúmedos

Se caracteriza por una temperatura media anual mayor de 22° C, con lluvias en verano y sostiene principalmente comunidades vegetativas como: selva baja, selva mediana, Pastizales, Bosques de Pino y Encino. Con precipitación media anual entre 800 y 1,200 mm. Se localiza principalmente a lo largo de la zona costera del estado, extendiéndose hacia el sureste, ocupa principalmente el 25% de la superficie de la entidad.

Hay principalmente tres variantes de climas Cálidos Subhúmedos: El *menos húmedo*; de *humedad intermedia* y el *más húmedo*.

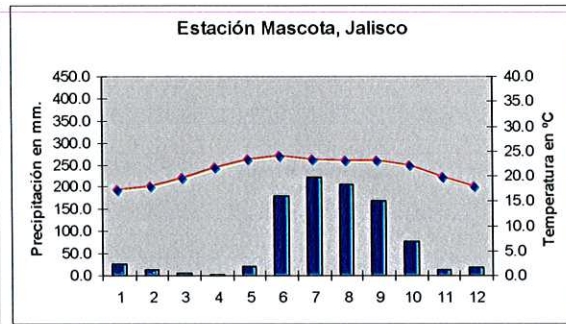
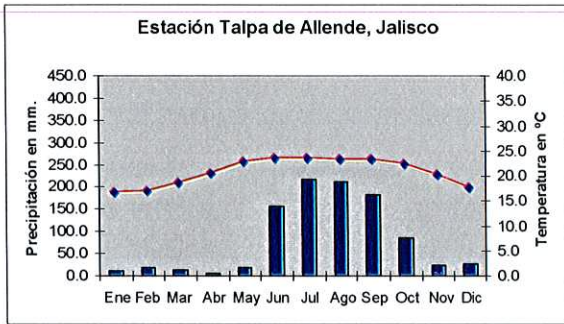
El menos húmedo de los Cálidos Subhúmedos

Se localiza fundamentalmente en la costa jalisciense, cubriendo parcialmente a los municipios de Tomatlán, La Huerta y Cihuatlán; así como parcialmente a los municipios de Tequila, Zapopan, Jilotlán de los Dolores y el Grullo. Las precipitaciones media oscilan entre 800 y 1200 mm., la temperatura media anual es mayor a 22°C. El mes más lluvioso es Septiembre con rangos de 220 a 230 mm.; el mes menos lluvioso es Abril con 10 mm. Las temperaturas máximas ocurren durante Junio a Agosto siendo entre 28 y 29°C; las mínimas durante el mes de Febrero con valores de 23 a 24°C.



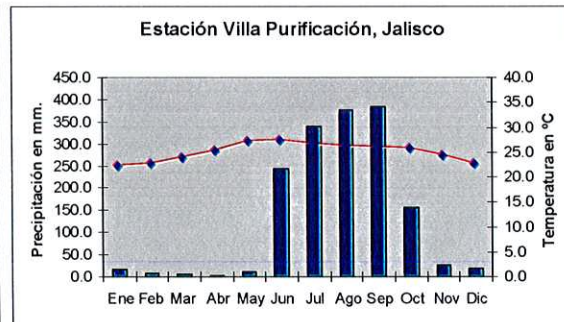
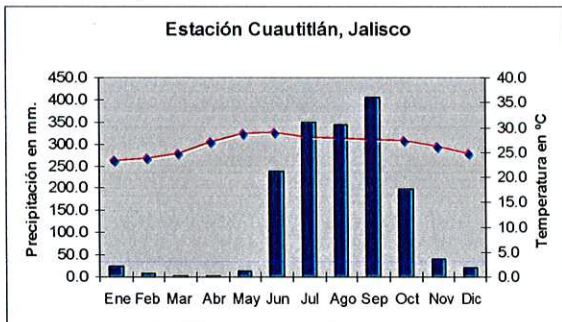
El de humedad intermedia de los Cálidos Subhúmedos.

Se distribuye hacia el oeste del Jalisco y en pequeñas porciones del centro y sur del estado. La lluvia media anual varía entre 1,000 y 1,500 mm. Y su temperatura media anual entre los 22 y 26°C. La máxima precipitación ocurre durante el mes de Junio con 300 a 310 mm. Y la mínima durante Febrero a Abril con menos de 5 mm. La máxima temperatura ocurre durante os meses de Junio a Septiembre con valores entre 29 y 30°C, el mes más frío es Febrero con 23 a 24°C.



El más húmedo de los Cálidos Subhúmedos

Se ubica principalmente hacia el sudoeste de Jalisco, cubriendo parte de los municipios de Villa Purificación, Casimiro Castillo y Cuautitlán. La precipitación media anual es mayor a 1,200 mm., y la temperatura media anual oscila entre 22 a 26°C. El mes más lluvioso es Septiembre con 420 a 430 mm., la mínima precipitación ocurre durante Febrero a Abril, siendo menor a 10 mm. Las temperaturas máximas ocurren durante Mayo a Junio con 29 a 30°C y las mínimas de Enero a Febrero con 24 a 25°C.



4.1.2.2 Grupo de climas templados.

Se presenta en dos Subgrupos: Semicálidos Subhúmedos y Templados.

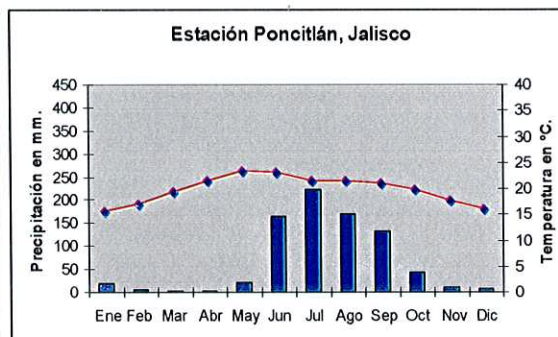
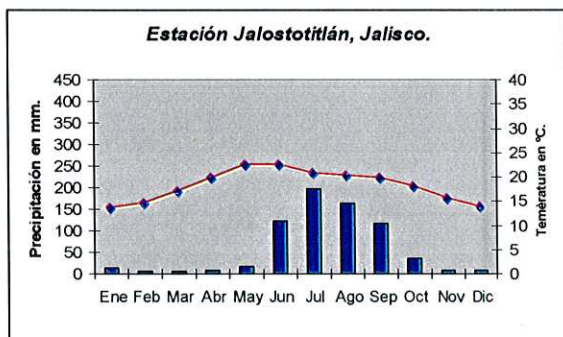
Subgrupo de Climas Semicálidos Subhúmedos.

Tienen una temperatura media anual mayor a 18°C, se desarrollan comunidades vegetales subtropicales, matorrales, pastizales y selva baja. Cubre aproximadamente el 42% de la superficie de Jalisco, siendo tres las variantes más importantes: *El menos húmedo de los Semicálidos*, *El de humedad intermedia de los semicálidos* y *El más húmedo de los Semicálidos*.

El menos húmedo de los Semicálidos Subhúmedos.

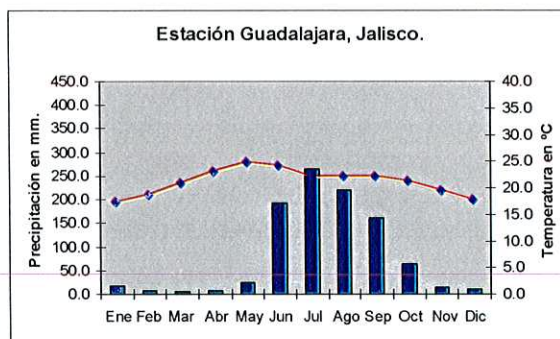
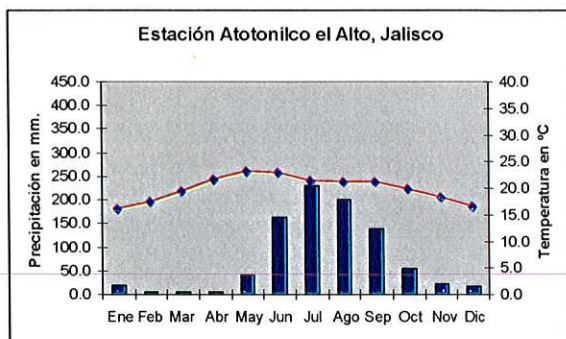
Ocurren lluvias de verano y en invierno su porcentaje es menor al 5%. Se localiza hacia el centro y centro-este del estado. Cubre principalmente a los municipios de Chapala, Poncitlán, Ciudad Guzmán, Jalostotitlán, San Juan de los Lagos, Colotlán y Totatiche. La precipitación media anual es mayor a 700 mm., con temperatura media anual de 22 a 28°C.

El mes más lluvioso es Julio con rango de 220 a 230 mm., Febrero es el más seco con menos de 10 mm. El mes más cálido es mayo con 23 a 24°C y Enero el más frío con 16 a 17°C.



El de humedad intermedia de los Semicálidos Subhúmedos.

Se distribuye principalmente en el centro de del estado de Jalisco, principalmente en los municipios de Guadalajara, Zapopan, Atotonilco el Alto, y Tecolotlán. La precipitación media anual es de 800 a 1,000 mm., el mes más lluvioso es Julio con 250 a 260 mm., siendo el menos lluvioso Febrero con menos de 5 mm. La temperatura media anual es de 18 a 22°C, el mes más cálido es Mayo con 23 a 24 °C y Enero el más frío con 15 a 16°C.



El más húmedo de los Semicálidos Subhúmedos

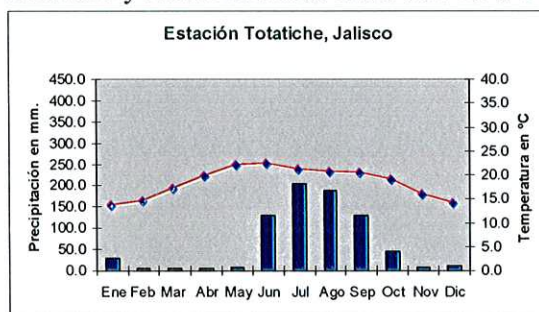
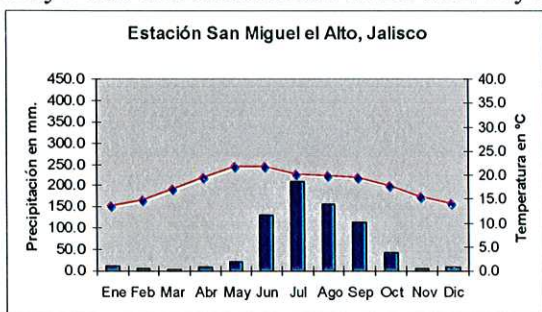
Se distribuye en la porción centro-oeste de Jalisco, cubriendo parcialmente los municipios de San Sebastián, Talpa de Allende, Atenguillo y Tecalitlán. La precipitación media anual es mayor a 1,200 mm., el mes más lluvioso es Julio con 340 a 350 mm., el menos lluvioso es Febrero con menos de 10 mm. La temperatura media anual es de 18 a 22°C, siendo Mayo y Junio los más cálidos con 20 a 21°C y el más frío es Enero con 15 a 16°C.

4.1.2.3 Subgrupo de Climas Templados Subhúmedos.

Tienen una temperatura mesotérmica y una vegetación de Encino, Pino, Bosque Mixto y Pastizal, con una cobertura del 14% del estado de Jalisco. Se describen a los cuatro subtipos principales atendiendo a la precipitación anual e invernal: *El menos húmedo de los Templados Subhúmedos*, *El de humedad media baja de los Templados Subhúmedos*, *El de humedad intermedia de los Templados Subhúmedos* y *El más húmedo de los Templados Subhúmedos*.

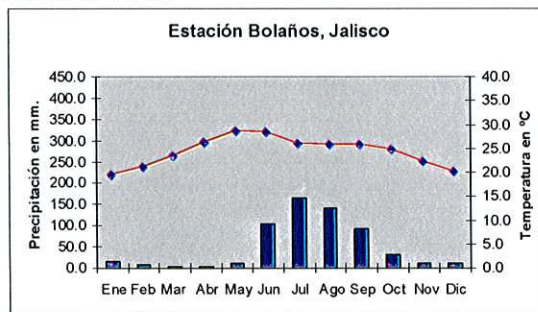
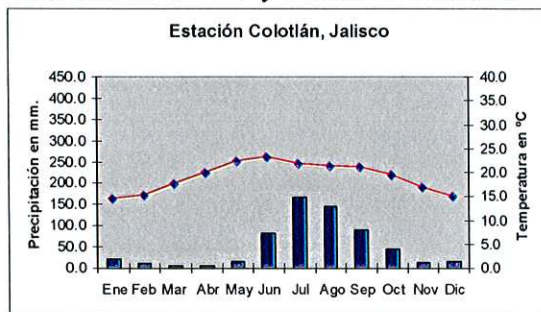
El menos húmedo de los Templados Subhúmedos

Su lluvia invernal es menor a 5 mm., se localiza principalmente al norte de Jalisco en los municipios de Totatiche, San Miguel el Alto, San Diego de Alejandría y algunas pequeñas porciones al centro del estado. La precipitación media anual varía ente 700 y 800 mm., siendo Agosto el mes más lluvioso con 160 a 170 mm., y Febrero el más seco con menos de 5 mm. La temperatura media anual es mayor a 16°C, el mes más cálido es Mayo con una fluctuación de 21 a 22°C y Diciembre y Enero los más fríos con 13 a 14°C.



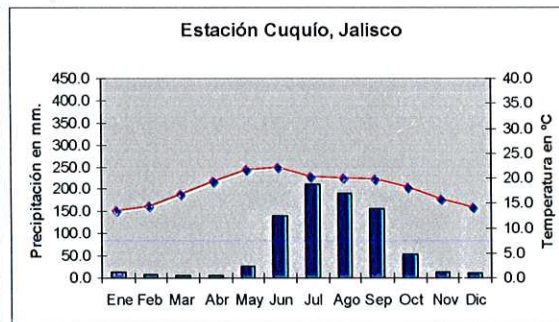
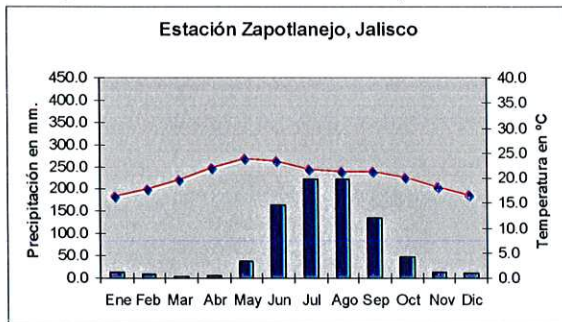
El de humedad media baja de los Templados Subhúmedos

Con lluvia invernal entre 5 y 10.2 mm., se ubica al norte de Jalisco, en los municipios de Colotlán, Huejúcar, Mezquitic y Bolaños. La precipitación media anual fluctúa entre 700 y 1,000 mm., siendo el mes de Agosto el más húmedo con 150 a 160 mm., el más seco en Marzo con 10 mm. La temperatura media anual es mayor a 16°C, el mes más cálido es Julio con 23 a 24°C y el más frío es Enero con 13 a 14°C.



El de humedad intermedia de los Templados Subhúmedos

Con un índice de precipitación invernal menor a 5 mm. Se distribuye hacia los Altos de Jalisco, cubriendo parte de los municipios de Tepatitlán de Morelos, Arandas, Jesús María, Cuquío, Zapotlanejo y en otras pequeñas porciones al centro del estado. La precipitación media anual es mayor a 800 mm., siendo el mes de Julio el más lluvioso con 200 a 210 mm y Marzo el más seco con menos de 5 mm. La temperatura media anual varía entre 16 a 18°C, siendo la más alta en Mayo con 21 a 22°C y la mínima en Enero con 13 a 14°C.



El más húmedo de los Templados Subhúmedos

Con precipitación invernal menor a 5 mm., se localiza en varios núcleos al centro y sur de Jalisco, principalmente dentro de los municipios de Ayutla, Villa Purificación, Tepatitlán de Morelos y Arandas. La precipitación media anual es mayor a 1,000 mm., siendo Julio el mes más lluvioso con 220 a 230 mm., y Febrero el más seco con menos de 10 mm. Las temperaturas media anuales varían entre 14 y 18°C,

4.1.2.4 Subgrupo de Climas Semifríos.

Se caracteriza por tener una temperatura media anual menor a 16°C con una vegetación típica de bosques y praderas de montaña formando comunidades vegetales de bosques de pino-encino, pino y oyamel. Tiene poca superficie en el estado de Jalisco, apenas cubre el 1% aproximadamente, solo se reporta un subgrupo.

El más húmedo de los Semifríos húmedos

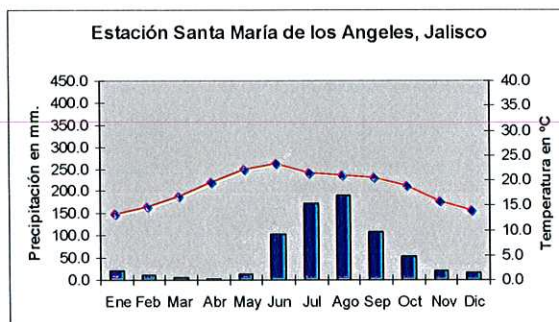
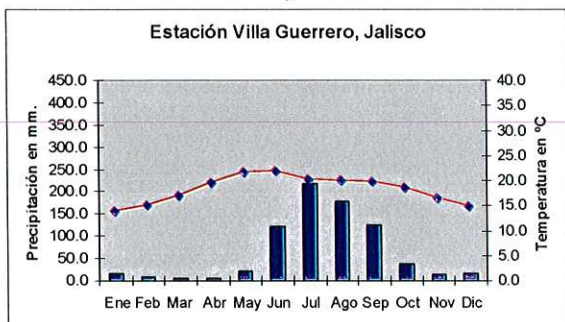
Reporta un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 mm. Se distribuye al sur del estado, cubriendo parte de los municipios de San Gabriel y Tuxpan. La precipitación media anual es mayor a 1,200 mm y su temperatura media anual es menor de 16°C.

Grupo de Climas Secos

Se caracterizan por que la evaporación excede a la precipitación, siendo por lo regular menor a 700 mm. La temperatura es mayor a los 18°C. Los tipos de vegetación que se desarrollan en este clima es tipo xerófita y pastizal. De las siete variantes existentes solo dos son de importancia territorial, cubriendo un 15% de la superficie estatal, se distribuyen al norte y noreste del estado.

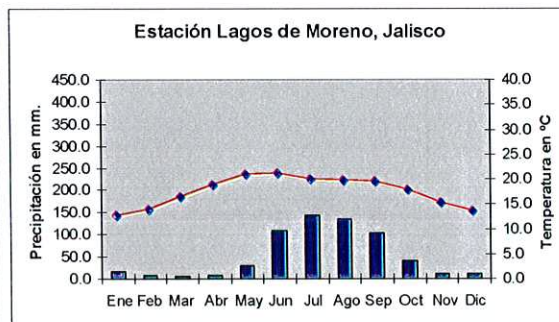
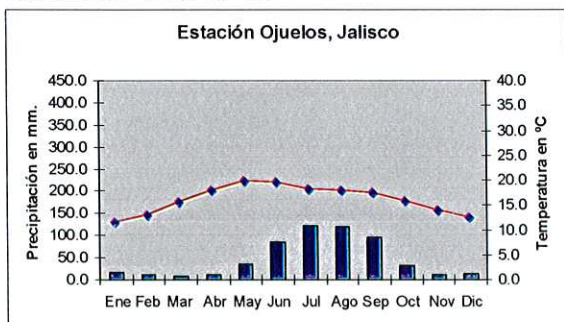
Semisecos Semicálidos

Con lluvia invernal entre menos de 5 mm a 10 mm. La precipitación media anual es menor a 700 mm., siendo su máxima incidencia en verano de hasta 160 mm. La temperatura media es de 18 a 22°C, siendo la mínima en enero con valores de hasta 12°C.



Semisecos Templados

Con lluvia invernal entre 5 y 10 mm., Se distribuye al al noreste del estado, cubriendo parcialmente a los municipios de Ojuelos y Lagos de Moreno. La lluvia media anual varía entre 500 y 600 mm., siendo el mes más lluvioso Julio con valores de 90 a 100 mm., y el más seco es Marzo con menos de 10 mm. La temperatura media anual varía entre 12 y 18°C, siendo la máxima en Mayo con valores entre 20 y 21°C, el mes más frío es Enero con valores de 12 a 13°C.



4.1.3 Orografía y Geología superficial.

Desde el punto de vista orográfico, el estado de Jalisco es atravesado en su mitad sur por tres sistemas montañosos: La Sierra Madre Occidental, el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur. En su porción centro y norte predominan llanuras y lomeríos, en uno de estos valles se localiza la Laguna de Chapala, la más grande de México (SPP, 1981).

La Geología superficial es definida por cuatro Provincias Geológicas: La Sierra Madre Occidental, Mesa del Centro, Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur.

La *Sierra Madre Occidental* presenta fundamentalmente rocas ígneas extrusivas del Terciario representadas por riolitas, basaltos, tobas y brechas volcánicas y conglomerados. En su paisaje encontramos también a los valles rellenos con sedimentos aluviales y residuales del Cuaternario. Al norte de esta zona y occidente de Mexquitic, aparece una zona del Cretácico formada por rocas sedimentarias de calizas estratificadas con lutitas.

En la provincia de la *Mesa del Centro* dominan las rocas ígneas extrusivas del Terciario formado por riolitas, tobas y brechas volcánicas. Existen también, al oriente de Lagos de Moreno, afloramientos de rocas ígneas intrusivas del Terciario formados por granito, granodiorita, diorita y sionita, rodeadas por rocas metamórficas del Triásico del tipo de filitas, pizarras y esquistos. Los valles son formados por sedimentos del Cuaternario y Terciario, representado este último por areniscas, conglomerados y pequeñas áreas de calizas cretácicas.

La provincia del *Eje Neovolcánico* es la más importante en cobertura estatal, es producto de la actividad volcánica de finales del Mesozoico y principios de Cenozoico dejando rocas ígneas extrusivas fundamentalmente. Los valles se han ido relleno con sedimentos aluviales del Cuaternario, formados por basaltos, cenizas, tobas y brechas volcánicas. En esta provincia destaca el valle de Chapala, donde se encuentra el lago más grande del país, así como en importancia industrial minera, los afloramientos calizos Cretácicos al sudeste de Tecolotlán.

La provincia geológica de la *Sierra Madre del Sur*, es formada por grandes macizos intrusivos del Cretácico y algunos del Terciario, constituidos por granitos, dioritas, granodioritas, gabros y diabasas; también se encuentran rocas extrusivas de riolitas, basaltos, tobas, brechas y cenizas al oriente de esta provincia. Los valles son rellenos por rocas sedimentarias del Cretácico, Terciario y Cuaternario, tales como lutitas, conglomerados, areniscas y calizas, mismos materiales que conforman la planicie costera hacia el Océano Pacífico. Finalmente, esta es la única provincia que presenta afloramientos metamórficos del Jurásico formados por esquistos y gneiss principalmente en su vertiente que drena al mar de la sierra de Mascota.

4.1.4 Hidrología.

En la zona de estudio que es el estado de Jalisco, existe la influencia de siete regiones hidrológicas de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CNA): Lerma-

Chapala-Santiago, Huicicila, Ameca, Costa de Jalisco, Armería-Coahuayana, Alto Río Balsas y el Salado (SPP, 1981).

La región hidrológica N° 12 o *Lerma-Chapala-Santiago* cubre aproximadamente al 50% del estado con una superficie aproximada a los cuarenta mil kilómetros cuadrados, es la de mayor actividad social, ya que afecta al 70% de la población. A su vez es dividida por nueve cuencas que se introducen parcialmente en la entidad: Río Lerma-Salamanca, Río Lerma-Chapala, Lago de Chapala, Río Santiago-Guadalajara, Río Santiago-Aguamilpa, Río Verde Grande, Río Bolaños, Río Huaynamota y Río Juchipila, cubriendo en total una superficie de 40,213.24 Km².

La Región Hidrológica N° 13 o *Región de Huicicila* en su porción que ingresa a la entidad corresponde a los ríos Tecomala, Cuale y Pitillal, con una superficie de 1,431.63 Km².

La Región Hidrológica N° 14 es compuesta por tres sistemas hidrológicos principales; Presa de la Vega-Cocula, Río Ameca-Río Atenguillo y Río Ameca-Ixtapa. Ocupa una superficie de 8,884.52 Km².

La Región Hidrológica N° 15 o *Costa de Jalisco*, es compuesta por tres sistemas hidrológicos: Río Chacala-Purificación, Río San Nicolás-Cuitzamala y Río Tomatlán-Tecuán, con una superficie de 11,770.69 Km².

La Región Hidrológica N° 16 o *Armería-Coahuayana*, es constituida por dos sistemas hidrológicos; el Río Coahuayana y el Río Armería, ocupando una superficie de 12,336.62 Km².

La Región Hidrológica N° 18 del *Alto Balsas*, corresponde a una porción pequeña de la misma, ya que se extiende primordialmente en estado de Michoacán y otros cinco estados, en Jalisco se encuentra la subcuenca intermedia del Río Bajo Tepalcatepec en el inicio del Río Plátanos, con una superficie de 4,042.72 Km².

Finalmente la Región Hidrológica N° 37 o "El Salado", es una pequeña porción al norte de Jalisco de la cuenca que mayormente se extiende en Zacatecas, no existiendo ríos para nuestra zona de estudio, cubre una extensión de 390.67 Km².

TABLA 14 REGIONES HIDROLÓGICAS

REGIÓN HIDROLÓGICA	CUENCA	SUPERFICIE Km ²	SUBCUENCAS INTERMEDIAS
RH 12	LERMA-SALAMANCA	1614.32	RÍO TURBIO-PRESA PAPALOTE
	LERMA-CHAPALA	2044.55	RÍO ANGULO-BRISEÑAS, BRISEÑAS- CHAPALA, RÍO HUÁCATO
	LAGO DE CHAPALA	5127.43	RÍO SAHUAYO, LAGO DE CHAPALA, LAGUNA DE SAN MARCOS, LAGUNA DE SAYULA, LAGUNA DE ZAPOTLÁN.
	SANTIAGO-GUADALAJARA	9641	LAGO DE CHAPALA-CORONA, CORONA-RÍO VERDE, RÍO VERDE-PRESA STA. ROSA, STA. ROSA-RÍO BOLAÑOS, RÍO LA LAJA, RÍO CALDERÓN, RÍO GIGANTES, RÍO CUIXTLA Y RÍO CHICO.
	SANTIAGO-AGUAMILPA	835.95	LAGUNA DE MAGDALENA-LAGUNA EL PALO VERDE
	RÍO VERDE GRANDE	11801.42	RÍO AGUASCALIENTES, RÍO VERDE GRANDE, RÍO TEPATITLÁN, RÍO DEL VALLE, RÍO SAN MIGUEL, RÍO DE LOS LAGOS, RÍO GRANDE, RÍO ENCARNACIÓN.
	RÍO JUCHIPILA	583.39	RÍO JUCHIPILA-MALPASO, RÍO JUCHIPILA- MOYAHUA, RÍO MEZQUITAL.
	RÍO BOLAÑOS	5051.93	RÍO VALPARAISO, RÍO BOLAÑOS ALTO, RÍO CARBONERA, RÍO TLALTENANGO, RÍO COLOTLÁN, RÍO CHICO Y RÍO TEPETONGO.
	RÍO HUYNAMOTA	3513.23	RÍO HUYNAMOTA, RÍO ATENGO, RÍO HUICHOL, RÍO SAN JUAN Y RÍO HUEJUQUILLA.
	RH 13	HUICICILA: RÍO CUALE-PITILLAL	1431.63
	PRESA DE LA VEGA-COCULA	2151.58	RÍO COCULA Y RÍO SALADO.
RH 14	RÍO AMECA-RÍO ATENGUILLO	3574.03	RÍO ATENGUILLO Y RÍO AMECA-PIJINTO
	RÍO AMECA-IXTAPA	3158.91	RÍO TALPA, RÍO MASCOTA Y RÍO AMECA- IXTAPA.
	RÍO CHACALA-PURIFICACIÓN	3925.47	RÍO CHACALA Y RÍO PURIFICACIÓN
RH 15	RÍO SAN NICOLÁS-CUITZAMALA	3870.5	RÍO SAN NICOLÁS Y RÍO CUITZAMALA.
	RÍO TOMATLÁN-TECUÁN	3974.72	RÍO TOMATLÁN, RÍO MISMALOYA Y RÍO TECUÁN.
RH 16	RÍO COAHUAYANA	4511.57	RÍO AHUAJULO Y RÍO COAHUAYANA
	RÍO ARMERÍA	7825.05	RÍO ARMERÍA, RÍO TUXCACUESCO Y RÍO AYUQUILA.
RH 18	RÍO TEPALCATEPEC	4042.72	RÍO PLÁTANOS-TEPALCATEPEC
RH 37	EL SALADO	390.67	-

4.1.5 Suelos.

El estado de Jalisco presenta una gran diversidad en sus tipos de suelos, lo anterior debido principalmente a sus contrastes en la geología y relieve.

Los suelos más abundantes son los Regosoles y los Faeozems con el 27 y 21% de cobertura territorial respectivamente. Con menor proporción superficial les siguen los Litosoles (13.5%), Luvisoles (9.8%), Vertisoles (7.3%), Cambisoles (7%) y Planosoles (6.7%). De hecho, en estos tipos de suelos encontramos la actividad agrícola más importante del estado.

A continuación se describe brevemente, de acuerdo a la Base Referencial del Recurso Suelo (FAO 1999).

Tabla 15 Unidades de Suelos

UNIDAD DE SUELO	SUPERFICIE EN Ha.	%
Acrisoles	118,551	1.51%
Andosoles	98,305	1.25%
Cambisoles	547,862	6.99%
Chernozems	20,536	0.26%
Faeozems	1'630,785	20.81%
Fluvisoles	43,048	0.55%
Gleysoles	6,166	0.08%
Kastañozems	32,903	0.42%
Litosoles	1'055,821	13.47%
Luvisoles	770,479	9.83%
Planosoles	525,143	6.70%
Regosoles	2'119,702	27.05%
Rendzinas	62,401	0.80%
Vertisoles	575,417	7.34%
Xerosoles	72,677	0.93%
Yermosoles	7,044	0.09%
Zolonchaks	37,908	0.48%

Acrisoles (AC). Son suelos rojos-amarillentos, por lo regular ubicados en valles intermontanos diseminados por todas las sierras del estado cubriendo una superficie de 118,551 Ha. Son de texturas francas y arenosas en superficie, su contenido arcilloso se hace evidente en su horizonte interno (B). Son suelos antiguos que han permanecido bajo intemperismo desde el Pleistoceno tardío, por lo tanto han lavado gran parte de sus bases del complejo de intercambio, siendo característico que el valor de saturación es menor de 50% en la mayor parte del perfil de suelos entre los 25 y 100 cm., su capacidad de intercambio catiónico es menor a 24 cmol_c kg⁻¹ de arcilla en todo su espesor (por NH₄OAc 1 M) y muy ácidos. Son usados en silvicultura y ganadería extensiva, ocasionalmente para cereales como avena, cebada etc. Son de fertilidad baja y muy susceptibles a la erosión dada su naturaleza textural arenosa y franca, y su topografía de

relieves ondulados, así como también a la degradación química pudiendo presentar toxicidad por aluminio.

Andosoles (AN). En el presente trabajo, este tipo de suelos es referido a los *Andosoles sil-ándicos o alu-ándicos*, de acuerdo a la nueva terminología de la FAO (FAO 1999), cubriendo 98,305 Ha., Estos suelos se caracterizan por ser de pHs neutros los sil-ándicos y ácidos los alu-ándicos, pero en ambos casos presentan fijación de fosfatos en un 70% o más, siendo su fundamental característica diagnóstica. Son suelos poco desarrollados o inmaduros de origen volcánico, de naturaleza arenosa, baja densidad y se distribuyen principalmente en las Sierras del Tigre y Tapalpa. Se usan fundamentalmente para la silvicultura. Son frágiles a la erosión dada su baja coherencia cuando están desnudos, su fertilidad es baja y el uso para la agricultura es muy limitado por sus bajos rendimientos.

Cambisoles (CM). Son suelos predominantemente cafés o pardos, de texturas medias y moderadamente desarrollados, por lo general ocupan valles a muy diversas altitudes, ocupan 547,862 Ha., son de profundidades generalmente mayores a los 50 cm., se usan principalmente en la agricultura con rendimientos muy aceptables donde hay precipitación suficiente o en su defecto agua de riego. Son suelos moderadamente fértiles pero frágiles a la degradación física (son erodables) y química dado que su saturación de bases es menor a 50%.

Chernozems (CH). Por lo general son suelos de color café oscuro y ricos en materia orgánica en superficie, presentan carbonatos secundarios a desde los 50 cm de profundidad, son de textura migajón arcillosa predominantemente, los encontramos cubriendo buena parte del *Llano en Llamas* al sur de San Gabriel, ocupan una superficie de 20,536 Ha., se usan en la ganadería extensiva principalmente, la vegetación nativa es de matorral dadas las precipitaciones menores a 600 mm., actualmente se ha intensificado el cultivo del agave con buenos resultados. Son suelos muy susceptibles a encostrarse debido a una labranza excesiva, lo cual los hace muy erodables.

Faeozems (PH). Estos suelos son de los más abundantes, ya que ocupan casi un 21% de la superficie estatal, con 1'630,785 Ha., son preferentemente agrícolas y se caracterizan por ser suelos cafés, de texturas medias, ricos en materia orgánica, medianamente profundos con una saturación de bases mayor al 50% y libres de carbonatos hasta los 100 cm., no obstante, se consideran suelos poco desarrollados la no mostrar indicios de horizonte "B". Se usan en la agricultura intensamente y son muy erodables.

Fluvisoles (FL). Estos suelos se desarrollan en las márgenes de los ríos, y se caracterizan por presentar discontinuidades litológicas muy variadas en textura, pudiendo ser arenas, cantos rodados y hasta capas de texturas finas, las cuales son debidas a las deposiciones sucesivas de los ríos en los diferentes períodos. Si bien su extensión es reducida, con apenas 41,039 Ha., en el estado, su importancia es alta debido a que son muy fértiles. Son suelos muy frágiles a la erosión, pero por lo regular son de fácil recuperación, dada la profundidad de materiales primarios poco intemperizados.

Gleysoles (GL). Corresponden a suelos ubicados en depresiones con drenaje deficiente, lo cual les confiere moteados grises en húmedo desde los primeros 50 cm., por lo regular son de texturas finas y de colores grisáceos a negros, pero también los encontramos de texturas gruesas. Ocupan una proporción muy baja en el estado, ya que apenas cubren 6,166 Ha., diseminadas por todo el estado. Su uso es ara la vida silvestre o apenas para pastizales. Pueden tender a la degradación química por Salinización.

Kastañozems (KS). Son suelos cafés con un horizonte superficial rico en materia orgánica, son de texturas medias, moderadamente profundos o limitan con algún tipo de roca por lo general a 90 cm o más. Son suelos moderadamente desarrollados ocupando valles amplios al norte de los Altos de Jalisco en aproximadamente 32,903 Ha. Se encuentran ocupados con bosques bajos de leguminosas y pastos, son usados para la agricultura de temporal y la ganadería extensiva principalmente. Son considerados fértiles pero frágiles a la degradación física.

Litsoles (LP). En la nueva terminología de la FAO corresponden a los *Leptosoles*, los cuales se caracterizan por ser suelos muy someros, cuya profundidad a la roca es de 25 cm., o menos; se consideran inmaduros o muy poco desarrollados. Su importancia radica en la extensión, la cual es de 1'055,821 Ha., y que se encuentran intensamente explotados tanto por agricultura de temporal como por ganadería extensiva. Son suelos muy frágiles a la degradación física, sobre todo por estar en un relieve ondulado de fuertes pendientes.

Luvisoles (LV). Son suelos rojos y café rojizos de texturas finas y con un horizonte "B" fuertemente diferenciado, por lo que son considerados maduros o bien desarrollados. Pueden considerarse en un estado evolutivo cercano a los Acrisoles. Su pH es ligeramente ácido y su capacidad de intercambio catiónico es superior a 24 cmol_c kg⁻¹ de arcilla en todo su espesor (por NH₄OAc 1 M), siendo estas sus principales diferencias con respecto a los Acrisoles. Son de uso muy intenso en la producción de cereales, de maíz y sorgo con excelentes rendimientos, constituyendo el paisaje típico de los "Altos de Jalisco". Son muy susceptibles a la degradación química por acidificación y toxicidad por aluminio.

Planosoles (PL). Estos suelos están muy localizados en la parte norte del estado, son de colores pardos y café grisáceos claros, de texturas medias de profundidad más bien limitada a 50 cm., o menos, ya que presentan un tepetate silíceo muy endurecido y cementado, esto los hace aparecer en el paisaje con vegetación nativa de matorral y pasto o bien con agricultura de temporal marginal, ocupan una extensión de 525,143 Ha., a lo anterior se agrega que están en un clima frío con incidencia de heladas. Estos suelos incluyen a los *Durisoles (DU)* en la nueva clasificación de la FAO.

Regosoles (RG). Son todos aquellos suelos inmaduros con apenas un horizonte "A" por lo general de textura gruesa. En esta unidad están incluidos a todos aquellos suelos denominados como *Andosoles vítricos* de la nueva denominación de la FAO, los cuales aparecen en la presente cartografía aún sin diferenciar, ya que se ha tomado la misma de

mapas del INEGI anteriores a 1999 aún sin actualizar. Se incluyen por lo tanto a suelos derivados de cenizas volcánicas de pH's ligeramente ácidos con un horizonte "A" empardecido y limitando al fondo con materiales diversos, pudiendo ser gravas, arenas o pómez. Su uso es agrícola de importancia alta en la producción de maíz, ya que aún se incluye a los valles de Tesistán-Zapopan, Tala y Ciudad Guzmán. Ocupan una extensión de 2'119,702 Ha. Son suelos muy erodables por su consistencia blanda, poco agregados e intensamente usados en la agricultura de temporal.

Rendzinas (RZ). Son suelos delgados con un horizonte "A" que limita a poca profundidad con una capa cálcica, pudiendo ser esta rocosa o poco cementada o blanda. En la nueva clasificación de la FAO, corresponden a los *Calcisoles (CA)*. Se ubican sobre formaciones Cretácicas bien representadas en los alrededores de Tecolotlán al centro del estado y Zapotiltic al oeste de Ciudad Guzmán. Por lo regular son suelos en relieves escarpados y de uso muy limitado a la silvicultura, pero se pueden encontrar pequeñas inclusiones en otras zonas con relieves planos bajo intenso uso agrícola con buenos rendimientos. Son suelos de naturaleza muy erodable por su escasa profundidad en relieves escarpados, ocupan 62,401 Ha.

Vertisoles (VR). Son suelos negros y grises muy arcillosos, más o menos profundos, ubicados en antiguos lechos lacustres, cuya característica fundamental es su enorme poder de agrietamiento y micro relieve gilgay. Se distribuyen principalmente en la ciénega de Chapala. Ocupan una extensión de 575,417 Ha., y están intensamente explotados en la agricultura de riego y temporal con altos rendimientos tanto en cereales como en hortalizas. Son suelos con elevada tendencia a la degradación química por Salinización principalmente.

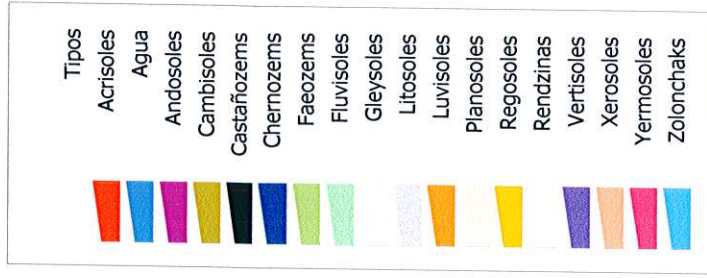
Xerosoles y Yermosoles. Suelos en régimen de humedad xérico o muy seco; estos no se mencionan en la nueva clasificación de la FAO, y anteriormente se ubicaban al norte del estado. Al igual que otras unidades del norte solo se usan para la vida silvestre y la ganadería extensiva, juntos ocupan 79,721 Ha., son muy sensibles a la erosión por sobre pastoreo.

Zolonchacs (SC). Son suelos salinos que se ubican principalmente en el vaso lacustre endorreico de las lagunas de Zacoalco y Sayula en el centro del estado. Dado que su uso es predominantemente de vida silvestre, no se hace diferencia de los *Zolonetz (SZ)*. Son suelos en un estado de degradación química por Salinización avanzado, no tienen otras posibilidades de uso, ocupan una extensión de 37,908 Ha.

Mapa de las principales unidades de suelos a partir de la Carta Edafológica digital del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, a escala 1:250,000.

Mapa 1

Tipos de Suelos



Universidad de Guadalajara

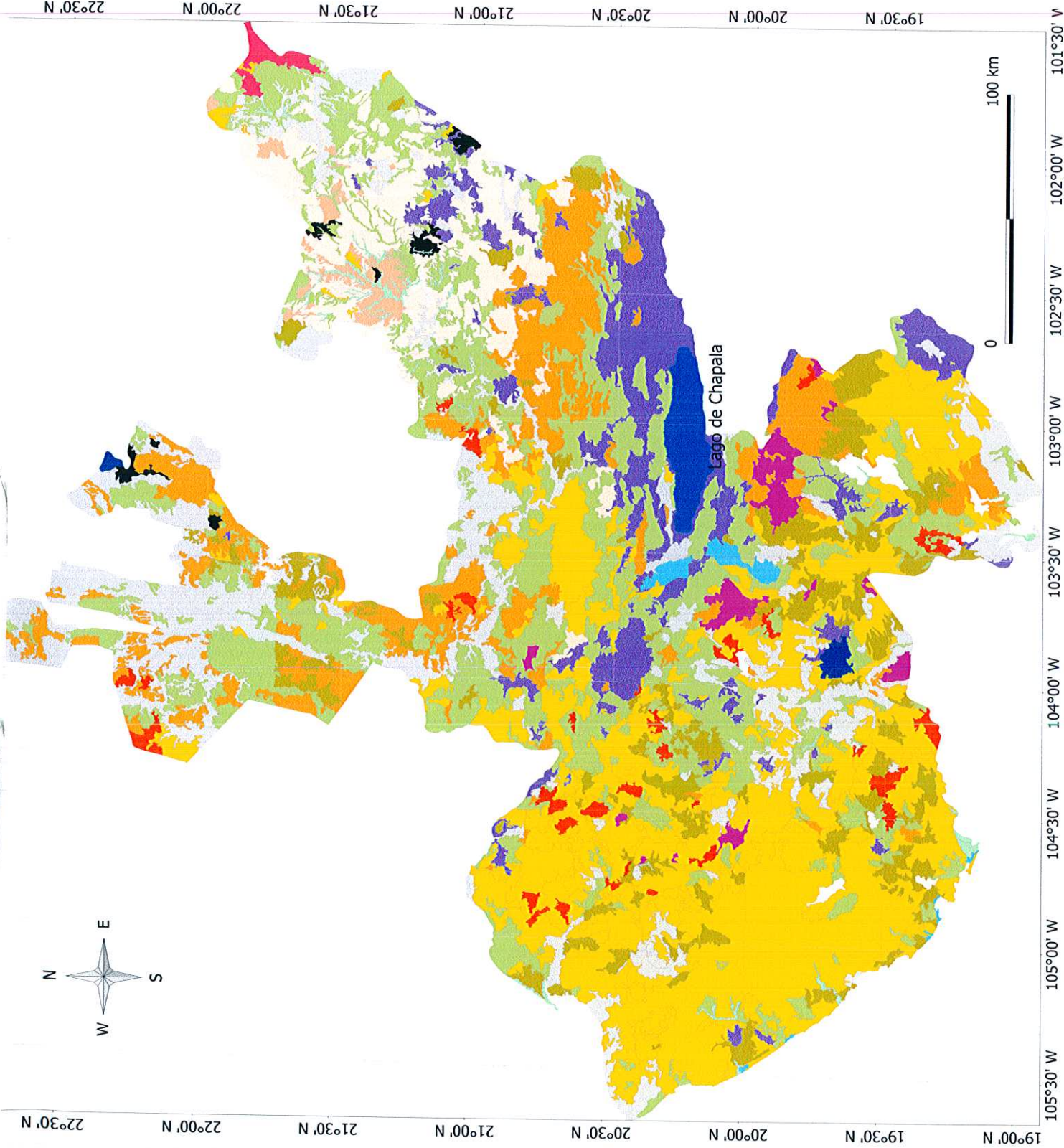
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Maestría en Manejo de Areas de Temporal.

Tesis de Grado
"Degradación Potencial de los Suelos en Jalisco"

Francisco Copado González

Diciembre del 2005



4.1.6 Cartografía.

Se ha tomado la metodología de la FAO para la evaluación de la degradación de los suelos (FAO 1975, 1978 y 1980).

El soporte cartográfico proviene de la cartografía digital de la Dirección General de Geografía del INEGI (INEGI 1999) a escalas 1:250,000 formando un mapa base con la topografía y de la Carta Digital Edafológica a escala 1:250,000 (INEGI, 2000) para la agrupación de las principales unidades de suelos. Se ha delimitado al estado de Jalisco sobre en cartografía digital topográfica creando un primer mapa procesado con Civil Series R 3 (Autodesk, Inc. 2002), se recortaron las líneas fuera de su límite para facilitar a los procesos que le precederían. Con el comando de “*modelador de terrenos*” en Autodesk CS R3 (Autodesk, Inc. 2002), se clasificaron las superficies del estado por sus pendientes de acuerdo a las categorías de la FAO (FAO, 1978, 1980), para ser aplicadas en el riesgo de erosión hídrica (seis clases de topografías), riesgo por degradación química (tres clases de topografías) y para el riesgo por degradación estructural (tres clases de topografías). A partir de la carta edafológica digital (INEGI, 2000), se trasladaron los límites de los tipos principales de suelos al mapa base del presente estudio, en este nuevo mapa, se tuvo principal atención a las unidades de suelos (Mapa N° 1) así como a sus clases texturales, ya que con esa información se han formado: Una carta digital de “Clases de erosionabilidad por tipo de suelos”; La carta de tipos texturales para estimar el riesgo por erosión hídrica; Carta de tipos texturales para el cálculo por degradación química; Carta de tipos de arcilla para el cálculo del riesgo por degradación química; Carta de tipos texturales para el cálculo de la degradación biológica y Carta de contenidos de CaCO_3 para el cálculo de riesgo por degradación biológica.

4.1.7 Factores climáticos.

La información climática procede de 116 estaciones del estado de Jalisco con datos de 43 años (Ruiz, 2005). A cada estación se le han calculado los siguientes parámetros: El factor de agresividad climática “*R*” (FAO, 1980); El factor “*C_{Li}*” (FAO 1980) como agresividad climática para la degradación química por lixiviado de bases y el Factor “*K₂*” o índice estimador de la velocidad de mineralización de la materia orgánica estable recomendado por la FAO (FAO, 1978) para el cálculo del riesgo para la degradación biológica. La Degradación por Erosión Eólica, no es posible estimarla con la metodología actual ya que las estaciones climatológicas no reportan velocidad de viento.

Cada estación ha sido ubicada en el mapa base topográfico de acuerdo a sus coordenadas geográficas.

Se han generado mapas individuales que representan el riesgo individual para cada uno de los factores del paisaje que intervienen en el riesgo potencial para los principales procesos de degradación de los suelos. Así para estimar el Riesgo de Erosión Hídrica se han generado mapas de los factores por Textura, Topografía y Tipo de Suelos.

Para estimar el riesgo potencial de Degradación Química por Lixiviación de Bases se han generado mapas de los factores de Texturas, Topografía y tipos de Arcillas.

Para estimar el riesgo de la Degradación de Estructura se han generado mapas de los tipos de Topografía y la Agresividad Climática.

Para estimar el riesgo potencial de la Degradación Biológica por Mineralización de la Materia Orgánica se han elaborado mapas de Tipos de Textura y Tipos de Carbonatos.

El procedimiento para estimar valores de riesgo puntuales resultaría de los siguientes procesos (FAO, 1980).

- **Riesgo de Erosión Hídrica Potencial (*Ehp*).**

$Ehp = R \times S_1 \times Se \times T_1$ Expresado en toneladas de suelo por hectárea y por año.

.. donde R es la agresividad climática.

S_1 es clase textural de los suelos.

Se es la Clase de erosionabilidad por tipo de suelos.

T_1 es el factor topografía en la erosión hídrica.

- **Riesgo de Lixiviación de Bases (*Li*).**

$Li = C_{Li} \times S_2 \times Ar \times T_2$ expresado en porcentaje de pérdida anual de bases de los suelos.

.. donde C_{Li} es el factor climático en la lixiviación de bases.

S_2 es la clase textural de los suelos en la lixiviación de bases.

Ar es el tipo de arcilla en la lixiviación de bases.

T_2 es el tipo de topografía en la lixiviación de bases.

- **Riesgo de Degradación de la Estructura de los Suelos.**

$De = S_1 \times S_e \times T_3 \times Cf$ expresada en disminución de la permeabilidad en porcentaje anual.

.. donde S_1 es clase textural de los suelos usada en el cálculo para la erosión Hídrica.

Se es la Clase de erosionabilidad por tipo de suelos usada en el cálculo para la Erosión Hídrica.

T_3 es el factor topografía en la gradación estructural.

Cf es la Agresividad climática para la degradación estructural.

- **Riesgo de Degradación Biológica (*Mo*).**

$Mo = K_2 \times S_3 \times Ca$ expresado en porcentaje de mineralización anual de materia orgánica estable.

donde K_2 es el índice potencial de mineralización de humus.

S_3 es la clase textural de los suelos en la degradación biológica.

Ca es la clase de suelos por su contenido de carbonatos.

5 Resultados y discusión

5.1 Cálculos de las variables climáticas

En la Tabla 16 se presentan los resultados de calcular los factores de: Agresividad climática “*R*” para la estimación potencial de erosión hídrica; El factor “*C_{Li}*” como agresividad climática para la degradación química por lixiviado de bases y el Factor “*K₂*” o índice estimador de la velocidad de mineralización de la materia orgánica estable para el cálculo del riesgo para la degradación biológica.

TABLA 16 Resultado de los cálculos de los Factores Climáticos

Nº de estación	Nombre de la Estación	Localización		Factor R	Factor <i>C_{Li}</i>	Factor <i>K₂</i>
		Longitud Oeste	Latitud Norte			
		X°	Y°			
114	Acatlán de Juárez	103.5833	20.4167	144.79	1.52	4.57
214	Achimec, Huejúcar	103.2333	22.3833	104.67	0.00	3.11
314	Ahualulco de Mercado	103.9667	20.6833	153.80	0.98	4.93
414	Ajojúcar, Teocaltiche	102.4333	21.4333	110.72	0.33	3.50
514	Ameca	104.0500	20.5500	156.76	1.14	4.87
614	Antonio Escobedo	104.0000	20.8000	183.89	3.17	4.83
714	Apazulco, La Huerta	104.6333	19.4833	188.29	3.02	8.25
814	Apozol, Yahualica	102.8167	21.0167	146.69	0.90	3.53
914	Atemajac de Brizuela	103.7167	20.1333	144.60	2.86	3.80
1014	Atenguillo	104.4833	20.4167	188.35	2.70	4.68
1114	Atequiza, Ixtlahuacán de los Membrillos	103.1333	20.3833	162.00	1.24	4.46
1214	Atotonilco	102.5167	20.5500	167.87	1.70	4.12
1314	Atoyac, Atoyac	103.5167	20.0000	107.26	0.00	4.38
1414	Autlán de Navarro	104.3500	19.7667	110.61	0.39	5.97
1514	Bocas, Mezquitic	103.7167	22.4000	106.72	0.14	4.36
1614	Bolaños	103.7833	21.8167	94.95	0.00	6.02
1714	Cajón de Pena, Tomatlán	105.1167	20.0000	248.36	6.10	9.40
1814	Calera, Teocaltiche	102.6000	21.5167	106.98	0.00	2.73
1914	Canoas, Tolimán	103.9167	19.5833	79.12	0.00	6.60
2014	Casallanta, Colotlán	103.3500	22.0500	137.26	0.51	3.78
Continúa.....						
Nº Est.	Nombre de estación	LW	LN	R	<i>C_{Li}</i>	<i>K₂</i>

2114	Casimiro Castillo	104.4500	19.6167	325.29	9.85	10.27
2214	Cihuatlán	104.5500	19.2500	174.61	2.17	9.09
2314	Colotlán	103.2667	22.1000	115.51	0.19	3.52
2414	Comanja de Corona, Lagos de M.	101.7167	21.3167	125.33	0.00	3.20
2514	Contla, Tamazula	103.3500	19.6833	193.16	4.27	6.11
2614	Corrinchis, Mascota	104.7833	20.5000	214.22	5.44	4.64
2714	Cuatitlán	104.3667	19.4500	294.16	9.66	11.79
2814	Cuiztuala, La Huerta	104.9667	19.4167	125.97	0.63	8.39
2914	Cuixtla, San Cristobal de la Barranca	103.4167	21.0833	169.46	1.36	7.02
3014	Cuquío	103.0333	20.9333	152.42	1.68	3.58
3114	Chapala	103.1762	20.2995	185.09	2.77	4.14
3214	Ejutla	104.1667	19.9000	155.53	2.26	6.15
3314	El Bramador, Talpa de Allende	105.0833	20.2500	361.14	11.54	9.23
3414	El Corcovado, El Grullo	104.2667	19.8333	134.53	1.33	7.01
3514	El Cuale, Puerto Vallarta	105.2333	20.6000	292.76	8.35	7.89
3614	El Chante, Autlán	104.1833	19.7000	160.65	2.45	5.70
3714	El Fuerte, Ocotlán	102.7667	20.3000	165.56	2.11	4.32
3814	El Guayabo, Pihuamo	103.3833	18.9833	142.61	1.63	9.04
3914	El Nogal, Tapalpa	103.7333	19.8667	110.12	1.32	3.55
4014	El Pinito, Huejuquilla	103.9333	22.6000	113.19	0.22	3.51
4114	El Rodeo, Atenguillo	104.5667	20.3333	156.87	2.54	3.74
4214	El Rosario, Tuxcacuesco	103.8333	19.7000	96.82	0.00	6.81
4314	El Salto, San Martín Hidalgo	103.8500	20.5167	157.59	1.73	5.35
4414	El Tuito, Cabo Corrientes	105.3333	20.3167	331.19	9.69	6.57
4514	El Tule, Arandas	102.4167	20.7167	172.61	2.60	3.22
4614	Encarnación de Díaz	102.2333	21.5333	103.32	0.00	3.21
4714	Guadalajara	103.3500	20.6500	186.35	2.27	4.64
4814	Higuera Blanca, Tomatlán	105.1667	19.7000	134.26	0.78	7.65
4914	Hostotipaquillo	104.0500	21.1000	183.48	3.07	5.41
4014	Huascato, Degollado	102.2500	20.4833	154.07	1.26	4.39
5114	Huejuquilla El Alto	103.8833	22.6167	115.83	0.00	2.94
5214	Huerta Vieja, Ixtlahuacán de los M.	103.2333	20.3833	162.81	1.79	4.27
5314	Ixtlahuacan del Río	103.2333	20.8667	165.93	2.13	3.41
5414	Jalostotitlán	102.4667	21.1500	138.02	1.20	3.58
5514	jamay	102.7667	20.3000	150.37	1.07	3.42
5614	Jesús María	102.2167	20.6000	149.84	1.59	3.16
Continúa						
Nº Est.	Nombre de estación	LW	LN	R	C _{LI}	K ₂

5714	Jilotlán de los Dolores	103.0167	19.3667	151.11	0.00	6.93
5814	Jocotepèc, Jocotepec	103.4333	20.2833	138.06	0.93	3.59
5914	La Cuña, Yahualica	102.8167	21.0000	167.97	2.29	5.82
6014	La Desembocad, Puerto Vallarta	105.1500	20.7333	196.76	3.66	9.49
6114	La Experiencia, Guadalajara	103.3333	20.7333	178.23	2.84	4.86
6214	Lagos de Moreno	101.9167	21.3667	104.27	0.00	3.21
6314	La Huerta, La Huerta	104.6333	19.4833	188.29	3.02	8.25
6414	La Red, Tepatlán	102.8333	20.7167	174.35	2.26	3.66
6514	La Vega, Teuchitlán	103.8333	20.6000	167.98	2.29	5.82
6614	Magdalena	103.9667	20.9000	167.44	2.45	5.25
6714	Manantlán	104.2000	19.6167	220.27	5.59	0.37
6814	Mascota	104.7833	20.5167	166.12	2.67	5.38
6914	Mazamitla	103.0167	19.9000	164.37	4.32	3.22
7014	Mexticacán	102.7667	21.2667	130.23	0.02	3.10
7114	Michoacanejo, Teocaltiche	102.5833	21.5333	115.08	0.07	2.80
7214	Mixtlán	104.4000	20.4333	187.11	3.70	3.98
7314	Guadalajara II	103.3833	20.6667	189.12	3.62	4.32
7414	Ojuelos	101.5833	21.8667	85.60	0.00	2.22
7514	Palo Verde, Zapotlanejo	102.9667	20.6333	148.54	1.28	3.61
7614	Paso de Cuarenta, Lagos de Moreno	101.7333	21.5000	133.92	0.41	3.14
7714	Paso de Sabino, Teocaltiche	102.5167	21.3167	130.49	0.72	3.18
7814	Plan de Barrancas, Hostotipaquillo	104.2000	21.0333	190.93	2.25	6.60
7914	Poncitlán	102.9167	20.3833	160.13	1.71	3.97
8014	Presa de Hurtado, Acatlán de J.	103.6500	20.4667	145.38	1.26	4.00
8114	Presa la Duqueza, Lagos de Moreno	101.8333	21.7333	74.29	0.00	2.63
8214	Purificación, Purificación	104.6000	19.7167	309.47	9.05	8.12
8314	Quito, Tuxpan	103.3833	19.5167	154.87	2.31	6.00
8414	Quitupan	102.8833	19.9167	152.48	2.35	5.36
8514	San Bernardo, Teocaltiche	102.3833	21.6167	103.11	0.00	3.10
8614	San Diego de Alejandría	101.9833	20.9833	107.62	0.00	2.78
8714	Sn Gaspar de los Reyes, Jalost.	102.4833	21.2667	130.94	0.57	3.51
8814	San Gregorio, Gómez Farías	103.3500	19.8833	205.25	6.50	3.61
8914	San Marcos Tonila, Tonila	103.5500	19.4333	218.57	5.93	6.05
9014	San Miguel El Alto	102.4000	21.0000	136.87	1.02	3.36
9114	Santa María de los Angeles	103.2000	22.1667	128.95	0.59	3.55
Continúa						

Nº Est.	Nombre de estación	LW	LN	R	C _{Li}	K ₂
---------	--------------------	----	----	---	-----------------	----------------

9214	Santa Rosa, Amatlán	103.7000	20.9000	177.40	1.93	7.82
9314	Tacotán, Unión de Tula	104.3000	20.0333	127.33	1.14	5.18
9414	Tala	103.6833	20.6333	164.45	2.05	4.88
9514	Tamazula	103.2500	19.6833	179.35	3.85	5.93
9614	Tapalpa	103.7500	19.9333	123.68	2.06	3.55
9714	Tecalitlán	103.3000	19.4833	145.30	2.16	5.99
9814	Tecolotlán	104.0500	20.2000	119.87	0.69	6.32
9914	Tecomates, Casimiro Castillo	104.5000	19.5667	290.88	8.80	8.82
10014	Tenamaxtlán, Tenamaxtlán	104.1500	20.2167	159.51	2.71	5.07
10114	Tenzompa, Huejuquilla El Alto	103.9167	22.3667	123.15	0.14	2.87
10214	Teocaltiche, teocaltiche	102.5667	21.4000	104.55	0.08	3.25
10314	Tizapán El Alto, Tizapán El Alto	103.0500	20.1500	136.94	0.76	4.14
10414	Tlaquepaque	103.2833	20.6667	176.40	1.80	5.18
10514	Tomatlán, Tomatlán	105.2500	19.9333	149.83	1.59	9.19
10614	Tototlán, Tototlán	102.8000	20.5500	170.52	2.23	4.37
10714	Totuate, Mezquitic	103.7333	22.2833	117.82	0.12	4.34
10814	Tuxcacuesco	103.9833	19.7000	116.87	0.28	0.46
10914	Unión de San Antonio	102.0000	21.1333	122.86	0.04	3.08
11014	Unión de Tula, Unión de Tula	104.2667	19.9500	142.92	1.91	5.10
11114	Villa Guerrero, Villa Guerrero	103.4000	20.7333	184.27	2.04	4.82
11214	Villa Oregón, Villa Oregón	102.6833	21.1333	128.50	0.00	3.35
11314	Yahualica, Yahualica	102.8833	21.1833	139.96	0.00	3.12
11414	Zacoalco de Torres	103.5715	20.3895	99.55	0.00	4.19
11514	Zapopan, Zapopan	103.4000	20.7333	184.27	2.89	4.82
11614	Zapotlanejo, Zapotlanejo	103.0667	20.6333	171.80	1.84	4.18

5.2 Mapas de isolíneas para cada variable climática

En los Mapas 2, 3 y 4, muestran la distribución geográfica de las variables climáticas de la Tabla 16. Su escala de salida se ha reducido para efectos de impresión de la presente memoria.

Se aprecia que el Factor R , (Mapa 2) tiene una correspondencia directamente proporcional a la intensidad de lluvia, siendo menor en las zonas de baja precipitación, lo cual es lo esperado, dado que este factor estima la agresividad pluvial para cada sitio.

Ocurre aproximadamente lo mismo en la distribución del Factor C_{Li} (Mapa 3) siendo este una expresión de la intensidad climática en la lixiviación de bases.

El Factor K_2 , (Mapa 4) presenta una distribución con un gradiente en aumento a medida que se aproxima a la zona costera del estado.

El Mapa 5 presenta la distribución geográfica de seis tipos de topografía, que sirven para estimar el riesgo de Erosión Hídrica siendo los valores de índices más altos los valores de 8.0 y el de 11.0, cubriendo a las superficies con relieve más ondulado y con pendientes muy fuertes, localizado en las Sierra Madre Occidental y Sierra Madre del Sur así como sus piedemontes, donde los paisajes montañosos ofrecen un efecto combinado de longitud y grado de pendiente alto de la ecuación universal de erosión de suelos (EUPS, Wischmeier & Smith 1965), los valores de índice más pequeños son los que tiene valores de 0.15 y 0.35, que califican a los grandes valles. Las otras dos categorías de riesgo de erosión por topografía, se ubican en posiciones intermedias a estos dos valores aquí discutidos; de tal manera que, en conjunto, se aprecia que el Estado presenta una gama francamente amplia de riesgo de erosión por topografía, y esto, a su vez, significa que las medidas que debieran tomarse para afrontar este riesgo, serían muy diversas y considerando, desde luego, otros factores, como serían manejo de los cultivos, cantidad de lluvia y tipo de vegetación nativa, entre otros.

En el Mapa 6 se presenta la distribución del índice por textura de los suelos, representando los valores más altos el mayor riesgo de degradación. Se observa, como es razonable, que el mayor índice (0.3) corresponde a regiones cuyos suelos tienen texturas gruesas son las que ofrecen menor resistencia a la erosión (Pérez R. N., 1988). Al índice 0.2 corresponde la mayor parte de los suelos del estado, y en ellos predomina una textura de tipo medio, considerada como de valor intermedio en su resistencia a la erosión. Los valores de índice 0.1 corresponden a suelos con mayor resistencia a la erosión por ser de texturas finas. Desde luego que es de interés que a la categoría con valor de 0.3 corresponda la mayor superficie en el Estado; de aquí que ésta entidad sea comúnmente considerada como de alto riesgo de erosión o, inclusive, con problemas serios de la misma.

En el Mapa 7 se presenta la distribución de erodabilidad de suelos en el estado de Jalisco. La erodabilidad representa la susceptibilidad a la erosión de cada una de las unidades de suelo, de acuerdo con la descripción de FAO (Tabla 1). El mayor valor de este índice (2) corresponde, de acuerdo con esta fuente informativa, a aquellos suelos que, de acuerdo a la unidad que los identifica son Faeozems, Yermosoles para la Zona Altos, Regosoles, Fluvisoles y Faeozems en general para la parte Centro, Sur y Costa del Estado. Se ratifica la naturaleza de alto riesgo a la erosión en el estado de Jalisco.

Estado de Jalisco Mapa 2

Mapa de Isolíneas del Factor "R"
Agresividad Climática para estimar
la Erosión Hídrica Potencial.
A partir de datos de 116 estaciones
climatológicas.

Agresividad climática para estimar la "Erosión Hídrica Potencial"

Isolíneas para R
Valores]



0 > 1 arcmin

Universidad de Guadalajara

Centro Universitario de Ciencias
Biológicas y Agropecuarias

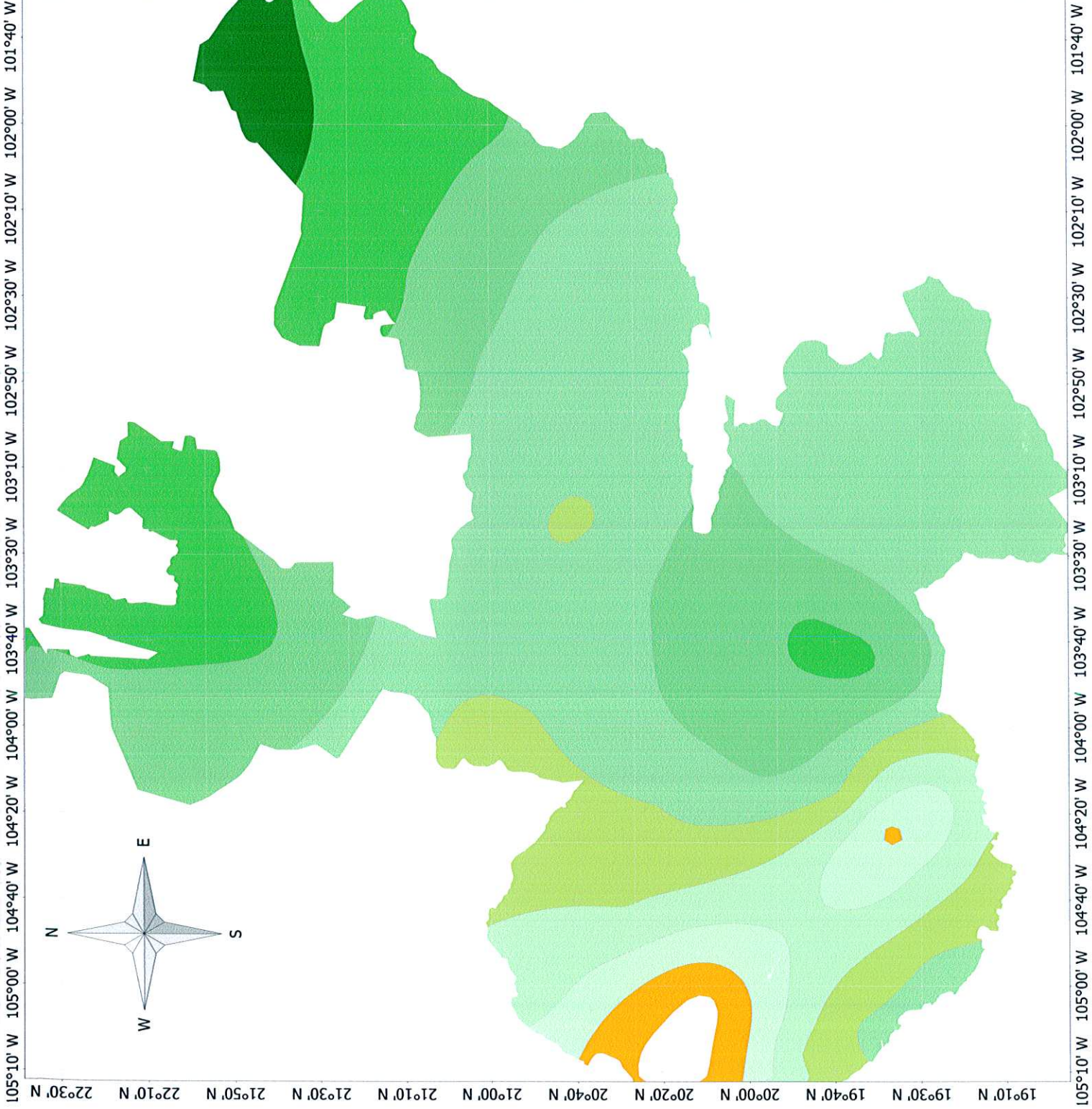
Maestría en Manejo de Áreas de
Temporal

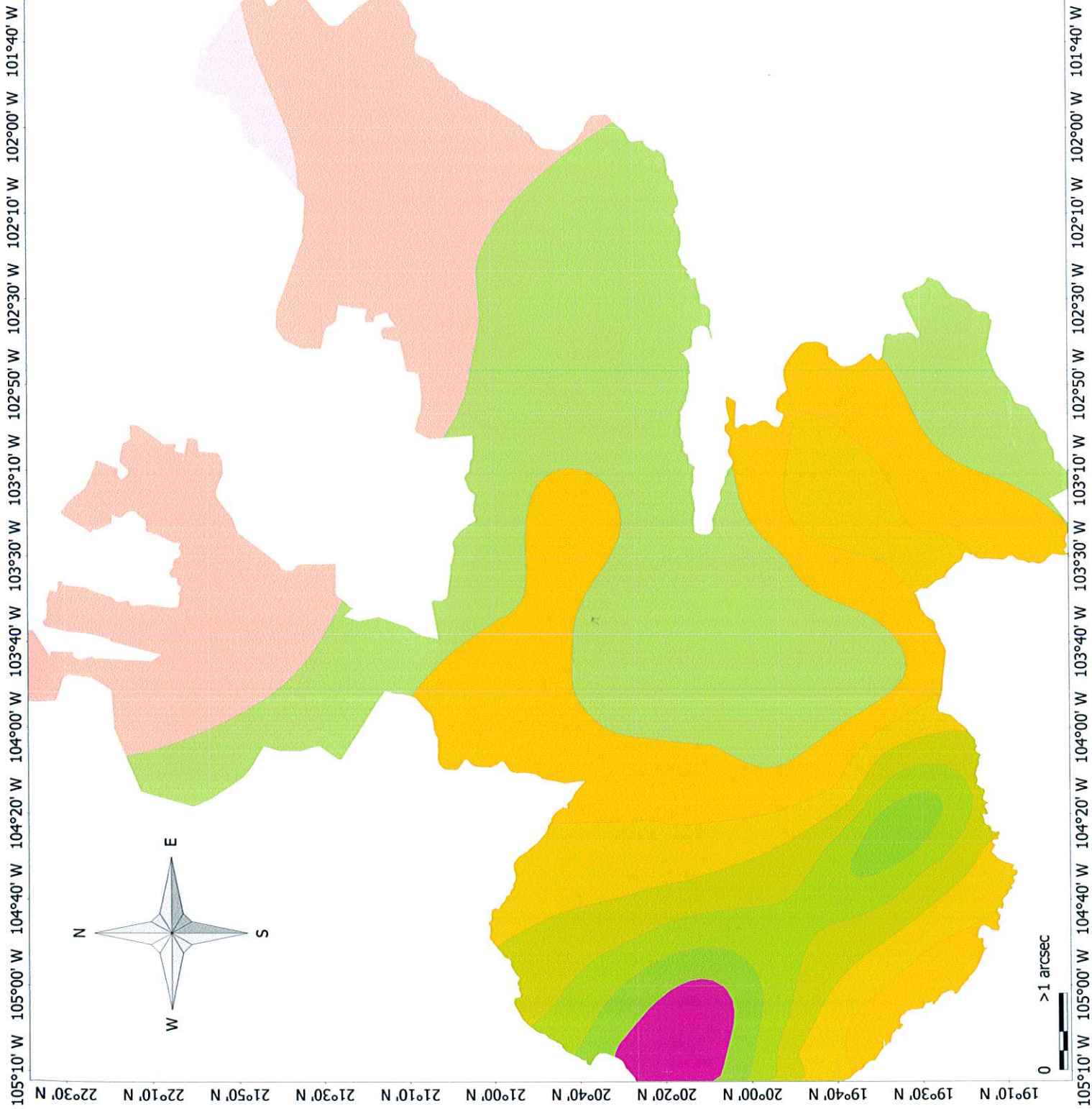
Tesis de Grado

"Degradación Potencial de los
Suelos de Jalisco"

Francisco Copado González

Diciembre del 2005

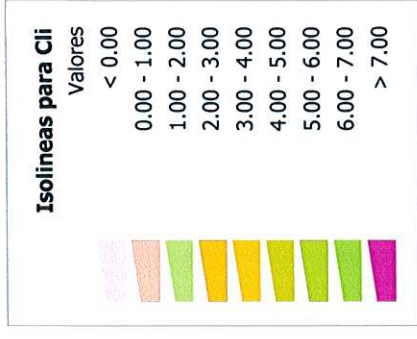




Estado de Jalisco Mapa 3

Mapa de Isolíneas del Factor "Cii"
Agresividad climática para la Degradación Química Potencial por lixiviación de bases en % anual, a partir de datos de 116 estaciones climatológicas

Degradación Química Potencial



Universidad de Guadalajara
Colegio de Graduados
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Maestría en Manejo de Áreas de Temporal
Tesis de Grado
Degradación Potencial de Los Suelos de Jalisco
Francisco Copado González
Diciembre del 2005

Estado de Jalisco Mapa 4

Mapa de Isolíneas del Factor "K2"
Agresividad climática para estimar
la Degradación Biológica Potencial
por mineralización de la materia
orgánica medida en % anual.

Degradación Biológica Potencial

Isolíneas para K2

Valores

- < 3.00
- 3.00 - 4.00
- 4.00 - 5.00
- 5.00 - 6.00
- 6.00 - 7.00
- 7.00 - 8.00
- 8.00 - 9.00
- > 9.00



0 > 2 arcmin

Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias
Biológicas y Agropecuarias

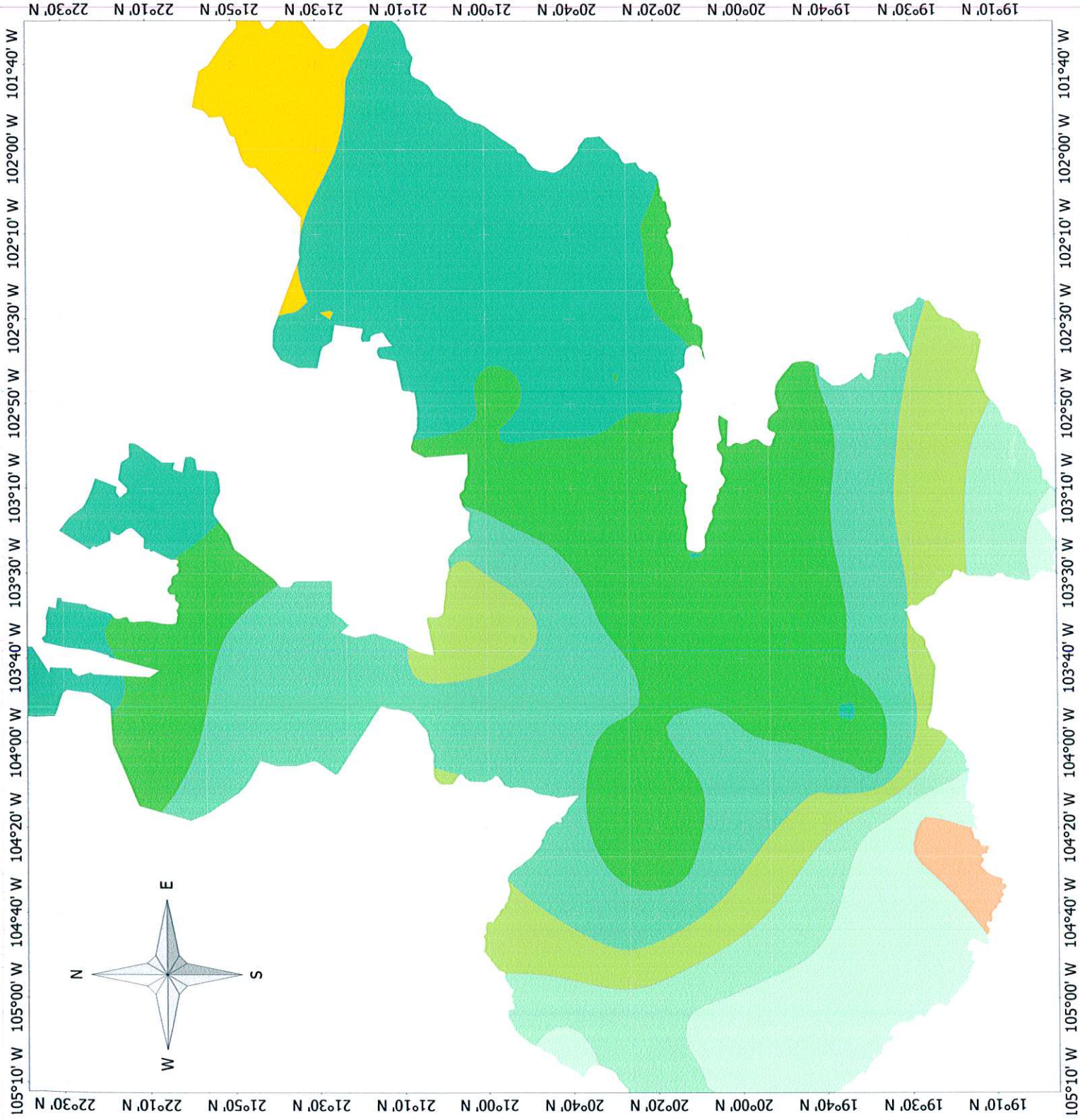
Maestría en Manejo de Áreas
de Temporal

Tesis de Grado

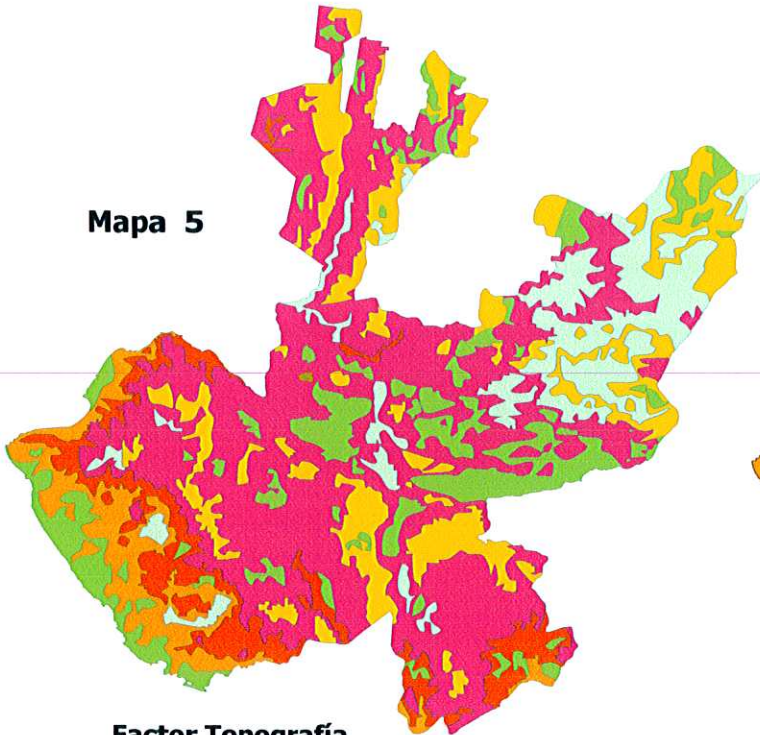
"Degradación Potencial de los
Suelos de Jalisco"

Francisco Copado González

Diciembre del 2005



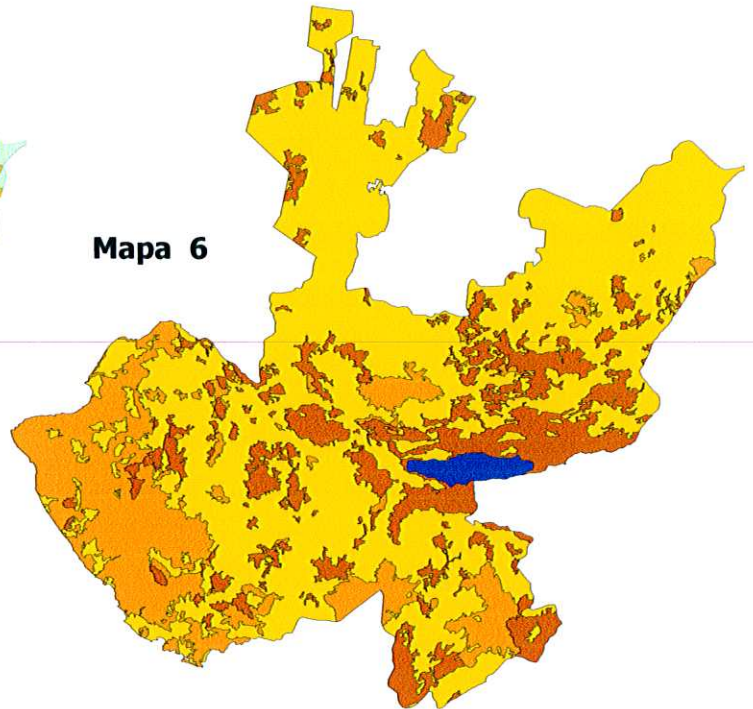
Mapa 5



Factor Topografía



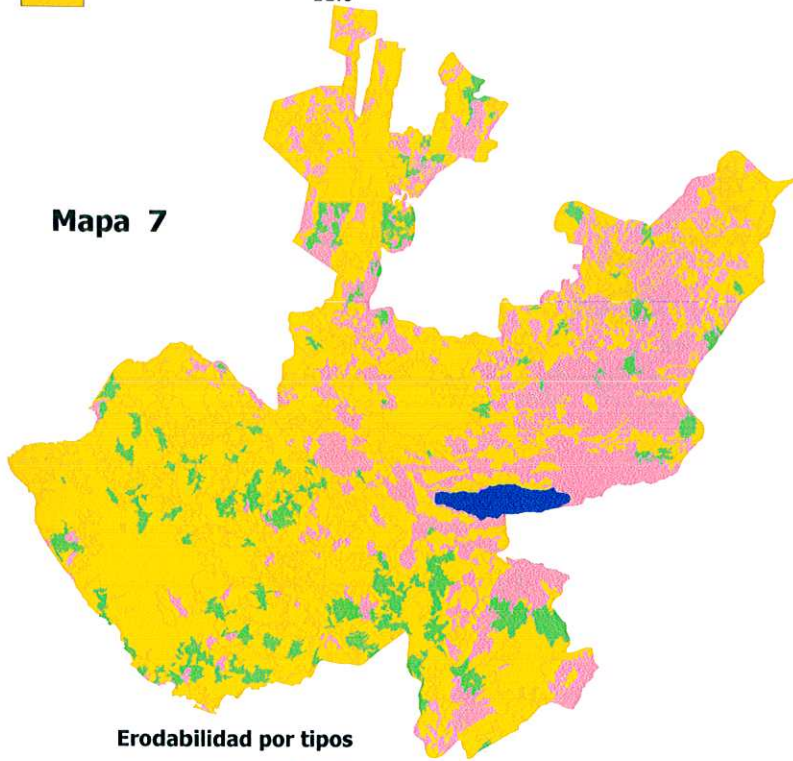
Mapa 6



Factor Textura



Mapa 7



Erodabilidad por tipos de Suelos



Universidad de Guadalajara

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Maestría en Manejo de Áreas de Temporal

Tesis de Grado

"Degradación Potencial de los Suelos de Jalisco"

Mapas de factores superficiales para el cálculo de la Erosión Hídrica Potencial

Francisco Copado González

Diciembre del 2005



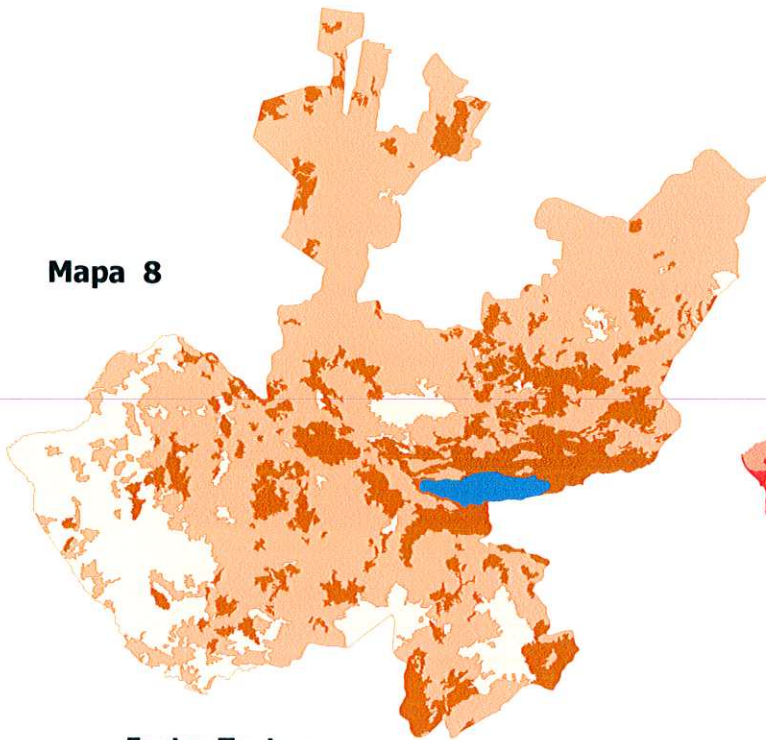
El Mapa 3 y los Mapas 8, 9 y 10 sirven para estimar la degradación potencial de los suelos por Lixiviación.

En el Mapa 8 se presenta la distribución de los índices de textura. El mayor índice (2) se localiza en los valles arenosos de Centro, Sur y Costa del Estado. El valor intermedio (1) es dominante pero su valor de índice es alto, dado que son datos que se usan para multiplicarse entre sí lo que demuestra la gran extensión de suelos con un riesgo considerable a la degradación por lixiviación, añadiendo un factor más para la degradación potencial de los suelos del Estado ya que cubre este factor a casi toda la región de los Altos, región Norte, Centro y Sur. En menor proporción el valor más bajo (0.5) que se distribuye en los valles arcillosos del estado de Jalisco como son la región Ciénega y Valle de Ameca principalmente.

En el Mapa 9 se presenta la distribución de tres tipos de topografía. En este caso el valor dominante (0.5) es el intermedio y se localiza en la parte Centro y Norte del Estado. El valor mayor (1) se distribuye en la Sierra Madre Occidental y Sierra Madre del Sur. El menor valor (0.25) para este factor se ubica en los principales valles del Estado, mesetas de la región Altos y la Planicie Costera.

En el Mapa 10 se muestra la distribución geográfica de los grupos de suelos por su tipo dominante de arcillas. Por tipos de arcillas el valor mayor que la presente metodología (FAO, 1980, 1984) es el de (1) y se distribuye principalmente en la zonas Costa, Centro y Norte lo cual indica la gran vulnerabilidad a la degradación química por lixiviación en una gran proporción del estado de Jalisco. El valor intermedio (0.5) de este factor se ubica en la región de los Altos. El valor menor (0.25) se distribuye en la zona centro-oriente del Estado en los suelos tipo Vertisol, Luvisol, Faezems y otros de texturas finas en valles y mesetas.

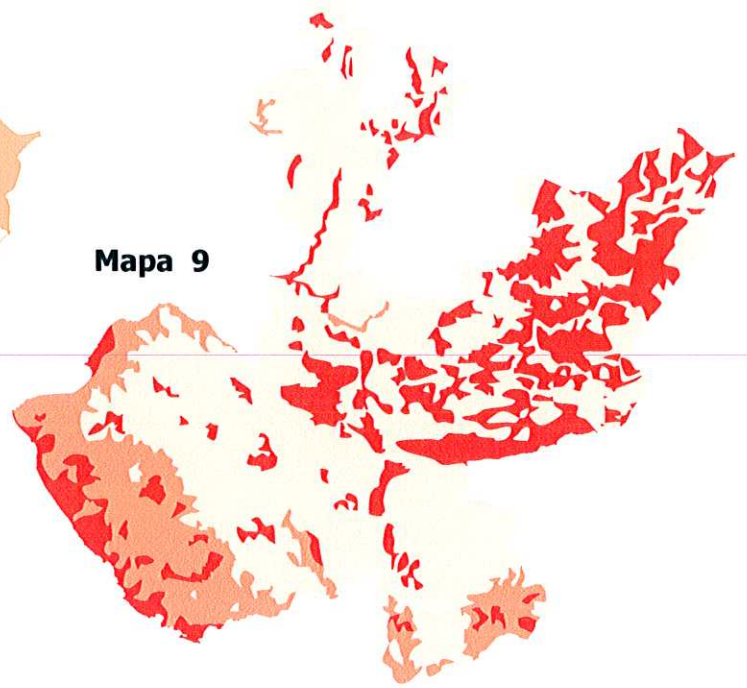
Mapa 8



Factor Textura



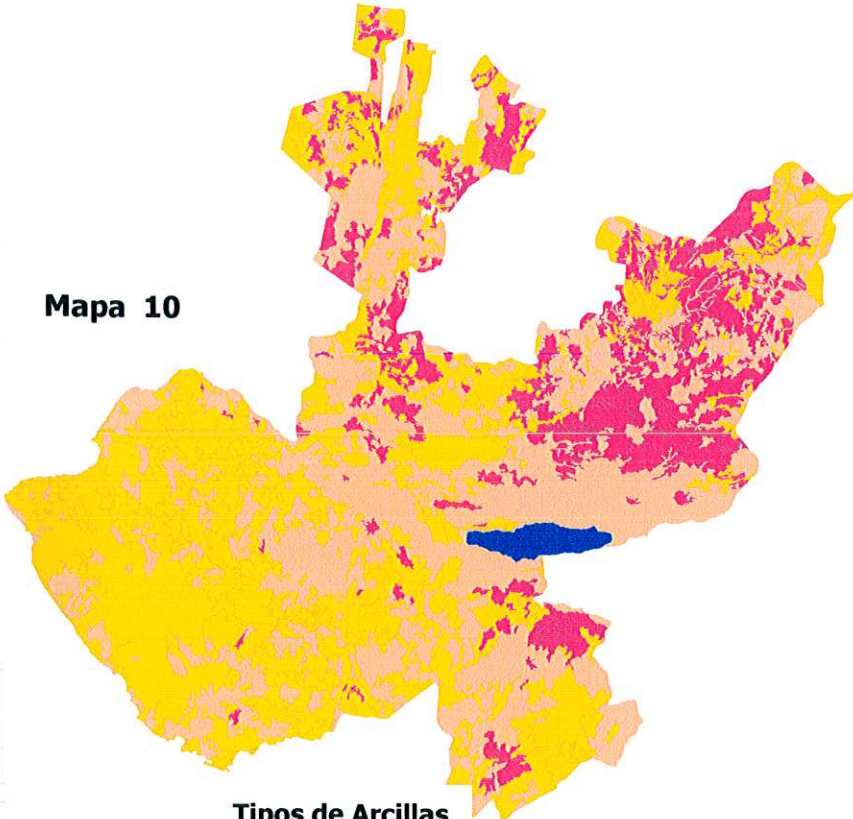
Mapa 9



Factor Topografía



Mapa 10



Tipos de Arcillas



Universidad de Guadalajara

Centro Universitario de Ciencias
Biológicas y Agropecuarias

Maestría en Manejo de Áreas de Temporal

Tesis de Grado

**" Degradación Potencial de
los Suelos en Jalisco "**

**Mapas de factores superficiales para el
cálculo de la Degradación
Química Potencial**

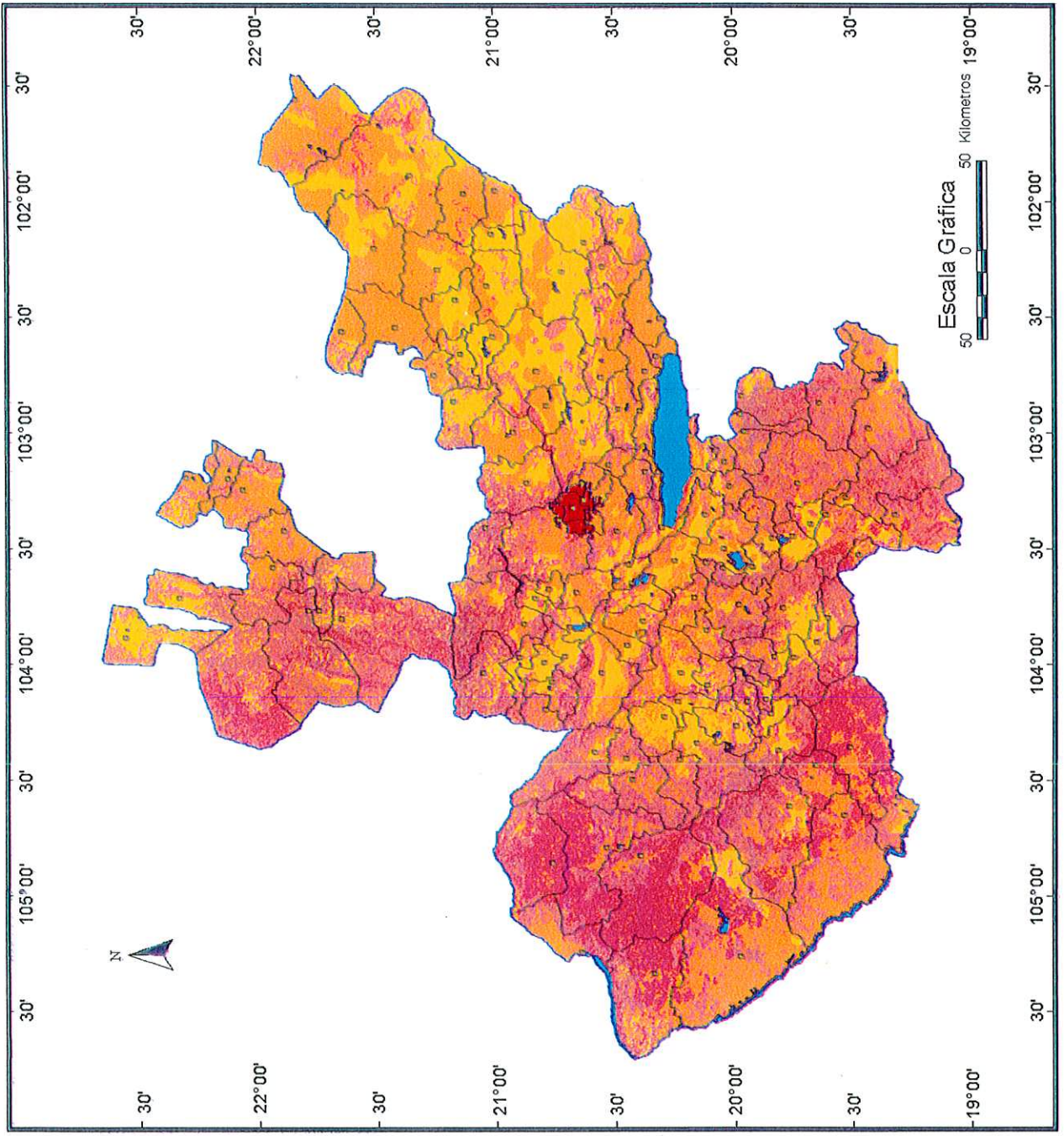
Francisco Copado González

Diciembre del 2005

Los Mapas 11 y 12 sirven para estimar el riesgo de la Degradación Estructural de los suelos, medida en términos de pérdida porcentual anual de permeabilidad de los suelos, con el apoyo además de los Mapas 5 (Factor Topografía) y Mapa 6 (Factor Textura) descritos para la evaluación de la Erosión Potencial.

El Mapa 11 muestra la distribución de las clases de Topografía con el valor más grande (1.0) en los principales sistemas montañosos del Estado. El valor intermedio (0.5) se distribuye en el resto del Estado dejando solo a las mesetas de la región de los Altos y a la Planicie Costera con el valor más pequeño (0.3).

El Mapa 12 muestra la distribución geográfica de la Agresividad Climática sobre la degradación de la estructura de los suelos. Se ha derivado del Mapa 2 adaptando los valores para este factor. Parte desde un mínimo de (5) hasta un máximo de (6.25). Se puede observar un gradiente de crecimiento desde las Zonas Norte y Altos con los valores menores hasta las zonas Sur y Costa con los más altos.



Estado de Jalisco
Mapa 15
 Mapa de Riesgo de Degradación por Erosión Hídrica Potencia anual.

Erosión Hídrica Potencial.

Ton/ha/año	Sup. Estatal %
< 10	21.37
10-50	32.18
50-200	32.69
> 200	13.76

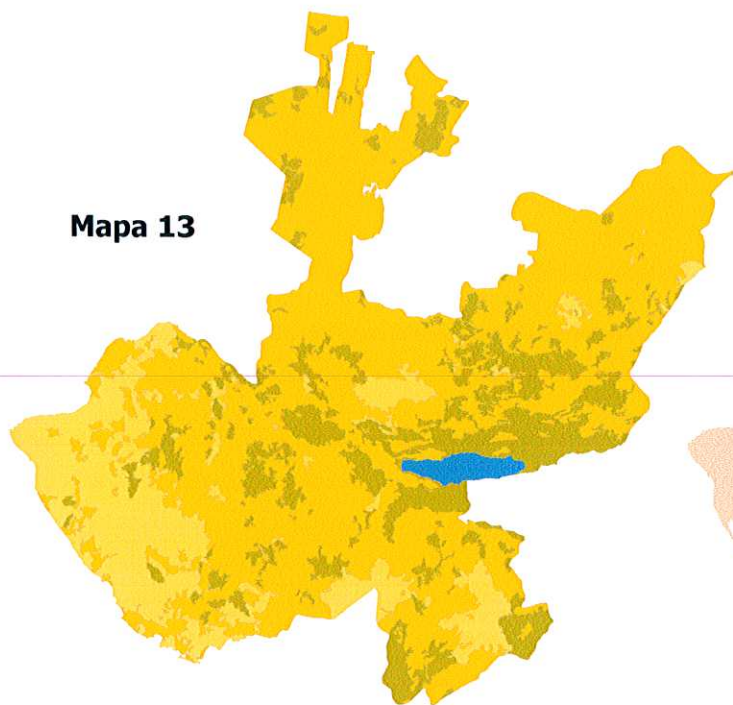
Universidad de Guadalajara
 Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
 Maestría en Manejo de Áreas de Temporal
 Tesis de Grado
 "Degradación Potencial de los Suelos de Jalisco"
 Francisco Copado González
 Diciembre del 2006.

Los Mapas 13 Y 14 sirven para estimar el riesgo de la Degradación Biológica de los suelos por la Mineralización de la Materia Orgánica expresada porcentaje potencial de pérdida anual de la ametría orgánica.

El Mapa 13 muestra los tipos de textura con un valor máximo de (1.5) que se distribuye principalmente en los valles arenosos de la Zona Centro y de la Zona Sur así como en la Zona Costa. El Valor intermedio de (1.0) cubre la mayor parte del Estado, lo que indica su gran riesgo potencial a la degradación por este factor tomando en cuenta que son factores que se multiplican para obtener un resultado local. El valor menor (0.5) se localiza en los valles arcillosos y mesetas de los Altos.

El Mapa 14 muestra los tipos de contenidos de Carbonatos de Calcio con tres clases de valores. El valor más grande (1.0) cubre prácticamente a todo el estado de Jalisco que señala nuevamente gravedad en el riesgo potencial para la Degradación Biológica por Mineralización de la Materia Orgánica.

Mapa 13

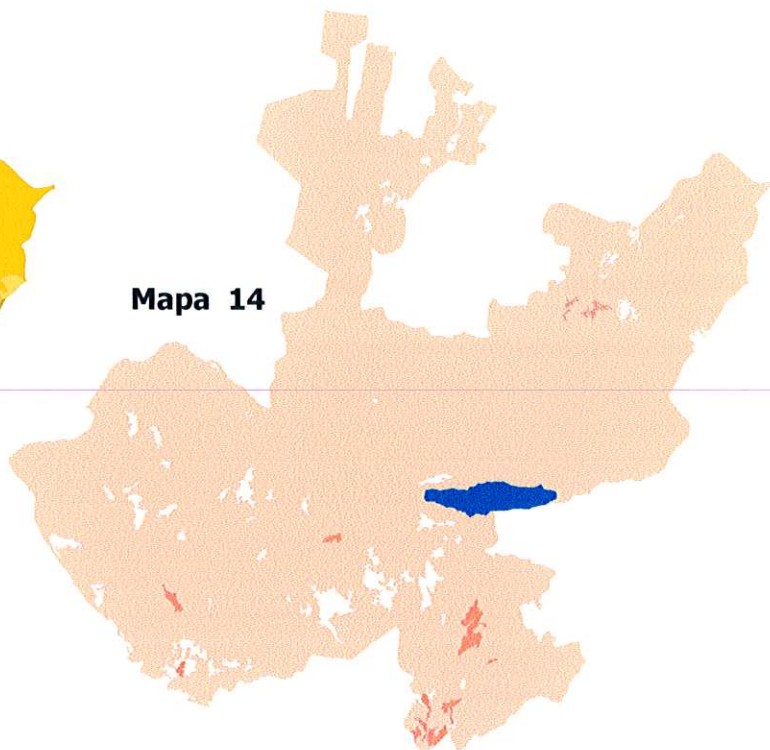


**Tipos de Textura
para el cálculo de
la Degradación
Biológica**

Valores
0.5
1.0
1.5
Agua



Mapa 14



**Tipos de Contenido de
Carbonatos para el
cálculo de la Degradación
Biológica**

Valores
0.3
0.8
1.0
Agua



Universidad de Guadalajara

Centro Universitario de Ciencias

Biológicas y Agropecuarias

Maestría en Manejo de Áreas de Temporal

Tesis de Grado

**" Degradación Potencial de
los Suelos en Jalisco "**

**Mapas de factores superficiales para el
cálculo de la Degradación
Biológica Potencial**

Francisco Copado González

Diciembre del 2005

6 Conclusiones

Con la metodología empleada fue posible calcular los índices de vulnerabilidad a la degradación de suelos propuestos por la FAO.

Los resultados obtenidos reflejan que la mayoría de los suelos de Jalisco son vulnerables a la degradación por un efecto combinado de texturas gruesas, relieve ondulado, pendientes fuertes y una agresividad climática elevada.

Los resultados también permitieron elaborar una cartografía paramétrica que muestra los principales factores que inducen a la degradación de los suelos y que sería una información útil para encausar futuros estudios relacionados con el tema de la degradación de los suelos.

Al aceptarse la hipótesis planteada, es posible afirmar que *“los índices de degradación potencial de los suelos en el estado de Jalisco mantienen un carácter regional en cuanto a su intensidad”*

7 Bibliografía

- Arnolds H. M. J.** 1977. Predicting Soil Losses due to sheet and rill erosion. FAO Conservations Guode N° 1, pp. 99-124
- Autodesk, Inc.** 2002. Autodesk Civil Series Release 3. San Rafael CA 94903. USA. 256 p.
- Chepill W. S., Sinddoway F. H. & Armbrust D. V.** 1963. Climatic Index of Wind Erosion condition in the Great Plains. Preoc. Soil Sci. Soc. Am., 27, pp 449-452
- Colegio de Postgraduados.** 1977. Manual de conservación del suelo y del agua. Chapingo, México. 3-95 pp.
- Curiel B. A .** 1989. Degradación Actual y Potencial de los Suelos Agrícolas de Zapopan. Tesis de Maestría. Escuela de Graduados, Universidad de Guadalajara. México. 106 p.
- Estrada W. B. y Carlos .A. O. S.** 1982. Plano de Erosión Hídrica del Suelo en México. Rev. Geografía Agrícola N° 3. UACH. México. 60 p.
- FAO.** 1978. Report on a Meeting of working Group on Soil Degradation Assessment Methodology. Roma. 78 p.
- FAO.** 1980. Metodología Provicional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. Roma. 86 p.
- FAO.** 1984. Directrices para el Control de la Degradación de los Suelos. Roma. 40 p.
- FAO.** 1999. Base Referencial del Recurso Suelo "WRB". Roma. 98 p.
- FitzPatrick E. A.** 1984. Selos, su Formación, Clasificación y Distribución. Ed. CECSA. México. 103-155 pp.
- Fournier F.** 1960. Climat & Erosion: La relation entre l'erosion du sol par leau el les précipitations atmospheriques. Press Universitaires de France. Paris. 201 p.
- Henin S & Dupois M.** 1945. Essai de bilan matière organique du sol. Ann. Agron. 15, pp. 17-29
- Hill P. A.** 2003. Using Geographic Information Systems (GISs) in Soil Acidification Risk Assessments. Handbook of Soil Acidity. Marcel Dekker Inc. New York, pp 189-208.
- INEGI.** 1999. Cartografía topográfica digital escala 1:250,000. Dir. Gral. de Geografía. SPP. Aguascalientes, Mex. 12 cartas digitales.
- INEGI.** 2000. Carta edafológica Digital de la República Mexicana a escala 1:250,000. Dirección General de Geografía. SPP. Aguascalientes, Mex.
- Kirkby M. J. & Morgan R. P. C.** 1980. Erosión de suelos. Ed. Limusa. México. 292-298 pp.
- Lyles L.** 1977. Wind Eerosion Prosses and effect on Soil Productivity, Traslation of ASAE 20. pp. 880-884
- Manifold System Manual.** 2004. Geographic Information System, Release 6.00 . Carson City, NV 89701, USA. 3011 p.
- Martin A.** 1977. Introduction to Soil Microbiology. 2ª. Ed. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York USA. 132-147 p.

- Ortiz-Monasterio R.** 1956. Los Recursos Agrológicos de la República Mexicana. Rev. Ingeniería Hidráulica en México. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México. 50 p.
- Pérez R. N.** 1988. Lotes de Escurrimiento para Evaluar la Erosión y Erodabilidad de Suelos de Zapopan, Jalisco. Tesis Profesional. Facultad de Agricultura, Universidad de Guadalajara. 37p.
- Remy J. C. & Martin-Lafèche A.** 1974. L'analyse de terre: réalisation d'un programme d'interprétation automatique. Ann. Agron 25. pp 607-632.
- Ruiz Corral J. A.** 2005. Información climática mensual para las estaciones del estado de Jalisco, periodo de 43 años. INIFAP. Zapopan, Jalisco, México.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.** 1984. SARH. Inventario de los Diferentes Grados de Afectación por Erosión en el Estado de Jalisco. Dirección General de Conservación del Suelo y del Agua. México. 87 p.
- Secretaría de Programación y Presupuesto.** 1981. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. Síntesis Geográfica de Jalisco. pp. 30-45
- SEMARNAT.** 2000. Evaluación de la degradación de los suelos en la República Mexicana a escala 1:250,000.
- Terrence J. T.** 2002. Soil Erosion. John & Wiley & Sons Inc. New York. USA. 120-155 p.
- USDA.** 1953. Suelos Salinos y Sódicos. Trad. Al Español del Handbook 60 por Ed. Limusa, México, 1-35 pp.
- USDA.** 1966. Manual de conservación de suelos. Trad. Al Español por Ed. Limusa, México, 10-30 pp.
- Wischmeier W. H. & Smith.** 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East the Rocky Mountains. Handbook N° 282 USDA. 65 p.
- Wischmeier W. H., Johnson, C. B. & Cross, B. V.** 1971. A soil erodability nomograph for farmland and construction sites. Journal of soil and water conservation. Vol 26, pp. 189-193
- Woodruff N. & Sindoway F. H.** 1965. A Wind Erosion Equation. SSSA Proc. 29, pp 602-608
- Young A.** 1976. Tropical Soils and Soil Survey. Cambridge University Press. Cambridge, London. pp 334-344
- Zdenco R.** 2003. Handbook of Soil Acidity. Marcel Dekker, Inc. New York USA. 3-25 pp.

APÉNDICE 1

CLASES DE DEGRADACIÓN DE SUELOS (FAO, 1980)

Erosión Hídrica (Ehp) y Erosión Eólica (W).

CLASE	Pérdida de suelo	
	t/ha/año	mm/año
Ninguna o ligera	< 10	< 0.6
Moderada	10 - 50	0.6 - 3.3
Alta	50 - 200	3.3 - 13.3
Muy alta	> 200	> 13.3

Salinización y Alcalinización

CLASE	Salinización	Alcalinización
	Aumento de la CE en 0-60 cm de profundidad en mmhos/cm/año.	Aumento del PSI en 0-60 cm, de profundidad. PSI/año
Ninguna o ligera	< 2	< 1
Moderada	2 - 3	1 - 2
Alta	3 - 5	2 - 3
Muy alta	> 5	> 3

Degradación química (Li)

Si la saturación de bases es menor a 50%:

CLASE	Disminución de la Saturación de bases en %/año
Ninguna o ligera	< 1.25
Moderada	1.25 - 2.5
Alta	2.5 - 5.0
Muy alta	> 5

Si la saturación de bases es mayor a 50%:

CLASE	Disminución de la Saturación de bases en %/año
Ninguna o ligera	< 2.25
Moderada	2.5 - 5.0
Alta	5.0 - 10.0
Muy alta	> 10

Degradación estructural (De)

(De) Aumento en la densidad aparente en %/año respecto de los valores iniciales.

Valor inicial	< 1.0 g/cm ³	1 - 1.25 g/cm ³	1.25 - 1.40 g/cm ³	1.40 - 1.60 g/cm ³
CLASE	% de cambio por año			
Ninguna o ligera	< 5	< 2.5	< 1.5	< 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	> 7.5	> 5	> 3

(De) Disminución de la permeabilidad en % con respecto a su valor inicial en cm/h.

Valor inicial	Rápida 20 cm/h	Moderada 5 - 10 cm/h	Lenta 5 cm/h
CLASE	% de cambio por año		
Ninguna o ligera	< 2.5	< 1.25	< 1
Moderada	2.4 - 10	1.25 - 5	1 - 2
Alta	10 - 50	5 - 20	2 - 10
Muy alta	> 50	> 20	> 10

Degradación biológica (Mo)

CLASE	Disminución del humus. Capa de 0 - 30 cm
Ninguna o ligera	< 1 %/año
Moderada	1 - 2.5 %/año
Alta	2.5 - 5.0 %/año
Muy alta	> 5.0 %/año