

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**EVALUACIÓN DE LA DESERTIFICACIÓN EN LA SUBCUENCA
"RÍO LIMÓN" EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN MEDIANTE
SISTEMAS DE INFORMÁTICA GEOGRÁFICA**

TESIS DE MAESTRÍA

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES**

Presenta

ING. GREGORIO REYES REYNA

LINARES, N.L.

JUNIO DE 2000

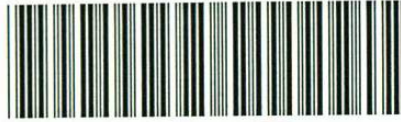
TM

Z59

FCF

200

R4

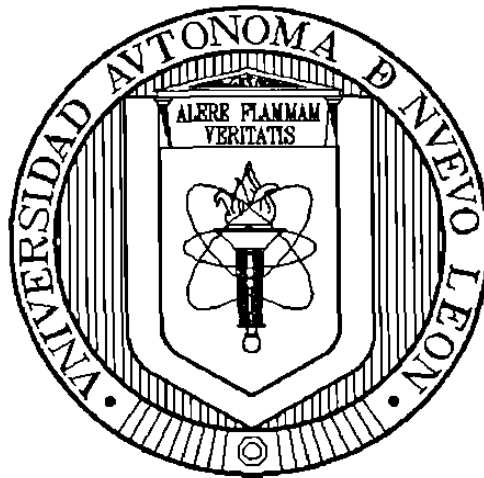


1020130922

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



**EVALUACIÓN DE LA DESERTIFICACIÓN EN LA SUBCUENCA
"RÍO LIMÓN" EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN MEDIANTE
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

TESIS DE MAestrÍA

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES**

Por

ING. GREGORIO REYES REYNA

LINARES, N.L.

JUNIO DE 2000

0138-35160

TM
Z599
F0F
2000
R4



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

EVALUACIÓN DE LA DESERTIFICACIÓN EN LA SUBCUENCA
"RÍO LIMÓN" EN EL ESTADO DE NUEVO LEÓN MEDIANTE
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Tesis de Maestría

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias Forestales

Presenta

Ing. GREGORIO REYES REYNA

Comisión de Tesis:

MC. MARISELA PANDO MORENO
Presidente

Dr. JOSÉ DE JESÚS NÁVAR CHÁIDEZ
Secretario

Dr. EDUARDO J. TREVIÑO GARZA
Vocal

Linares, N.L.

Junio de 2000

RECONOCIMIENTO

El presente estudio fue apoyado económicamente de una beca para estudios de postgrados, otorgada por el CONACyT.

Al CONACyT por el apoyo para la compra de equipo mediante el proyecto CONACyT 2061T9302 y a la fundación GTZ.

A MC. Marisela Pando Moreno, un sincero reconocimiento por tener siempre la palabra precisa en el momento justo y por la infinito paciencia en la asesoría de esta tesis.

Al Dr. José de Jesús Návar Ch., por formar parte de la comisión de tesis, también al estadística, pero sobre todo por su amabilidad.

Al Dr. Eduardo J. Treviño G., por la confianza que depositó en mí, por sus acertadas observaciones, sus valiosos consejos y por su amistad.

Al Ing. Luis Enrique Barajas, recibí invaluable apoyo en las computadoras y amigo.

Al Técnico Julián Uvalle (+), por el valioso apoyo y gran disposición en cada salida a campo

Al Ing. Oscar Ramírez, por su apoyo en la Biblioteca durante mis estudios y por la impresión y encuadernación de este trabajo.

Y por último a todos los compañeros, agradezco especialmente la amabilidad.

DEDICATORIA

A Dios:

Por la oportunidad de vivir y permitirme realizar mis anhelos e ilusiones por estar siempre en mi camino.

A mis padres: Sr. Benjamín Reyes M. y Sra. Guadalupe Reyna T., por su amor y su enorme paciencia.

A mi esposa, Rosa M. Moreno Sánchez, por su apoyo y cariño, por los momentos compartidos y paciencia.

A mis hijos: Jéssica y Emanuel, por su amor y ha sido pieza clave en mi formación humana.

INDICE DE CONTENIDO

Capítulo	Página
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCION	1
1.2 Hipótesis	3
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	4
CAPÍTULO 1 La desertificación	5
CAPÍTULO 2 Sistemas de Información Geográfica	9
CAPÍTULO 3 ANTECEDENTES	13
3.1 Análisis sobre la desertificación	13
3.1.1 Reconocimiento mundial	13
3.1.2 Reconocimiento nacional	14
3.1.3 Reconocimiento en el estado de Nuevo León	16
3.2 Análisis sobre el manejo de cuencas hidrográficas	18
CAPÍTULO 4 Descripción del área de estudio	19
4.1 Localización geográfica y superficie	19
4.2 Fisiografía	19
4.3 Geología	21
4.4 Hidrología	21
4.5 Clima	24
4.5.1 Tipos de clima	24
4.5.2 Distribución del clima	26

4.5.3 Precipitación	27
4.5.4 Temperatura	28
4.5.5 Evaporación	29
4.6 Suelos	29
4.7 Vegetación	32
CAPÍTULO 5 Metodología	38
5.1 Tipo de muestreo y tamaño de muestra	38
5.2 Registro de los parámetros de evaluación	39
5.2.1 Muestreo de la vegetación	39
5.2.2 Muestreo de los parámetros del suelo	39
5.2.3 Indicadores estimados visualmente	40
5.2.4. Evaluación de la erosión hídrica	40
a) Índice de erosividad de la lluvia (R)	41
b) Índice de erodabilidad del suelo (K)	41
c) Índice topográfico	43
d) Cálculo del factor de cobertura y prácticas de manejo	43
e) Con respecto al factor "P"	43
5.3 Determinación de los indicadores críticos de la desertificación	44
5.4 Determinación de los grados de desertificación	45
CAPÍTULO 6 Resultados y Discusión	47
CAPÍTULO 7 Conclusiones y Recomendaciones	62
Literatura citada	64

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro No. 1.1 Indicadores críticos de desertificación, por escala de monitoreo propuestos por Berry y Ford, 1977	10
Cuadro No. 1.2 Indicadores críticos de desertificación, por tipo	11
Cuadro No. 4.1 Distribución de la superficie de la Subcuenca por rango altitudinal	21
Cuadro No. 4.2 Distribución climática de la Subcuenca de estudio	27
Cuadro No. 4.3 Distribución de la Precipitación Media Anual en el Subcuenca	28
Cuadro No. 4.4 Distribución de las unidades de suelos en la Subcuenca	31
Cuadro No. 5.1 Distribución para la erosión hídrica de los suelos	44
Cuadro No. 6.1 Características topográficas, de tipo de suelo, clima y uso de suelo de los sitios muestreados	48
Cuadro No. 6.2 Eigenvalores de la matriz de correlación y eigenvectores del análisis de componentes principales de las variables evaluadas en el estudio	50
Cuadro No. 6.3 Indicadores y rasgos de valores utilizadas en el modelo	51
Cuadro No. 6.4 Sitios agrupados por unidades clima/suelo, valores asignados a cada indicador: ES, ER, MO y SAL y grado de desertificación calculado para cada sitio	52
Cuadro No. 6.5 Rangos establecidos para los valores de desertificación	54
Cuadro No. 6.6 Número de sitios correspondientes a cada nivel de Desertificación, en cada unidad clima/suelo	56
Cuadro No. 6.7 Coeficientes de correlación y nivel de significancia	57
Cuadro No. 6.8 Porcentaje de sitios que presentaron los diferentes grados de desertificación, clasificados por uso de suelo.	58
Cuadro No. 6.9 Porcentaje de sitios que presentaron los diferentes grados de desertificación, clasificados por topoforma.	59
Cuadro No. 6.10 Porcentaje de sitios que presentaron los diferentes grados de desertificación, clasificados por tipo de suelo	59

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 4.1 Ubicación del área de estudio	20
Figura 4.2 Características hidrológicas de la Subcuenca de estudio	23
Figura 4.3 Distribución de los tipos de climas en la Subcuenca de estudio	25
Figura 4.4 Tipos de suelo presentes en la Subcuenca de estudio	30
Figura 5.1 Nomograma para la determinación del valor de K	42
Figura 6.1 Índices de desertificación calculada para cada sitio de muestreo. La ubicación de los números en el mapa corresponde con la ubicación de los sitios	55
Figura 6.2 Detección de las áreas más susceptibles a la desertificación en la Subcuenca.	61

Resumen

Este estudio se orientó hacia la evaluación, clasificación e identificación de las causas principales de la desertificación en la Subcuenca "Río Limón" en el nordeste de México. La metodología utilizada consistió en seleccionar 50 sitios en los que se evaluaron las siguiente variables: materia orgánica, escurrientos, salinidad, erosión, clima, topografía, uso de suelo, tipo de suelo y cobertura vegetal en 3 estratos: herbáceo, arbustivo y arbóreo. Los datos fueron analizados utilizando un análisis de componentes principales para detectar agrupamientos y tendencias, también para eliminar variables redundantes.

Con base en las variables seleccionadas, se calculó el valor de desertificación para cada sitio. Estos valores fueron posteriormente agrupados en 4 rangos o grados de desertificación, en función de los valores extremos posibles.

El análisis de estos datos permitió detectar las condiciones edáficas, topográficas y de uso de suelo como variables explicatorias de la desertificación.

El tipo de suelo que se encontró asociado a las condiciones de desertificación más severas fue el Litosol; en cuanto a la topografía, la sierra fue la que presentó los valores más altos de desertificación y, en lo que respecta al uso de suelo, el forestal fue el que estuvo asociado a los niveles de desertificación más críticos.

El Sistema de Información Geográfica permitió la elaboración de un mapa que muestra las áreas más susceptibles a la desertificación, con base en la información obtenida al través del modelo de evaluación utilizado.

La información generada en este estudio podrá ser utilizada en la planeación del uso del suelo de la Subcuenca, al señalar los sitios que ya requieren rehabilitación, así como aquellas áreas más susceptibles a sufrir degradación.

SUMMARY

This research was oriented towards the evaluation, classification, and identification of the main causes of desertification in the Rio Limon watershed of northeastern Mexico. The methodology used consisted on selecting 50 sampling sites where the following parameters were evaluated: soil organic matter, surface runoff, soil salinity, soil water erosion, climate, land use, soil type, type of tree cover in three vertical strata: grasses, shrubs and trees. Data was statistically analyzed by principal component analysis to detect clusters and trends as well as to eliminate redundant variables.

Selected variables were used to estimate a desertification value for each site. Desertification values were then grouped in four ranges or levels of desertification, according to the extreme possible values.

The variables which contributed to explain most variation included soil type, topography and land use.

Litosol, between forest types, the sierra, between topoform, and foresty, between land uses recorded the highest desertification scores.

The geographic information system allowed mapping of the areas prone to desertification processes, based on the information provided by the developed model.

This information would be useful for land use planning of the wathershed, since it showed up areas which already requiere rehabilitation as well as areas with higher risk of degradation.

Introducción

El fenómeno de la desertificación ha sido reconocido, desde los años setenta, como uno de los mayores problemas ambientales del mundo (ONU, 1977). Sin embargo, los esfuerzos realizados para analizar los procesos que conducen a ésta y proponer medidas para contrarrestarla, han sido insuficientes (Toulmin, 1995).

La desertificación es un fenómeno de degradación del medio físico y biológico (Medellín-Leal, 1978; Dregne, 1983; Mainguet, 1994; SEDESOL, 1994a; Toulmin, 1995, Pando *et al.*, 1996), asociado a la pérdida general de productividad de los ecosistemas, sometidos a diferentes niveles de estrés derivado de las actividades humanas.

En ecosistemas frágiles, la desertificación puede llegar a ser irreversible y reducir de manera permanente la capacidad del área afectada para sostener la vida humana.

La vulnerabilidad a los procesos de desertificación y la gravedad de sus consecuencias será mayor a medida que sea más irregular y escaso el régimen de lluvias. Igualmente otros factores naturales intervienen en esta vulnerabilidad, entre los que se puede citar la estructura y textura del suelo, la topografía y los tipos de vegetación reinantes; así como la intensificación de las presiones sobre la tierra, reflejada a través de la densidad poblacional o del número de cabezas de ganado, o por el grado de mecanización de la agricultura (Medellín-Leal, 1978).

La necesidad de adoptar medidas para combatir la desertificación es urgente dado que se trata de un problema dinámico que se acelera e incrementa por sí mismo. En breve tiempo, la rehabilitación se hace cada vez más lenta y costosa y la degradación alcanza rápidamente un umbral alto, el cual se vuelve irreversible en términos prácticos y económicos.

En México, la desertificación es un problema que se ha incrementado dramáticamente en los últimos años, porque está destruyendo grandes superficies de tierra y modificando gravemente el entorno ecológico, lo que repercute en una disminución de la calidad de vida de la población (CONAZA/SEDESOL, 1994).

A pesar de que el fenómeno de la desertificación puede presentarse en prácticamente cualquier ecosistema y bajo una amplia gama de condiciones climáticas (Ballín, 1987; Medellín-Leal, 1978; Maldonado and Pando, 1994) su estudio, y el esfuerzo en la búsqueda de soluciones, se ha centrado en los ecosistemas áridos, semiáridos y subhúmedos secos (Toulmin, 1995). Este enfoque coincide con la definición elaborada durante la última Convención de las Naciones Unidas sobre desertificación según la cual el término de desertificación queda restringido a los ecosistemas áridos y semiáridos (UNEP, 1994).

Las áreas más susceptibles a la desertificación son los márgenes de las zonas subhúmedas de los desiertos y las zonas áridas y semiáridas, debido a que éstas están sujetas a mayores fluctuaciones climáticas, mismas que contribuyen a la desertificación.

A nivel mundial se calcula que un 39.72% de la superficie total de la tierra (13.07 billones de hectáreas) se encuentra dentro de la categoría de tierras áridas susceptibles. En este porcentaje no están incluidas las tierras hiperáridas (7.52%) por considerarse a éstas como desiertos absolutos (Thomas y Middleton, 1993) donde los intentos del ser humano por incorporarlas a la producción de alimentos son prácticamente nulos, con lo cual estos ecosistemas están menos expuestos al impacto antropogénico.

Los intentos por evaluar la desertificación a nivel mundial, o inclusive nacional, han producido escasos resultados (Toulmin, 1995) debido a la amplia variabilidad que presenta el fenómeno en los diferentes países e inclusive al interior de estos, lo cual dificulta sintetizar y analizar los resultados.

En la presente investigación se optó por un nivel de detalle medio, como es el de una subcuenca hidrológica. El enfoque a nivel de cuenca hidrológica facilita la comprensión de los procesos de desertificación y da la pauta para estudios más detallados, a nivel de localidad.

1.2 Hipótesis

Determinados tipos de clima, topografía y suelo están asociados a mayores índices de desertificación.

Los Sistemas de Información Geográfica pueden ser utilizados en la detección y cuantificación de áreas susceptibles a la desertificación.

1.3 Justificación

La evaluación de los procesos y del grado de desertificación de un área tiene como finalidad última el plantear opciones de manejo de los recursos naturales que ayuden a mejorar las condiciones socioeconómicas a largo plazo de la población y a proteger y restaurar la productividad de estas áreas (Rodríguez, 1991).

Quizá más importante aún que la evaluación del deterioro actual que padece un determinado sitio es poder identificar las áreas que son más susceptibles a este fenómeno para adecuar el manejo del mismo antes de que los procesos de desertificación sean evidentes.

La susceptibilidad de un sitio a diferentes tipos de riesgos puede ser evaluada con base en modelos matemáticos de predicción. Sin embargo, estos modelos no siempre son concordantes con la realidad. Por ello, en el presente estudio, se combina el uso de modelos matemáticos, con datos tomados directamente en campo durante la evaluación del estado actual de la desertificación, para la predicción de áreas de alto riesgo de desertificación.

1.4 Objetivos

Generales:

- Evaluar el nivel actual de desertificación en diferentes ecosistemas del área de estudio.
- Elaborar mediante un Sistema de Información Geográfica, un modelo espacial de predicción de áreas susceptibles a la desertificación.

Específicos:

- Desarrollar una metodología para la evaluación de la desertificación.
- Obtener valores cuantitativos sobre el grado de desertificación que presenta la subcuenca de estudio.
- Determinar los factores que, en mayor medida, estén asociados con altos niveles de desertificación en la subcuenca de estudio.
- Referenciar espacialmente el grado de desertificación en la subcuenca del Río Limón.

Capítulo 1

La desertificación

La preocupación que existe, a nivel internacional, por el problema de la desertificación quedó manifiesto durante las sesiones de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, realizada en Río de Janeiro, en 1992, donde, entre otras recomendaciones se acuerda: el "fortalecimiento de la base de conocimientos y elaboración de sistemas de información y observación sistemática respecto de las regiones propensas a la desertificación y la sequía, y de los aspectos económicos y sociales de esos sistemas".

Aún cuando el término desertificación había sido utilizado desde 1949 por Aubreville (Thomas, 1997), no fue sino hasta después de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desertificación, realizada en Nairobi, en 1977, que su uso se extendió ampliamente. El autor define a la desertificación como el cambio de tierra productiva a tierra estéril debido a la erosión causada por el corte de leña, uso negligente del fuego y malas técnicas de cultivo aplicadas por el hombre.

La desertificación también ha sido definida como un proceso que se inicia, o que siendo natural se acelera, a causa de las actividades humanas y que conduce a la reducción del potencial biológico de una comunidad vegetal (Medellín-Leal, 1978; Dregne, 1983; Grainger, 1992; Mainguet, 1994.); o bien como el empobrecimiento de ecosistemas terrestres debido al mal manejo que se les proporciona (Reid *et al.*, 1988).

La desertificación es un fenómeno que se acelera por sí sólo y se alimenta de sí mismo y que, a medida que avanza, encarece exponencialmente los costos de la rehabilitación (UNCOD, 1977). Es un problema humano y social de alcance mundial, que no puede tener una solución rápida, pero cuya solución es ya urgente en muchas partes (FAO/UNEP, 1980).

La conjunción de los procesos detrimentales mencionados da origen a la desertificación. Su manifestación más evidente es la destrucción o disminución de las comunidades bióticas y la pérdida de su potencial biológico en una determinada área geográfica, dando como resultado una condición de tipo desértico (Alanís, 1990).

En los ecosistemas frágiles, como son los márgenes de los desiertos, esta degradación pueden fácilmente llegar a ser irreversible y reducir de manera permanente la capacidad del área afectada para sostener la vida humana (Dregne *et al.*, 1991).

Estos procesos de deterioro del ambiente, que han sido desencadenados por factores de índole social y económica, como son la concentración de la población en determinadas áreas, la falta de una planeación del uso de suelo en las ciudades, el bajo nivel de vida a que pueden aspirar quienes trabajan en el campo, el uso inadecuado de los ecosistemas, entre muchos otros, se traducen a su vez, en efectos socioeconómicos negativos para la población (Pando, 1999).

Indicadores de desertificación.

A los parámetros utilizados para detectar los cambios producidos en un ecosistema, se les conoce como indicadores. Estos deben de ser, idealmente, directos, fáciles de medir y cuantificables, proporcionando un valor numérico, a fin de que la condición del sitio pueda ser comparada con mediciones posteriores al través del tiempo.

Sin embargo, en la práctica esto no resulta sencillo. Quizás el mayor impedimento en el desarrollo de indicadores sensitivos para evaluar la condición de un ecosistema es la falta de umbrales claramente definidos para decidir cuando un ecosistema se encuentra o no deteriorado (National Research Council, 1994) y

evidentemente, la determinación de estos es un proceso complejo (de Soyza *et al.*, 1998).

A la fecha, se han definido un sinnúmero de indicadores, desde los que se evalúan mediante sensores remotos como fotografías aéreas e imágenes de satélite, hasta los que se registran directamente en campo en base a características del suelo y la vegetación.

Berry y Ford (1977) proponen el registro de diferentes indicadores dependiendo del nivel a que se realiza el estudio, ya sea global, regional o nacional (Cuadro 1.1). A partir de esa fecha, se han publicado otras listas de indicadores que han diferido entre sí, básicamente, en la forma en que agrupan los indicadores, ya sea por la naturaleza del indicador: Indicadores Físicos, Indicadores Biológicos e Indicadores Sociales (Reining, 1978; FAO/UNEP, 1984; Rubio & Bochet, 1998) (Cuadro 1.2); o de acuerdo a su aplicabilidad, dependiendo de la escala a la que se pretende realizar la evaluación: nivel de campo, mediante fotografías aéreas o mediante imágenes de satélite (Dregne, 1983).

Cuadro No.1.1. Indicadores críticos de desertificación, por escala de monitoreo, propuestos por Berry y Ford, (1977).

Escala de monitoreo	Indicadores
Global	albedo tormentas de arena precipitación erosión y sedimentación salinización
Regional	productividad biomasa en pie clima nutrición salinización

Nacional / Local	productividad nivel de vida percepción humana
------------------	---

Cuadro No.1.2 Indicadores críticos de desertificación, por tipo.

Tipo	Indicador
Físicos	Suelo a. profundidad efectiva del suelo b. materia orgánica del suelo c. encostramiento d. polvo, polvaredas y tormentas de arena e. salinización y alcalinización Agua a. profundidad y calidad del agua subterránea b. área de agua estancada c. condiciones de los sistemas de drenaje Otros a. reflectancia relativa de la Tierra
Biológicos	Vegetación a. cobertura b. biomasa en pie c. producción d. especies clave: distribución y frecuencia Fauna a. especies clave b. población de animales domésticos c. composición del hato d. producción
Sociales	Uso del suelo y agua a. irrigación b. agricultura de temporal c. pastoreo d. minería e. incendios forestales f. agua Patrones de población a. nuevos asentamientos b. expansión de las poblaciones y asentamientos c. diversificación de las poblaciones

- d. abandono de los poblados
- Parámetros biológicos del hombre
- a. estructura y proporciones de la población
- b. medidas del estado de nutrición
- c. índices de salud pública
- Parámetros del proceso social
- a. conflictos
- b. migración
- c. patrones de redistribución
- d. marginalización
- e. percepciones contra subsistencia

Los métodos basados en el uso de fotografías aéreas, videografía o imágenes de satélite, han sido ampliamente utilizados en las últimas décadas para evaluar procesos de desertificación, mediante la comparación de imágenes de diferentes fechas. La mayoría de estos trabajos han estado orientados hacia la evaluación de los efectos de la erosión del suelo (Jurio y van Zuidman, 1998; Palacio-Prieto y López-Blanco, 1994; Bocco y Valenzuela, 1988).

Entre las ventajas de estos métodos están su amplia cobertura y el bajo costo por unidad de área. Sin embargo, el uso de las imágenes de satélite presenta algunas restricciones, debido a su baja resolución espacial, cuando se requieren estudios detallados.

Capítulo 2

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Las mejoras sustanciales que los sistemas de computación han tenido durante las últimas tres décadas, han facilitado la aplicación de la tecnología computacional al problema del almacenamiento, manipulación y análisis de grandes volúmenes de datos espaciales. Esta tecnología, basada en la computación, diseñada para manejar información y ubicarla espacialmente, se conoce como Sistemas de Información Geográfica (Marble, 1990).

La utilización de datos que muestran atributos espaciales de la superficie terrestre ha estado relacionada con la actividad humana desde el inicio de las civilizaciones y, durante siglos, la información espacial se manejó únicamente mediante mapas en papel (Soria *et al.*, 1998).

Los primeros intentos por utilizar las computadoras en el manejo de datos espaciales se dieron en la industria militar en la década de los sesenta (Marble, 1990). Sin embargo, en el ámbito civil, los primeros Sistemas de Información Geográfica (SIG) surgieron alrededor de diez años después; estos fueron el Canada Geographic Information System y el Land Use and Natural Resource Inventory (Aronoff, 1989).

Los Sistemas de Información Geográfica no son tan sólo programas de cómputo que realizan mapas estéticos, son herramientas que permiten la captura, almacenamiento, manipulación, análisis y presentación de datos referenciados geográficamente (Soria *et al.*, 1998).

De acuerdo con la definición establecida por Aronoff (1989) los Sistemas de Información Geográfica son sistemas computacionales, diseñados para la captura,

almacenamiento y análisis de objetos y fenómenos en donde la localización geográfica es una característica importante para el análisis de la información.

Esto significa que la información que almacenan los Sistemas de Información Geográfica está referenciada geográficamente, ya se trate de mapas o de estadísticas sobre un territorio concreto, por lo que todas estas variables pueden relacionarse mutuamente de formas muy diversas. Además, los Sistemas de Información Geográfica permiten almacenar esa información espacial de forma eficiente, facilitando su actualización y acceso directo al usuario (Chuvieco, 1990).

Existen algunos requisitos generales, de carácter técnico, que deben cumplirse para que un sistema pueda ser considerado como de "Información Geográfica". Smith, et al., (1986) (citados por López-Blanco, 1994) mencionan, entre estos, los siguientes:

- a) tener la capacidad para manejar grandes bases de datos, heterogéneos y multitemáticos, con representación espacial.
- b) permitir la consulta acerca de la existencia, localización y características de un amplio rango de objetos.
- c) presentar eficiencia en el manejo de datos para tales consultas, de manera que permita ser interactivo con el usuario.
- d) contar con un mínimo de técnicas estadísticas para procesar y valorar los datos, tanto de naturaleza espacial como no espacial, representados en los diferentes formatos aceptados por tales sistemas: raster, vectorial y tabular.

Los investigadores y manejadores de recursos naturales se dieron cuenta de que era necesario la integración de varias fuentes de información y herramientas más eficientes para manipular los conjuntos de datos y su análisis posterior. Esto permite disponer de información para la planeación de un recurso y tomar parte en el proceso de manejo.

La información que se utiliza en asuntos ambientales es, por lo regular, compleja y voluminosa, e involucra gran número de disciplinas científicas, como geografía, climatología, edafología, botánica, ecología, sociología, economía, etc. Debido a esta diversidad de disciplinas, la información que debe manejarse en este campo es muy heterogénea, tanto en lo que respecta a la escala espacial, como a los métodos de obtención y presentación de los datos, por lo que en estos casos, el uso de los Sistemas de Información Geográfica ha mostrado amplias posibilidades de uso.

En definitiva, los Sistemas de Información Geográfica amplían enormemente las posibilidades de análisis que brindan los mapas convencionales, además de facilitar su almacenamiento y visualización. Los mapas están caracterizados por dos aspectos de la realidad: la localización y los atributos. La localización representa la posición de un punto bidimensionalmente. Los atributos son características cuantitativas o cualitativas como cobertura, edafología, precipitación o tipo de propiedad (Bosque, 1992).

La utilidad de un mapa es muy amplia y variada, ya que almacena de un modo económico grandes cantidades de datos, y lo hace de tal modo que permite y facilita ciertos tipos de análisis de la estructura de la información en él contenida. En cierto sentido, los Sistemas de Información Geográfica han heredado muchas de sus funciones mejoradas y ampliadas (Star y Estes, 1996).

De lo anterior se desprende que el presente estudio tiene como objetivo aplicar técnicas de los Sistemas de Información Geográfica en la búsqueda de metodologías que permitan llevar a cabo la clasificación de la tierras, para su posterior cuantificación y evaluación la desertificación en forma rápida y precisa.

Capítulo 3

Antecedentes

3.1 Análisis sobre la desertificación

3.1.1 Reconocimiento mundial

Uno de los casos más palpables de desertificación, y quizás el más difundido, fue el que padeció la región del Sahel en 1973. Las condiciones climáticas que se presentaron en esa región de 1968 a 1973 fueron mecanismos que iniciaron la desertificación, pero que es evidente que este fenómeno se había ido gestando paulatinamente por el mal manejo de la tierra y por la presión demográfica que se ejercía sobre el medio ambiente (Medellín-Leal, 1978).

La preocupación a nivel mundial sobre el estado actual del medio que habita el hombre, ha quedado plasmada en varias de las acciones efectuadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), tales como la Conferencia sobre el Medio Ambiente Humano en Estocolmo en 1972, la Consulta de expertos sobre degradación de suelos en Roma en 1974. Como consecuencia de las dos reuniones anteriores, estas organizaciones iniciaron, en 1975, un proyecto denominado "Metodología para evaluar la degradación de los suelos según FAO".

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) recomendaron, desde 1974, que se estudiara y evaluara la desertificación y los procesos de degradación que conducen a ella (ONU, 1977).

A más de 20 años de dicha recomendación, no se ha alcanzado aún el objetivo de evaluar consistentemente las causas y el nivel de degradación de las diferentes áreas.

El PNUMA ha intentado, desde años atrás, recopilar datos sobre la incidencia y severidad de la desertificación a nivel regional y global. Sin embargo, los datos existentes son extremadamente pobres; prácticamente no existen datos a partir de los cuales se pueda evaluar la tendencia en la degradación durante un período de tiempo razonable (Toulmin, 1995).

Aún cuando se afirma que la desertificación es un problema grave a nivel global, resulta difícil cuantificar la magnitud de ésta a nivel mundial y sólo se presentan estimaciones muy generalizadas; por ejemplo Dregne (1983) indicó que alrededor de 3,249 millones de hectáreas se encuentran desertificadas; mientras que Mabbutt (1984) señaló que existían 2,000 millones de hectáreas con un grado, por lo menos moderado, de desertificación.

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992) se mencionó que la desertificación afecta a la sexta parte de la población mundial, al 70% de todas las tierras secas, equivalente a 3,600 millones de hectáreas, y a la cuarta parte de la superficie total de tierras del mundo.

3.1.2 Reconocimiento nacional

La situación en México se torna preocupante cuando, tanto en el sector público como privado, promueven la apertura de nuevas tierras para actividades agropecuarias, mediante desmontes, sin evaluar realmente la repercusión del impacto ambiental que dichos desmontes progresivos tienen sobre los recursos naturales. Por lo que es importante conocer el impacto ambiental que han sufrido los ecosistemas naturales de México como "costo ecológico" en la obtención de productos agropecuarios y forestales, orientados a cubrir las necesidades de la población (Alanís, 1990).

En el caso de México, las estimaciones existentes son, igualmente, muy generales, tanto en la definición de las áreas afectadas, como en la determinación de los factores responsables de la desertificación y la gravedad de ésta. Sin embargo, existen cifras que pueden dar una idea aproximada de la magnitud del problema en México, como son las que se mencionan en los siguientes párrafos, publicadas en el Plan de Acción contra la Desertificación (PACD-México) por CONAZA/SEDESOL (1994).

Los procesos de desertificación en la República Mexicana se acentúan por la degradación de la cubierta vegetal, principalmente por la intervención humana para fines ganaderos. El uso inadecuado de la tierra ha provocado una reducción de la fertilidad del suelo hasta en un 80% del país y la erosión hídrica se presenta en más de un 70% del territorio nacional, llegando a ser extrema en un 9% del país.

Dado que el 65% del territorio nacional presenta pendientes mayores al 10% y que la cobertura es escasa al inicio de las lluvias, las pérdidas de suelo por la erosión eólica ascienden hasta 300 ton/ha/año en algunas partes del Altiplano Mexicano.

La superficie total con problemas graves de ensalitramiento, en los distritos de riego, ascienden a más de medio millón de hectáreas, lo que representa casi el 10% de la superficie total de riego de México. La degradación física como el encostramiento, la reducción de la permeabilidad, la compactación y la degradación de la estructura del suelo está afectando un 20% del país (CONAZA/SEDESOL, Op. cit.).

La degradación biológica ocurre en un 80% de la superficie del país. Mientras que la degradación química, degradación de los suelos por pérdidas de nutrientes, se detectó en un 15% del territorio. Otro factor que implica un fuerte cambio en el uso del suelo es la urbanización, la cual tiene un efecto irreversible.

En conclusión, el 97% del país está afectado en diferentes grados, por algún proceso de degradación del suelo; alrededor del 60% presenta un grado severo o extremo de degradación; en algunas áreas, más de un proceso está actuando en ese nivel.

3.1.3 Reconocimiento a nivel estatal (Nuevo León, México)

El estado de Nuevo León ha sufrido cambios notorios, originados por el manejo inadecuado de los recursos naturales, en sus comunidades vegetales. Estas acciones han repercutido también en el suelo, favoreciendo la erosión y provocando, así, la degradación del medio ambiente (Anónimo, 1977).

El clima de esta entidad contribuye a incrementar el fenómeno erosivo, al presentar una distribución errática y heterogénea de la precipitación, lo cual aunado a la escasa vegetación, provoca la pérdida de la capa superficial del suelo en áreas con pendientes pronunciadas.

En 1960, la Dirección General de Conservación del Suelo y Agua de la SAG (hoy SAGAR) estudió el nivel de erosión en Nuevo León, y reportó que sólo el 4% de la entidad no presentaba erosión. Para 1977, la SARH a través de la Dirección General de Conservación del Suelo y Agua, reportó que 6'236.802 ha (96.9% de la superficie la entidad) se encontraban erosionadas y sólo el 3.02% del área total no estaba afectada por la erosión.

La Dirección de Fomento Agropecuario del Gobierno del Estado de Nuevo León (1977) reportó que los suelos afectados por erosión en la zona sur de Nuevo León, comprendida por los Municipios de Galeana, Aramberri, Zaragoza, Dr. Arroyo y Mier y Noriega, ocupaban el 74% de la superficie (1'285,476 ha: 31% con erosión leve, 13% con erosión moderada, 25% con erosión fuerte y 5% con erosión muy fuerte). La mayor degradación fue a causa del sobrepastoreo.

En Nuevo León, vastas extensiones de matorrales se desmontan para sustituirlos por pastizales, en su mayoría, de *Cenchrus ciliaris* y/o cultivos anuales de la región. Sin embargo, estas áreas son invadidas por malezas después de pocos años, por lo que la inversión económica hecha por el estado y particulares rinden pocos beneficios por cuanto se debe continuar con inversiones posteriores de limpieza, o simplemente se pierde por el abandono del terreno.

Tan sólo entre 1981 y 1986 se desmontaron, al través del programa gubernamental "PRODERLEÓN" 157,875 hectáreas para fines agropecuarios en la porción neoleonesa de la Provincia de la Llanura Costera del Golfo (Maldonado y Pando, 1994).

Návar *et al.* (1996), citan que en la Planicie Costera del Golfo, el matorral ha sido desmontado para fines agropecuarios estimándose una tasa erosiva de 4.5 ton/ha/año de suelo transportado, considerando una precipitación media anual de 750 mm. Návar y Synnott (En Prensa) observaron el efecto de los cambios de uso de suelo en los escurrimientos superficiales y la erosión, aplicando a su vez la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo, determinando que los escurrimientos y la pérdida del suelo se ven incrementados en 20 veces al cambiar las áreas de vegetación nativa a agricultura, pastizales y plantaciones forestales. El mayor disturbio se produjo en las áreas agrícolas.

Además citan que el desmonte del matorral para la agricultura incrementa la pérdida del suelo a 7,670 kg/ha/año. Si se tomara en cuenta el área dedicada a la agricultura en la Planicie Costera del Golfo Norte en Nuevo León se tendría una pérdida de suelo de 1'000,000 ton/año.

Gutiérrez (1998) evaluó el grado de desertificación para diferentes ecosistemas en el municipio de Linares, N.L., registrando una desertificación moderada en el 60.44% de la superficie del municipio, e incipiente en el 39.56% restante.

3.2 Análisis sobre el manejo de cuencas hidrográficas

Actualmente, en México, el manejo de cuencas hidrológicas se expone a estudios unilaterales de los recursos, ocasionado con ello el deterioro de los ecosistemas. En cuencas agrícolas prevalece el cambio de uso de suelo, el uso de técnicas inadecuadas en áreas de matorral con pendiente, sin importar la erosión de los suelos, el lavado de fertilizantes, pesticidas, herbicidas y otros químicos hacia los ríos.

En cuencas pastoriles, el manejo ha estado encaminado hacia la introducción de mejores pastos y consecuentemente la mayor producción de alimentos de origen animal sin importar sus efectos -principalmente el sobrepastoreo sobre otros recursos de menor importancia comercial actual (Návar, *et al.* 1994).

Estos factores a su vez, afectan a las partes bajas con avenidas, desbordamientos e inundaciones, el azolve de cauces, lagos y obras hidráulicas, la pérdida de agua a través de los cauces y de los sistemas de drenaje, una menor recarga de los mantos acuíferos, la degradación de los ecosistemas, alteraciones climáticas, la contaminación de las corrientes superficiales y de los cuerpos de agua, entre otras (Llerena *et al.*, 1993).

Para contrarrestar esta problemática se requiere de un manejo integral de las cuencas. Dentro de este manejo, se debe considerar a la cuenca como una unidad ecológica, hidrológica y regional, que debe fungir como el eje ordenador fundamental y el marco de referencia a partir del cual se generan las ideas, planes y acciones relacionadas con el aprovechamiento racional de los recursos naturales.

Por lo tanto, el revertir o, por lo menos detener, las consecuencias de la desertificación, se considera como uno de los retos más difíciles que actualmente tiene la humanidad.

Capítulo 4

Descripción del área de estudio

4.1 Localización geográfica y superficie

La Subcuenca "Río Limón" está situada en la parte suroeste de la Cuenca del Río San Fernando, en la Región Hidrológica No. 25 "San Fernando-Soto La Marina", en el estado de Nuevo León. Se ubica entre los meridianos 99° 15' y 100° 00' Oeste y los paralelos 25° 00' y 24° 23' Norte y comprende una superficie de 1741.30 Km² (Figura 4.1).

Dentro de la subcuenca se encuentran los municipios de Linares, Hualahuises e Iturbide, pertenecientes al estado de Nuevo León .

4.2 Fisiografía

El área de estudio queda comprendida dentro de dos subprovincias fisiográficas: La Subprovincia Sierra Alta, perteneciente a la Provincia de la Sierra Madre Oriental y la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos que corresponde a la Planicie Costera del Golfo de México (SPP, 1986).

Dentro de la subcuenca, se presentan altitudes que van desde poco menos de 300 msnm hasta los 3,000 metros. La distribución de la superficie por rangos altitudinales, obtenidos mediante el Sistema de Información Geográfica ARC-INFO, se presenta en el Cuadro 4.1.

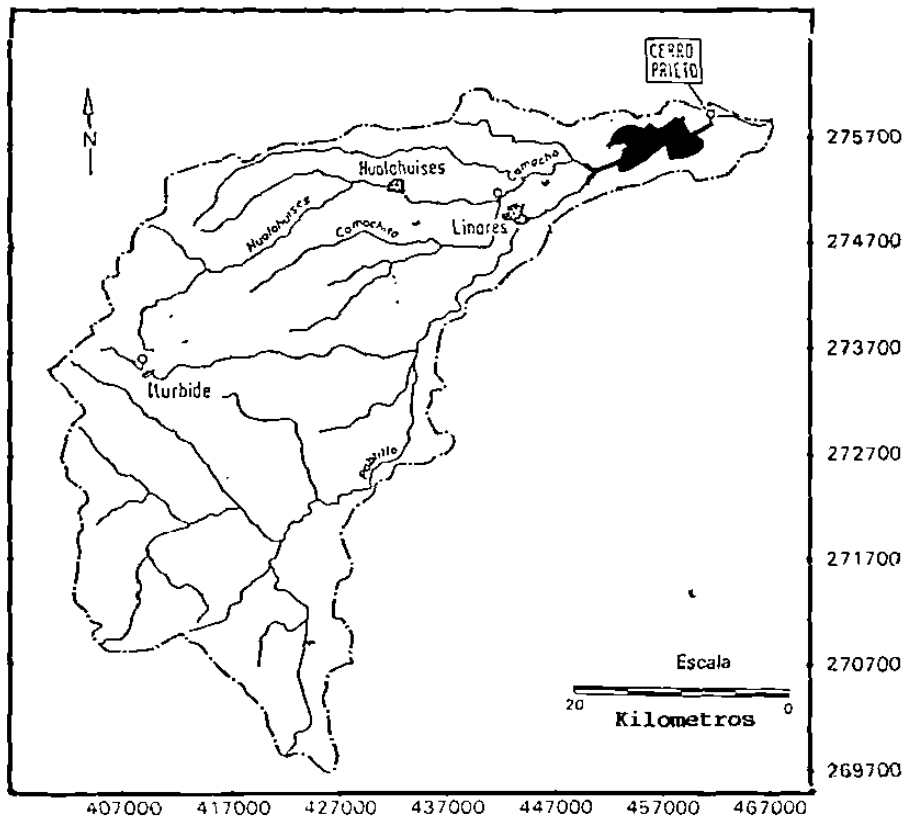
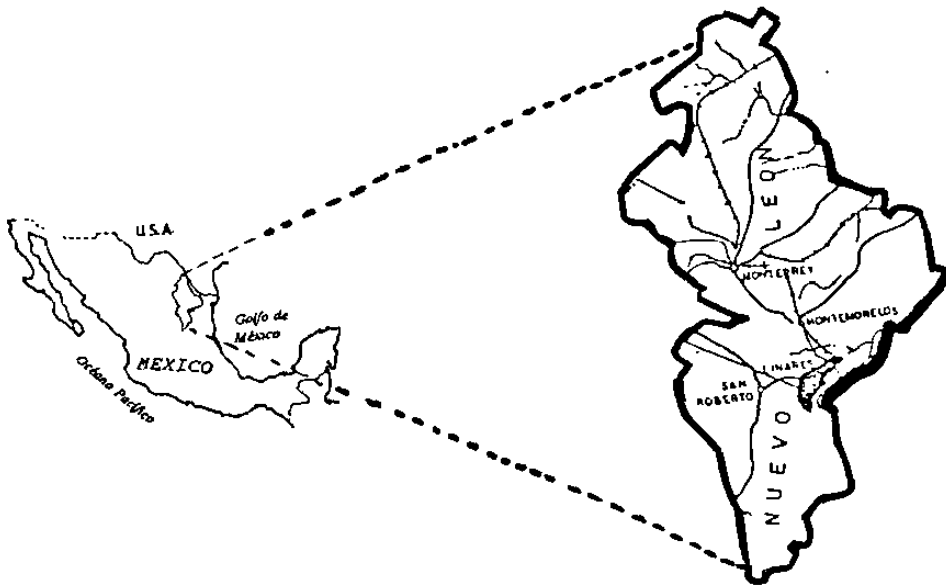


Figura 4.1 Ubicacion del área de estudio

Cuadro 4.1 Distribución de la superficie de la Subcuenca por rango altitudinal.

Rango altitudinal (msnm)	Superficie (ha)	% del área
3,000	397.5	0.23
3,000-2,500	2434.4	1.40
2,500-2,000	8550.9	4.91
2,000-1,500	75915.5	43.60
1,500-1,000	34719.7	19.94
1,000- 500	20298.9	11.66
500- 400	10790.0	6.20
400- 350	9936.1	5.71
350- 300	6735.0	3.87
menor 300	1874.1	1.08
Presa	1499.2	0.86
Ciudades	978.5	0.56
Total	174130.2	100.00

4.3 Geología

Las rocas que afloran en el área de estudio, corresponden a sedimentarios marinos del Jurásico Superior y Cretácico, cubiertos por depósitos continentales del Terciario Inferior y Cuaternario. Las primeras constituyen el macizo montañoso localizado al poniente de la zona de estudio; estas rocas afloran también en lo que se considera la Planicie Costera del Golfo, delineada por lomeríos bajos. Los segundos se encuentran cubriendo parcialmente a las anteriores en las partes bajas formando mesetas (De Leon *et al.*, 1991).

4.4 Hidrología

Hidrológicamente la subcuenca Río Limón pertenece a la región RH-25 denominada San Fernando-Soto La Marina, de la vertiente del Golfo de México. Está limitada al norte con la subcuenca del Río Potosí, al este con la subcuenca del Río Conchos, ambas pertenecientes a la cuenca del Río San Fernando, al sur con la subcuenca del Río Soto La Marina y al oeste con la región del Salado.

La forma de la cuenca, dependiendo de las características de la descarga de la corriente, es alargada-curveada-extrecha y se clasifica en intermedia-grande, con un índice de circularidad de 0.4. La forma de la cuenca afecta considerablemente los hidrogramas de salida. Por ejemplo, en las cuencas alargadas, resultan hidrogramas de salida con tiempos de concentración mayores y picos de crecidas menores que en una cuenca de área semejante pero de forma circular (Pissani, 1992) (Figura 4.2).

El drenaje se presenta en dos patrones diferentes; en la Sierra Madre Oriental es del tipo dendrítico y angular y en la región plana del valle de Linares es dendrítico subparalelo. El tipo de las corrientes se consideran como perennes e intermitentes. Su orden es de tipo 4, según el esquema "Strahler" (Aparicio, 1989). La densidad de drenaje se considera regular según la anterior clasificación.

La corriente principal de la zona es el río Pabillo, el cual nace a unos 16 km al Sureste del poblado de Galeana, N.L., a una altitud de 2200 msnm, desembocando sus aguas en el vaso de la presa José López Portillo "Cerro Prieto".

La parte superior de su curso se origina en la Sierra Madre Oriental, la cruza transversalmente, cortando a los ejes estructurales de dicha sierra. En esta parte de su recorrido recibe varios afluentes cuyos cursos tienen una dirección paralela a los ejes estructurales y por lo tanto de carácter subsecuente. Al salir del río de Sierra, entra a la penillanura propiamente, a la que cruza con una dirección general SW-NE con un desarrollo relativo corto, aproximadamente de 70 km, tomando su curso en el valle de Linares, labrado por erosión por los ríos Camacho, Hualahuises y el Camachito, éstos dos últimos tributarios del primero, desembocando primeramente en el vaso de la presa "Cerro Prieto" y finalmente, al unirse algunos afluentes como el río Potosí, desemboca en el río Conchos.

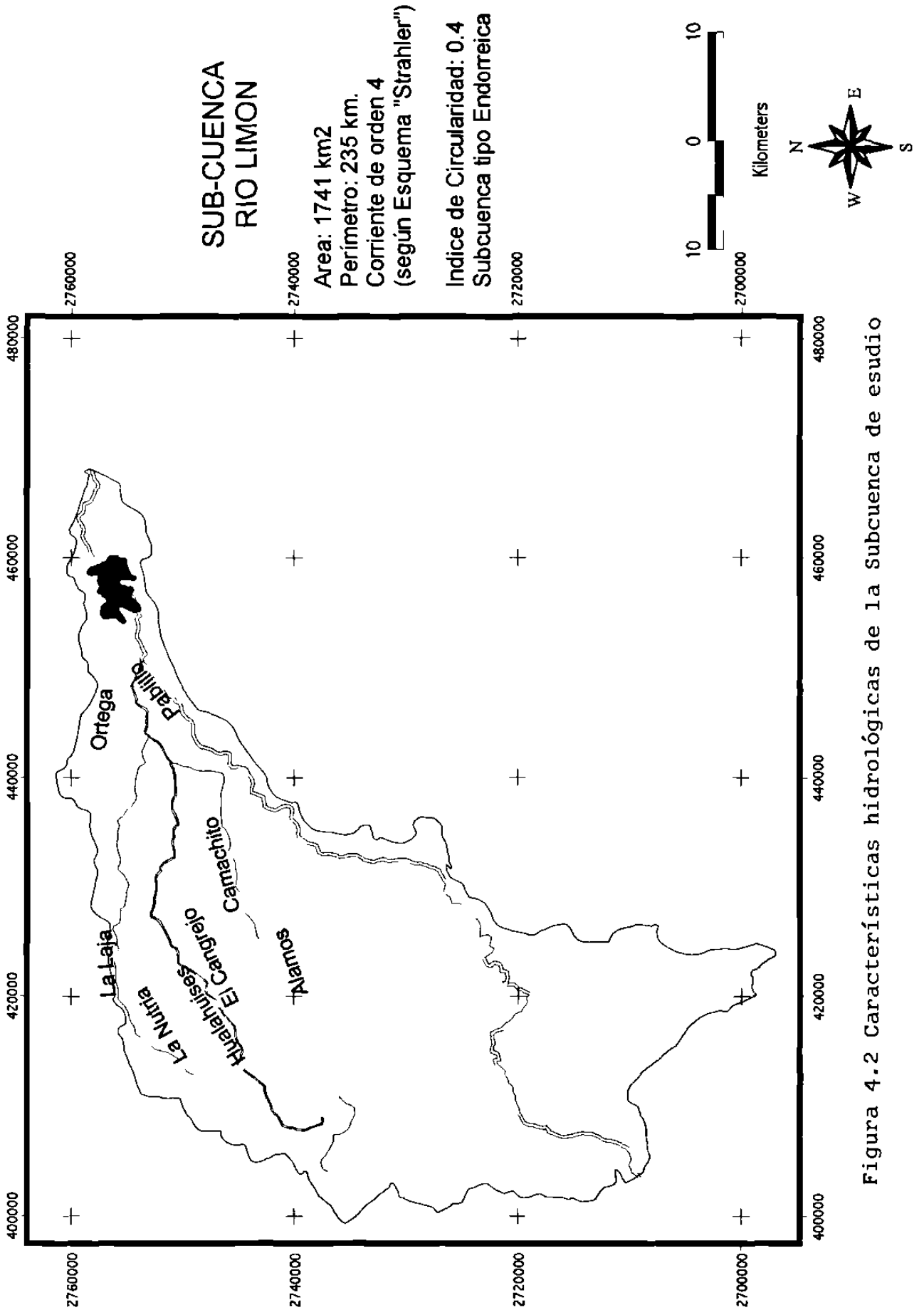


Figura 4.2 Características hidrológicas de la Subcuenca de estudio

4.5 Clima

4.5.1 Tipos de Climas

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1973), la zona está representada por 2 grupos climáticos, mismos que se dividen en subgrupos, tipos y subtipos (Figura 4.3):

C Es el grupo de climas templados húmedos:

Cx' Templado subhúmedo con lluvias todo el año, si su máximo de precipitación está en invierno, no llega a tres veces la del mes más seco, y si está en el verano no llega a 10 veces la del mes más seco.

C(w₀) Es el más seco de los templados subhúmedos con lluvias en verano, con un cociente precipitación/temperatura < 43.2.

C(w₁) Intermedio en cuanto a humedad entre el C(w₀) y el C(w₂), con lluvias de verano, y un cociente de precipitación/temperatura entre 43.2 y 55.0.

(A)C Subgrupo semicálido. Los climas semicálidos subhúmedos con lluvias en verano tienen un porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10.2.

Sus literales son:

(A)C(w₀)

(A)C(w₂)

B Es el grupo de climas secos

BS₁ Tipo seco o "estepario"; es el menos seco de los BS₁, con un cociente precipitación/temperatura 22.9.

BS₁hw. Semicálido con invierno fresco, temperatura media anual entre 18 y 22°C y la del mes más frío < 18°C. Porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10% del anual total

BS₁(h)hw. Cálido, con temperatura media anual > 22°C, la del mes más frío < 18°C. El % de lluvia invernal entre 5 y 10% del anual total.

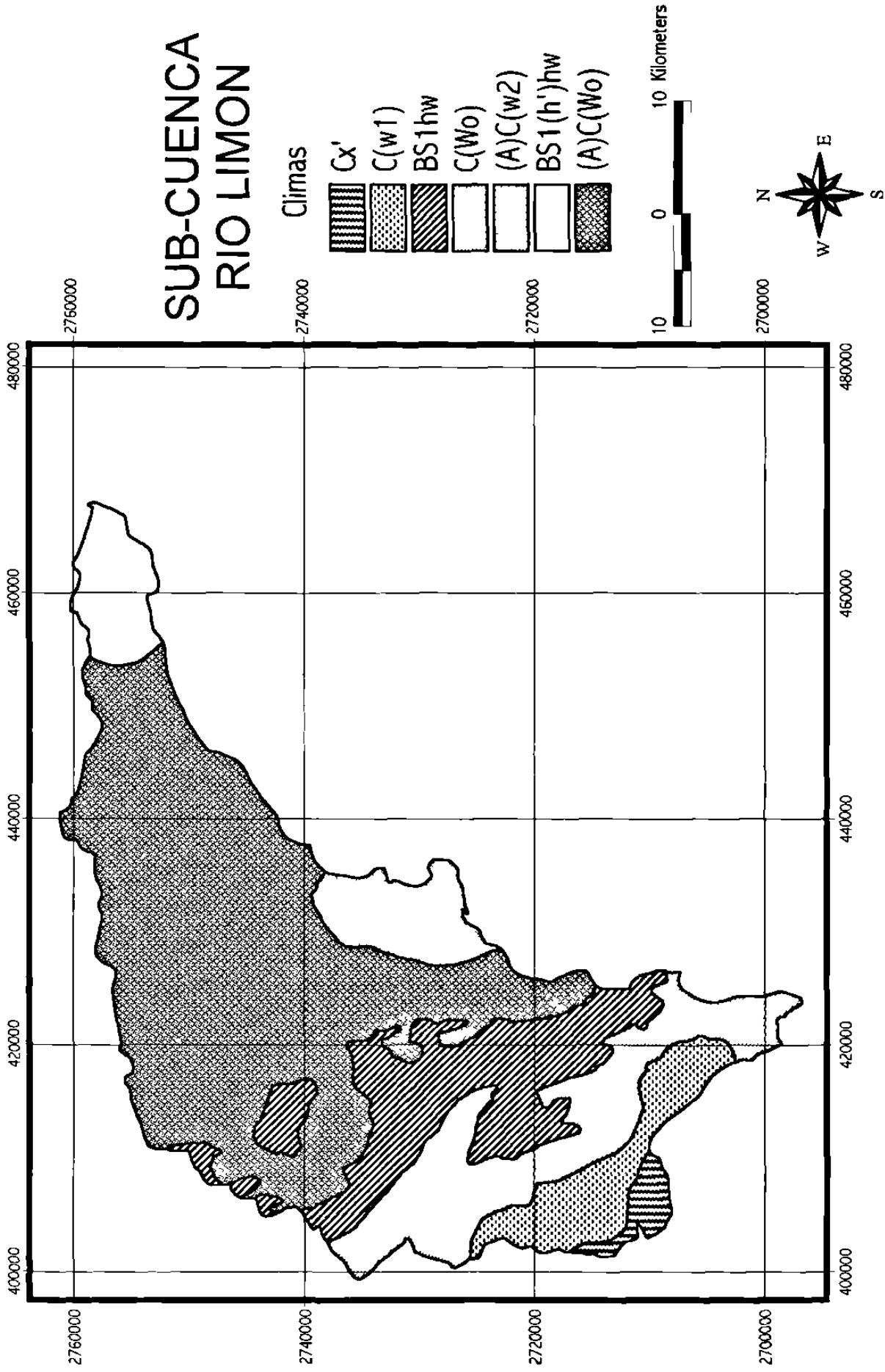


Figura 4.3 Distribución de los tipos de climas en la Subcuenca de estudio

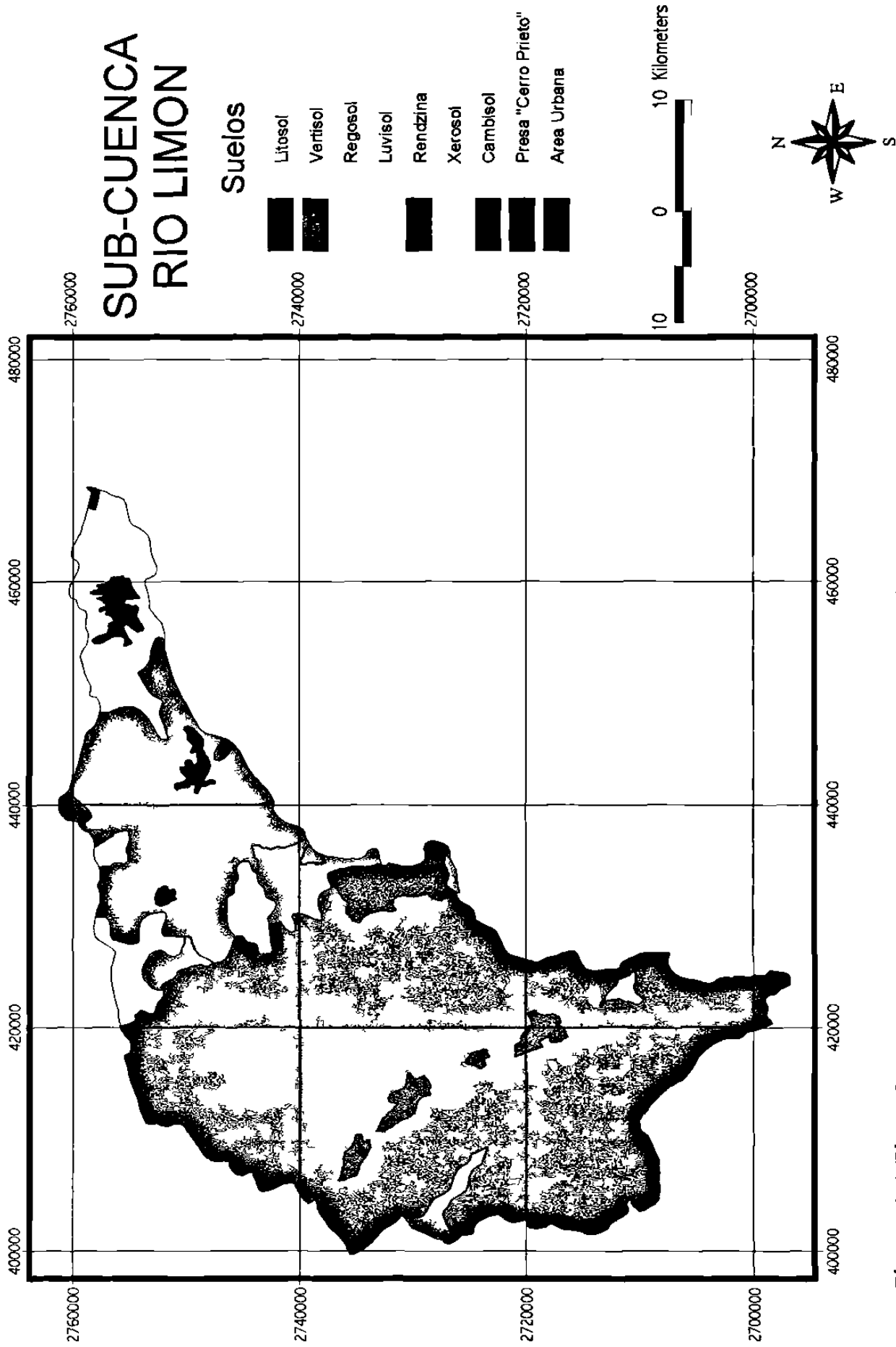


Figura 4.4 Tipos de suelo presentes en la Subcuenca de estudio

Vertisol: Esta unidad se caracteriza por las grietas anchas y profundas de 1 cm de ancho con una profundidad de 50 cm en la época de sequía, a menos que estén bajo riego. Abajo de los 20 cm (arados) tienen un 30% o más de arcilla en todos los horizontes, por lo menos dentro de los primeros 50 cm de la superficie. Su utilización agrícola es muy extensa, variada y productiva, son suelos casi siempre fértiles, difíciles en su manejo ya que la dureza dificulta la labranza y con frecuencia manifiestan problemas de inundación.

Xerosol: Se caracterizan por tener un horizonte "A" pálido bien desarrollado, presentan una capa superficial de color claro muy pobre de humus. Debajo de ésta puede haber un subsuelo rico en arcillas.

Utilizando el programa ARC-INFO*, y la información contenida en las cartas edafológicas de S.P.P. (1983) se elaboró una carta en la que se presenta la distribución de los tipos de suelos presentes dentro de la Subcuenca. La superficie ocupada por cada tipo de suelo se presenta en el Cuadro 4.4.

Cuadro 4.4 Distribución de las unidades de suelos en la Subcuenca

Tipo de suelo	Superficie (ha)	% de área
Litosol	114437.0	65.72
Vertisol	28357.0	16.29
Regosol	15446.0	8.87
Luvisol	5962.0	3.42
Rendzina	5200.0	2.99
Xerosol	1363.0	0.78
Cambisol	885.0	0.51
Presa	1499.0	0.86
Ciudades	978.0	0.56
Total	174130.0	100.00

Como se observa en el cuadro anterior, el litosol es la unidad de suelo que predomina en la Subcuenca, encontrándose en un 65.72% de la superficie, presentándose mayormente en la región fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, mientras que los vertisoles ocupan el segundo lugar con un 16.29% de superficie, encontrándose preferencialmente en la Planicie Costera del Golfo Norte.

4.7 Vegetación

Dado que en Nuevo León prevalecen condiciones de aridez, el tipo de vegetación que predomina en la Subprovincia de Llanuras y Lomeríos es el Matorral Tamaulipeco.

En términos generales, se puede decir que el matorral tamaulipeco es el extremo leñoso de las sabanas que cubren las regiones semiáridas subtropicales a nivel mundial (Peñaloza y Reid, 1989). La vegetación nativa de la provincia biótica tamaulipeca son matorrales diversos, espinosos y frecuentemente espesos (Heiseke, 1986). Zacates y hierbas por lo regular, son conspicuos en el estrato inferior, y son frecuentes las suculentas en la vegetación más abierta. Se encuentran comúnmente en la región cerca de 80 especies de árboles y arbustos, que varían entre 1 a 14 mts de altura. La vegetación es dominada por las leguminosas, que constituyen la tercera parte de las especies arbustivas y arbóreas, y las cuales contribuyen con la mitad de la cobertura que ejercen las plantas leñosas (Reid *et al.*, 1987).

Reid *et al.* (1988) realizaron una clasificación y ordenación de la vegetación regional, revelando que el clima, substrato y topografía son variantes ambientales que determinan la diversidad florística de la vegetación. Permiten caracterizar a la vegetación regional en 4 diferentes tipos de matorral:

Matorrales de sitios calichosos secos. En estos sitios se desarrolla una vegetación empobrecida, en su mayor parte inerte, que es dominada por *Acacia rigidula*, *Cordia boissieri* y *Helietta parvifolia* en el estrato superior, y *Karwinskia humboldtiana* y

Chamaecrista greggii en el estrato inferior. La vegetación varía de matorral bajo y mediano abierto a matorral alto abierto, muchas veces interrumpido por manchones de vegetación arbustiva enana en sitios más o menos planos, en la parte superior de lomas. Las partes abiertas están dominadas por arbustos bajos, menores de 1 m de altura, tal como *Krameria ramosissima* y *Calliandra conferta*.

Los matorrales altos, dominados por *Helietta parvifolia*, presentan una mayor abundancia del arbusto mediano *Acacia berlandieri* y tienden a presentarse en pendientes superiores, donde el substrato de caliche está más quebrado y permite mayor penetración de raíces y el desarrollo de la vegetación.

Matorrales de sitios secos con suelo profundo. Los suelos profundos en sitios secos generalmente posibilitan el desarrollo de matorrales altos y/o altos cerrados, que son espinosos y moderadamente diversificados, o mosaicos de este tipo de matorral y claros naturales de pastizal. En sitios planos lejos de arroyos, pequeños árboles (*Cordia boissieri*, *Prosopis leavigata* y *Condalia hookeri*) y arbustos altos espinosos (*Acacia rigidula*, *Celtis pallida*, *Pithecellobium pallens*) dominan el estrato superior, mientras que una mezcla de arbustos espinosos e inermes (*Acacia berlandieri*, *Forestiera angustifolia*, *Castela texana* y *Karwinskia humboldtiana*) contribuyen a la cobertura espesa del estrato inferior. En los mosaicos de matorral y pastizal, rodales de matorral están separados por claros de zacates, en extensiones variables. Mayor humedad promueve el desarrollo de bosque espinoso espeso de galería en sitios adyacentes a arroyos o en cuencas extensas con un alto nivel freático. En su mayor parte, árboles espinosos hasta 10 m (*Prosopis leavigata*, *Acacia farnesiana*, *Pithecellobium ébano* y *Diospyros texana*) y arbustos espinosos (*Zanthoxylum fagara*, *Celtis pallida* y *Pithecellobium pallens*) de hábito semiárboreo por su altura y diámetro de fuste, dominan los bosques bajos o bajos cerrados (Reid *et al.*, 1988).

Matorral de sitios húmedos con suelo profundo. Sitios de suelo profundo, alejados de depresiones y arroyos en la zona húmeda, posibilitan el desarrollo de matorrales altos

cerrados o bosques bajos cerrados. La vegetación es espesa, diversa y espinosa y los pequeños árboles y arbustos altos son de fuste múltiple y delgado. Las especies dominantes son los arbustos leguminosos, usualmente espinosos (*Acacia rigidula*, *Pithecellobium pallens*, *Eysenhardtia polystachya*, *Acacia berlandieri*) y pequeños árboles inermes (*Diospyros texana*, *Cordia boissieri* y *D. palmeri*). Una mezcla de arbustos espinosos e inermes (*Forestiera angustifolia*, *Zanthoxylum fagara*, *Randia spp.*, *Amyris texana*, *Bernardia myricaefolia* y *Celtis pallida*) y el pequeño árbol *Condalia hookeri*, dominan el estrato inferior espeso.

Cerca de arroyos, se encuentran bosques bajos cerrados o bosques cerrados hasta 14 m, dependiendo del factor humedad. Árboles inermes (*Diospyros palmeri* y *D. texana*) y espinosos (*Condalia hookeri*) dominan el estrato superior tal como los arbustos altos, *Zanthoxylum fagara* y *Pithecellobium pallens* que muchas veces adoptan un hábito semiarbóreo debido a su altura y grosor de fuste. El estrato inferior está dominado por una mezcla de arbustos y pequeños árboles espinosos e inermes (*Randia spp.*, *Amyris texana*, *Acacia rigidula*, *Forestiera angustifolia*, *Cordia boissieri* y *Celtis pallida*), que están distribuidos menos densamente en perfil vertical debido a la altura del bosque, que en matorrales cerrados o bosques bajos cerrados alejados de los arroyos y depresiones.

Matorral de sitios húmedos con suelo somero. Las pendientes superiores sobre un substrato de caliche desarrollan matorrales altos o bosques bajos, que son moderadamente diversos, principalmente inermes y botánicamente distintos. Los árboles generalmente inermes (*Diospyros texana*, *Gochmatia hypoleuca*, *Berberis chochoco*, *Diospyros palmeri* y *Condalia hookeri*) y una mezcla de arbustos inermes y espinosos (*Pithecellobium pallens*, *Helietta parvifolia* y *Acacia berlandieri*) dominan el estrato superior. El estrato inferior es menos denso en perfil vertical que los matorrales desarrollados en suelos profundos. Las especies que contribuyen más al estrato inferior son pequeños árboles y arbustos (*Cordia boissieri*, *Neopringlea integrifolia*, *Acacia rigidula*, *Bernardia myricaefolia*, *Bumelia celastrina*, *Randia spp.*, *Eysenhardtia*

polystachya y *Zanthoxylum fagara*).

Pendientes superiores sobre lutita desarrollan un matorral alto o bosque bajo, pero la vegetación es menos alta que las formaciones comparables en caliche. Arbustos principalmente espinosos (*Pithecellobium pallens*, *Eysenhardtia polystachya*, *Helietta parvifolia*) y pequeños árboles (*Cordia boissieri*, *Diospyros palmeri*, *D. texana* y *Fraxinus greggii*) dominan el estrato superior, y arbustos tanto espinosos como inermes (*Acacia rigidula*, *Bernardia myricaefolia*, *Zanthoxylum fagara*, *Forestiera angustifolia*, *Randia spp.* y *Chamaecrista greggii*), dominan el estrato inferior.

En la Subprovincia Gran Sierra Plegada de la Provincia Sierra Madre Oriental el clima se ve afectado por las variaciones de altitud provocando que la estructura de la vegetación siga un patrón originado por este gradiente.

Después de los matorrales, conforme se asciende comienzan a aparecer variaciones en la vegetación (Foroughbakhch y Martínez, 1986 en Cartens, 1987):

Matorral Submontano. Este matorral de 3-6 m de altura tiene su área de distribución tanto en la Planicie Costera del Golfo, como en las laderas de barlovento de la Sierra Madre Oriental, se desarrolla sobre suelos calizos o colubiales entre los 480 y los 1800 msnm, con una precipitación media anual que varía entre los 800 y 1000 mm. La composición florística y la densidad del arbolado varían según el manejo de la vegetación. Entre las especies dominantes se encuentran *Zanthoxylum fagara*, *Helietta parvifolia*, *Cordia boissieri*, *Neopringlea integrifolia*, *Acacia amentacea*, *Forestiera angustifolia*, *Diospyros texana*, *Celtis pallida*, *Bumelia sp.*, *Pithecellobium pallens*, *Rhus virens*, *Randia laetevirens*, *Pithecellobium flexicaule*, *Ehretia anacua*.

Bosque Esclerófilo de Encinos. Se localiza en las laderas Este de la Sierra Madre Oriental y se encuentra adyacente al bosque de pinos-encinos y al matorral alto subinermes, se caracteriza por la presencia de árboles medianos de 8 a 15 m de altura.

Las principales especies que existen en este tipo de vegetación son las siguientes; *Quercus fusiformes*, *Q. laceyi*, *Q. canbyi*, *Q. glaucoides*, *Juglans spp.*, *Hicoria pecan*, *Ugnadia speciosa*, *Arbutus arizonica*. Las gramíneas más abundantes son: *Setaria texana*, *Bouteloua cutipendula*, *B. hirsuta* y distintas especies de *Brumus spp.*

Bosques de Encinos y Pinos. Esta situado en las partes altas de la Sierra Oriental adyacentes al bosque de encino. Está formado por árboles de 10 a 18 m de altura dominando especies de los géneros *Quercus* y *Pinus*.

En este tipo vegetativo las especies que dominan son las siguientes: *Quercus rysophylla*, *Q. polymorpha*, *Q. canbyi*, *Q. mexicana*, *Q. cupreata* y diferentes especies de pinos como *Pinus pseudostrabus*, *P. montezumae*, *P. teocote*, *Arbutus xalapensis* y *Ugnadia spaciota*. Las gramíneas más importantes son *Bouteloua curtipendula*, *Setaria texana*, *Poa mulleri*.

Chaparral. Esta comunidad se distribuye entre la vegetación semiárida y los bosques de pino-encino que crecen en las localidades de altura. El estrato arbustivo es dominante y alcanza una altura promedio de 0.6 m. En las inmediaciones de esta comunidad se pueden presentar pequeños rodales o árboles aislados de los géneros *Pinus* y *Quercus*. Su distribución altitudinal esta entre los 1300 y 3200 msnm, sobre los suelos superficiales, bajo una precipitación media anual de que varía entre los 800 y 1000 mm. Su composición florística la representan primordialmente especies de Encino (*Quercus spp*) encontrándose también, *Cercocarpus mojadensis*, *Cowania plicata*, *Arctostaphilos pungens*, *Amelanchier denticulata*, *Lindleyella mespiloides*, *Dalea spp.* (Treviño, 1992).

Matorral Desértico Rosetófilo. Este matorral semiárido esta dominado por plantas en forma arrosetada, alcanzando esta comunidad como promedio una altura entre los 0.4 y 0.7 m, crece sobre suelos someros en lomeríos y pendientes pedregosas, algunas veces directamente sobre rocas calizas o yesos, en las exposiciones de sotavento de las

cordilleras de la Sierra Madre Oriental, se distribuye en un rango altitudinal entre los 1300 a 2200 msnm, con precipitaciones medias anuales entre 500 y 600 mm. La cobertura del suelo de esta vegetación es escasa, presentándose las plantas de manera aislada en toda la superficie. Las especies más representativas de esta comunidad son *Agave lecheguilla*, *Agave sp.*, *Dasyllirion longissimum*, entre otras (Rzedowski, 1978).

Los demás tipos de vegetación que se presentan en esta Gran Sierra Plegada: pastizales naturales e inducidos, vegetación halófila y vegetación de páramo de altura se presentan en pequeños manchones muy localizados (SPP, 1986).

Capítulo 5

Metodología

5.1 Tipo de muestreo y tamaño de muestra

Para la toma de datos en el campo se utilizó un muestreo sistemático, con una variante denominada no alineada. El muestreo sistemático con la variante no alineada difiere del muestreo sistemático original, en la variación aleatoria de una de las coordenadas geográficas. Lo anterior permite introducir cierta aleatoriedad en la elección de la muestra, mientras reduce el sesgo debido a la periodicidad (Chuvienco, 1990).

Para este estudio, los puntos de muestreo se ubicaron dividiendo el área de estudio en una malla regular de líneas equidistantes de un kilómetro, haciendo coincidir éstas con la cuadrícula de UTM (Universal Transversal de Mercator) registrada en las cartas de INEGI (Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática), de 1983.

Cada intersección correspondió, una vez aplicada la variación aleatoria ya mencionada, a un punto de muestreo. En algunos casos, se muestrearon también áreas cuya ubicación no correspondía a las intersecciones señaladas, debido a la presencia de las distintas condiciones de degradación del suelo.

Se levantó información en 50 parcelas de muestreo, las cuales cubrieron el 0.02% de la superficie total de la subcuenca.

Las unidades de muestreo seleccionadas, se ubicaron en campo mediante un receptor del Sistema de Posicionamiento Global. Para cada sitio se llenó un formato de campo (Anexo 1) registrándose en él los siguientes datos: fecha, uso de suelo, tipo de escurrimiento, topografía, coordenadas UTM, profundidad del suelo y

uso del suelo, así como los resultados de los análisis de contenido de materia orgánica y salinidad.

5.2 Registro de los parámetros de evaluación

5.2.1. Muestreo de la vegetación

El muestreo de la vegetación consistió en 3 parcelas para cada sitio de muestreo. Las dimensiones de la parcelas para el registro de las especies del estrato alto fueron de un radio de 50 metros (7854 m²). Al interior de éstas, se establecieron las otras dos parcelas: para la determinación de la cobertura del estrato medio, las parcelas fueron de 5 por 5 metros, y para el estrato bajo de 1m por 1m.

5.2.2. Muestreo de los parámetros del suelo

Considerando el punto central de la unidad de muestreo, se introdujo en el suelo una barrena graduada hasta una profundidad en la que se consideró haber llegado a la roca madre o bien a alguna capa de caliche y se registró este dato como la profundidad del suelo.

Después, se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 0-30 cm y se depositaron en bolsas de plástico, etiquetándolas, para ser llevadas en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Forestales, de la UANL y analizarlas químicamente. Los análisis consistieron en determinar el contenido de materia orgánica y contenido de sales. La determinación de la materia orgánica se hizo en base al método de combustión húmeda y titulación según Walkley/Black; mientras que la determinación del contenido de sales se efectuó mediante el método de conductividad eléctrica en suspensión suelo-agua 1:5, siguiendo el método descrito por Woerner (1989).

5.2.3 Indicadores estimados visualmente

Los indicadores o las variables estimados visualmente también aportan información referente a los procesos de desertificación y fueron analizados

estadísticamente.

Las variables que se registraron visualmente fueron: tipo de escurrimiento, topografía y uso de suelo. Estas variables fueron clasificadas de la siguiente manera.

a) Tipo de escurrimiento:

- i) Escurrimiento laminar:
- ii) Escurrimiento laminar y escasos surcos:
- iii) Escurrimiento en surcos:
- iv) Escurrimiento en cárcavas:

b) Topografía: sierra, lomerío, valle, planicie.

c) Uso del suelo: forestal, agostadero, pastizales, cultivo.

5.2.4 Estimación de la erosión hídrica

La metodología utilizada para predecir la pérdida de suelo anual fue la diseñada por Wischmeier y Smith (1965) (Vich, 1989).

Con ella se evalúa este proceso de carácter universal, adoptando los parámetros de la ecuación a las condiciones locales, sin que ello modifique los aspectos básicos del método.

La metodología está dada por la ecuación:

$$A = 0.224 R K L S C P$$

donde A representa la pérdida de suelo en kg/m^2 por evento (año, tormenta, etc.); R es el índice de erosividad asociado a la lluvia del sitio; K representa la erodabilidad del suelo; LS son factores topográficos en los que toman en cuenta la pendiente y su longitud; C representa al tipo de cultivos empleados o cobertura vegetal y P es el factor de prácticas de cultivo considerando las obras hechas para el control de la erosión.

A continuación se especifica la forma en que fue calculada cada una de estas variables.

a) Índice de erosividad de la lluvia (R): El factor "R" no se cuantificó como lo pide la versión original pues su cálculo requiere de varios años de registro de precipitación diaria, y conocer la intensidad de ésta. Por lo que su aplicación se ve limitada en México debido a la carencia de estaciones meteorológicas con registradores continuos en tiempo.

Para el presente investigación, se utilizó el Índice de erosividad o de Fournier, modificado por la FAO en 1980, el cuales igual al cociente de la suma de los cuadrados de los promedios mensuales divididos entre el promedio anual de todos los años registrados (Almaguer *et al.*, 1990).

b) Índice de erodabilidad del suelo (K): El factor "K" es un indicador cuantitativo de la aptitud o resistencia que poseen los suelos a la erosión, cuando los demás factores se mantienen constantes. En otras palabras, este factor refleja la acción combinada de distintas propiedades como: infiltración, permeabilidad, contenido de materia orgánica, textura y estructura. Para la determinación de "K", para las unidades muestrales del área de estudio, se obtuvieron los datos cuantitativos sobre infiltración, permeabilidad, contenido de materia orgánica, textura y estructura de cada tipo de suelo a través de la carta edafológica escala 1:250,000 (INEGI, 1983).

Posteriormente, se procedió a determinar el valor de "K" mediante un nomograma (Tabla 1) que se basa en la composición mecánica del suelo (Wischmeier *et al.*, 1971 citado por Figueroa, 1975).

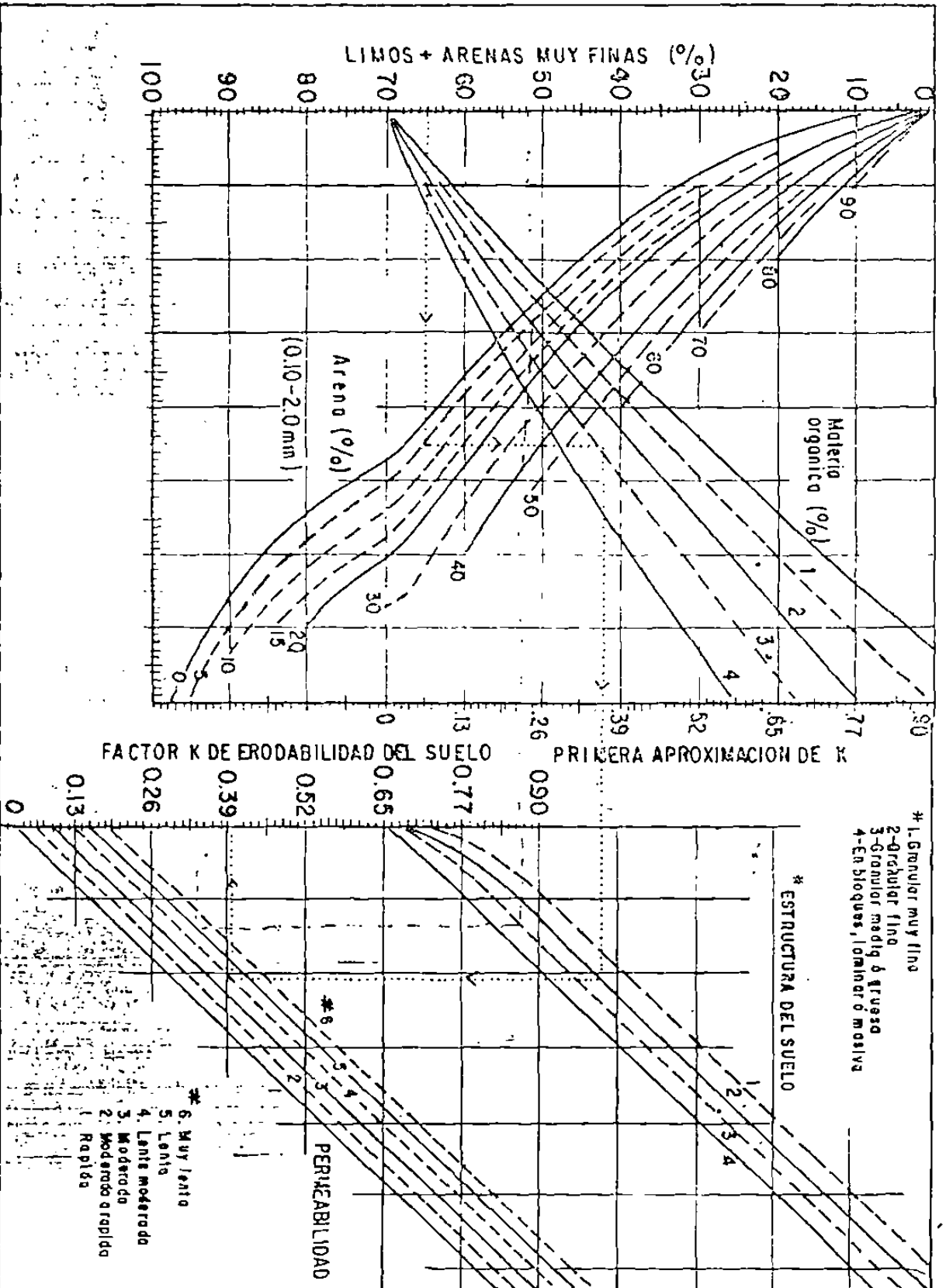


Figura 5.1- Nomograma para la determinacion del valor de K (Wischmeier, et al 1971)

c) Índice topográfico (LS): El índice topográfico se obtuvo mediante la fórmula de Morgan (1989):

$$LS = \frac{L}{100} (0.136 + 0.097S + 0.013 S^2)$$

donde; L es la longitud de la pendiente y S es la pendiente en valor porcentual. Se determinó para longitud de la pendiente en base al radio de la parcela arbórea.

d) Cálculo del factor de cobertura y prácticas de manejo: El factor "C" es la relación de la pérdida de suelo bajo condiciones específicas de cobertura vegetal. Para definir el factor "C" en los sitios muestreados, se consideraron los coeficientes determinados por Nívar *et al.* (En Prensa) quienes señalan para la vegetación nativa, áreas forestales, agricultura y pastizales, valores de 0.00325, 0.0133, 0.0105 y 0.014 respectivamente, para lluvias diarias que ocasionan escorrentía y erosión notorias.

e) Con respecto al factor "P" se consideró el valor 1.0, ya que en los suelos de la subcuenca no se encontró ningún tipo de labor de conservación del suelo.

Los rangos de valores y grados de producción de sedimentos están dados por el manual de Conservación de Suelos (Chapingo y SARH, 1991). La definición de los rangos surge de las investigaciones realizadas por las citadas dependencias, quienes han encontrado que en condiciones alteradas por efecto de prácticas de labranza, las pérdidas permitidas van desde 0.4ton/ha/año, en suelos poco profundos y de permeabilidad reducida, hasta 1.8 toneladas de suelo/ha/año en suelos profundos y bien drenados.

El uso del suelo permite determinar la erosión hídrica de los suelos de interés y así mismo definir qué áreas son prioritarias en lo que a la conservación del suelo se refiere. En el Anexo 2 se presenta el cálculo de la erosión hídrica, para cada sitio de muestreo, utilizando la fórmula descrita. Los valores de pérdida de suelo, promediados por uso de suelo, se muestran en el Cuadro 5.1.

5.1.- Valores de erosión hídrica calculada para cada uso de suelo, mediante la ecuación universal de pérdida de suelo.

Uso del Suelo	Perdida erosion Ton/ha/año	Perdidas* permisibles ton/ha/año
Agrícola	3.0	0.8
Pastizales	14.0	1.0
Forestal	28.0	1.8
Agostadero	7.0	0.4

*En base a las características del suelo, reportados por Chapingo y SARH, 1991

5.3 Determinación de los indicadores críticos de la desertificación

Se registró un total de cinco indicadores relacionados con las condiciones físico-químicas del suelo para evaluar la desertificación. Adicionalmente, se registraron datos de cobertura vegetal, uso de suelo, tipo de suelo, topografía y clima para analizar las posibles correlaciones entre estas variables y los grados de desertificación.

Los indicadores registrados fueron:

PS= Profundidad del suelo

ES= Escurrimiento

SAL= Salinidad

MO= Materia orgánica

ER = Erosión

Con la finalidad de reducir al mínimo posible la cantidad de indicadores necesarios para estimar la desertificación, y con ello reducir tiempos y costos en la evaluación, se procedió a aplicar un análisis estadístico denominado "componentes principales". Esta técnica de análisis multivariado ha sido ampliamente utilizada en disciplinas científicas cuando se busca resumir un grupo amplio de variables en un nuevo conjunto, más pequeño, sin perder una parte significativa de la información

original (Pielou, 1984; Gauch, 1980).

El análisis de componentes principales está estructurado para reducir la información de la totalidad de las variables originales, aprovechando la alta correlación que existe entre ellas, hasta obtener unos pocos indicadores que conjunten la mayor parte de esa información original. Tales indicadores que conjuntan la mayoría de la información aportada por numerosas variables se denominan "componentes principales" del conjunto de las "m" variables originales.

Con este método se obtiene tantos componentes principales como "m" variables originales tengan, pero con la característica especial de que cada uno de los componentes calculados será la combinación lineal de todas las "m" variables de partida. La única condición para lograr lo anterior es la existencia de una correlación fuerte entre las variables de estudio.

Es importante señalar que para el desarrollo del método se requiere emplear la varianza o desviación estándar de las variables, dado que estos estimadores son una medida de las dispersiones que existen entre las variables de cada uno de los casos, al igual que la covarianza (Huber y Runyon, 1976, citados por de León, 1988).

La determinación de los componentes principales y la magnitud de estos se realizó mediante el paquete estadístico denominado SAS.

5.4 Determinación de los grados de desertificación

Una vez definidos, mediante el análisis de componentes principales, los indicadores que conforman el modelo para evaluar la desertificación, se procedió a definir el rango de cada indicador, considerando los valores máximos y mínimos registrados.

Después, se formuló una ecuación con la adición de cada uno de los valores de los indicadores seleccionados, cuyo resultado se le sustrae el valor obtenido de un

sitio en condiciones climatológicas y de suelo semejantes a las del área bajo evaluación, además de presentar el menor disturbio posible. El resultado de dicha sustracción es el valor de desertificación del sitio que se evalúa (Maldonado y Pando, 1994).

A continuación se presenta lo descrito, en forma matemática:

$$D = SM - SR$$

$$SM: ES + ER + MO + SAL + PS$$

$$SR: ES' + ER' + MO' + SAL' + PS'$$

Donde: D= Grado de desertificación

SM = Sitios de muestreo (áreas de degradación de tierra)

SR = Sitios de referencia (áreas con vegetación natural)

ES= Tipo de escurrimiento

ER= Erosión

MO= Materia orgánica

SAL=Salinidad

PS = Profundidad del suelo

La forma de selección de las áreas referenciales varió en esta investigación, con relación a lo propuesto por Maldonado y Pando (1994). El método que se siguió aquí fue separar los sitios en grupos que tuvieran características de clima y tipo de suelo semejantes y seleccionar, al interior de cada grupo, aquel sitio cuya sumatoria de los indicadores evaluados fuera menor. Este sitio fue utilizado como parcela referencial, de tal forma que todos los demás sitios de ese mismo grupo fueron comparados contra éste.

Una vez calculados los valores de desertificación de cada sitio, se procedió a analizar la correlación entre dichos valores y las variables adicionales registradas que fueron: tipo de suelo, topografía, clima, uso de suelo y cobertura arbórea; expresada ésta última como 4 variables diferentes: cobertura de herbáceas, de arbustivas, cobertura arbórea y cobertura total.

Este análisis se realizó con la finalidad de identificar qué factor o factores determinan, en mayor medida, los procesos de desertificación.

Capítulo 6

Resultados y Discusión

Se muestreó un total de 50 sitios, los cuales cubrieron el 0.02% de la superficie total de la subcuenca y quedaron ubicados bajo diferentes condiciones topográficas, de tipo de suelo, clima y uso de suelo. Los parámetros registrados para cada sitio (profundidad de suelo, escurrimiento, salinidad, materia orgánica, cobertura total, de herbáceas, de arbustivas, cobertura arbórea, clima, topografía, tipo de suelo, uso de suelo y erosión) se muestran en el Anexo 3.

En el Cuadro 6.1 se especifican las características para cada sitio, donde se puede observar que el uso de suelo que predominó en los muestreos realizados fue el de agostadero, el cual se registró en 29 sitios; con uso agrícola se registraron 14 sitios, 5 con uso forestal y 2 de pastizal.

En lo que respecta al clima, en los muestreos predominó el clima 3 (semicálido-subhúmedo) el cual ocupa el 50.86% de la superficie total del área de estudio. Los climas 1 (templado) y 2 (secos semicálidos) fueron registrados en 12 y 14 sitios de muestreo respectivamente. De las 50 sitios muestreados, 19 correspondieron a la sierra, 16 a lomeríos, 14 quedaron ubicado en planicies y sólo uno, en un valle. En lo que respecta al tipo de suelo, el litosol es el predominante en la Subcuenca y esto se vió reflejado en que 29 sitios de muestreo presentaron dicho tipo de suelo.

Cuadro 6.1 Características topográficas, de tipo de suelo, clima y uso de suelo de los sitios muestreados.

sitio	Coordenadas UTM N E	Topografía	Tipo de suelo	Clima	uso de suelo
1	2712109 422303	Sierra	Litosol	C(Wo)	Pastizal
2	2710667 410527	Sierra	Litosol	Cx'	Forestal
3	2734537 420242	Sierra	Litosol	BS ₁ hw	Agostadero
4	2732671 420726	Sierra	Litosol	BS ₁ hw	Agostadero
5	2730800 413250	Valle	Litosol	BS ₁ hw	Cultivo
6	2720301 419624	Sierra	Litosol	BS ₁ hw	Agostadero
7	2759298 430143	Lomerío	Rendzina	(A)C(Wo)	Agostadero
8	2728580 413313	Sierra	Litosol	C(Wo)	Agostadero
9	2739971 439515	Lomerío	Vertisol	(A)C(WO)	Agostadero
10	2752184 420937	Lomerío	Litosol	(A)C(Wo)	Cultivo
11	2712200 421876	Sierra	Litosol	C(Wo)	Pastizal
12	2749750 440316	Planicie	Vertisol	(A)C(Wo)	Agostadero
13	2712486 421903	Sierra	Litosol	C(Wo)	Cultivo
14	2701804 422371	Sierra	Litosol	C(Wo)	Cultivo
15	2722000 440009	Lomerío	Litosol	(A)C(w ₂)	Agostadero
16	2719443 399157	Sierra	Litosol	C(w ₁)	Cultivo
17	2710000 400000	Sierra	Litosol	Cx'	Forestal
18	2730000 398000	Sierra	Litosol	C(Wo)	Agostadero
19	2739900 400000	Sierra	Xerosol	BS ₁ hw	Agostadero
20	2749965 400339	Sierra	Litosol	BS ₁ hw	Agostadero
21	2759840 412000	Lomerío	Litosol	BS ₁ hw	Agostadero
22	2740119 429775	Planicie	Litosol	(A)C(Wo)	Agostadero
23	2730000 430000	Lomerío	Litosol	(A)C(w ₂)	Agostadero
24	2720186 430159	Lomerío	Litosol	(A)C(w ₂)	Agostadero
25	2729998 440000	Lomerío	Litosol	(A)C(w ₂)	Agostadero
26	2749307 450065	Planicie	Vertisol	(A)C(Wo)	Cultivo
27	2760071 440416	Lomerío	Litosol	(A)C(Wo)	Agostadero

28	2710551 409488	Sierra	Litosol	Cx'	Forestal
29	2712526 414388	Sierra	Litosol	C(w ₁)	Forestal
30	2701230 422269	Sierra	Litosol	C(Wo)	Agostadero
31	2760000 470000	Planicie	Xerosol	BS ₁ (h')hw	Cultivo
32	2749920 469915	Planicie	Vertisol	(A)C(Wo)	Agostadero
33	2750000 460000	Planicie	Vertisol	BS ₁ (h')hw	Cultivo
34	2759372 459750	Lomerío	Rendzina	BS ₁ (h')hw	Agostadero
35	2750000 430000	Lomerío	Vertisol	(A)C(Wo)	Agostadero
36	2760000 401750	Lomerío	Litosol	BS ₁ hw	Agostadero
37	2738109 418840	Sierra	Litosol	(A)C(Wo)	Forestal
38	2736544 408310	Sierra	Litosol	(A)C(Wo)	Agostadero
39	2760000 420000	Planicie	Rendzina	(A)C(Wo)	Agostadero
40	2756682 460887	Planicie	Rendzina	BS ₁ (h')hw	Cultivo
41	2756313 460985	Planicie	Rendzina	BS ₁ (h')hw	Agostadero
42	2735043 439117	Lomerío	Vertisol	(A)C(w ₂)	Agostadero
43	2732804 437618	Planicie	Vertisol	(A)C(w ₂)	Cultivo
44	2750211 453720	Planicie	Vertisol	(A)C(Wo)	Cultivo
45	2747284 446722	Lomerío	Vertisol	(A)C(Wo)	Agostadero
46	2755497 446389	Planicie	Vertisol	(A)C(Wo)	Cultivo
47	2757454 449538	Lomerío	Rendzina	(A)C(Wo)	Agostadero
48	2758405 450074	Lomerío	Litosol	(A)C(Wo)	Agostadero
49	2757750 462693	Planicie	Vertisol	BS ₁ (h')hw	Cultivo
50	2751998 444439	Planicie	Vertisol	(A)C(Wo)	Cultivo

El análisis de componentes principales aplicado sobre los 5 indicadores inicialmente registrados, permitió identificar a cuatro de ellos (escurrimiento, erosión, contenido de materia orgánica y salinidad) como aquellos que aportan la mayor cantidad de información para la determinación de la desertificación en el área.

Dicho análisis se realizó con los valores absolutos registrados para cada variable. Los resultados del análisis se presentan en el Cuadro 6.2, en el cual se observa que los primeros tres componentes explican el 0.77252 de la variación, por lo que estos tres fueron seleccionados.

Con base en los valores (eigenvectores) que muestran las variables del suelo en los primeros dos componentes, se definieron los indicadores que constituyen el modelo final: tipo de escurrimiento (ES), erosión (ER), salinidad (SAL) y materia orgánica (MO)

Cuadro 6.2 Eigenvalores de la matriz de correlación y eigenvectores del análisis de componentes principales de las variables evaluadas en el estudio

Eigenvalores de la matriz de correlación				
	Eigenvalor	Diferencia	Proporción	Acumulado
PRIN1	1.79153	0.425521	0.358305	0.35831
PRIN2	1.36600	0.660924	0.273201	0.63151
PRIN3	0.70508	0.070069	0.141016	0.77252
PRIN4	0.63501	0.132630	0.127002	0.89952
PRIN5	0.50238		0.100475	1.00000

Eigenvectores			
	PRIN1	PRIN2	PRIN3
PS	-.557659	-.098332	0.496485
ES	0.578748	-.273798	-0.053373
SAL	0.074835	0.687479	-0.458595
MO	0.154476	0.659638	0.588144
ER	0.569740	-.087270	0.440943

Una vez seleccionados los indicadores que se utilizarían para evaluar la desertificación, se procedió a definir los rangos para cada uno de ellos, considerando los valores máximos y mínimos registrados en campo (Cuadro 6.3). En el Anexo 1 se presentan los valores absolutos de los indicadores registrados en cada sitio, así como el rango correspondiente de acuerdo con las especificaciones del Cuadro 6.3.

Cuadro 6.3 Indicadores y rangos de valores utilizados en el modelo

Escurrimiento (ES)		Erosión (ER)	
Laminar	:1	menor de 0.68 ton/ha	:1
Laminar y escasos en surcos	:2	de 0.69 y 1.37 ton/ha	:2
Surcos	:3	de 1.38 y 2.06 ton/ha	:3
Cárcavas	:4	de 2.07 y 2.75 ton/ha	:4
		arriba de 2.76 ton/ha	:5
Salinidad (SA)			
Menor de 500 Mmhos	:1		
de 500 y 1000 Mmhos	:2		
de 1000 y 2000 Mmhos	:3		
de 2000 y 4000 Mmhos	:4		
mayor de 4000 Mmhos	:5		
Materia orgánica (MO)			
Arenoso (1)		Franco (2)	Arcilloso (3)
menor de 0.43	:5	menor de 0.86	:5
de 0.43 y 0.86	:4	de 0.86 y 1.30	:4
de 0.86 y 1.30	:3	de 1.30 y 2.60	:3
de 1.30 y 2.60	:2	de 2.60 y 4.30	:2
mayor de 2.60	:1	mayor de 4.30	:1
			menor de 1.30 :5
			de 1.30 y 1.70 :4
			de 1.70 y 3.40 :3
			de 3.40 y 6.90 :2
			mayor de 6.90 :1

Los rangos de los cuatro indicadores se sumaron y se seleccionó el sitio que sería utilizado como referencial para cada unidad de clima y tipo de suelo. La diferencia numérica entre ambas sumatorias (la del sitio referencial y la del sitio evaluado) indica el grado de desertificación (Cuadro 6.4).

Cuadro 6.4 Sitios agrupados por unidades clima/suelo, valor asignado a cada indicador: ES, ER, MO y SAL y grado de desertificación calculado para cada sitio.

Clima 1= subgrupo climas templados, clima 2= subgrupo climas secos, clima 3= subgrupo climas semicálidos subhúmedos.

ES= escurrimiento, ER= erosión, MO= materia orgánica y SAL= salinidad.

* Sitios referenciales de cada unidad clima/tipo de suelo

Sitio	Clima	Suelo	ES	ER	MO	SAL	Suma	Grado de desertificación
2	1	Litosol	2	4	1	1	8	3
17	1	Litosol	1	3	1	1	6	1
28	1	Litosol	4	4	3	1	12	7
16	1	Litosol	1	2	1	1	5	0*
29	1	Litosol	4	4	5	1	14	9
1	1	Litosol	2	2	4	1	9	4
8	1	Litosol	3	5	3	1	12	7
11	1	Litosol	2	3	1	1	7	2
13	1	Litosol	2	3	2	1	8	3
14	1	Litosol	2	2	2	1	7	2
30	1	Litosol	3	3	1	1	8	3
18	1	Xerosol	3	1	2	1	7	0*
3	2	Litosol	3	5	1	1	10	6
4	2	Litosol	2	4	5	1	12	8
5	2	Litosol	1	1	1	1	4	0*
6	2	Litosol	2	1	3	1	7	3
19	2	Litosol	1	2	1	1	5	1
20	2	Litosol	2	1	1	1	5	1
21	2	Litosol	1	1	2	1	5	1
36	2	Litosol	1	1	5	1	8	4
33	2	Vertisol	1	1	2	1	5	0*
49	2	Vertisol	1	1	3	1	6	1
34	2	Rendzina	2	1	3	1	7	0*
40	2	Rendzina	2	1	3	5	11	4
41	2	Rendzina	3	1	4	1	9	2
31	2	Xerosol	1	1	3	1	6	0*

15	3	Litosol	2	1	1	1	5	0*
23	3	Litosol	2	1	4	1	8	3
24	3	Litosol	2	5	1	1	9	4
25	3	Litosol	2	1	3	1	7	2
10	3	Litosol	1	1	2	1	5	0
22	3	Litosol	1	1	2	1	5	0
27	3	Litosol	1	1	2	1	5	0
37	3	Litosol	2	5	3	1	11	6
38	3	Litosol	3	2	1	1	7	2
48	3	Litosol	1	1	3	1	6	1
42	3	Vertisol	1	1	2	1	5	1
43	3	Vertisol	1	1	3	1	6	2
9	3	Vertisol	2	1	3	1	7	3
12	3	Vertisol	2	1	3	1	7	3
26	3	Vertisol	1	1	1	1	4	0*
32	3	Vertisol	1	1	2	1	5	1
35	3	Vertisol	1	1	5	1	8	4
44	3	Vertisol	4	1	3	1	9	5
45	3	Vertisol	1	1	2	1	5	1
46	3	Vertisol	1	1	4	1	7	3
50	3	Vertisol	1	1	2	1	5	1
7	3	Rendzina	2	1	1	1	5	1
39	3	Rendzina	1	1	1	1	4	0*
47	3	Rendzina	1	1	2	1	5	1

Los valores de desertificación fueron, a su vez, divididos en rangos y clasificados como: desertificación ligera, desertificación moderada, grave y extrema (Cuadro 6.5).

Cuadro 6.5 .- Rangos establecidos para los valores de desertificación

Valores de	0 - 3	desertificación ligera
Valores de	4 - 7	desertificación moderada
Valores de	8 - 11	desertificación grave
Valores de	12 - 15	desertificación extrema

Los valores arriba indicados fueron establecidos con base en la determinación del grado más crítico de desertificación que se podría presentar en los sitios, de acuerdo con los parámetros considerados. De aquí se tendría un valor de 19 (4+5+5+5) para el sitio de muestreo y un valor, de 4 (1+1+1+1) para el sitio de referencia, y la sustracción de estos daría el valor de desertificación máximo establecido, que es de 15.

Para los sitios ubicados en suelos de tipo Xerosol no fue posible estimar el grado de desertificación pues no existió un punto de comparación para estos, ya que solamente se muestreó un sitio en el clima tipo 1 y otro en en clima tipo 2 (Cuadro 6.4).

Los 48 sitios restantes fueron clasificados de acuerdo a los rangos establecidos en el Cuadro 6.5, encontrando que el 75% de los sitios evaluados presentó una desertificación ligera, el 21% moderada y sólo un 4% presentó una desertificación grave (Cuadro 6.6).

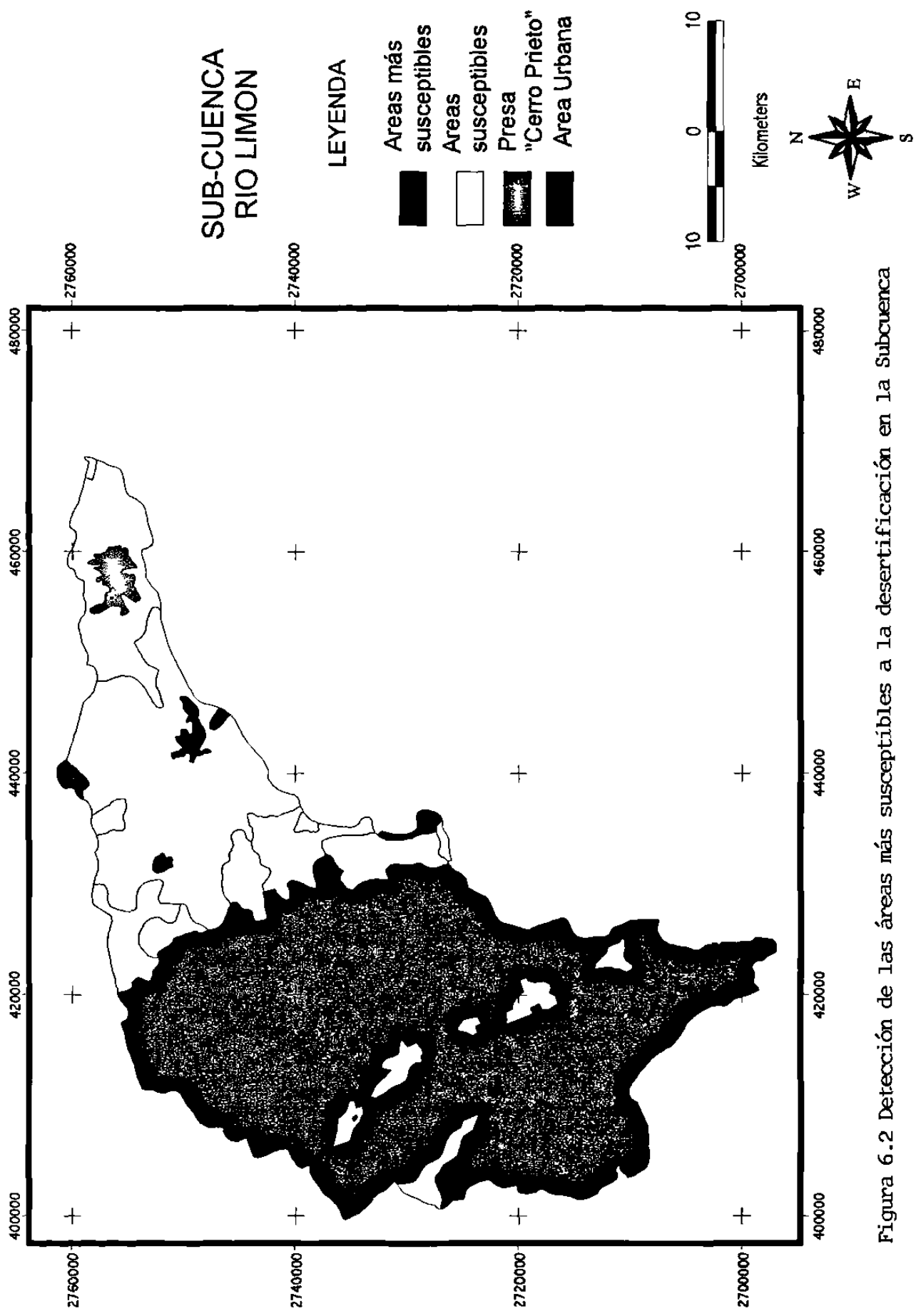


Figura 6.2 Detección de las áreas más susceptibles a la desertificación en la Subcuenca

Analizando los datos por tipo de suelo, se observa (Cuadro 6.6) que dentro de los suelos de Litosol, el 7% de los sitios presentó desertificación grave, un 24% desertificación moderada y el 69% restante presentó una desertificación ligera. En el caso de los vertisoles, estos no presentaron ningún sitio con desertificación grave, sólo un 15% presentó desertificación moderada y el 85% resultó con desertificación ligera.

En la Figura 6.1 se muestran los índices de desertificación para cada sitio de muestreo, así como el tipo de suelo en que se encuentran ubicados.

Cuadro 6.6 Número de sitios correspondientes a cada nivel de desertificación en cada unidad clima/suelo.

	Ligera	Moderada	Grave	Extrema
Clima1/Litosol	7	3	1	
Clima2/Litosol	5	2	1	
Clima2/Vertisol	2			
Clima2/Rendzina	2	1		
Clima3/Litosol	8	2		
Clima3/Vertisol	9	2		
Clima3/Rendzina	3			
TOTAL	36 (75%)	10 (21%)	2 (4%)	

Evidentemente estos resultados no indican la magnitud de la degradación con respecto a las condiciones originales del sitio, pero sí muestran una jerarquización de los niveles de desertificación en la región de estudio. Estos valores permitirán conocer, mediante un análisis de correlación, cuáles son los factores climáticos, edáficos o de vegetación, asociados a los más altos grados de desertificación en la zona. Esta

información permitirá tomar medidas preventivas en aquellas áreas donde dichos factores estén presentes.

El análisis de correlación entre los valores de desertificación y las ocho variables asociadas (tipo de suelo, topografía, uso de suelo, subclima, cobertura herbácea, cobertura arbustiva, cobertura arbórea y cobertura total) mostró una correlación significativa (0.05) para cuatro de ellas: uso de suelo, topografía, tipo de suelo y cobertura arbórea. El Cuadro 6.7 muestra los valores para aquellas variables cuya correlación fue significativa por arriba del 0.05.

Cuadro 6.7 Coeficientes de correlación y nivel de significancia

número de datos: 50	VAR 4 = Suelo	VAR 8 = Cobertura Total
VAR 1 = Subclima	VAR 5= Herbia	
VAR 2 = Uso de suelo	VAR 6 = Arbustos	VAR 9 = Desertificación
VAR 3 = Topografía	VAR 7 = Arbol	

$r(1\ 3)=0.5171^{**}$	$r(1\ 6)=0.3775^{**}$	$r(1\ 8)=0.3405^*$	$r(2\ 3)=0.4907^{**}$
$r(2\ 7)=-0.3530^*$	$r(2\ 9)=-0.3149^*$	$r(3\ 4)=0.5208^{**}$	$r(3\ 6)=0.3236^*$
$r(3\ 9)=-0.3410^*$	$r(4\ 9)=-0.3213^*$	$r(5\ 8)=0.5364^{**}$	$r(6\ 8)=0.6690^{**}$
$r(7\ 9)=0.3529^*$			

* = Correlación significativa al nivel de 0.05

** = Correlación significativa al nivel de 0.01

Aquellas variables que presentaron una correlación significativa con los valores de desertificación fueron analizadas para determinar qué condiciones edáficas, topográficas y de uso de suelo estuvieron asociadas a los valores más altos de desertificación.

En lo que respecta al uso de suelo, se encontró que el uso forestal fue el que presentó un mayor porcentaje (80%) de los sitios evaluados con condiciones de desertificación moderada y graves. Los sitios de agostadero presentaron de un 20% de los sitios bajo esas mismas condiciones, mientras que tan sólo un 14% de los sitios bajo cultivo presentaron desertificación moderada y ningún sitio, bajo este uso, presentó desertificación grave ni extrema (Cuadro 6.8).

Cuadro 6.8.- Porcentaje de sitios que presentaron los diferentes grados de desertificación, clasificados por uso de suelo. El número en el paréntesis indica el número de sitios.

	Incipiente	Desertificación		
		moderada	grave	extrema
Forestal	20% (1)	60% (3)	20% (1)	
Agostadero	79% (23)	17% (5)	4% (1)	
Pastizal	50% (1)	50% (1)		
Cultivo	86% (12)	14% (2)		

Al analizar los valores de desertificación en función de la topografía, se encontró que los valores más altos de desertificación están asociados con los sitios ubicados en la sierra (Cuadro 6.9), en segundo lugar con los sitios ubicados en lomeríos, mientras que la planicie fue la topografía que presentó el menor porcentaje de sitios con desertificación moderada y ningún sitio con desertificación grave.

Cuadro 6.9.- Porcentaje de sitios que presentaron los diferentes grados de desertificación, clasificados por topografía. El número en el paréntesis indica el número de sitios.

	Desertificación			
	Incipiente	moderada	grave	extrema
Sierra	63% (12)	21% (4)	14% (3)	
Lomerío	81% (13)	19% (3)		
Valle y planicie	87% (13)	13% (2)		

En cuanto al tipo de suelo, el mayor porcentaje de sitios con desertificación moderada y grave se presentó en los suelos de Litosol, con un 31% de los sitios ubicados en estas categorías. Para los suelos de Vertisol y Rendzina no se registró ningún sitio con desertificación grave y, en ambos casos, el porcentaje de sitios con desertificación moderada fue muy similar, con un 15% y un 17% respectivamente (Cuadro 6.10)

Cuadro 6.10.- Porcentaje de sitios que presentaron los diferentes grados de desertificación, clasificados por tipo de suelo. El número en el paréntesis indica el número de sitios.

	Desertificación			
	Incipiente	moderada	graves	extrema
Litosol	69% (20)	24% (7)	7% (2)	
Vertisol	85% (11)	15% (2)		
Rendzina	83% (5)	17% (1)		
Xerosol	100% (2)			

Con base en los datos obtenidos sobre la topografía y el tipo de suelo donde se presentaron los niveles más altos de desertificación se elaboró, mediante un Sistema de

Información Geográfica, un mapa indicando las áreas más susceptibles a la desertificación dentro de la Subcuenca (Figura 6.2).

La detección oportuna de áreas propensas a la desertificación es un elemento de gran utilidad que deberá ser considerado en la planeación del uso del suelo de la Subcuenca.

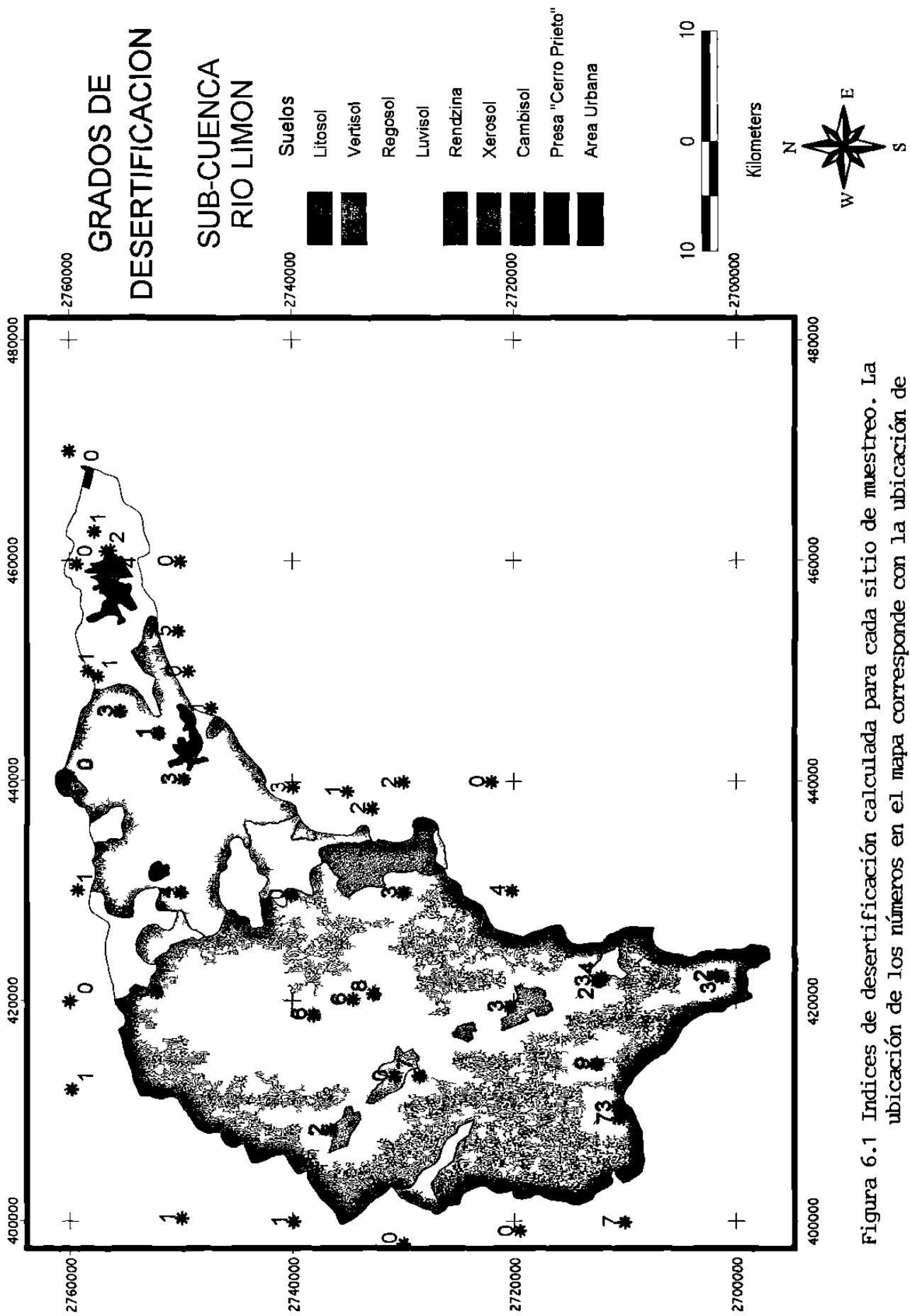


Figura 6.1 Indices de desertificación calculada para cada sitio de muestreo. La ubicación de los números en el mapa corresponde con la ubicación de los sitios

Capítulo 7

Conclusiones y Recomendaciones

La desertificación debe ser entendida como un proceso continuo sistémico, que comprende una serie de cambios, tanto en los componentes bióticos como abióticos de un área geográfica determinada (PNUMA/FAO/U. de Chile, 1997). La separación de estos componentes, en la presente investigación, fue con la finalidad de evaluar los factores determinantes y, en ningún caso, se debe esperar que estos actúen aislados cuando se busca dar solución a este problema.

Entre las limitantes del modelo aplicado se presenta la dificultad de contar con datos sobre las condiciones que prevalecían en el sitio antes de que el disturbio en éste fuera evidente. Maldonado y Pando (1994) propusieron el uso de áreas sin evidencia de disturbio, ubicadas en sitios con condiciones edáficas, climáticas y topográficas semejantes al sitio bajo evaluación, como puntos de comparación, asumiendo que éstas son equiparables a las condiciones que prevalecían en el sitio de interés. Sin embargo, los mismos autores mencionan que probablemente dichas áreas fueron conservadas por ser áreas atípicas dentro de dicho ecosistema, por lo que pudieran no representar un punto fiel de comparación.

En la presente investigación se optó por tomar como punto de comparación las áreas que, aún cuando se encontraban bajo algún uso, mostraron los valores más bajos de disturbio en cuanto a los parámetros considerados en el modelo. Por lo tanto, el valor de desertificación resultante no representa la pérdida del potencial productivo del sitio con relación a su condición "original", sino respecto a la condición que otro sitio, bajo las mismas características de clima y suelo, presentó.

Aún con dicha limitante, el modelo aplicado permitió la comparación cuantitativa de los niveles de desertificación entre los sitios evaluados. Asimismo, y quizás más relevante aún, permitió detectar las condiciones edáficas, topográficas y de uso de suelo donde predominan los diferentes niveles de desertificación en la subcuenca de estudio. Los tres factores mencionados (tipo de suelo, topografía y uso de suelo) presentaron una correlación significativa ($P=0.05$) con los valores de desertificación.

El tipo de suelo que se encontró asociado a las condiciones de desertificación más severa fue el Litosol; en cuanto a la topografía, la sierra fue la que presentó los valores más altos de desertificación y, en lo que respecta al uso de suelo, el forestal fue el que estuvo asociado a los niveles de desertificación más críticos.

La utilización de un Sistema de Información Geográfica permitió la elaboración de un mapa que muestra las áreas más susceptibles a la desertificación, con base en la información obtenida al través del modelo de evaluación utilizado. Este tipo de información permite dirigir los esfuerzos de conservación hacia aquellas áreas donde los procesos de desertificación aún no se presentan o bien son incipientes y donde los costos de prevención o rehabilitación del área pueden ser afrontados.

La información generada en la presente investigación da la pauta para la realización de estudios a mayor detalle en las áreas que fueron detectadas como más susceptibles o bien estudios de rehabilitación en las áreas más afectadas.

LITERATURA CITADA

- ALANIS, F.G. 1990. Los desmontes mal planificados, efecto en el deterioro de los recursos naturales en el norte de la República Mexicana. Manejo de Pastizales. Vol.4 No.1: 23-26 pp.
- ALMAGUER, S.P. 1990. Evaluación del riesgo de erosión en Tamaulipas. En: Memorias del Primer Simposio Regional "Avances y Perspectivas de la Investigación de Recursos Abióticos del Noreste de México". Universidad Autónoma de Tamaulipas. Cd. Victoria, Tamps.53-61 pp.
- ANÓMINO. 1977. Inventario de Suelos afectados por erosión en la zona Sur del estado de Nuevo León: 9pp.
- ANÓMINO. 1977. Inventario de áreas erosionadas. Estado de Nuevo León. S.A.R.H.:45 pp.
- APARICIO, M.F. 1989. Fundamentos de hidrología de superficies. Editorial Limusa. México..
- ARONOFF, S. 1989. Geographic Information Systems: A Management Approach. WDL Publications, Canadá.
- BERRO, L. y R.B. FORD. 1977. Recommendations for a system to monitor critical indicators in areas prone to desertificación. Worcester, MS.
- BOCCO, G. y C.R. VALENZUELA. 1988. Integration of GIS and image processing in soil erosion studies using ILWIS. ITC Journal. 4:309-319 pp.
- BOSQUES S. J. 1992. Sistemas de Información Geografica. De. RIALP, S.A. Madrid, España.
- CAVAZOS, P.T. y G.V. MOLINA. 1992. Registros climatológicos de la Región Citricola de Nuevo León. Linares, N.L. México. Boletín Técnico No.1.
- CARSTENS, A. 1987. Struktur eines Matorrals im semiariden-subhumiden Nordosten Mexikos und Auswirkungen von Behandlungen zu einer Bewirtschaftung. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen:27
- COLEGIO DE POSTGRADUADOS DE CHAPINGO y S.A.R.H. 1991. Manual de conservación del suelo y del agua. Chapingo, Estado de México. 3a. Edición.:584 pp.

CONAZA-SEDESO. 1994 . Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México (PACD-MEXICO). México: 160 pp.

CHUVIECO, E. 1990. Fundamentos de Teledetección Espacial. Ed. Rialp. Madrid, España. pp 449.

DE LEON, G.H. 1991. Aspectos hidrogeológicos generales de la Cuenca del Río Pablillo, Linares, N.L., México. En: Memoria del Primer Simposio Regional "Avances, Perspectivas de la Investigación de Recursos Abióticos del NE de México". U.A. de Tamaulipas; Cd. Victoria, Tamps., México.

DE SOYZA E., W. G. Whitford, J. E. Herrick, J. W. Van Zee y K. M. Haustad. 1998. Early warning indicators of desertification: examples of tests in the Chihuahuan Desert. Journal of Arid Environments 39:101-112.

DREGNE, H. E. 1983. Desertification of Arid Lands. Harwood Academic Publishers. United States. 226 pp.

DREGNE, H., M. KASSAS and B. ROZANOV. 1991. A new assessment of the world status of desertification. Desertification Control Bulletin 20:30-33.

FAO/UNEP. 1980 Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia. pp 1-35.

FAO-PNUMA. 1984. Metodología provisional para la evaluación y la representación cartográfica de la desertificación :74 pp.

FIGUERA S. B. 1975. Pérdidas de suelos y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del Río Texoco. Tesis para obtener el grado del Maestro en Ciencias. ENA. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

GARCIA, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la Republica Mexicana). 4a. Edición. U.N.A.M., México, D.F.

GAUCH, H.G. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge University Press. Cambridge. 288p.

GRAINGER, A. 1992. Characterization and assessment of desertification process. In: Desertified Grasslands. Academic Press Limited, London NW 17DX, UK, pp. 17-33.

GUTIERREZ, G.R. 1997. Evaluación del grado de la Desertificación en el Municipio de Linares, N.L., México". Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Forestales-UANL., Linares, N.L. México:49 pp.

HEISEKE, D. 1986. Regeneración por rebrotes en dos tipos de matorral del noreste de México. Schriften an der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt 84:184-199 pp.

INEGI.1986. Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León.

JURADO, E. Y N. REID. 1989. Influencia de factores edáficos, topográficos y perturbación sobre el matorral espinoso tamaulipeco en Linares, N.L.. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L., Reporte Científico No. 10. Linares, N.L., México.

JURIO, E.M. y R.A. VAN ZUIDAM. 1998. Remote sensing, synergism and geographical information system for desertification analysis: an example from northwest Patagonia, Argentina. ITC Journal:209-217.

KIRKBY, M.J. y R.P.C. MORGAN. 1980. Erosión de Suelos. Editorial Limusa, México: 375 pp.

LOPEZ-BLANCO, J. 1994. Evaluaciones geomorfológicas y de recursos naturales aplicando un sistema de información geográfica (ILWIS). Tesis doctoral. UNAM. México, D.F.

LLERENA V.F.; E.R. MARTÍNEZ y B. B. SANCHEZ.1989. La Cuenca del Ex-lago de Texoco: Metas, Avances y Prespectivos. Ponencias presentada en el Taller Internacional sobre Proyectos de Manejo Integral de Recursos Naturales en Cuencas Hidrográficas. Durango, México.

MABBUTT, J.A. 1984. A new global assesement of the status to trends of desertificacion. Environmental Conservations 11: 100-113.

MAINGUET, M.(1994). Desertification: Natural Background and Human Missmanagement. Springer Verlag. Berlin. PP. 293.

MALDONADO, A. and M. PANDO. 1994. A quantitative model for the evaluacion of desertificacion. IV International Conference on Desert Development. Mexico, D.F. PP 70-76

MANZANO C.M. 1991. Algunas Consideraciones sobre la Desertificación. En Vinculación: Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora. Vol.3:Num. 19.

MARBLE, D. 1990. Geographic Information Systems:an overview. En: Peuquet, D. y F. Marble (editores) Introductory readings in Geographic Information Systems. Taylor & Francis.

MEDELLÍN-LEAL. 1978. La Desertificación, Problema de Alcance Mundial. In la Desertificación en Mexico. IIZD. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí. México. pp. 13-24.

National Research Council. 1994. Rangeland Health. National Academy Press. 180 pp. Estados Unidos.

NÁVAR J., T. SYNNOTT y A. DOMINGUEZ. En Prensa. Soil Infiltration and land use in northeastern, México. Terra.

NÁVAR, J., T. CAVAZOS & P.A. DOMINGUEZ. 1994. Los balances hidrológicos mensuales con tres probabilidades de precipitación en el estado de Nuevo León. En: C. POLAS., J.A. RAMÍREZ F., M.M. RANGEL R. & I. NAVARRO-L. (Eds.) Actas Facultad Ciencias Tierra UNAL Linares, 8:71-82.

NÁVAR J. y T.J. Synnott. 2000. En Prensa. Surface runoff, soil erosion and Landuse in Northeastern, Mexico. Facultad de Ciencias Forestales-UANL:21 pp. Terra.

NÁVAR, J., T.J. Synnott, M. PANDO, E. JURADO, P.A. Dominguez, E. Treviño y M. Manzano. 1996. Land Degradation by Land Use Changes in Northeastern Mexico. Proceedings of the Fifth International Conference on Desert Development. Desert Development: The Endless Frontier. Texas Tech University.

ONU. 1977. Desertificación, visión de conjunto: Resultados de la Conferencia sobre Desertificación. Secretaría de Relaciones Exteriores y GIADID, México. 31 pp.

PALACIO-PRIETO, J.L. y J. LOPEZ-BLANCO. 1994. Videography: an alternative remote sensing tool for monitoring gully erosion. ITC Journal 3: 233-237. Holanda.

PANDO, M., E. Jurado, J. Návar, M. Manzano, M. Ruiz y N. Reid. 1996. Considerations for Evaluating Land Degradation in Northeastern Mexico. Proceedings of the Fifth International Conference on Desert Development: The Endless Frontier. International Center for Arid and Semiarid Land Studies. Texas Tech University:241 pp.

PANDO, M. 1999. Desertificación: ¿ Igual a más desierto?. 6a Semana Nacional de Ciencia Tecnología. CONACYT/UNAL. Facultad de Ciencias Forestales:22-24.

PIELOU, E.C. 1984. The Interpretation of Ecological Data. A Primer on Classification and Ordination. Wiley. New York. 263 pp.

PISSANI, J.F. 1992. Estudio y Diagnóstico de las Cuencas Galeana y Mimbres. Dpto. de Ingeniería Agrícola, Fac. de Agronomía, UANL. SARH, Delegación Estatal en Nuevo León, Marín, Nuevo León, México. 157 pp.

PEÑALOZA W.R. y N. REID. 1989. Pasado, presente y futuro del uso de la tierra en el matorral Tamaulipeco del Noreste de México. Memorias del Primer Simposio Agroforestal en México. Linares, N.L., México:663-692 pp.

PNUMA/FAO/U. DE CHILE. 1997. Metodología unificada para la evaluación y seguimiento de los procesos de desertificación en América Latina.:20 pp.

REID, N., J. MARROQUIN y P. BEYER-MUNZEL. 1988. Intensidad del ramoneo en especies del matorral tamaulipense del Noreste de México. Manejo de Pastizales. I(1):25-28. México.

REID, N., S.S. STAFFORD, P. BEYER-MUNZEL Y J. MARROQUIN. 1987. A research strategy for ecological survey: Floristic and land use in the Tamaulipan Thornscrub, North-Eastern Mexico. En: Strategies for classification and management of native vegetation for food production in arid zones. Technical Coordinators: Earl F. Aldon, Carlos E. Gonzalez-Vicente y William H Moir. USA.

REINING, P. 1978. Handbook on desertification indicators. Washington, D.C. American Association for the Advancement of Science.

RODRIGUEZ, B.D. 1991. Análisis Digital del Cambio de Uso/Cobertura del Suelo: La Zona Fronteriza Guatemala-México, Interciencia, Vol. 16 (6): 329-332.

ROJAS-MENDOZA, P., 1965. Generalidades sobre la vegetación del estado de Nuevo León y datos acerca de su flora. Tesis doctoral. Fac. de Ciencias, UNAM., México.

RUBIO J.L. & BOCHET 1998. Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe. Journal of Arid Environments 39:113-120.

RZEDOWSKI, J. 1978. Vegetación de México. De. Limusa. México.

SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL). 1994*. Plan de acción para combatir la desertificación en México (PACD-México). Secretaría de Desarrollo Social, Comisión Nacional de Zonas Áridas, Saltillo, Coahuila, México. 160 pp.

SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA (SEDUE). 1988. Manual de Ordenamiento Ecológico del Territorio. Subsecretaría de Ecología, Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica. México, 356 pp.

SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO (SPP) 1983: Carta geológica, edafológica, topográfica, hidrológica de aguas superficiales (Linares G14-11), Esc. 1:250,000.-Carta de uso del suelo y vegetación (Linares G14C681), Esc. 1:50,000.

SECRETARIA DE PROGRAMACION Y PRESUPUESTO (SPP) 1986. Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León. México.

STAR, J. y J. ESTES. 1996. SIG: Una introducción. Trad. Bernard B. Herrera y Martín Ibarra O. División de Ciencias Forestales. Univ. Autónoma Chapingo. Serie de Apoyo Académico No. 50. Chapingo, Méx.

SORIA, J., C. ORTIZ-SOLORIO, F. GUTIÉRREZ y V. VOLKE. 1998. Sensores Remotos. Principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales. Experiencias en México. Publicación Especial 7. CONACYT. Colegio de Postgraduados. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

THOMAS, D. S. G. 1997. Science and the desertification debate. Journal of Arid Environments 37:599-608.

TREVIÑO, G.E. 1992. Aplicación de imágenes de satélite en la cartografía de la vegetación, como ejemplo: un área de la Región "Sierra Madre Oriental" en el Noreste de México. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencias Forestales de la Universidad Georgia-Augusta en Gotinga, Alemania: 122 pp.

TOULMIN, C. 1995. The Desertification Convention: strategic agenda for the EU. Briefing Paper of the International Institute for Environment and Development, No 1, London, UK.

UNCOD. 1977. United Nations, Conference on Desertification. Nairobi, Kenya.

VICH, P. 1989. Modelling soil erosion using the Fournier Index in Tamaulipas, N.L., Mexico. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamps., México.

WISCHMEIER, W.H. & D.D. SMITH. 1961. Universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. Transactes 7th International Congress of Soil Science 1:418-425.

WOERNER, M. 1989. Los suelos del Bosque-Escuela de la
U.A.N.L. en la Sierra Madre Oriental, Iturbide, N.L..
Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L.. Reporte Científico
No. 20

ANEXO 1

Formato de campo utilizado

FORMATO DE CAMPO PARA REALIZAR LA EVALUACION DEL GRADO DE
DESERTIFICACION EN LA SUBCUENCA "RIO LIMON". N.L.

EVALUADOR: _____

FECHA: _____

COORDENADAS GEOGRAFICAS: LATITUD NORTE: _____

LONGITUD ESTE: _____

No. PARCELA: _____

PROFUNDIDAD DEL SUELO: _____

LOCALIDAD: _____

TIPO DE ESCURRIMIENTO: _____

TIPO DE CLIMA: _____

SALINIDAD: _____

TOPOFORMA: _____

MATERIA ORGANICA: _____

TIPO DE SUELO: _____

COBERTURA HERBACEA: _____

USO DE SUELO: _____

COBERTURA ARBUSTIVA: _____

PENDIENTE: _____

COBERTURA ARBOREA: _____

ACCESO A LA PARCELA: _____

DESCRIPCION GENERAL DEL AREA: _____

OTRAS OBSERVACIONES: _____

ANEXO 2

**Cálculo de la erosión hídrica
para cada sitio de muestreo.**

Hoja 1

Muestreo	PS(cm)	TS	MO(%)	Estructura	Drenaje		Textura (%)			-10% Arena	-10% Limo+Arena	Factor de K
					interno	Arcilla	Limo	Arena	Erodabilidad			
(2) Litosol	10	I	2.2 (11/3)	3.7	2	46	30	24	32.4	21.6	0.16	
(7) Litosol	< 10	I	3.6 (10/3)	3.3	2	32	36	32	39.2	28.8	0.15	
(36) Litosol	<10	I	2.5 (10/3)	3.3	2	22	36	42	40.2	37.8	0.2	
(69) Xerosol	70	Xk	4 (10/3)	3.3	3	44	30	26	32.6	28.6	0.11	
(31) Cambisol	>100	Vp	0.9 (9/3)	3.0	3	54	22	24	24.4	21.6	0.12	
(16) Luvisol	70	Lc	1.2 (10/3)	3.3	3	28	16	56	21.6	50.4	0.16	
(30) Luvisol	55	Lc	1.2 (11/3)	3.7	3	52	22	26	24.6	23.4	0.14	
(18) Rendzina	40	Xk	0.8 (10/3)	3.3	3	34	28	38	31.8	34.2	0.21	
(8) Vertisol	110	Vc	2 (9/3)	3.0	3	54	30	16	31.6	14.4	0.13	
(13) Regosol	>100	Vc	2.1 (9/3)	3.0	3	56	18	26	20.6	23.4	0.07	
(12) Regosol	20	Rc	2.5 (9/3)	3.0	3	54	18	28	20.8	25.2	0.07	
(24) Vertisol	>100	Vp	5.5 (9/3)	3.0	3	16	26	58	31.8	52.2	0.15	

Sitio	R	K	LS	C	P	A=TON/HA
1	115	0.17	1.765	0.014	1	1.08210032
2	95	0.17	4.515	0.0133	1	2.17235071
3	125	0.17	5.399	0.0133	1	3.41799892
4	125	0.17	4.103	0.0133	1	2.59752724
5	105	0.12	0.862	0.0105	1	0.25545542
6	115	0.17	2.649	0.00325	1	0.37701628
7	115	0.07	0.43	0.00325	1	0.02519972
8	105	0.17	5.399	0.0133	1	2.87111909
9	105	0.14	0.806	0.00325	1	0.0862549
10	125	0.17	1.058	0.0105	1	0.5287884
11	115	0.17	2.747	0.014	1	1.68415274
12	105	0.14	0.184	0.00325	1	0.01969094
13	115	0.17	3.71	0.0105	1	1.70591736
14	105	0.17	2.489	0.0105	1	1.04496185
15	125	0.17	0.47	0.00325	1	0.072709
16	55	0.17	4.515	0.0133	1	1.25767673
17	55	0.17	6.362	0.0133	1	1.77216818
18	75	0.11	1.274	0.00325	1	0.07651644
19	85	0.17	13.063	0.00325	1	1.37417535
20	95	0.17	1.765	0.00325	1	0.20751458
21	115	0.17	3.71	0.00325	1	0.52802204
22	125	0.17	1.274	0.00325	1	0.1970878
23	125	0.17	1.343	0.00325	1	0.2077621
24	125	0.17	4.515	0.0133	1	2.8583562
25	115	0.17	1.343	0.00325	1	0.19114113
26	95	0.14	0.202	0.00325	1	0.01955845
27	105	0.17	0.636	0.00325	1	0.08264693
28	85	0.17	5.399	0.0133	1	2.32423927
29	105	0.17	3.943	0.0133	1	2.09683693
30	105	0.17	2.155	0.0133	1	1.14600142
31	75	0.11	0.39	0.00325	1	0.0234234
32	85	0.14	0.175	0.00325	1	0.0151606
33	85	0.14	0.262	0.0105	1	0.07333066
34	85	0.07	0.957	0.00325	1	0.04145341

Sitio	R	K	LS	C	P	A=TON/HA
35	115	0.14	0.88	0.0133	1	0.10314304
36	95	0.17	2.914	0.0133	1	1.40204429
37	125	0.17	8.875	0.00325	1	5.618585
38	95	0.17	11.465	0.00325	1	1.34796298
39	125	0.07	0.736	0.0105	1	0.0468832
40	85	0.07	0.221	0.0105	1	0.02952818
41	85	0.07	0.221	0.00325	1	0.03092762
42	115	0.14	0.588	0.0105	1	0.0689183
43	115	0.14	0.806	0.0105	1	0.30520963
44	65	0.14	0.193	0.0105	1	0.04130818
45	95	0.14	2.914	0.00325	1	0.28214514
46	95	0.14	0.273	0.0105	1	0.08539877
47	95	0.07	0.528	0.00325	1	0.02556154
48	95	0.17	1.274	0.00325	1	0.14978673
49	80	0.14	0.175	0.0105	1	0.0460992
50	95	0.14	0.175	0.0105	1	0.0547428

Profundidad de suelo: PS

Tipo de suelo: TS

Materia orgánica: MO

Factor de manejo de cultivos: veg. Nativa: 0.00325

A. forestales: 0.0133

Agrícolas: 0.0105

Pastizal: 0.014

Factor de practicas de conservación: 1

$LS = (L/100) * (0.136 + 0.097S + 0.013S^2)$

R=El cociente de la suma de los cuadrados de los promedios mensuales divididos entre el promedio anuales de todos los años registrados.

Desierto

Sitio	Latitud Norte	Longitud Este	PS	ES	SA	MO	CT	CH	CA	CAR	CE	TF	TS	US	PE	ER
35	2750000	430000	27	1	140	0.967	105	10	80	15	7	m	Vertisol	2	6.1	0.10314304
36	2760000	401750	40	2	124	2.01	80	5	15	60	3	m	Litosol	2	13.8	1.40204429
37	2738109	418840	30	2	100	2.34	100	10	40	50	7	s	Litosol	1	26.6	5.618585
38	2736544	408310	18	3	170	7.01	25	10	10	5	7	s	Litosol	2	30.7	1.34796298
39	2760000	420000	25	1	140	8.703	95	10	75	10	7	p	Rendzina	2	5.3	0.0468832
40	2756682	460887	45	2	4100	2.07	160	80	80	0	6	p	Rendzina	4	1.4	0.02952818
41	2756313	460985	28	2	5400	2.85	10	0	10	0	6	p	Rendzina	2	1.5	0.03092762
42	2735043	439117	100	1	99	5.42	110	73	30	7.6	5	m	Vertisol	2	4.4	0.0689183
43	2732804	437618	70	1	97	2.04	81	0	70	11	5	p	Vertisol	4	5.7	0.30520963
44	2750211	453720	79	1	100	2.41	75	0	65	10	7	p	Vertisol	4	1.2	0.04130818
45	2747284	446722	10	1	100	4.27	95	85	5	5	7	m	Vertisol	2	13.8	0.02821451
46	2755497	446389	56	1	600	2.75	9	0	4	5	7	p	Vertisol	4	2	0.0853988
47	2757454	449538	50	1	81	3.94	167	70	85	12	7	m	Rendzina	2	4	0.0255615
48	2758405	450074	38	1	86	2.38	90	25	55	10	7	m	Litosol	2	8	0.1497867
49	2757750	462693	66	1	178	2.62	113	0	100	13	6	p	Vertisol	4	1	0.0460992
50	2751998	444439	100	1	150	3.59	116	0	100	16	7	p	Vertisol	4	1	0.0547428

