

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**



**MODELOS GEO-ESPACIALES PARA EL MANEJO DE
LOS RECURSOS NATURALES DE LA SUBCUENCA DEL
RÍO PILÓN.**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN MANEJO DE LOS RECURSOS
NATURALES

Presenta

Xanat Antonio Némiga, M. en C.

Linares, Nuevo León.

Noviembre de 2005

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**MODELOS GEO-ESPACIALES PARA EL MANEJO DE
LOS RECURSOS NATURALES DE LA SUBCUENCA DEL
RÍO PILÓN.**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN MANEJO DE LOS RECURSOS
NATURALES

Presenta

Xanat Antonio Némiga, M. en C.

Comité de Tesis:

Dr. Eduardo Javier Treviño Garza

Director

Dr. Javier Jiménez Pérez
Secretario

Dr. José de Jesús Navar Chaidez
Vocal

Linares, Nuevo León.

Noviembre de 2005

INDICE

Contenido	Pág.
INTRODUCCION	1
LITERATURA CITADA	4
CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PILÓN	6
1.1. Características biofísicas de la subcuenca del río Pílon	6
1.2. Sociedad y producción agrícola en la subcuenca del río Pílon.	18
CONCLUSIONES	31
LITERATURA CITADA	32
CAPITULO 2. LOS CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PILÓN.	34
INTRODUCCIÓN	34
ANTECEDENTES	34
OBJETIVO	36
HIPÓTESIS	36
MATERIALES Y MÉTODOS	36
Ubicación del área de estudio	36
Aspectos Socioeconómicos de la subcuenca del río Pílon	38
Integración de datos en el Sistema de Información Geográfica del río Pílon	38
Naturaleza de las fuentes de datos y procesamiento previo	39
Clasificación de imágenes	41
RESULTADOS	43
1) Identificación de cambios en la provincia Llanura Costera.	44
2) Identificación de cambios en la provincia Sierra Madre	45
3) Matriz de cambios	45
DISCUSIÓN	46
1) Identificación de cambios en la provincia Llanura Costera.	46
2) Identificación de cambios en la provincia Sierra Madre	47
3) Matriz de cambios	47
CONCLUSIONES	48
LITERATURA CITADA	49
CAPÍTULO 3. RIESGO DE DEGRADACIÓN DEL SUELO EN LA SUBCUENCA DEL RIO PILÓN	51
INTRODUCCIÓN	51
ANTECEDENTES	51
OBJETIVO	53
HIPÓTESIS	53
MÉTODO	53
Ubicación del área de estudio	54
Selección e integración de variables al Sistema de Información Geográfica (SIG).	55
Diseño del modelo: asignación de pesos.	63
4. Validación del modelo.	64
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	65
CONCLUSIONES	68
LITERATURA CITADA	69

CAPÍTULO 4. LA FRAGMENTACIÓN FORESTAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PILÓN	73
INTRODUCCIÓN	73
ANTECEDENTES	73
OBJETIVOS	76
HIPÓTESIS	76
MATERIALES Y MÉTODOS	76
1) Indicadores de la fragmentación	76
2) Selección de fragmentos	77
RESULTADOS	78
1) Indicadores de la fragmentación	78
2) Selección de fragmentos	80
CONCLUSIONES	82
LITERATURA CITADA	83
CAPÍTULO 5	88
RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PILÓN	88
INTRODUCCIÓN	88
OBJETIVO	88
MÉTODO	89
Selección de sitios óptimos para el desarrollo de las actividades recomendables	90
RESULTADOS	94
CONCLUSIONES	101
LITERATURA CITADA	102

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pag
	.
1-1. Ubicación de los municipios en la cuenca del río Pilón.	6
1-2. Regiones fisiográficas y densidad poblacional en el área de estudio	7
1-3. Tipos de suelo en la subcuenca del río Pilón.	9
1-4. Distribución de las estaciones climatológicas y de la precipitación total anual.	10
1-5. Comportamiento anual de la temperatura medida en tres estaciones de la subcuenca.	11
1-6. Comportamiento anual de la precipitación medida en cuatro estaciones de la subcuenca.	12
1-7. Perfil de los suelos y la vegetación en la Sierra Madre Oriental.	14
1-8. Perfil de los suelos y la vegetación en la Llanura Costera del Golfo Norte.	16
1-9. Vegetación en los municipios de la subcuenca.	17
1-10. Evaluación de la población	19
1-11. Distribución de la población económicamente activa (PEA).	22
2-1. Ubicación de la subcuenca del río Pilón.	37
2-2. Imagen Landsat MSS de 1974. Combinación de bandas 4, 2, 1.	39
2-3. Imagen Landsat ETM 7+ de 2000. Combinación de bandas 4, 3, 2	39
2-4. Ejemplo de áreas de entrenamiento en imagen recortada.	41
2-5. Tipos de vegetación en 1974.	43
2-6. Tipos de vegetación en 2000.	43
2-7. Transformación de los matorrales en la Llanura Costera	44
2-8. Cambios en las provincias de la subcuenca del Río Pilón.	46
3-1. Ubicación del área de estudio.	54
3-2. Valores del TNDVI en la subcuenca del río Pilón.	56
3-3. Intensidad de uso de la vegetación.	57
3-4. Distribución de la precipitación media anual.	58
3-5. Pendientes en la subcuenca del río Pilón.	59
3-6. Textura del suelo.	60
3-7. Densidad poblacional (Habitantes/Municipio/Km ²). Elaboración propia.	61
3-8. Niveles de bienestar. Elaboración propia basada en INEGI (2000c).	62
3-9. Área de influencia de las comunidades	63
3-10. Riesgo de degradación del suelo en la subcuenca del río Pilón.	65
4-1. Fragmentos prioritarios para zonas de amortiguamiento.	81
4-2. Fragmentos prioritarios para estabilización de laderas.	82

5-1. Sitios óptimos para la conservación de fragmentos útiles como zonas de amortiguamiento.	94
5-2. Sitios óptimos para la conservación de fragmentos útiles para estabilización de laderas	95
5-3. Sitios óptimos para el desarrollo de sistemas agroforestales del tipo agro silvícola	96
5-4. Sitios óptimos para el establecimiento de sistemas agroforestales del tipo pastoril silvícola.	97
5-5. Sitios óptimos para la restauración de bosques y matorrales	98
5-6. Sitios óptimos para la restauración de laderas	99
5-7. Sitios óptimos para la restauración de vegetación riparia	100
5-8. Zonificación de actividades para el manejo de la subcuenca.	101

INDICE DE TABLAS

Tabla		Pág.
1.1	Clima en los municipios de la subcuenca.	11
1.2	Datos históricos del origen de los municipios.	19
1.3	Población en la subcuenca del río Pílon.	20
1.4	Indicadores socio demográficos generales (porcentaje con respecto a la población total).	21
1.5	Características de los hogares que reflejan el nivel de bienestar económico	21
1.6	Uso del suelo en los municipios de la subcuenca.	23
1.7	Actividad principal en los ejidos (porcentaje)	23
1.8	Tenencia de la tierra agrícola en los municipios de la subcuenca.	24
1.9	Tenencia de la tierra y riego en los ejidos.	24
1.10	Porcentaje de la superficie agrícola bajo los diversos regímenes de riego.	25
1.11	Superficies (ha) que disponen de riego en los diferentes tipos de tenencia	25
1.12	Tecnología disponible en los ejidos (porcentaje).	25
1.13	Producción de cultivos anuales en los ejidos	26
1.14	Superficie (ha/upr) de cultivos perennes en los ejidos	26
1.15	Distribución del ganado en las unidades de producción.	27
1.16	Unidades de producción en los municipios de la subcuenca.	27
1.17	Unidades de producción en propiedad privada y en ejidos y comunidades agrarias.	27
1.18	Uso del suelo en 1970	28
1.19	Uso del suelo en 1991	28
1.20	Productos agrícolas de la subcuenca del río Pílon.	30
2.1	Rasgos socioeconómicos de la población de la subcuenca.	38
2.2	Asignación de probabilidades	44
2.3	Cobertura vegetal en la Llanura Costera en 1974 y 2000, y sus diferencias.	44
2.4	Cobertura vegetal en la Sierra Madre en 1974 y 2000 y cambio entre fechas.	45
2.5	Matriz de cambios detectados en las dos provincias.	45
3.1	Clasificación de las variables, pesos y riesgos de degradación asignados.	64
3.2	Correlación entre el riesgo de degradación y las propiedades del suelo	66
3.3	Distribución del riesgo (%) en las áreas de los municipios dentro de la subcuenca	67
3.4	Número de localidades por municipio, en alto riesgo de degradación.	68

4.1	Numero de fragmentos por clase de tamaño en bosques	78
4.2	Diferencia en número de fragmentos en los bosques	79
4.3	Promedio de la relación área - perímetro en los bosques	79
4.4	Número de fragmentos por clase de tamaño en matorrales.	79
4.5	Diferencia en número de fragmentos en los matorrales	80
4.6	Promedio de la relación área - perímetro en los matorrales	80
5.1	Actividades para el manejo de la subcuenca	90
5.2	Viabilidad de las actividades de acuerdo con las características del medio	92

RESUMEN

En el mundo actual globalizado y cambiante los conflictos ambientales son cada vez más evidentes. Por ello, es necesario sistematizar la información ambiental para acercarla a los manejadores de los recursos, otorgándoles una visión global de la cantidad y el estado de los recursos naturales y sugiriéndoles estrategias adecuadas para su manejo.

Con esta perspectiva, este trabajo aborda en primer lugar, la determinación de los cambios ocurridos en la vegetación entre 1974 y 2000. En segundo término se modela el riesgo de degradación del suelo integrando factores ambientales y antropogénicos. De la misma manera, se determina cuáles comunidades vegetales han sido las más afectadas por la fragmentación, y se identifican aquellos fragmentos que es prioritario conservar, considerando su funcionalidad como zonas de amortiguamiento de la subcuenca o de estabilización de laderas. Por último, los resultados obtenidos se integran en recomendaciones para el manejo adecuado de los recursos naturales de la subcuenca del río Pilón.

Para ello, se emplearon herramientas geo-espaciales, tales como la interpretación de imágenes de satélite, la cartografía y la fotointerpretación, mismos que se integraron y analizaron mediante operaciones lógicas en sistemas de información geográfica.

Como principal resultado, se identifica un fuerte patrón de reducción de los ecosistemas vegetales. En la llanura costera, las comunidades más afectadas pierden mucha superficie: chaparral (86%), mezquital (73%) y matorral submontano (32%). Allí hay un fuerte avance de la agricultura sobre matorrales. En la Sierra Madre, el matorral submontano perdió 73%, el bosque de encino 43% y el bosque de oyamel 35% de la superficie. Además, se identificó un marcado proceso de fragmentación forestal, el cual ha afectado principalmente a las siguientes comunidades vegetales: bosque de oyamel, bosque de pino-encino y matorral submontano. La creciente población y la expansión de la agricultura propias de la llanura son los detonadores de las transformaciones de la vegetación.

Otro resultado importante es que los municipios de Montemorelos y Rayones en Nuevo León y de Arteaga en Coahuila requieren especial atención en cuanto a estrategias de manejo del suelo se refiere, ya que son aquellos con mayor superficie y mayor número de localidades con alto riesgo de degradación.

Integrando los resultados de las secciones anteriores, se propone una zonificación y se dan recomendaciones para el manejo, respetando las características físicas y biológicas de la subcuenca e incorporando tanto los patrones de cambio de uso del suelo, como su riesgo de degradación. En gran parte de la superficie de Rayones y Galeana se recomiendan actividades de conservación; mientras que en Montemorelos y General Terán se recomiendan más las actividades productivas. De este modo, se cumple con el objetivo de generar información útil para conciliar las necesidades de producir y de conservar los recursos de la subcuenca.

ABSTRACT

In the global and changing world of today, the environmental conflicts are each time more evident. Therefore, it is necessary to systematize the environmental information, to take it closer to the environmental managers, providing them a complete view of the amount and state of the natural resources, and suggesting them strategies for sustainable resources management.

With this goal in mind, this thesis reviews in first place the changes occurred in the vegetation resources during the period 1974 and 2000. In second place, a model for soil degradation risk is developed, considering environmental and anthropogenic factors. In the same way it is evaluated which vegetal communities had been more affected by fragmentation, and which of the remaining fragments can be considered a conservation priority considering its function as river buffer or landslide prevention in the hilly side. Finally, obtained results are integrated into recommendations for the adequate management of the natural resources at the Pilón river sub-basin.

To do so, geo spatial tools such as satellite imagery interpretation, cartography and aerial photo interpretation, were applied. Finally, the information was integrated into a geographic information system and analyzed with logical operations within this frame.

As a major result, a strong pattern of reduction of the vegetal ecosystems was found. In the coastal plains, the more affected communities lost quite much surface: chaparral (86%), thorn scrub (73%), sub-mountain scrub (32%). A strong pattern of agricultural frontier expansion over scrubs was found. In the hilly side the sub-mountain scrub lost 73%, the oak forest lost 43%, and the fir forest lost 35% of surface. Besides, a strong process of forest fragmentation was identified, which had affected mainly to the following vegetal communities: fir forests, oak-pine mixed forest and sub-mountain scrub. Growing population pressure and the expansion of the agricultural frontier are pointed as the major causes for these transformations.

Another important result is that Montemorelos, Rayones and Arteaga municipalities require special attention regarding the design and application of adequate strategies for soil conservation and management. This, because these are the municipalities with more surface and more human settlements located in places with high risk of soil degradation.

Integrating the results of previous sections, a map with zones and recommendations is proposed. This considers the physical and biological characteristics of the sub basin and includes also the patterns of land use change and the risk of soil degradation. In most surface of Rayones and Galeana municipalities are recommended conservation activities, while in Montemorelos and General Terán are recommended adequate productive strategies. In this way, the goal of generate useful information to conciliate the production and conservation needs is reached.

INTRODUCCIÓN

Las necesidades y actividades productivas de la sociedad actual han desencadenado procesos de transformación de los recursos naturales sin precedente en la historia de la humanidad.

En el caso particular del sector agropecuario y pesquero de México, no se tiene un modo de producción sustentable. Así lo sugiere el Producto Interno Neto Ecológico (PINE), el cual mide el costo de la destrucción de un recurso para la obtención de un bien. Este se obtiene restando al Producto Interno Neto, el costo de destruir bosques y de perder suelo (INEGI ,1999; INEGI-INE, 2000).

Las transformaciones en la cobertura del suelo del país son desalentadoras. La tasa anual de deforestación nacional fue de 0.7 en el periodo 1970-1980, y descendió a 0.4 en el periodo 1980-1990. Durante 1980-1996 la mancha urbana creció un 119%, los pastizales y las sabanas crecieron en 28%, al igual que las zonas agrícolas y otros usos de suelo (11%). Por el contrario, las selvas perdieron cerca del 11% de superficie, al igual que los matorrales y la vegetación desértica (11%), (INEGI-INE, 2000).

Dos facetas de la realidad nacional se relacionan con estas transformaciones, por una parte la economía del país ha promovido una acelerada urbanización y por otra, la expansión de la frontera agrícola y ganadera ha modificado el uso del suelo del país.

En la primera se puede apreciar que desde 1950, la población tiende a urbanizarse como consecuencia del auge económico de 1940, el cual estimuló el crecimiento de metrópolis como Monterrey, Nuevo León (INEGI; 1994; Garza, 2001). Paradójicamente, también las crisis económicas, como la de 1970, favorecieron el crecimiento de las urbes debido a la migración de 6.8 millones de habitantes rurales. Esta migración campo-ciudad se desaceleró en 1990, cuando el sector agropecuario tuvo una leve recuperación (Garza, 2001), sin embargo continuó en 1994, cuando se desencadenó una de las mayores crisis financieras del país (Pérez, 2003). La

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

concentración de la población en Metrópolis continúa durante 1990-2000, por la incapacidad del sistema de generar un crecimiento sostenido y de crear oportunidades para una creciente población, pese al marco del tratado de libre comercio de América del norte (TLC). Actualmente la población mexicana actual se concentra en 9 metrópolis con más de un millón de habitantes (Garza, 2001; Pérez, 2003).

Respecto a la segunda, en la misma época hay un aumento desequilibrado de la frontera pecuaria mundial. La ganadería poco tecnificada de Latinoamérica ha producido un intenso y desmedido crecimiento de la frontera pecuaria, manteniendo exiguos espacios de producción agrícola y reduciendo notablemente sus áreas boscosas (Barrera, 1992). El crecimiento vertiginoso de la ganadería bovina en México es uno de los procesos transformadores más importantes del agro nacional, propiciando un cambio significativo en el uso del suelo del país, llegando a ocupar en 1983, un total de 90.42 millones de hectáreas, es decir el 45.9% de la superficie del territorio nacional (Toledo, 1990). A principios de 1990, las tierras ganaderas ocupaban más del doble que las utilizadas para la producción directa de alimentos (Barrera, 1992).

En este contexto, el objetivo general de este trabajo es evaluar, desde una perspectiva geo-espacial, tres procesos de transformación que han tenido lugar en una subcuenca de importancia ecológica y económica para el estado de Nuevo León y son consecuencia del manejo que se ha hecho de sus recursos naturales. Dicho manejo se ha basado en actividades productivas delimitadas espacialmente, a partir de procesos de toma de decisiones influidos por el marco social, las estructuras institucionales, las relaciones de poder y la economía doméstica (Cecelski *et al.*, 1980; Munslow *et al.*, 1988; Soussan, 1991; Amacher *et al.*, 1996; Cooke, 1998; Mahapatra y Mitchell, 1999). Por ello, los procesos de transformación de los recursos también se sitúan en el marco social y económico.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

El área de estudio es la subcuenca del río Pílon, en el estado de Nuevo León. En este trabajo se aborda en primer lugar, la determinación de los cambios ocurridos en la vegetación entre 1974 y 2000. En segundo término se modela el riesgo de degradación del suelo integrando factores ambientales y antropogénicos. De la misma manera, se determina cuáles comunidades vegetales han sido las más afectadas por la fragmentación, y se identifican aquellos fragmentos que es prioritario conservar, considerando su funcionalidad como zonas de amortiguamiento de la subcuenca o de estabilización de laderas. Por último, los resultados obtenidos se integran en recomendaciones para el manejo adecuado de los recursos naturales de la subcuenca del río Pílon.

LITERATURA CITADA

1. Amacher G., W. Hyde y K. Kanel. (1996). Household fuelwood demand and supply in Nepal's Tarai and Mid-hills: Choice between cash outlays and labour opportunity. *World Development* 24 (11):1725-1736.
2. Barrera, N. (1992). Transformaciones del uso del suelo y diferencialidad espacial: el caso del trópico veracruzano. En: Fuentes, L. (1992). *Cambios en el uso agrícola de México*. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
3. Cecelski, E.; J. Dunkerley and W. Ramsay. (1980). Household energy and the poor in the third world. *Resources for the future, Inc., USA*. 152 pp.
4. Cooke, P.A. (1998) Intra household labour allocation responses to environmental good scarcity: a case study from the hills of Nepal. *Economic Development and Cultural Change* 46 (4):807-830.
5. Garza, G. (2001). Evolución de las ciudades mexicanas en el siglo XX. [En línea]. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx>
6. Howes, M. y P. Endagama. (1995). *Farmers, Forest and Fuel*. Intermediate Technology. United Kingdom. 173 pp.
7. INEGI. (1994). *Estadísticas históricas de México*. Tomo I. 3ra Ed. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
8. INEGI. (1999). *Sistema de cuentas económicas y ecológicas de México (1988-1996)*. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
9. INEGI-INE. (2000). *Indicadores de desarrollo sustentable en México*. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
10. Mahaptra, A., y C. Mitchell. (1999). Biofuel consumption, deforestation, and farm level tree growing in rural India. *Biomass and Bioenergy* 17(4): 291-303.
11. Munslow, B., y. Katerere, A. Ferf and P. O'Keefe. (1988). *The fuelwood trap: a study of the SADCC region*. ETC foundation. Earthscan publications. London, U.K. 181 pp.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

12. Pérez (2003). Entre las ruinas y el Jardín: Trazos de la cultura en México 1978-2002. Nexos. Año 25 Vol. XXV num. 302. Edición especial de 25 aniversario: México: autobiografía precoz.
13. Soussan J. (1991). Building Sustainability in Fuelwood planning. Bioresource Technology 35,49-56.
14. Toledo, V. (1990). El proceso de ganaderización y la destrucción biológica y ecológica de México en Leff, E. (coordinador) Medio ambiente y desarrollo en México CIIH-UNAM México: Porrúa.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DE LA SUBCUENCA DEL RÍO PILÓN

1.1. Características biofísicas de la subcuenca del río Pílon

1.1.1. UBICACION

El río Pílon es afluente del río San Juan, cuya cuenca es la más importante de Nuevo León, pues ocupa el 32.91% de la superficie estatal (INEGI, 1999). Su caudal se enriquece con 17 tributarios, de los cuales cuatro son los más importantes por el volumen que aportan; entre ellos el río Santa Catarina, el río Ramos, el río Pesquería y el propio río Pílon. La subcuenca del río Pílon corresponde a la región hidrológica número 24. Sus coordenadas geográficas extremas son 24° 50 ' y 25° 29 ' de latitud norte y 99° 30 ' y 100° 35 ' de longitud oeste (Sánchez, 1987).

El río Pílon se origina en el municipio de Arteaga en Coahuila y capta las aguas de 581 km² del municipio de Rayones, 603 km² de Galeana, 440 km² de Montemorelos, y 605 km² de General Terán, en Nuevo León (figura 1-1). Es en General Terán donde se integra al caudal del río San Juan, el cual desemboca en el Río Bravo (Elizondo y Lozano, 1981; Sánchez, 1987; Olvera, 1999).

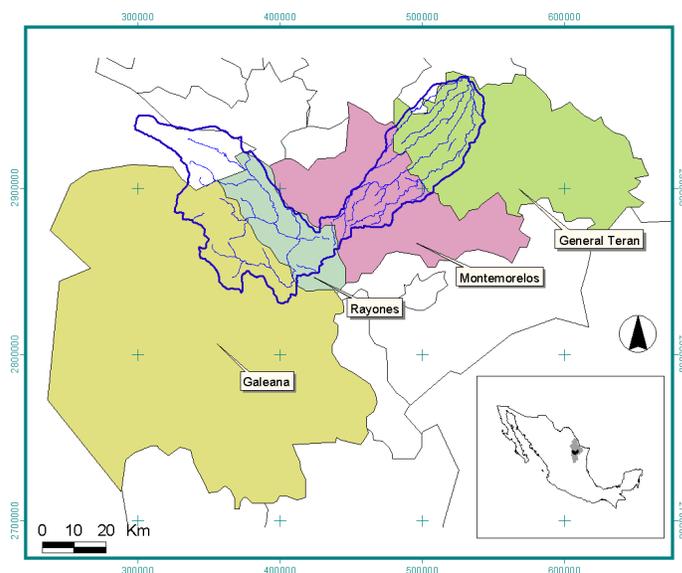


Figura 1-1. Ubicación de los municipios en la cuenca del río Pílon. Elaboración propia.

1.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL TERRITORIO

Sánchez (1987) reconoce tres grandes provincias fisiográficas en la subcuenca del río Pilón: Sierra Madre Oriental, Llanura Aluvial del Piedemonte y Llanura Costera del Golfo de México. En este trabajo, sin embargo, la información se detalla sólo para dos: La Sierra Madre Oriental y La llanura o Planicie Costera del Golfo, ya que, como se puede apreciar en la figura 1-2, la mayoría de los procesos sociales ocurren en estas dos primeras y no en el piedemonte, que es la región menos ocupada y de menor superficie.

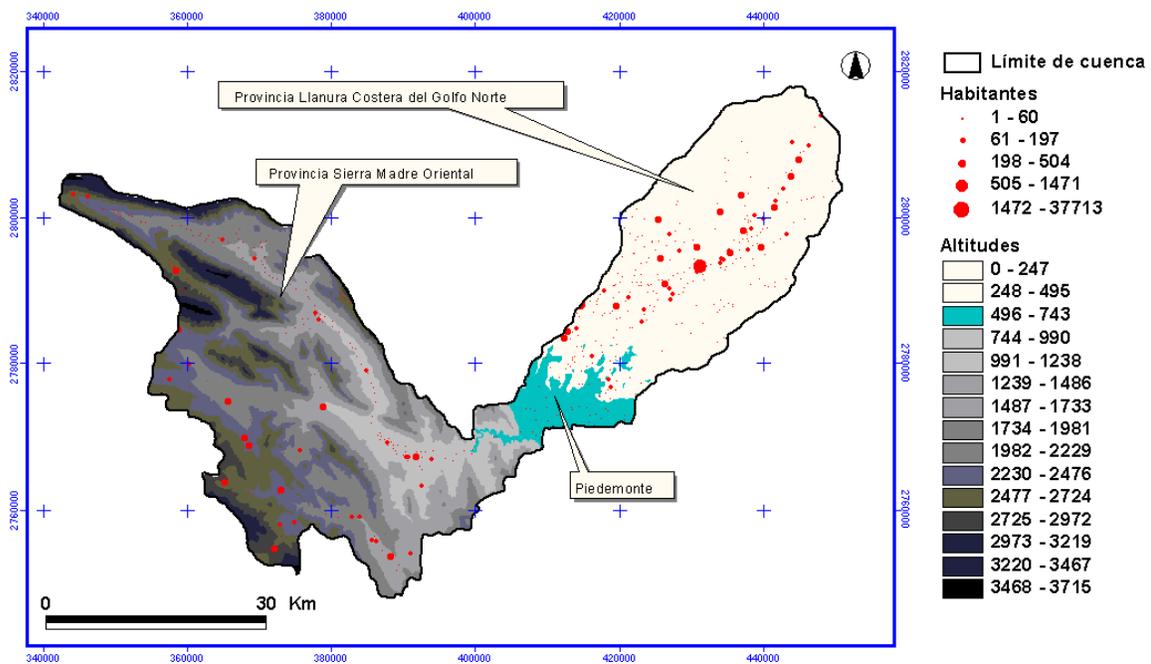


Figura 1-2. Regiones fisiográficas y densidad poblacional en el área de estudio
Elaboración propia basada en: SIIGE (2000) e INEGI (2000).

1.1.3. GEOLOGÍA Y EDAFOLOGÍA

La Sierra Madre Oriental tuvo su origen en el Mesozoico-Cenozoico y está formada principalmente por rocas calizas y lavas, presenta un terreno muy accidentado en forma de sierras paralelas en dirección nor-noreste a sur-sureste, que alcanzan un promedio de 2000 msnm y cuya altitud varía entre 1000 msnm y 1700 msnm (Elizondo y Lozano, 1981; Alanís *et al.*, 1996).

Las sierras La Ventana y California son las que definen el cañón por donde escurre el río Casillas, que, al juntarse con el río San Isidro proveniente de Santa Rosa, conforma el lecho del río Pilón. La naturaleza de las rocas de esta región es sedimentaria, pudiéndose encontrar lutitas de montaña en las partes bajas, conglomerados con intemperismos someros y areniscas con potencial de mampostería (DETENAL, 1978).

La Llanura Costera del Golfo está constituida por sedimentos de la era Cenozoica en el periodo terciario, destacando la arenisca, yeso, arcilla y caliza. Su terreno es plano, con lomeríos y cerros de poca altura que varían desde los 50 msnm hasta los 250 msnm, pudiendo alcanzar los 1500 msnm en las faldas de la Sierra Madre (Elizondo y Lozano, 1981; Alanís *et al.*, 1996). Lo más notable de su topografía son las cañadas en el suroeste, que anteceden a las fallas paralelas de la Sierra Madre. Hay tres tipos de roca dominante en la llanura: las sedimentarias del tipo conglomerado del Plioceno, las lutitas de la era mesozoica y el aluvión de la era cenozoica.

Los suelos en la Sierra Madre en los lechos del río y en altitudes inferiores a los 1000 msnm son del tipo fluvisol calcárico con textura media. Estos son seguidos por los suelos del tipo feozem calcárico de textura media (de 1000 a 1200 msnm). En esta zona los suelos tienen una profundidad de 60 cm y son de forma de bloques sub-angulares de tamaño fino y desarrollo moderado, con buen drenaje interno. En las altitudes medias (de 1200 a 1800 msnm) dominan los suelos del tipo regosol calcárico de textura media. Las muestras del suelo tienen una profundidad de 17 cm y son de textura media y en forma de bloques sub-angulares de tamaño fino con drenaje moderado. En las partes altas (de 1800 a 2500 msnm) domina la mezcla de

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

los suelos de tipo litosol con rendzina de textura media, con profundidades menores a los 9 cm.

En la Llanura Costera del Golfo, se encuentran suelos del tipo de los regosoles calcáricos de textura media. En el lecho del río se encuentran también fluvisoles calcáricos. Los vertisoles junto con el castañozem son de tipos más comunes de suelo. La mayoría de las muestras de suelo levantadas en el área por la entonces DETENAL (1978), registraron suelos de textura fina, con profundidades que superan en algunos casos a los 100 cm. La figura 1-3 muestra los tipos de suelo en la subcuenca.

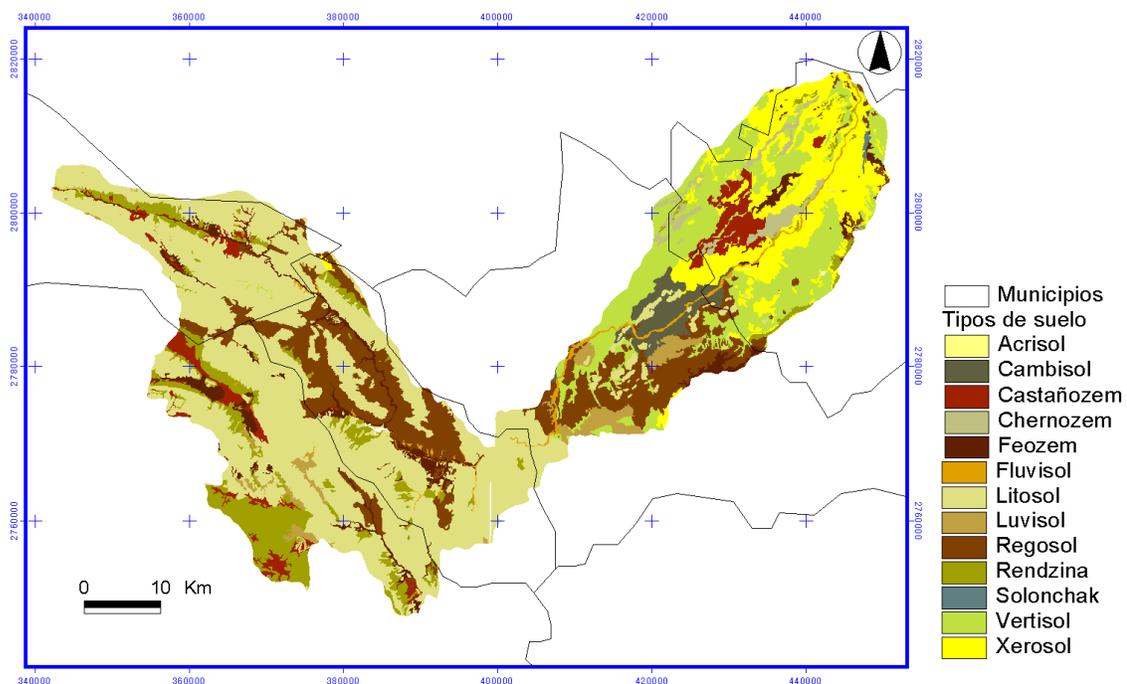


Figura 1-3. Tipos de suelo en la subcuenca del río Pílon. Elaboración propia basada en: CETENAL (1977).

1.1.4. CLIMA

En la Sierra Madre Oriental, cerca de Rayones, el clima es de tipo Templado Subhúmedo (C(w)). En el periodo de lluvias (mayo-octubre) la temperatura media máxima es de 27 °C y la media mínima de 15 °C descendiendo hacia el noroeste hacia Galeana donde alcanza los 9 °C. La precipitación media es de 325 mm cerca

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

de Rayones. En el periodo de secas (noviembre-abril) la temperatura media máxima es de 21°C y la media mínima es de 6°C.

En la transición de la Sierra hacia la Llanura Costera del Golfo, el clima es del tipo Seco Estepario Caliente (BS₁(h)), aunque predomina el clima del tipo Semicálido (ACw). En el periodo de lluvias (mayo-octubre) la temperatura media máxima se desplaza ascendentemente en dirección noreste desde los 24°C a los 33 °C, mientras que la media mínima de lo hace desde los 12 °C hasta los 21 °C. Por el contrario, la precipitación media descende de los 700 hasta los 475 mm. En el periodo de secas (noviembre-abril) la temperatura media máxima oscila en dirección noreste de 21°C a 22.5 °C y la media mínima de los 6 °C a los 9 °C. La precipitación descende desde 150 mm, en Montemorelos hasta 125 mm, en General Terán (INEGI, 1987a; INEGI, 987b)

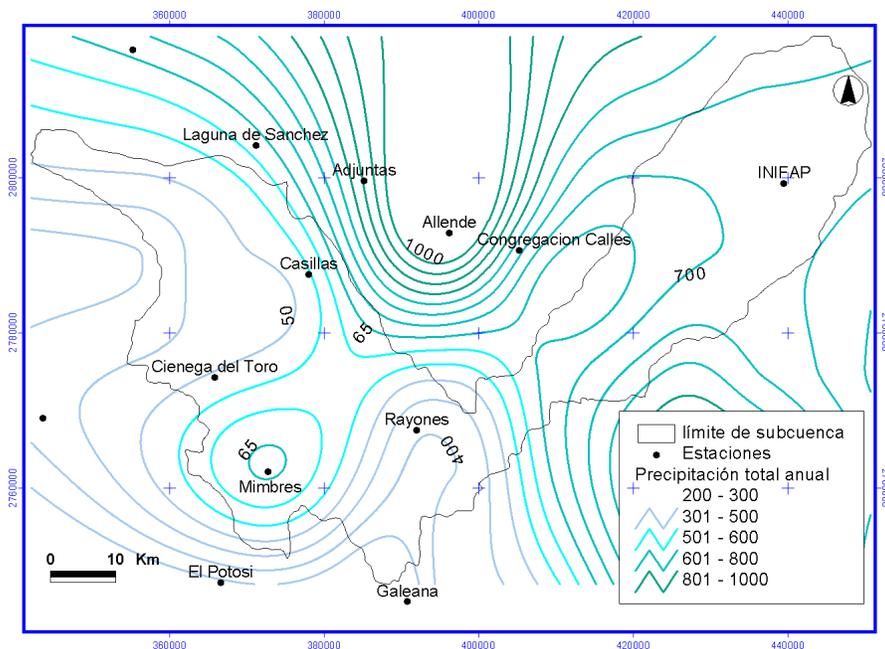


Figura 1-4. Distribución de las estaciones climatológicas y de la precipitación total anual. Elaboración propia basada en: CNA, 2002.

La precipitación total anual es mayor en el municipio de General Terán, descendiendo conforme se acerca a Rayones. Existe una notable diferencia (figura 1-4) en la disponibilidad natural de agua entre los municipios de la subcuenca. La

tabla 1-1 resume algunas variables climáticas en los municipios de la subcuenca del río Pílon.

Tabla 1-1. Clima en los municipios de la subcuenca.

Municipio	Clima		Temperatura (°C)			PP anual (mm)	Dirección del viento
	Tipo	Descripción	media anual	Min.	Max.		
Galeana		Cálido semiárido Templado semiárido con lluvias en verano	16.6 18.9	1	30	500 393	N-S
Rayones	Cw	Templado subhúmedo	19			400	E-O
Montemorelos	Cw, (A)C, Bsh	Templado subhúmedo, Semicálido, Seco estepario caliente	24	0	40	601-800	SE-NO
General Terán	Bsh	Seco estepario caliente	21			700	S

Fuente: SEGOB (1987); Olvera (1991)

Las figuras 1-5 y 1-6 presentan el comportamiento anual de la precipitación y de la temperatura en las estaciones climatológicas de Montemorelos, Rayones, Casillas y Los Mimbres.

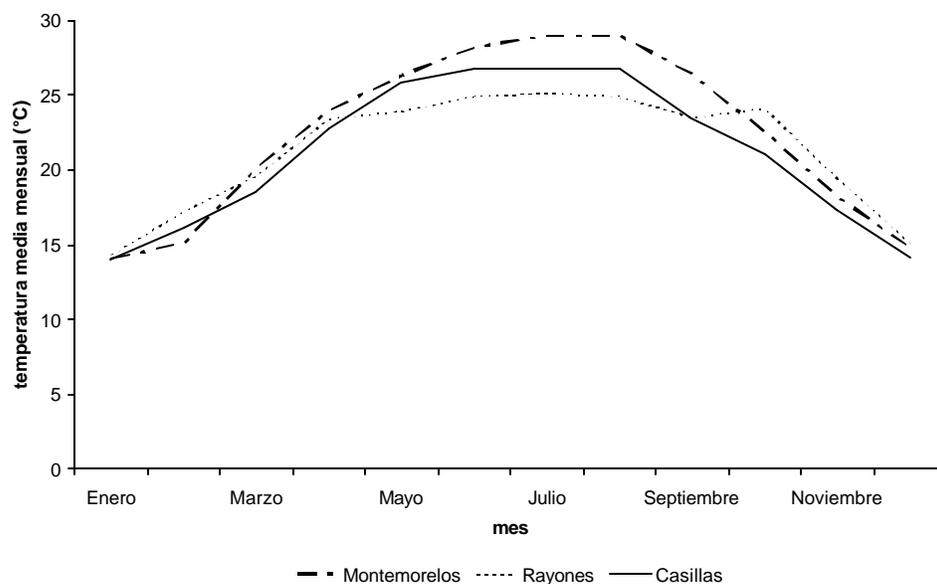


Figura 1-5. Comportamiento anual de la temperatura medida en tres estaciones de la subcuenca. Elaboración propia basada en: Sánchez (1987).

La temperatura promedio en las estaciones Montemorelos y Casillas alcanza su máximo en agosto, mientras que la de Rayones lo hace en octubre. Las temperaturas promedio en Rayones son menores que las de Montemorelos, lo cual se explica considerando las diferencias de altitud entre ambos.

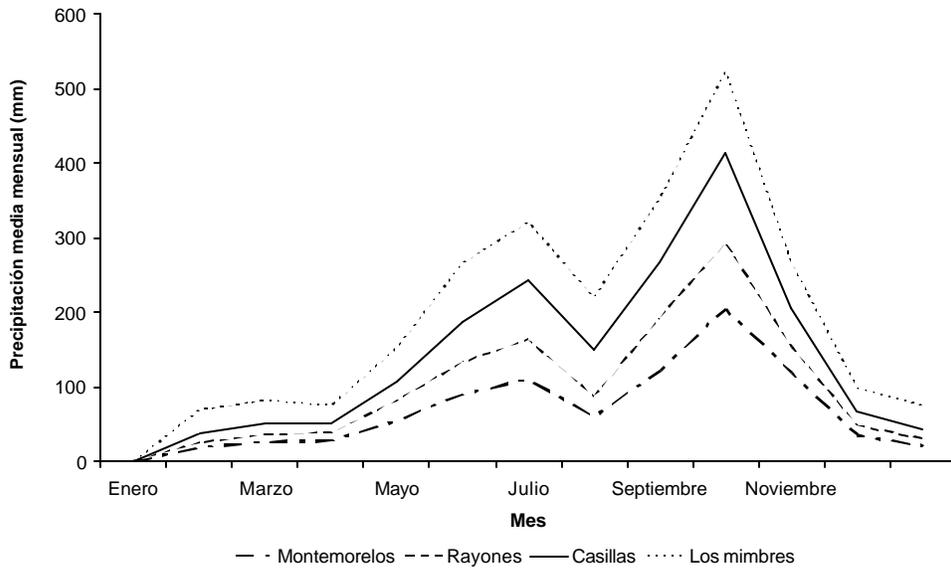


Figura 1-6. Comportamiento anual de la precipitación medida en cuatro estaciones de la subcuenca. Elaboración propia basada en: Sánchez (1987).

1.1.5. VEGETACIÓN

La Sierra Madre Oriental está dominada por matorrales subinermes y matorrales crasi-rosulifolios espinosos, siendo posible encontrar chaparrales y pastizales en las laderas de la sierra; mientras que en las partes altas dominan los bosques de pino y de pino-encino y los chaparrales de alta montaña en las alturas máximas.

En las altitudes de 900 a 950 msnm hay zonas de agricultura de riego y, ocasionalmente, manchones de vegetación de galería. En las cotas de 1000 msnm y 1600 msnm se encuentra matorral subinorme y rosetófilo, mientras que entre los 1200 y los 1800 msnm hay matorral crasirosifolio con manchones de pastizal natural. A partir de los 1400 msnm hay chaparrales que se extienden hasta los 2400 msnm. Los bosques de encino se localizan entre los 1300 y los 1800 msnm, los mixtos de pino-encino desde los 2200 hasta 2400 msnm, mientras que los bosques de pino y oyamel desde los 1700 hasta los 2700 msnm.

El matorral crasirosifolio con pastizal alcanza 2.1 m en el estrato superior, con las especies *Gochnatia hypoleuca* (ocotillo), *Ebenopsis ebano* (ebano) *Helietta parviflora* (barreta), y *Sophora secundaria* (colorín). En el estrato medio, de 1.5 m se encuentra *Acacia amentacea* (chaparro prieto), *Acacia berlandieri* (huajillo), *Dasyllirion sp* (sotol). En el estrato inferior de 0.5 m se encuentra *Agave lecheguilla* (lechuguilla), *Hechtia glomerata* (guapilla), *Opuntia sp* (nopal), *Jatrohpa dioica* (sangre drago), *Euphorbia antisyphilitica* (candelilla), *Bouteloua curti*pe (banderita) y *Aristida sp* (tres aristas).

El matorral inerme tiene 2.1 m en el estrato superior, siendo las especies dominantes *Cordia boissieri* (anacahuita), *Helietta parviflora* (barreta), *Leucophyllum texanum* (cenizo) y *Acacia berlandieri* (huajillo). En el estrato medio de 1.5 metros se encuentra *Acacia amentacea* (chaparro prieto), *Cordia boissieri* (anacahuita), *Leucophyllum texanum* y *Budleia marrubifolia*. En el estrato inferior de 0.5 m se encuentra *Opuntia sp* (nopal), *Turnera difusa*, *Agave striata* (espadín), *Zinnia sp* y *Agave lecheguilla* (lechuguilla).

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

El bosque de pino-encino con matorral tiene una altura de 16 m en el estrato dominante, con diámetros promedio de 70 cm medidos a la altura del pecho. En el estrato arbóreo se encuentra *Pinus hartwegii*, *Pinus teocote*, *Quercus mexicana* (encino rojo), *Quercus polymorpha* (encino blanco), *Carya myristicaeformis* (nogalillo silvestre). En el estrato arbóreo se encontró *Prunus virens* (capulín), *Juniperus monosperma* (enebro), *Amelanchier* sp y *Cercocarpus mojadensis*. El estrato herbáceo está dominado por especies del género *Agave* sp y *Gymnosperma glutinosum*.

La Sierra Madre Oriental es una provincia fisiográfica rica en endemismos y fenómenos evolutivos sobresalientes (PRONATURA, 1998; y Cantú *et al.*, 1999). La figura 1-7 muestra un perfil de los suelos y la vegetación en la Sierra Madre Oriental.

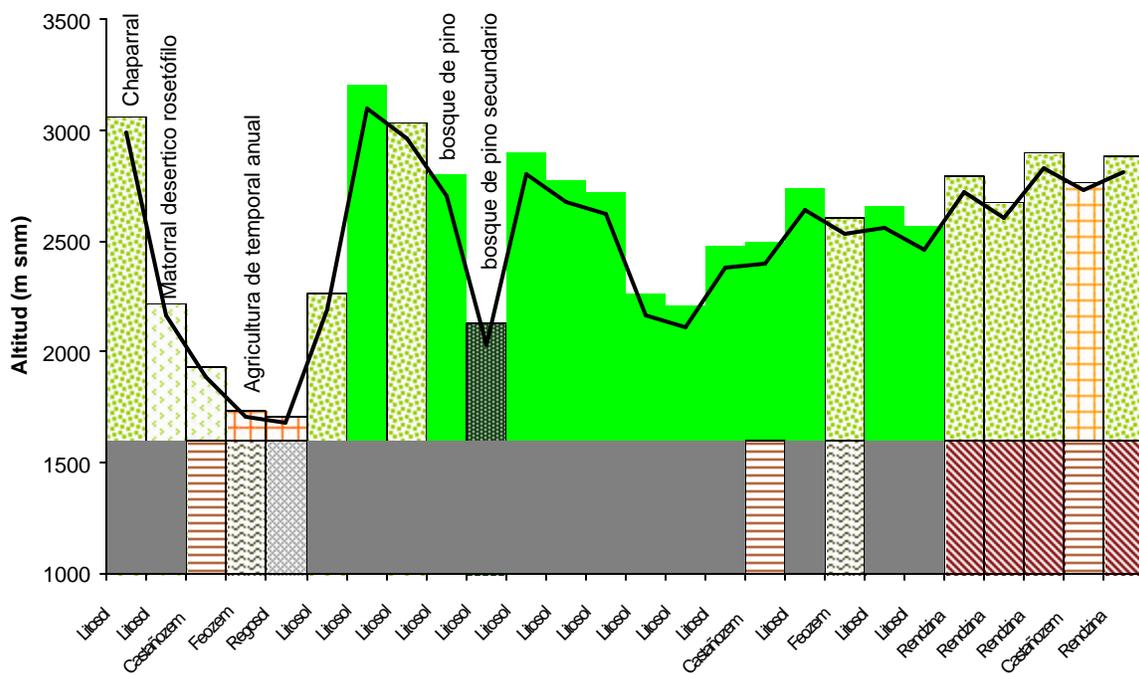


Figura 1-7. Perfil de los suelos y la vegetación en la Sierra Madre Oriental.

Elaboración propia basada en: CETENAL, 1977, SEMARNAT, 2000.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

La vegetación en la Llanura Costera del Golfo Norte está dominada por agricultura de riego en las partes más bajas (inferiores a 400 msnm), y en menor proporción por la agricultura de temporal. El tipo de matorral más común es el matorral submontano subinerme. Desde los 700 msnm se pueden encontrar bosques mixtos de encino con matorral subinerme y bosques de encino-pino.

En la transición de bosque de encino con matorral submontano de asociación subinerme se encuentra un estrato superior de 12 m, con las siguientes especies: *Pithecellobium brevifolium* (tenaza), *Helietta parvifolia* (barrreta), *Quercus rysophylla* (encino), *Dyospyros texana* (chapote) y *Bumelia lanuginosa* (coma). El estrato medio mide 3.1 m y esta conformado por las siguientes especies: *Zanthoxylum fagara* (colima), *Randia lactevirens* (crucillo), *Cordia boissieri* (anacahuita) y *Ungandia speciosa* (monilla). En el estrato inferior se encuentran: *Karwinskia humboldtiana* (tullidora), *Gymnosperma glutinosum*, *Bernardia myricaefolia* y *Lantana citrusa*.

En el bosque de pino el estrato dominante es de 10 m y esta conformado por: *Quercus laceyia*, *Quercus* sp (encino), *Bumelia lanuginosa* (coma) y *Juglans microcarpa* (nogal). En el estrato arbustivo se encuentran: *Randia aculeata* (crucillo), *Gamya ovata*, *Ehretia anacua* y *Carya myristicaeformis*. La figura 1-8 muestra un perfil del suelo y vegetación en la Llanura Costera del Golfo Norte. La agricultura domina gran parte de la superficie.

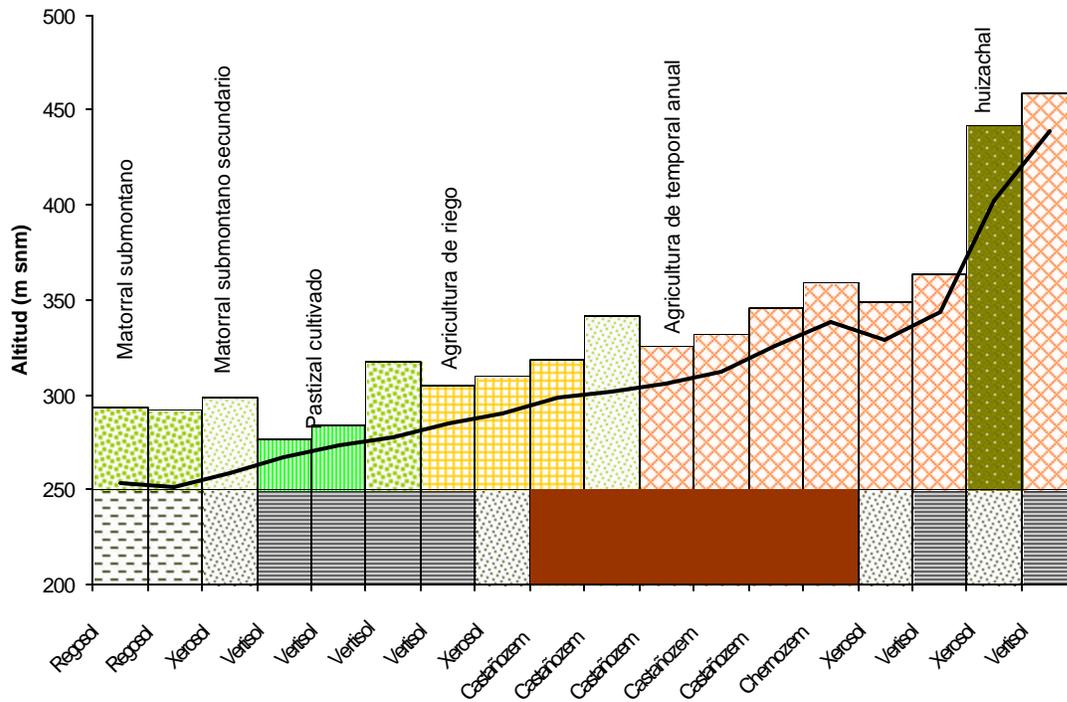


Figura 1-8. Perfil de los suelos y la vegetación en la Llanura Costera del Golfo Norte.

Elaboración propia basada en: CETENAL, 1977, SEMARNAT, 2000.

Esta información coincide con la presentada en el Inventario Nacional Forestal. Se puede apreciar que General Terán tiene grandes superficies dedicadas a la agricultura. En Montemorelos se encuentran grandes superficies agrícolas, aunque todavía hay remanentes de matorral submontano. Rayones destaca por su diversidad y abundancia de bosques. En Galeana se encuentran menores superficies de bosque entremezcladas con mezquiales y matorrales (figura 1-9).

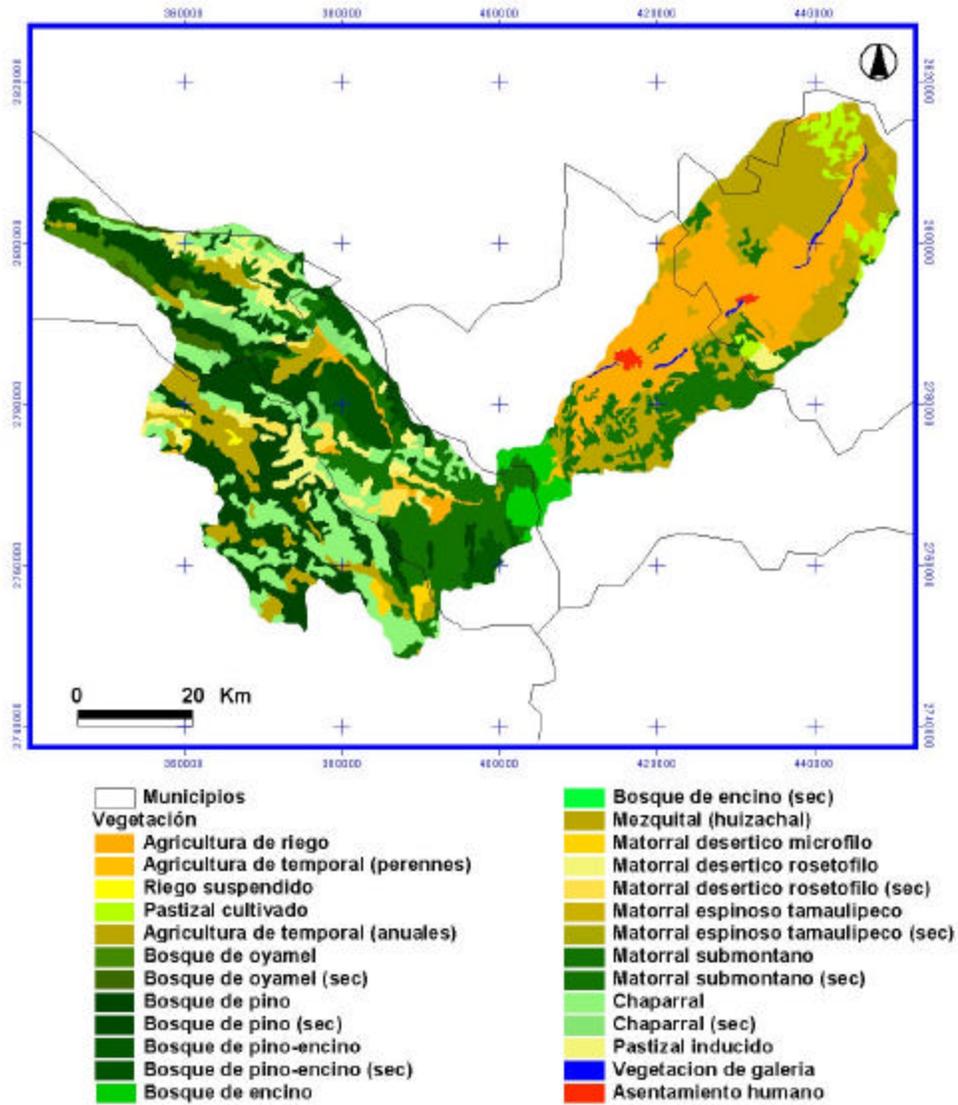


Figura 1-9. Vegetación en los municipios de la subcuenca. Elaboración propia basada en: SEMARNAT (2000).

1.2. Sociedad y producción agrícola en la subcuenca del río Pilón.

1.2.1. ORIGENES DE LA POBLACION

“Los pobladores primitivos de lo que hoy es Iturbide y sus inmediaciones (entre ellas Galeana, y Rayones) fueron grupos de cazadores-recolectores nómadas, o seminómadas que se calcula que habitaron ahí desde hace 8500 años a.C. Es posible rastrear su presencia en sitios y restos arqueológicos, como cuevas (refugios, entierros), artefactos de piedra, hueso, concha, fibra vegetal e incluso arte rupestre.

Durante la época colonial habitaron y recorrieron el área diversas tribus. Las fuentes documentales han dejado denominaciones de las mismas: malincheños, amyayas, borrados; hualahuises; janambres; pisones; bocala; negritos; guachiles; pames. Una de las primeras menciones históricas de estos grupos (que confluirían posteriormente en el surgimiento de nuestra población mestiza) es adjudicada a un evangelizador del sur nuevoleonés, Fray Luis de León” (López *et al.*, 1998)

Los municipios de la subcuenca del río Pilón se fundaron por razones diferentes. Galeana fue fundado doscientos años antes que los demás y se estableció como puesto de resistencia ante las rebeliones indígenas, así como una nueva población misional. En cambio, Rayones fue fundado como punto estratégico en las comunicaciones de la época colonial, al permitir el tráfico en el Cañón de Santa Rosa y en el Valle del Pilón y Labradores. Montemorelos surge de una encomienda, un permiso especial que los españoles obtenían de los reyes de España para explotar la tierra y producir, a la vez de proteger a los indios (mecanismo que después operó a la inversa promoviendo su explotación). General Terán surge de la necesidad de explotar su potencial para la producción agrícola (tabla 1 -2).

Tabla 1-2. Datos históricos del origen de los municipios.

Municipio	Fundación	Nombres anteriores
Galeana	1678	Conversión de San Pablo de Labradores; Valle de San Pablo de Galeana
Rayones	1851	San Miguel del Tasajal
Montemorelos	1825	Valle de San Mateo del Pílon
General Terán	1851	Hacienda de nuestra señora de la soledad de la mota

Fuente: Elizondo y Lozano, 1981.

1.2.2. EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN

La evolución de la población en estos municipios muestra que la de Montemorelos, al igual que la de Galeana ha mantenido un ritmo creciente, a diferencia de la de General Terán y de Rayones, cuyo crecimiento poblacional se ha estancado, al igual que la población del medio rural en el Altiplano y en las sierras de México (figura 1-10).

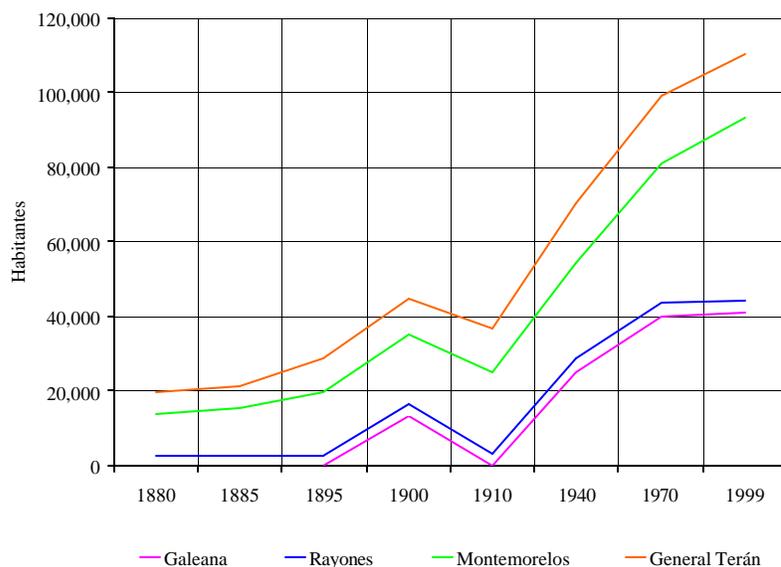


Figura 1-10. Evolución de la población.

Elaboración propia basada en: Elizondo y Lozano (1981); Olvera (1999) y Simbad (2000).

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

Galeana es, junto con Montemorelos, uno de los municipios con mayor población, sin embargo, gran parte de ésta se encuentra fuera de esta subcuenca. Así, Montemorelos y General Terán son los municipios de la subcuenca con mayor densidad poblacional (tabla 1 -3).

Tabla 1 -3. Población en la subcuenca del río Pilón.

Nombre	Superficie dentro de la cuenca (Km ²)	Población total (Hab)	Población dentro de la cuenca (Hab)	Densidad (Hab/Km ²)
Galeana	603	40,972	3,903	6
General Terán	605	16,656	13,962	23
Montemorelos	440	49,302	42,442	96
Rayones	581	3,164	2,556	4

1.2.3. RASGOS SOCIOECONÓMICOS DE LA POBLACION

Revisando indicadores socioeconómicos de los municipios de la cuenca del río Pilón, se observa que Montemorelos es el municipio con mejores condiciones económicas, seguido por General Terán, mientras que Galeana y Rayones se encuentran en desventaja respecto a los dos anteriores. Al comparar las características de las casas habitación, se encuentra la misma tendencia (tablas 1-4 y 1-5).

Es por ello que el INEGI ha establecido que Galeana y Rayones poseen un nivel bajo de bienestar, Montemorelos un nivel alto y General Terán un nivel medio (SIIGE, 2000).

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

Tabla 1-4. Indicadores socio-demográficos generales (porcentaje con respecto a la población total).

Municipio	Galeana	Rayones	Montemorelos	General Terán
Población alfabeta	54	50	62	62
Población analfabeta	8	12	4	5
Educación post primaria	15	9	28	19
Con educación post media	7	3	16	9
Con instrucción superior	1	1	6	2
Población económicamente activa	29	31	30	30
Que pertenece al sector primario	19	23	9	17
Que pertenece al sector secundario	3	3	8	4
Que pertenece al sector terciario	6	4	13	8
Empleado u obrero	8	4	19	11
Jornalero o peón	5	8	4	8
Trabaja por su propia cuenta	12	14	5	8
Percibe menos del salario mínimo	17	17	6	7
Percibe de 2 a 5 salarios mínimos	3	2	7	4

Fuente: SIMBAD, 2000.

Tabla 1-5. Características de los hogares que reflejan el nivel de bienestar económico

Municipio	Galeana	Rayones	Montemorelos	General Terán
Total de viviendas particulares	7783	677	10907	3904
Vivienda con techo de losa (%)	22	7	33	19
Con piso de cemento (%)	70	38	67	68
Vivienda con 1 cuarto (%)	7	6	13	9
2 a 5 cuartos (%)	88	90	78	82
Con gas en la cocina (%)	56	18	80	79
Con drenaje a la calle (%)	5	0	30	26
Energía eléctrica (%)	80	40	86	77
Agua entubada (%)	15	13	44	38
Vivienda propia (%)	91	81	69	72

Fuente: SIMBAD, 2000.

Montemorelos es el principal centro generador de oportunidades de esta región. Desde el siglo XIX, su crecimiento económico se debe al control y uso de las aguas del río Pílon (Olvera, 1999). Montemorelos y General Terán son parte de la región citrícola de Nuevo León, mientras que Galeana y Rayones, pertenecen a la llamada región Ixtlera, cuya agricultura es precaria (Elizondo y Lozano, 1981).

La distribución de la población económicamente activa (PEA) confirma que no sólo Montemorelos, si no también General Terán concentran gran parte de la actividad económica (figura 1-11).

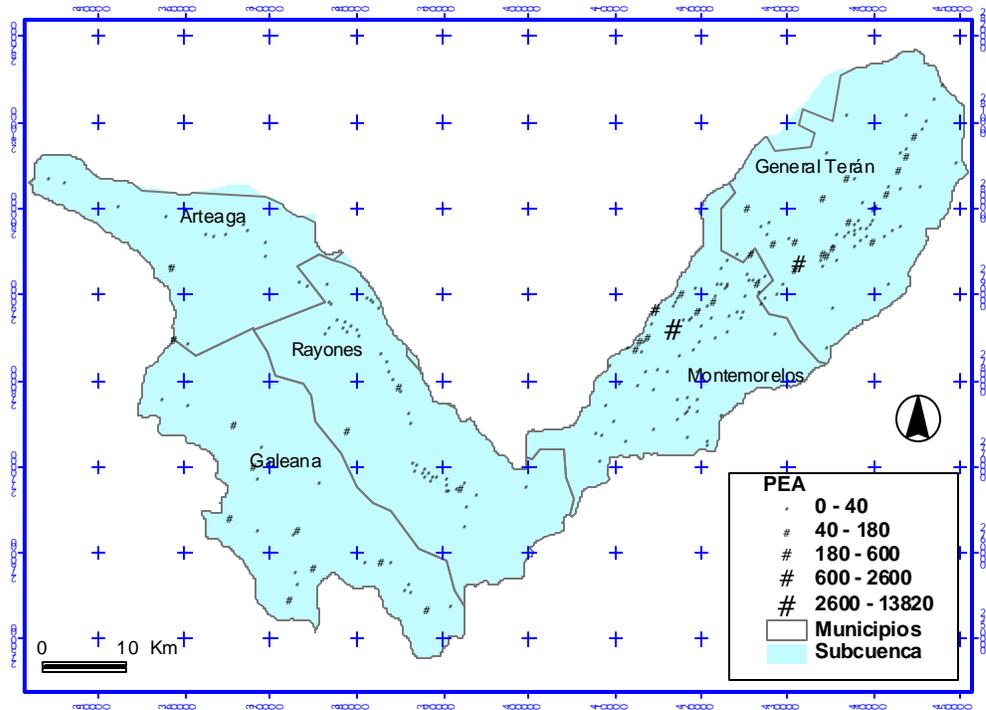


Figura 1-11. Distribución de la población económicamente activa (PEA).
Fuente: INEGI (2000).

1.2.4. PRODUCCION

Según la cantidad de unidades de producción que poseen, Galeana ocupa el primer lugar estatal con 6,964 unidades. Montemorelos se ubica en el quinto lugar estatal con 3,314 unidades. General Terán posee 1,763 unidades y Rayones 829 unidades (INEGI, 1994b).

La mayor parte de la superficie de los municipios de General Terán, Montemorelos y Galeana es utilizada para ganado y para cultivos. Rayones, en cambio posee un porcentaje importante de su territorio en la forma de bosques o selvas (tabla 1-6).

Tabla 1-6. Uso del suelo en los municipios de la subcuenca.

Uso del suelo	Galeana	General Terán	Montemorelos	Rayones
Superficie total (ha)	217,898	252,773	149,051	32,434
Superficie de labor (%)	37.8	23.1	24.7	9.2
Sólo con pasto, agostadero o enmontada (%)	58.2	75.9	73.4	50.4
Con bosque o selva en total (%)	3.7	0.0	1.3	40.4
Solo con bosque o selva (%)	2.1	0.0	1.3	40.4
Con bosque o selva y pastos (%)	1.5	-	0.0	-
Sin vegetación (%)	0.3	1.0	0.6	0.0

Fuente: INEGI, 1994b.

Los ejidos de Rayones se distinguen por el desarrollo de actividades forestales, en contraste con los ejidos de los otros municipios (tabla 1-7).

Tabla 1-7. Actividad principal en los ejidos (porcentaje)

Municipio	Actividad principal			
	con otro uso	Agrícola	Ganadera	Forestal
Galeana	0.4	98.2	1.8	0
Rayones	0.3	50	40	10
Montemorelos	1.6	88	12	0
General Terán	13.2	100	0	0

Fuente: INEGI, 1996.

La producción forestal de Rayones se compone un 50% de pino y un 50% de especies no maderables. En Galeana se explota el pino (76%) y encino (4.8%). (INEGI, 1994).

Los productos forestales no maderables también contribuyen a la economía de esta región. En Galeana se colecta lechuguilla (54.5%), mientras que en Rayones se colecta resina (33.3%) y lechuguilla (66.7%). Las dos terceras partes del producto se venden en los mercados regionales, y la restante se consume en los mismos municipios (INEGI, 1996).

1.2.5. TENENCIA DE LA TIERRA

La tenencia de la tierra agrícola es predominantemente privada en el estado de Nuevo León, siendo también así en tres de los municipios de la subcuenca: Montemorelos, Galeana y General Terán. En Rayones en cambio, coexisten la tenencia de la tierra de tipo ejidal, y de tipo privada (tabla 1-8)..

Tabla 1-8. Tenencia de la tierra agrícola en los municipios de la subcuenca.

	Superficie total	Tenencia ejidal (%)	Tenencia comunal (%)	Tenencia privada (%)
Nuevo León	4,380,833	7	1	91
Galeana	217,898	26	0	74
General Terán	252,773	4	1	95
Montemorelos	149,091	3	-	96
Rayones	32,434	45	0	55

Fuente: INEGI, 1994b.

1.2.6. ORGANIZACIÓN SOCIAL Y ACCESO AL AGUA

Rayones cuenta con los ejidos de mayor superficie y mayor número de ejidos con riego, sin embargo es también el municipio con menos organizaciones ejidales (tabla 1-9). Montemorelos casi no tiene superficies de labor con riego en los ejidos por lo que la producción depende principalmente del sistema de temporal. Olvera (1999) reporta que este fenómeno se invierte en las propiedades privadas.

Tabla 1-9. Tenencia de la tierra y riego en los ejidos.

Municipio	Por ejido Superficie media (ha)	Numero de Ejidatarios	Organizaciones de producción	Superficie (%)			Superficie de labor (%)	
				Parcelada	No parcelada	de uso común	Riego	Temporal
Galeana	4711.7	64	2.5	9.2	2.8	97.2	21.8	78.2
Rayones	6691.8	61	1	2.1	20.6	79.4	75.1	67.1
Montemorelos	915	28	1.3	30.3	2.2	97.8	3.1	96.9
General Terán	1562.7	41	2.3	22.4	7.6	92.4	35.2	64.8

Fuente: INEGI, 1996.

En el estado de Nuevo León predomina la producción basada en el sistema de temporal, al igual que en los municipios de la subcuenca, siendo Rayones el único municipio que cuenta con riego en casi el 63% de su superficie agrícola, teniendo sin embargo muy poca superficie total dedicada al agro (tabla 1-10).

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

Tabla 1-10. Porcentaje de la superficie agrícola bajo los diversos regímenes de riego.

Municipio	solo riego	Solo temporal	riego y temporal	riego y temporal-riego	riego y temporal-temporal
Nuevo León	10	65	13	5	8
Galeana	19	53	14	7	7
General Terán	13	42	22	8	14
Montemorelos	14	58	14	4	9
Rayones	63	11	13	9	4

Fuente: INEGI, 1994b.

Es más factible encontrar sistemas de riego en las propiedades privadas que en otros tipos de tenencia de la tierra (tabla 1-11).

Tabla 1-11. Superficies (ha) que disponen de riego en los diferentes tipos de tenencia

Municipio	Superficies con riego (ha) por tipo de tenencia		
	Privada	Ejidal	mixta
Galeana	10,316	7,568	310
General Terán	8,377	1,656	8
Montemorelos	5,989	121	-
Rayones	1,637	373	169

Fuente: INEGI, 1994b.

1.2.7. TECNIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

General Terán es el municipio que tiene más ejidos con tecnología agrícola, mientras que Montemorelos y Rayones se encuentran más rezagados en este sentido. Rayones es también el municipio que tiene menos acceso a la tecnología para la producción animal. Los ejidos de Galeana cuentan con mayor tecnología forestal que Rayones, siendo además los dos únicos municipios que la poseen (tabla 1-12).

Tabla 1-12. Tecnología disponible en los ejidos (porcentaje).

Municipio	Superficie de labor				
	con tecnología agrícola	con instalación agrícola	con tecnología animal	con instalación ganadera agrícola	Con Tecnología forestal
Galeana	92	62.5	93.7	70.3	76.2
Rayones	85.7	14.3	40	10	50
Montemorelos	80	16	84	36	
General Terán	100	100	82.4	76.5	

Fuente: INEGI, 1996.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

La tecnificación de la producción ha tenido su efecto en el rendimiento de la producción. General Terán obtiene mayor rendimiento de los cuatro municipios (tabla 1-13). La mayor parte de la producción se destina a la venta, siendo General Terán el municipio que más la comercializa y Galeana el que más la usa para el autoconsumo.

Tabla 1-13. Producción de cultivos anuales en los ejidos

Municipio	Destino de la producción agrícola (%)		Rendimiento en el ciclo primavera verano (ton/ha)		
	Autoconsumo	Venta	Maíz	fríjol	Sorgo
Galeana	27.7	72.3	701.1	603.5	2009.7
Rayones	14.3	85.7	501.4	184.5	3460
Montemorelos	20	80	748.8	486.5	1650.9
General Terán	-	100	865.6	1055	12226.9

Fuente: INEGI, 1996.

1.2.8. PRODUCTOS AGRÍCOLAS

La mayor parte de la producción de maíz y de frijol se encuentra en las unidades de producción mayores de 5 hectáreas, siendo la producción de los ejidos más importante para Rayones y Galeana, y la de las propiedades privadas para Montemorelos y General Terán (INEGI, 1994b).

Galeana es el único municipio sin producción cítrica. La superficie plantada de cítricos en Rayones es notoriamente menor que la de Montemorelos y General Terán. Galeana se distingue por la producción de pastos, mientras que Rayones por la producción de nuez (ver tabla 1-14).

Tabla 1-14. Superficie (ha/upr) de cultivos perennes en los ejidos

Municipio	Naranja		Pastos		Nuez encarcelada	
	plantada	Produciendo	plantada	produciendo	plantada	Produciendo
Galeana	0	0	79.4	23.3	0.6	0.6
Rayones	1.5	0.9	0	0	3.4	3.3
Montemorelos	16.0	6.7	68.9	2.2	1.2	0.7
General Terán	14.3	8.9	11.4	1.1	3.3	3.0

Fuente: INEGI (1996). Upr = unidad de producción rural.

El ganado bovino ocupa casi dos terceras partes de la producción y es seguido en importancia por el ganado caprino, que en Galeana y Rayones es de suma importancia para la producción (ver tabla 1-15).

Tabla 1-15. Distribución del ganado en las unidades de producción.

Municipio	Bovino	Caprino	Avícola	Porcino	Ovino	Equino
Galeana	42,048	99,276	4,730	3,254	18,780	432
General Terán	29,271	9,541	1,602	725	6,926	381
Montemorelos	31,942	5,466	2,133	1,044	2,626	531
Rayones	2,695	10,188	503	348	241	301

Fuente: INEGI (1994b).

1.2.9. LA PRODUCCIÓN EN 1970 Y EN 1990.

Los censos agropecuarios de 1970 y 1990 son tan diferentes en objetivos y registros, que es difícil establecer una comparación histórica basada en los datos proporcionados por éstos. Es posible, sin embargo, establecer los cambios en las unidades de producción, en el uso del suelo y en los cultivos obtenidos.

En el estado de Nuevo León durante el periodo 1970-1990 se ha observado un incremento de las unidades de producción de hasta 150%. De los cuatro municipios de la región Galeana, seguida por Montemorelos, son los municipios de mayor incremento en unidades de producción (tabla 1-16).

Tabla 1-16. Unidades de producción en los municipios de la subcuenca.

	Galeana	General Terán	Montemorelos	Rayones
1970	903	932	1699	395
1990	6964	1763	3314	829

Fuente: DGE (1975), INEGI (1994b).

En Galeana se han incrementado las unidades de producción del tipo ejido y comunidades agrarias, mientras que Montemorelos los incrementos se dieron en el sector privado (tabla 1-17).

Tabla 1-17. Unidades de producción en propiedad privada y en ejidos y comunidades agrarias.

	Unidades de producción privadas		Ejidos y comunidades agrarias	
	1974	2000	1974	2000
Galeana	809	1083	94	5618
General Terán	916	1307	16	453
Montemorelos	1676	2793	23	507
Rayones	387	478	8	299

Fuente: DGE (1975), INEGI (1994b).

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

En cuanto al uso del suelo, en el estado de Nuevo León, en el periodo 1970 a 1991 la superficie de labor incrementó del 7% al 20% mientras que la de bosque decreció de 16 a 1.2 % (tablas 1-18 y 1-19). En dos de los cuatro municipios se observa un patrón general parecido de cambios en el uso del suelo. En Galeana la superficie de labor incrementó del 8% al 37.8%, mientras que el bosque decreció del 10% al 3.7%. En General Terán superficie de labor creció del 9.6% al 23%, mientras que la de bosques decreció del 19.2% al 0%.

En Montemorelos se vive un proceso notable de transformación, pero no encaminado a las labores agrícolas si no hacia las pecuarias, ya que la superficie de labor prácticamente se mantuvo, siendo los bosques reducidos del 27.3% al 1.3%, superficie que fue ganada por agostaderos y vegetación secundaria. Rayones es la excepción, ya que durante el periodo 1970-1991 la superficie de labor creció levemente del 5.9 al 9.2%, mientras que la de bosque creció de 11.4% al 40.4%

Tabla 1-18. Uso del suelo en 1970

Municipio y rama censal	Nuevo León	Galeana	Terán	Montemorelos	Rayones
Número de unidades	20192	903	932	1699	395
Superficie total censada	4637392	506718.7	206545	119207.6	49071.8
De labor	322680	41964.5	19786.8	30944.3	2879.3
Cerros con pasto natural	1234505.8	118215.2	40932.6	23508	22201.4
Llanuras con pasto natural	1786984.8	145990.3	99306.7	16322.3	434.7
Con bosque de sp maderable	162911.8	18783.6	25608.7	5304.5	1799
Con bosque de sp no maderable	512652.1	31978.7	14128.8	27809.6	3794
Incultas productivas	327095.5	98867.9	701.7	1068.2	12282
No aptas para agricultura o ganadería	290562	50918.5	6619.7	14250.7	5681.4
Cultivables (fácil y costeable)	252290.2	50723	25073.7	8799.2	507.8

Fuente: DGE (1975).

Tabla 1-19. Uso del suelo en 1991

	Nuevo León	Galeana	Terán	Montemorelos	Rayones
Superficie total	4380833.3	217897.9	252773.2	149050.6	32434.1
Superficie de labor	899649.8	82399.2	58342.4	36828.9	2998.8
Solo con pasto, natural, agostadero o enmontada	3394518.1	126823.1	191898.6	109419.5	16339.7
Con bosque o selva en total	52748.9	7980.8	39.0	2004.68	13088.0
Solo con bosque en selva	44232.5	4644.8	39.0	2004.2	13088.0
Con bosque o selva y pastos	8516.5	3336	-	0.5	-
Sin vegetación	33916.3	694.7	2493.1	837.5	7.0

Fuente: INEGI (1994b).

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

Otra diferencia que permiten notar los censos es el cambio de productos agrícolas (tabla 1-20). Se nota un proceso de homogenización en la producción, con el abandono de varios productos agrícolas.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

Tabla 1 -20. Productos agrícolas de la subcuenca del río Pílon.

Anuales 1970	Anuales 1990	Perennes 1970	Perennes 1990
Algodón		Aguacate	Alfalfa
Avena		Durazno	
Cebada		Manzano	Manzano
Fríjol	Fríjol	Naranja	Naranja
Maíz	Maíz	Nuez de cáscara	Nuez
Maíz mejorado		Nuez encarcelada	Pastos
Maíz forrajero		Toronja	
Sorgo	Sorgo		
Sorgo forrajero	Sorgo forrajero		
Trigo	Trigo		

Fuente: DGE (1975), INEGI (1994b).

CONCLUSIONES

Las condiciones medioambientales (clima, suelo y pendiente) han marcado notables diferencias entre la Llanura Costera del Golfo Norte y la Sierra Madre Oriental, favoreciendo las actividades agrícolas en la primera y limitándolas en la segunda. Así, se distinguen dos municipios: General Terán y Montemorelos, por ser los ejes de un desarrollo agropecuario tecnificado, lo que ha incidido en su crecimiento poblacional y en la actividad económica (netamente primaria). Ambos municipios han estado sujetos a fuertes procesos de transformación durante el periodo 1970-1990. En General Terán ha ocurrido la transformación de bosques y matorrales debido al crecimiento de la frontera agrícola, y en Montemorelos la privatización de la tierra y la expansión de la frontera ganadera.

En Galeana la frontera agrícola se ha expandido y la producción está diversificada, sin embargo, al no estar orientada al comercio, no ha promovido el desarrollo económico.

Rayones, en cambio se caracteriza por ser un municipio con notables diferencias en cuanto al desarrollo de actividades forestales, a la organización ejidal y al acceso al riego. Debido a esto, y a la falta de suelos adecuados para este fin, la agricultura se ha extendido lentamente permitiendo conservar más superficie boscosa.

Se intuye que estas diferencias medioambientales y socioeconómicas puedan tener un efecto en la magnitud y tipo de transformaciones que han ocurrido en la vegetación de estos municipios durante 1974 y 2000.

LITERATURACITADA

1. Alanís, G., Cano y Cano, G., Rovalo, M. (1996). Vegetación y Flora de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León: CEMEX-Impresora Monterrey.
2. Cantú, C.; Sariñana, R.; Rodríguez, G.; González, F.; Treviño, E.; Rocha, L. y Hernández, S. (1999). Evaluación e inventarios de áreas naturales susceptibles para la conservación ecológica en Nuevo León. Monterrey Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León -SEMARNAP Nuevo León-Subsecretaría de Ecología del gobierno del Estado de Nuevo León.
3. CETENAL. (1977). Carta Edafológica 1:50,000. Cartas G14C35 a G14C57. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
4. CNA. (2002). Registros de las estaciones meteorológicas del estado de Nuevo León. Inédito. Disponible: Delegación Estatal Nuevo León. Comisión Nacional del Agua.
5. DETENAL. (1978). Carta geológica. 1:50, 000. Cartas G14C35 a G14C57. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
6. DGE. (1975). V Censo Agrícola Ganadero y Ejidal 1970. Nuevo León. México, D. F. Dirección General de Estadística.
7. Elizondo, R. y Lozano, R. (1981). Geografía de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León: Editorial Didáctica
8. INEGI. (1987a). Carta de efectos climáticos regionales. Mayo-Octubre 1:250,000. Cartas G14-7, G14-8, G14-10 y G14-11. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
9. INEGI. (1987b). Carta de efectos climáticos regionales. Noviembre-Abril. 1:250,000. Cartas G14-7, G14-8, G14-10 y G14-11. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
10. INEGI. (1992). Atlas Ejidal del Estado de Nuevo León. Encuesta Agropecuaria Ejidal, 1998. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
11. INEGI. (1994). Panorama Agropecuario de Nuevo León. VII censo agropecuario 1991. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
12. INEGI. (1994b). Nuevo León: resultados definitivos VII censo agrícola pecuario y ganadero. Tomo I. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor. 413 pp.
13. INEGI. (1996). Indicadores básicos censales. VII censo agropecuario, Nuevo León, 1991. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
14. INEGI. (1999). Anuario estadístico del estado de Nuevo León. Edición 1999. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

15. INEGI. (2000). Resultados del XII Censo de población y vivienda 2000. Consulta digital por localidades [CD]. Disponible en: INEGI Nuevo León. Av. Pino Suárez. Centro. Monterrey.
16. INEGI. (2000). Geomodelos de Altimetría GEMA. Zonas G14-7,8,10 y 11. Escala 1:250,000. [CD Room]. Disponible en: INEGI Nuevo León. Av. Pino Suárez. Centro. Monterrey.
17. López, C., Durazo, M., Moreno, R. (1998). Creer, beber, curar. Historia y cultura en Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México: Fondo Estatal para la Cultura y las Artes de Nuevo León.
18. Olvera, A. (1999). La lucha por el agua en la región citrícola. Serie la Historia y el Derecho no. 12. Monterrey, Nuevo León: Congreso del Estado de Nuevo León
19. Pronatura Noreste. (1998). Zonas prioritarias de conservación en el Noreste de México. Memorias del taller de conservación 1998. Monterrey, Nuevo León, México: autor.
20. Sánchez, S. R. (1987). Algunas características hidrológicas del río Pílon, Nuevo León. Ingeniería hidráulica en México. Vol. 2 (2): 36-51. Segunda época. México, D. F.
21. SEMARNAT. (2000). Zonas g14-7,-8,-10 y -11. 1:250,000. CD Inventario Nacional Forestal. México, D. F.: Autor.
22. SIIGE. (2000). Sistema Integral de Información Geográfica y Estadística. [Sistema de información geográfica en Línea]. Disponible: www.inegi.gob.mx
23. SIMBAD. (2000). Principales Indicadores socioeconómicos del XI censo de población 1999. [base de datos digital en línea]. Disponible: www.inegi.gob.mx
24. SPP. (1981). Atlas Geográfico del Estado de Nuevo León. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor. Anexo 2: Mapa de Climas del Estado.
25. SPP. (1974). Carta de vegetación y uso del suelo. Cartas G14C35 a G14C57. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.

CAPITULO 2.

LOS CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PILÓN.

INTRODUCCIÓN

Las necesidades de la sociedad actual han desencadenado procesos de transformación de los recursos naturales sin precedente. La desaparición y transformación de los recursos vegetales, ocupa a numerosos equipos de investigación en el mundo. Entre ellos, destaca el programa Land Cover and Land Use Change (LCLUC) de la NASA y el programa de evaluación de los recursos forestales (FRA) de la FAO.

Existen varias técnicas para la evaluación y el monitoreo de la vegetación, destacando las herramientas geoespaciales, tales como la fotointerpretación y la interpretación de imágenes de satélite. Se ha probado la utilidad de la fotogrametría para estimar la cobertura y la biomasa vegetal (Lilesand y Kiefer, 1994), mientras que las imágenes de satélite han demostrado ser útiles, para evaluar los tipos de vegetación, la dominancia de especies, la variación estacional o sucesional y algunos componentes químicos de la vegetación (Gamon y Qiu, 1999). La interpretación de imágenes de satélite es una herramienta que permite cubrir grandes distancias y usar un enfoque multi - temporal.

ANTECEDENTES

Las imágenes del satélite Landsat han probado ser muy útiles para evaluar los cambios en la vegetación. Para ello se han utilizado diversos enfoques metodológicos.

En Malawi las variaciones en el Índice Normalizado de Diferencias en la Vegetación (NDVI por sus siglas en inglés), permitieron evaluar la deforestación (Hudak y Wessman, 2000); mientras que en el desierto Kalahari el vector de cambios en las bandas visibles, roja e infrarroja cercana, sirvió para evaluar la desertificación y la pérdida de calidad en la vegetación forrajera (Palmer y Van Rooyñen, 1998). En las sabanas de Zambia se utilizó la correlación entre la cubierta arbórea y arbustiva con

la reflectancia de la banda roja, para detectar patrones espaciales de cambio en la vegetación (Yang y Prince, 2000).

Los métodos de clasificación de imágenes mediante la utilización de sitios de control en campo son útiles para generar mapas multi-temporales de uso del suelo. En Chicago se aplicaron para detectar qué patrones de cambio amenazan las áreas protegidas (Wang y Moskovits, 2001). En combinación con el análisis multispectral se han empleado para monitorear los cambios en la vegetación riparia de las Montañas de Nepal (Zomer *et al.*, 2001).

Debido a la cantidad de métodos posibles para evaluar los cambios en la vegetación usando imágenes LANDSAT, algunos autores han comparado su eficiencia. Por ejemplo, en California se encontró que la clasificación basada en el árbol de decisiones superó en un 10% a la del máximo parecido, y en combinación con el análisis de mezclas espectrales multi temporales, resultó ser un 5% mas eficiente que el enfoque multi temporal de Kauth Thomas en la detección de cambios en la vegetación (Rogan *et al.*, 2002). En pastizales semiáridos de California se comparó la eficiencia del NDVI respecto al análisis de mezclas espectrales. Se observó que el segundo método detecta con mayor precisión el porcentaje absoluto de cobertura vegetal viva, así como la magnitud y tipo de cambio, mientras que el NDVI se relacionó con la cobertura vegetal viva; pero no fue eficiente para detectar los cambios (Elmore *et al.*, 2000).

Las técnicas de detección de cambios se han refinado a tal grado que incluso se les puede predecir. En el delta de un río en China se aplicaron técnicas econométricas y ecuaciones de regresión para predecir fechas de cambio en el uso del suelo, sin necesidad de clasificar o corregir la imagen (Kaufmann y Seto, 2001).

En México, desde 1992, se han evaluado los cambios en la frontera agrícola y urbana (Barrera y Ortiz, 1992; Cervantes y Calderón, 1992). En Chiapas se ha comparado la eficiencia de los índices desarrollados para evaluar los cambios en la cobertura vegetal en la sierra, encontrando que bajo esas condiciones, el NDVI supera a otros índices como son: el de diferencias, la fracción perpendicular, la

fracción ajustada de suelo y la fracción transformada y el índice de vegetación simple (Lyon *et al.*, 1998).

En Nuevo León los trabajos de Treviño (1992) y Treviño *et al.* (1996), han documentado la transformación de la vegetación. Destaca también el trabajo de Verástegui (2000), que evaluó los cambios en el uso del suelo en la región citrícola de Nuevo León, incluyendo los municipios de Montemorelos y General Terán. Las cuencas hidrológicas se consideran en la actualidad como la unidad óptima de manejo de los recursos, sin embargo, pocos trabajos han abordado la transformación de su vegetación, considerando las características de su población. Para lograrlo, se presentan a continuación el objetivo, la hipótesis que sustenta el trabajo y los métodos empleados.

OBJETIVO

Evaluar los cambios ocurridos en la vegetación de la subcuenca del río Pilon en el periodo comprendido de 1974 al año 2000.

HIPÓTESIS

H₁. El avance de la frontera agrícola y pecuaria no ha implicado severas transformaciones en la vegetación natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

La cuenca del río Pilon está ubicada en la parte central del Estado de Nuevo León. Sus coordenadas extremas son 24°50' y 25°29' de latitud norte y 99°30' y 100°35' de longitud oeste (figura 2-1).

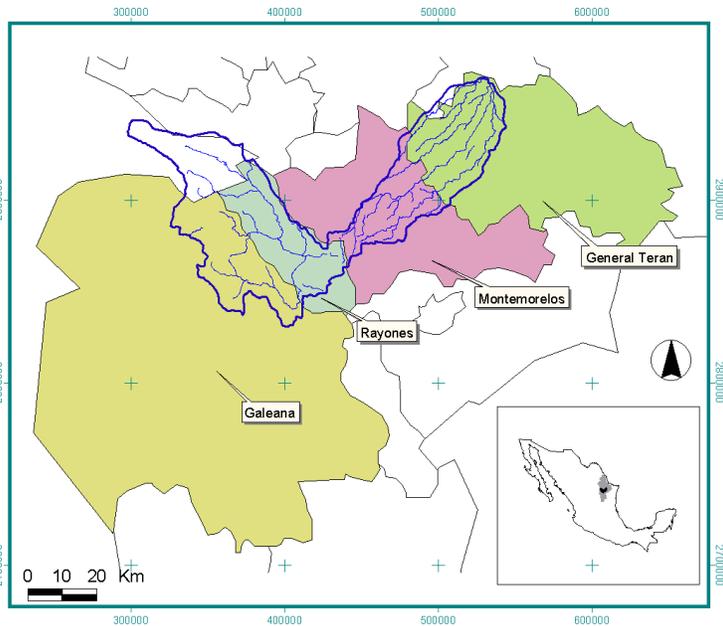


Figura 2-1. Ubicación de la subcuenca del río Pilón.

Las condiciones biofísicas de las dos provincias de la subcuenca son contrastantes y han afectado a sus habitantes:

En la Llanura Costera, donde están los municipios Montemorelos y General Terán, se conjugan topografía suave (pendiente máx. 20%), suelo profundo (regosol, vertisol), clima estable (sub-húmedo) y precipitación moderada (hasta 800 mm/anales). El suelo tiene buen potencial agropecuario, por lo que se dedica desde 1895 a la producción citrícola (Olvera, 1995).

En la Sierra Madre se ubican los municipios Rayones y Galeana, su accidentada topografía (pendiente superior a 30%), suelo somero (litosol, rendzina), escasa precipitación (máx. 400 mm / año) y clima extremoso (semiárido), hacen poco atractivo el desarrollo agropecuario. Por ello, el establecimiento de poblaciones responde a necesidades de integración regional. Excepto por algunas planicies y márgenes del río, la agricultura no es la principal actividad de sus pobladores, si no mas bien, la extracción y procesamiento de productos no maderables de los matorrales y la ganadería caprina.

Aspectos Socioeconómicos de la subcuenca del río Pilón

Las posibilidades de desarrollo económico y de integración con la metrópoli de Monterrey, diferencian notablemente a la sociedad. Montemorelos y General Terán tienen mayor densidad poblacional a diferencia de los demás municipios. Además, su población posee más educación y mejores condiciones de vida (Tabla 2-1).

La población económicamente activa no difiere entre municipios. Sin embargo, las actividades en Montemorelos y General Terán se enfocan a la industria y el comercio, no así en Galeana y Rayones donde hay más autoempleo, aunque mal remunerado. Galeana y Rayones poseen un nivel bajo de bienestar. Montemorelos, en cambio, tiene un nivel alto y General Terán un nivel medio (Tabla 2-1).

Tabla 2-1. Rasgos socioeconómicos de la población de la subcuenca.

Característica / Municipio	Galeana	Rayones	Montemorelos	General Terán
Superficie en la subcuenca (Km ²)	603	581	440	605
Población total	40,972	3,164	49,302	16,656
Población dentro de la subcuenca	3,903	2,556	42,442	13,962
Densidad poblacional (Hab/ Km ²)	6	4	96	23
Población alfabeta (%)	54	50	62	62
Con educación post primaria (%)	15	9	28	19
Total de viviendas particulares	7,783	677	10,907	3,904
Vivienda con techo de losa (%)	22	7	33	19
Con piso de cemento (%)	70	38	67	68
Con gas en la cocina (%)	56	18	80	79
Con drenaje a la calle (%)	5	0	30	26
Con energía eléctrica (%)	80	40	86	77
Población económicamente activa (%)	29	31	30	30
Que pertenece al sector primario (%)	19	23	9	17
Que pertenece al sector secundario (%)	3	3	8	4
Que pertenece al sector terciario (%)	6	4	13	8
Empleado u obrero (%)	8	4	19	11
Jornalero o peón (%)	5	8	4	8
Trabaja por su propia cuenta (%)	12	14	5	8
Percibe menos del salario mínimo (%)	17	17	6	7

Fuente: SIMBAD, 2000.

Integración de datos en el Sistema de Información Geográfica del río Pilón

Se integró el sistema de información geográfica del río Pilón, con tres capas temáticas:

- Vegetación procesada a partir del Inventario Nacional Forestal de SEMARNAT-INEGI (2000).
- Vegetación y uso del suelo digitalizado a partir de las cartas de SPP (1974).

c) Modelo Digital de Elevación (MDE) y topografía procesada a partir de los modelos de altimetría (INEGI, 1999).

Naturaleza de las fuentes de datos y procesamiento previo

Para evaluar la evolución reciente de la cubierta vegetal en la cuenca, se utilizaron cuatro imágenes de satélite correspondiente a líneas 42 y 43 de las órbitas 27 y 28 de satélite Landsat 1 MSS adquiridas en febrero de 1974 y del satélite Landsat ETM 7+ de Marzo de 2000 (figuras 2-2 y 2-3)

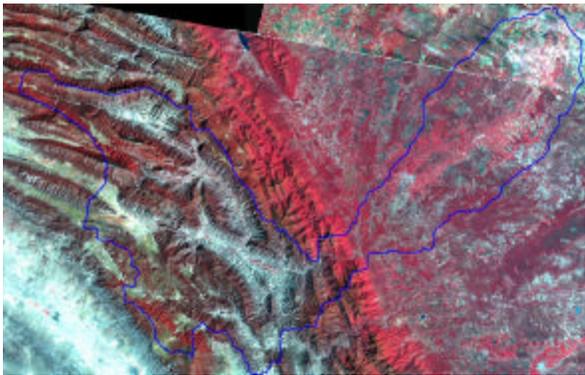


Figura 2-2. Imagen Landsat MSS de 1974. Combinación de bandas 4, 2, 1.

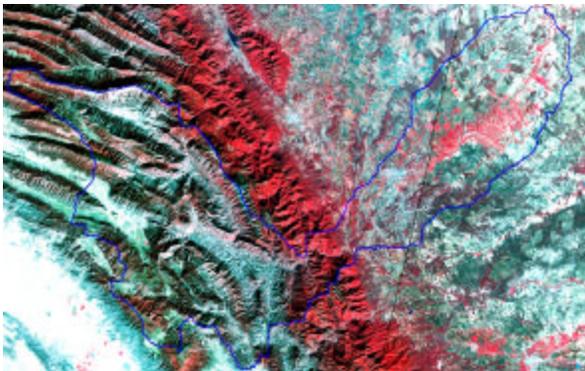


Figura 2-3. Imagen Landsat ETM 7+ de 2000. Combinación de bandas 4, 3, 2.

Las imágenes proceden de sensores diferentes, por lo que poseen diferente resolución. Landsat ETM 7+ posee una mejor resolución espacial (30 x 30 m en multiespectral), que MSS (79 x 79 m). Además el ETM distingue 7 bandas multiespectrales en el rango de 0.45 μ m a 2.35 μ m, y una pancromática, mientras que el MSS sólo reconoce 4 bandas en el rango de 0.5 μ m a 1.1 μ m. La diferente resolución de las imágenes tiene notable efecto al procesarlas (Shrestha, 1996).

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

El procesamiento de imágenes se realizó con el programa ERDAS Imagine 8.6™. Como proceso previo, la imagen MSS se refirió espacialmente usando la banda pancromática de la imagen ETM. Se utilizó un filtro estadístico para corregir ruidos a la imagen 27/42 de 1974.

El MDE de la zona se proyectó al sistema de coordenadas UTM y se empleó para identificar las dos provincias fisiográficas del área: Llanura Costera del Golfo Norte y Sierra Madre Oriental. Posteriormente se cortaron mosaicos en las imágenes por provincia.

El proceso de clasificación digital implicó tres fases: La definición digital de categorías, la agrupación de píxeles en esas categorías y la verificación.

La definición digital de categorías requirió hacer un minucioso estudio del aspecto de los diferentes elementos presentes en la imagen para separar aquellos que por su color, intensidad y textura se distinguen de otros y para relacionarlos con las características de la superficie terrestre.

Para ello fue útil conocer el mejor arreglo de bandas que ofreciera la mayor información respecto a las características de interés. Se hizo un análisis de los valores de píxel de cada banda para calcular el Índice de Factores Óptimos, que señala la combinación de bandas que contiene la mayor variabilidad y por tanto permite distinguir mejor los diferentes elementos de la superficie. Se obtiene dividiendo la suma de la desviación estándar de las bandas consideradas entre la suma de la covarianza de los pares de bandas (Shrestha, 1996).

De acuerdo con el Índice de Factores Óptimos la imagen de 1970 se interpretó asignando la banda 3 al color rojo, la 4 al verde y la 2 al azul. Por su parte las imágenes del año 2000, se interpretaron usando las dos combinaciones: 1) banda 7 al verde, banda 5 al rojo y banda 4 al azul ó 2) banda 6 al verde, banda 4 al rojo y banda 3 al azul, prefiriendo aquella que tuviera valor más alto en el índice de factores óptimos.

Clasificación de imágenes

En el tratamiento de las imágenes se empleó el método supervisado. Este se basa en el conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o por trabajos de campo, lo que permite delimitar áreas de la imagen que son representativas de cada categoría (Chuvieco, 1996). Estas son las áreas de entrenamiento y se registran en un editor de firmas espectrales. La computadora calcula las estadísticas de los números digitales que definen a cada una de las clases, para poder asignar los demás píxeles a una de esas categorías.

La generación de áreas de entrenamiento, se basó en los mapas digitales de vegetación de SPP (1970), para la imagen de 1974; y del Inventario Nacional Forestal (2000), para la imagen de 2000. Esto, según el método de estratificación de la información (Treviño, 2001), (figura 2-4). La clasificación de la imagen de 2000 también requirió puntos de control obtenidos durante reconocimientos en campo.

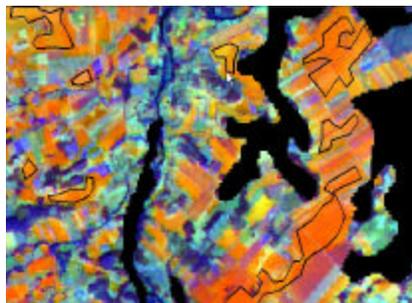


Figura 2-4. Ejemplo de áreas de entrenamiento en imagen recortada.

Como reglas de decisión para la asignación de clases se aplicó la distribución espacial de la firma espectral como regla no paramétrica y el algoritmo de máximo parecido como regla paramétrica. La primera considera la forma en que se distribuye espacialmente el conjunto de píxeles seleccionados, al ser graficados en dos bandas, así un nuevo píxel se asigna a una clase u a otra, según su cercanía a ésta distribución. El algoritmo de máximo parecido se basa en la forma, el tamaño y la orientación de las áreas de entrenamiento en el un espacio bidimensional de densidades, el cual se ajusta a la forma de un elipsoide. La ubicación del elipsoide es definida por el vector promedio obtenido a partir de la muestra y el tamaño del elipsoide es definido por las varianzas en las bandas espectrales. La forma y la

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

orientación son definidas por la covarianza. Este algoritmo asume que el patrón de distribución de las áreas de entrenamiento es normal. Usando los parámetros estadísticos (vector de promedio, varianza y covarianza) de las áreas de entrenamiento, se calculan las probabilidades de que un determinado valor de píxel pertenezca a la clase (Shrestha, 1996).

La clasificación también empleó probabilidades. La mayor probabilidad (1) correspondió a firmas espectrales extensas y homogéneas, y la menor a 0.5, asignado a firmas espectrales reducidas y heterogéneas, como lo muestra la tabla 2-2.

Tabla 2-2. Asignación de probabilidades

Tamaño del área en la imagen	Homogeneidad	Probabilidad de ocurrir
Del 15 a 60%	Alta	1.0
De 15 a 30%	Baja	0.9
Menos de 15%	Alta	0.8
Menor que 10%	Alta	0.7
Menos del 10%	Baja	0.6
Un área pequeña	Alta	0.5

Identificación de cambios

Se generó un mapa de la vegetación en cada una de las fechas de imágenes disponibles. Las comunidades vegetales fueron agrupadas distinguiendo los mismos tipos de vegetación que el Inventario Nacional Forestal (SEMARNAT-INEGI, 2000). La superficie ocupada por cada tipo fue calculada en cada fecha, para su posterior comparación.

La matriz de cambios permitió apreciar de una forma más clara la transferencia de superficies entre diferentes usos de suelo. Para calcularla y ubicar dónde ocurrían los cambios, el mapa de clasificación supervisada fue simplificado en tres grupos: Agricultura, Matorrales y Bosques. Así, el grupo agricultura incluyó suelos, agricultura de temporal, agricultura de riego, pastizales inducidos y cultivados, y zonas urbanas. El grupo matorral incluyó matorrales desérticos, matorral submontano, tamaulipeco y chaparral. El grupo bosques incluyó bosques de oyamel, pino, pino-encino, encino y de galería.

RESULTADOS

Las figuras 2-5 y 2-6 muestran los mapas de vegetación de 1974 y 2000.

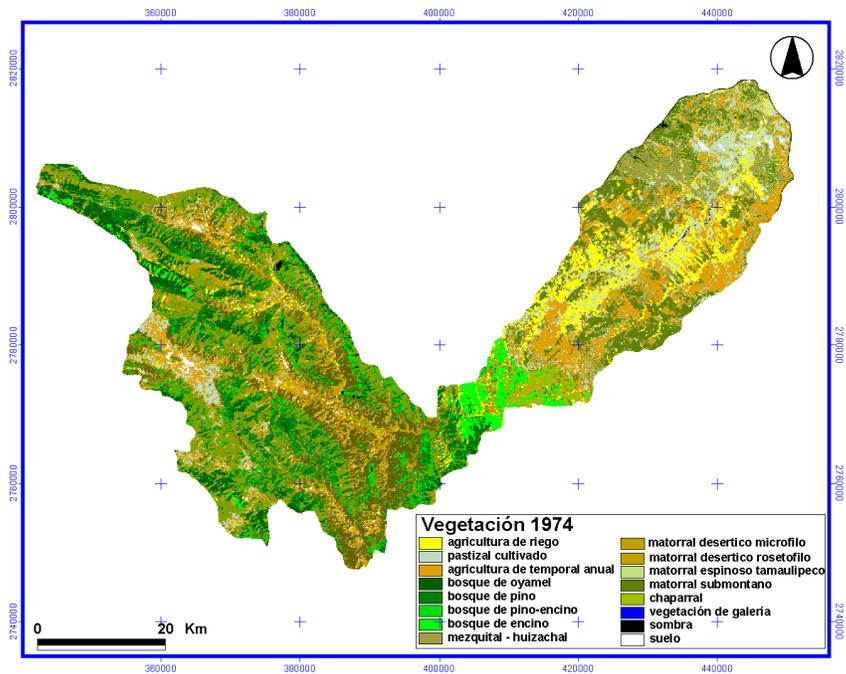


Figura -2-5. Tipos de vegetación en 1974.

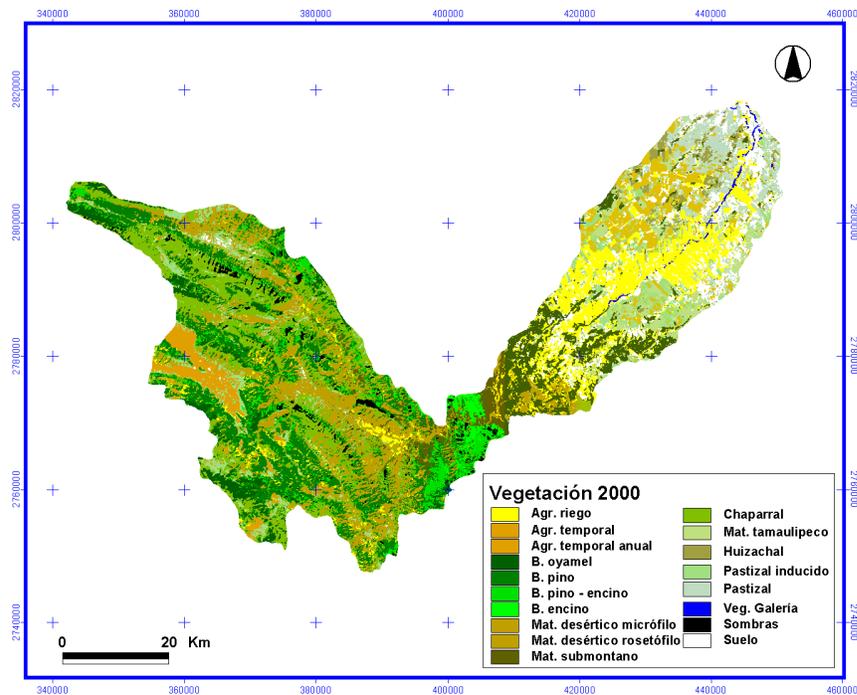


Figura 2-6. Tipos de vegetación en 2000.

1) Identificación de cambios en la provincia Llanura Costera.

La tabla 2-3 muestra la superficie calculada para los tipos de vegetación en 1974 y 2000.

Tabla 2-3. Cobertura vegetal en la Llanura Costera en 1974 y 2000, y sus diferencias.

Clase	Área en 1974 (ha)	Área en 2000 (ha)	Cambio de 1974 a 2000 (ha)	Cambio de 1974 a 2000 (%)
Suelo	198	16,890	16,691	8,414
Agricultura de riego	15,400	25,618	10,219	66
Pastizal	14,394	17,962	3,568	25
Agricultura de Temporal	23,121	11,320	-11,801	-51
Bosques	3019	87	-2,932	-97
Huizachal	16,333	4,352	-11,981	-73
Matorral desértico	1,560	1,930	370	24
Matorral tamaulipeco	4,151	8,520	4,369	105
Matorral submontano	21,869	14,967	-6,902	-32
Chaparral	2,588	371	-2,217	-86
Galería	183	800	617	337

En esta provincia se encontró un marcado proceso de transformación de las comunidades vegetales (figura 2-7). Las comunidades más afectadas son: el chaparral que perdió 86% de su superficie original, el mezquital-huizachal que ha perdido el 73% y el matorral submontano que ha perdido 32%.

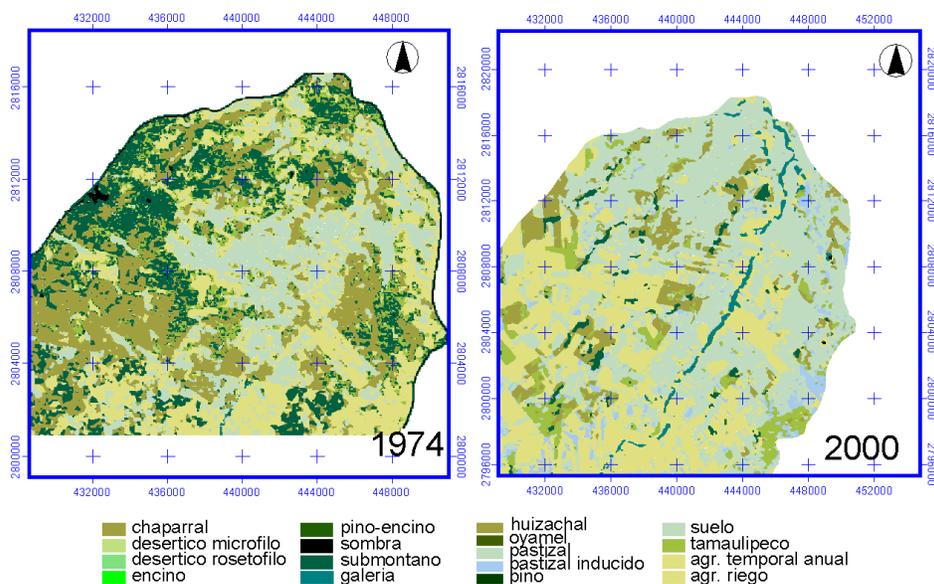


Figura 2-7. Transformación de los matorrales en la Llanura Costera

2) Identificación de cambios en la provincia Sierra Madre

La tabla 2-4 muestra la superficie calculada para los tipos de vegetación en 1974 y 2000.

Tabla 2-4. Cobertura vegetal en la Sierra Madre en 1974 y 2000 y cambio entre fechas.

Clase	Área en 1974 (ha)	Área en 2000 (ha)	Cambio de 1974 a 2000 (ha)	Cambio de 1974 a 2000 (%)
Suelo	1,000	349	-651	-65
Agricultura de riego	2,428	4048	1621	67
Agricultura de temporal	8,360	6,882	-1478	-18
Pastizal	7,040	9,871	2830	40
Bosque de oyamel	15,883	10,276	-5607	-35
Bosque de pino	18,282	34,165	15883	87
Bosque de pino-encino	10,604	10,183	-421	-4
Bosque de Encino	4,792	2,737	-2056	-43
Matorral desértico	25,174	33,002	7829	31
Matorral submontano	25,197	6,801	-18397	-73
Chaparral	42,110	42,557	446	1

En esta provincia las comunidades más afectadas son: el matorral submontano, que perdió 73% de su superficie original, el bosque de encino que ha perdido el 43%, y el bosque de oyamel que ha perdido 35%.

3) Matriz de cambios

La tabla 2-5 resume los cambios detectados entre 1974 y 2000.

Tabla 2-5. Matriz de cambios detectados en las dos provincias.

Cambio ocurrido	Superficies de la llanura		Superficies de la sierra	
	Hectáreas	%	Hectáreas	%
Permanencia agrícola	44,094	42.9	7877	4.9
Permanencia de matorrales	18,260	17.8	51,069	31.7
Permanencia de bosques	91	0.1	25,422	15.8
Frontera agrícola sobre matorral	27,475	26.7	11,038	6.9
Matorral a bosque	248	0.2	28,393	17.6
Frontera agrícola sobre bosque	364	0.4	1,876	1.2
Bosque a matorral	2,720	2.6	19,858	12.3
Recuperación de bosques	549	0.5	2,344	1.5
Recuperación de matorrales	9,016	8.8	8,845	5.5
No interpretado (sombras)	-	-	4,149	2.6

Se observa una fuerte tendencia de crecimiento de la frontera agrícola sobre matorrales en la Llanura Costera, por el contrario en la Sierra Madre los bosques y matorrales tienden a permanecer (figura 2-8)

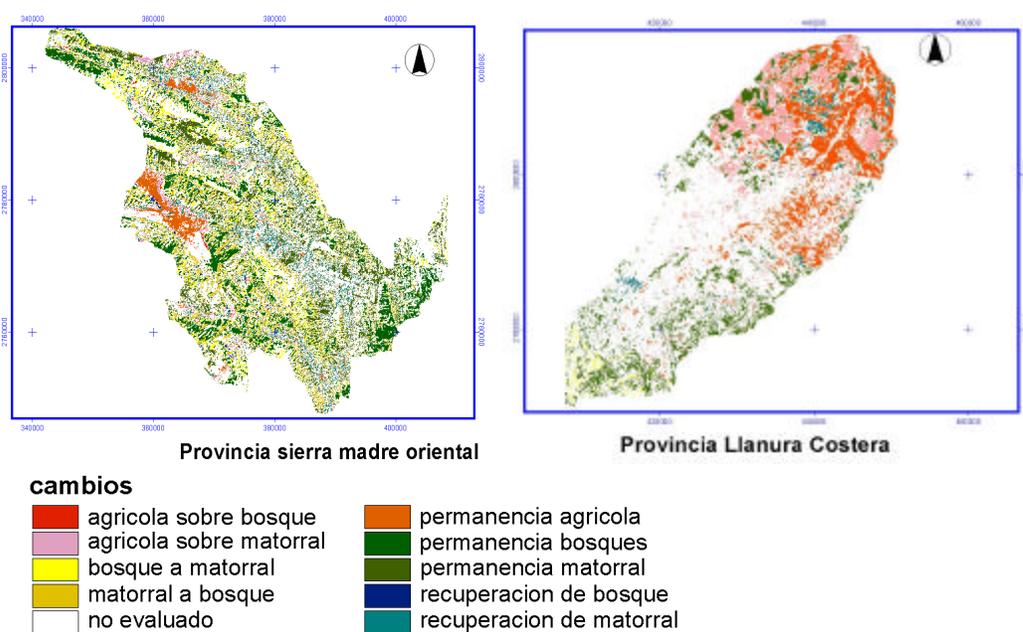


Figura 2-8. Cambios en las provincias de la subcuenca del Río Pilón.

DISCUSIÓN

1) Identificación de cambios en la provincia Llanura Costera.

Verástegui (2000) evaluó los cambios 1970-1996 en esta región, encontrando un incremento en el área agrícola del 26 % y un 45% en las áreas urbanas (aquí consideradas como suelo). El mismo autor reporta un decremento del mezquital (aquí clasificado como huizachal) de 49% del matorral subinermes del 37.6% y del matorral espinoso de 57.8%. Por su parte, Treviño *et al.* (1996) encontraron el mismo patrón en otro municipio de la llanura, Linares: “La superficie ocupada por vegetación se redujo en un 12.28 % entre 1973 y 1988 y en un 10.03 % entre 1988 y 1994”.

Las superficies calculadas difieren de las encontradas por otros autores, lo cual bien puede deberse a las diferencias espacio-temporales de los estudios. Sin embargo, coincide en identificar un patrón de cambios en el que la agricultura se extiende, mientras que las comunidades vegetales se contraen. Considerando la descripción

socioeconómica de ésta región, es posible inferir que en el avance de la frontera agrícola es la causa principal de las transformaciones en la vegetación de la cuenca. Los aparentes incrementos de vegetación de galería en la llanura podrían deberse a las marcadas diferencias en resolución de las imágenes interpretadas.

2) Identificación de cambios en la provincia Sierra Madre

Los cambios en la vegetación de la sierra no son tan marcados como en la llanura. Con excepción del matorral submontano, los grupos de vegetación muestran cambios más discretos, aunque no por ello dejan de ser importantes. Tal es el caso del bosque de encino (que pierde un 43%) y el bosque de oyamel (que pierde 35%).

Treviño (1992) detectó los siguientes cambios en la sierra de Iturbide durante el periodo 1973 – 1986: decrementos de 7% en el matorral desértico, de 3% en el chaparral y de 0.2% en el bosque de coníferas, mientras que el matorral submontano se incrementó en un 2%, el bosque de latifoliadas en un 0.6% y el mixto en un 0.9. En el área de estudio hay un patrón contrario, pues el matorral desértico tiende a incrementar, mientras que el matorral submontano a decrecer.

En la sierra hay un aparente aumento en la superficie de bosque de pino, lo cual también puede deberse a las diferencias de resolución de las imágenes interpretadas.

3) Matriz de cambios

La matriz de cambio coincide en señalar un marcado patrón de transformaciones en la composición de la vegetación de la Llanura Costera y un discreto en comparación, pero importante patrón de cambios en la Sierra Madre. El avance la frontera agrícola sobre matorrales en la llanura es muy notorio. Por el contrario, en la sierra matorrales y bosques tienden a permanecer. El aparente cambio de matorral a bosque en la sierra puede deberse a la recuperación de las zonas de transición, pero también a las limitantes de sensibilidad del sensor de Landsat 1.

CONCLUSIONES

En la llanura costera, las comunidades más afectadas pierden mucha superficie: chaparral (86%), mezquital (73%) y matorral submontano (32%). Allí hay un fuerte avance de la agricultura sobre matorrales. En la Sierra Madre, el matorral submontano perdió 73%, el bosque de encino 43% y el bosque de oyamel 35% de la superficie.

Ambas provincias difieren notablemente, pues mientras la frontera agrícola tiende a avanzar sobre matorrales en la llanura, en la sierra, matorrales y bosques tienden a permanecer. Considerando las dinámicas poblacionales y productivas de ambas regiones, parecen ser la creciente población y la expansión de la agricultura propias de la llanura, los detonadores de las transformaciones de la vegetación.

LITERATURACITADA

1. Barrera-Bassols, N. y Ortiz, B. (1992). Transformaciones del uso del suelo y diferencialidad espacial. En: Fuentes, L. (Coordinador). 1992. Cambios en el uso del suelo agrícola en México. México, D. F.: Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México.
2. Cervantes, F. y Calderón, C. (1992). Evaluación de los cambios y transformación del paisaje en la zona peri metropolitana de la Ciudad de México. En: Fuentes, L. (Coordinador). 1992. Cambios en el uso del suelo agrícola en México. México, D. F.: Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México.
3. Chuvieco, E. (1996). Fundamentos de teledetección espacial. 3ra edición. Madrid: RIALP.
4. Elmor, A.J.; Mustard, J.F.; Manning, S.J.; Lobell, D.B. (2000). Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index. *Remote Sensing of Environment* 73(1):87-102.
5. Gamon, J. y Qiu, H. (1999). Ecological applications of Remote Sensing at multiple scales. En: Puignaire y Valladares (1999). *Handbook of functional plant ecology*. New York: Marcel Dekker.
6. Hudak, A. T.; Wessman, C. A. (2000). Deforestation in Mwanza District, Malawi, from 1981 to 1992, as determined from Landsat MSS imagery. *Applied Geography* 20 (2):155-175.
7. INEGI (1999). Geomodelos de altimetría (GEMA). Zonas G14-7, 8 ,10 y 11. Escala 1:250,000. [CD room]. Aguascalientes, Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
8. INEGI. (2000). Resultados del XII Censo de población y vivienda 2000. [CD]. Aguascalientes, Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
9. Kaufmann, R.K.; Seto, K.C. (2001). Change detection, accuracy, and bias in a sequential analysis of Landsat imagery in the Pearl River Delta, China: econometric techniques. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 85:1-3, 95-105.
10. Lillesand, T. Y Kieffer, R. (1994). *Remote sensing and image interpretation*. 3^d. Edition. New York: John Wiley and Sons, Inc
11. Lyon J. G.; Yuan, D.; Lunetta, R. S.; Elvidge, C. D. (1998). A change detection experiment using vegetation indices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 64 (2):143-150.
12. NASA. (1999). *Landsat 7 Science Data Users handbook*. [En línea]. Disponible en: <http://www.gsfc.nasa.gov/Landsat>
13. Olvera, J. A. (1995). Producción y Propietarios agrícolas en el centro sur de Nuevo León. En Maíz, R. y Olvera, A. (compiladores) *La nueva historia de Nuevo León*. Monterrey, Nuevo León, México: Ediciones Castillo.
14. Palmer, A.R.; Van Rooyen, A F. (1998). Detecting vegetation change in the southern Kalahari using Landsat TM data. *Journal of Arid Environments* 39(2):143-153.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

15. Rogan, J.; Franklin, J.; Roberts, D. A. (2002). A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. *Remote Sensing of Environment* 80 (1):143-156.
16. Sánchez, R. (1987). Algunas características hidrológicas del río Pilón. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol II. Num 2: 36-51.
17. SEMARNAT-INEGI. (2000). Inventario Nacional Forestal 2000. Cartas G14-7, G14-8, G14-10, G14-11. [CD Room]: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
18. Shrestha, D. (1996). *Remote sensing techniques and digital image processing*. RSD 58. Netherlands: ITC.
19. SIMBAD (2000). Principales Indicadores socioeconómicos del XI censo de población ,1999. [base de datos digital en línea]. Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. Disponible: www.inegi.gob.mx
20. SPP. (1974). Carta de vegetación y uso del suelo. Cartas G14C35 a G14C57. Aguascalientes, Aguascalientes: Secretaría de Programación y Presupuesto.
21. Treviño, E. (2001). Estratificación de la información en el procesamiento digital de imágenes de satélite aplicado a la cartografía de los bosques de *Pinus cembroides*. *Investigaciones Geográficas* 44:54-63. México, D. F.: Instituto de Geografía, UNAM.
22. Treviño, E. (1992). Aplicación de imágenes de Satélite en la cartografía de la vegetación en la región Sierra Madre Oriental en el noreste de México. Tesis Doctoral. *Göttinger Beiträge zur land-und Forstwirtschaft in den tropen und subtropen*. Verlag Erich-Goltze Cmbtt. 150 p. (en alemán). ISBN 3-88452-724-X.
23. Treviño, E., Acka, A., Jurado, E., Barajas, L. (1997). Análisis retrospectivo y situación actual de la vegetación en el municipio de Linares, Nuevo León. *Memorias del Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota*.
24. Verástegui, J. (2000). Evaluación del cambio de uso de suelo en la región citrícola de Nuevo León. Tesis Doctoral. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León.
25. Wang, Y.Q.; Moskovits, D.K. (2001). Tracking fragmentation of natural communities and changes in land cover: applications of Landsat data for conservation in an urban landscape (Chicago Wilderness). *Conservation-Biology* 15 (4): 835-843.
26. Yang, J.; Prince, S. D. (2000). Remote sensing of savanna vegetation changes in eastern Zambia 1972-1989. *Internacional Journal of Remote Sensing* 21(2):301-322.
27. Zomer, R.J.; Ustin, S.L.; Carpenter, C.C. (2001). Land cover change along tropical and subtropical riparian corridors within the Makalu Barun National Park and Conservation Area, Nepal. *Mountain Research and Development* 21 (2):175-183.

CAPÍTULO 3.

RIESGO DE DEGRADACIÓN DEL SUELO EN LA SUBCUENCA DEL RIO PILÓN

INTRODUCCIÓN

En las regiones subtropicales semiáridas las actividades agrícolas sostenibles dependen directamente de la cantidad de agua disponible. El cultivo de cítricos representa una fuente importante de ingresos en la agricultura de Nuevo León, México. El agua captada en la subcuenca del río Pílon determina directamente la producción, por ello, es necesario estudiar los factores y procesos relacionados con la disponibilidad del agua en esta subcuenca.

El suelo es un elemento complejo y sus propiedades fisicoquímicas (tales como la porosidad y la estabilidad estructural), son vitales para la captación del agua (Gavande, 1979). Sin embargo, está sujeto a procesos de degradación que alteran su capacidad de infiltración y en consecuencia, la disponibilidad en los mantos acuíferos. Por ello, es importante conocer las posibilidades de que la degradación del suelo ocurra.

ANTECEDENTES

La degradación del suelo es consecuencia de las prácticas y el manejo que se hace de él, es un proceso dinámico que induce cambios en el ecosistema (ya sea agrícola, pradera o bosque), alterando su balance y reduciendo su productividad potencial (Kok *et al.*, 1995; Kempf, 1997). Se ha estudiado desde diferentes perspectivas, siendo cuatro las dominantes.

Por una parte se trata de explicar las causas y buscar alternativas para evitar la degradación del suelo. La tenencia de la tierra se relaciona más con la degradación del suelo que sus limitaciones fisicoquímicas (Malafant *et al.*, 1999); así tenemos que asegurar la propiedad de la tierra tiende a promover su conservación (Southgate, 1990; Kanchan *et al.*, 1997), excepto cuando la privatización favorece esquemas de producción comercial más agresivos que el tradicional, como ocurre en Fiji (Powell,

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

1998). Sin embargo, otras variables económicas tales como la intensidad de la producción, las inversiones en la conservación, los costos externos y la ganancia agrícola pueden ser más importantes (Millham, 1994; Angelsen y Fieldstad, 1995).

Para controlar la degradación del suelo se sugiere reforzar la conciencia del papel que se tiene en su manejo (Lindskog y Tengberg, 1994). También, buscar el potencial y desarrollarlo con la máxima flexibilidad, basándose en estrategias locales de manejo (Kempf, 1997), estableciendo prácticas de restauración de bajo costo, pero que reporten algún beneficio económico (Shiferaw y Holden, 2001).

Otra tendencia que ha generado vasta información es aplicar y corregir la ecuación universal de pérdida de suelo (Wischmeier y Smith, 1978). Esta ecuación evalúa la pendiente, la precipitación y la escorrentía junto con la erodabilidad del suelo, el manejo de cultivos y las prácticas de conservación, para estimar cuánto suelo se pierde en un periodo. Aplicándola, se han cartografiado el riesgo de Erosión en España (Kok *et al.*, 1995), Kenia (Mati *et al.*, 2000), Australia (Boggs *et al.*, 2001) y Sudáfrica (Annersten,

1988). Sin embargo, sus limitantes son subestimar la erosión en zonas sin vegetación y sobreestimarla en zonas cubiertas. También la sobreestima en grandes cuencas y la subestima en las pequeñas. Además, es complicado obtener valores confiables para los factores de cultivo y manejo y prácticas de conservación del suelo (Mati *et al.*, 2000; Boggs *et al.*, 2001).

Evaluar las consecuencias económicas y productivas del manejo del suelo es un tema frecuentemente abordado, en Argentina, el costo del clareo para producción de pastos, fue evaluado, concluyendo que es inadecuado, pues afecta severamente al ambiente (Vicien y Pacella, 1985). La producción de cárcavas, consecuencia de remover matorral nativo para introducir almendras sin hacer terrazas fue documentado en España (Faulkner, 1995). En Kenia se encontró que establecer barreras vivas de *Cassia siamea* mejora la infiltración del suelo hasta tres veces (Kiepe, 1995).

Modelar las variables que interactúan en la degradación del suelo para predecirla es un reto común con este trabajo. Se han aplicado sistemas de información geográfica

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

para comparar aptitud contra usos del suelo definiendo áreas susceptibles de degradación en el Mediterráneo (D' Angelo *et al.*, 2000). En España, el riesgo de erosión se cartografió combinando el uso del suelo, la densidad de cárcavas y las pendientes (Garg y Harrison, 1992). El riesgo de erosión hídrica fue modelado considerando la erosividad del agua, la topografía, la erodabilidad, y el uso (Batjes, 1996). El riesgo de erosión por derrumbes en Nueva Zelanda se evaluó combinando la pendiente, la magnitud y frecuencia de las tormentas y los índices de recuperación del suelo (Luckman *et al.*, 1999).

En México, la degradación del pastizal semidesértico fue descrita combinando variables de la vegetación (índice de valor de importancia) con las propiedades fisicoquímicas del suelo (profundidad, salinidad, materia orgánica, N, P, K), (Martínez, 2001). Sin embargo, hay pocos trabajos de esta naturaleza y poco se ha hecho por modelar el riesgo de degradación del suelo.

OBJETIVO

Desarrollar un modelo que relacione factores ambientales (cubierta vegetal, precipitación, y pendiente) y antropogénicos (población, nivel de bienestar e intensidad de uso de la vegetación), con el riesgo de degradación del suelo en la subcuenca del río Pílon.

HIPÓTESIS

Ho₁. El riesgo de degradación del suelo es igual en aquellos municipios de alta productividad agropecuaria (General Terán y Montemorelos), que en los municipios de la Sierra (Rayones y Galeana).

MÉTODO

Se generó un Sistema de Información Geográfica de la subcuenca del río Pílon y se usó el módulo Model Builder de ARC VIEW, para modelar los factores ambientales y antropogénicos reconocidos en la literatura por ejercer presión destructiva sobre la estructura del suelo.

Ubicación del área de estudio

En el sistema de subcuencas de México, la subcuenca del río Pilón pertenece a la región hidrológica 24 Bh. Sus coordenadas geográficas extremas son 24° 50 ' y 25° 29 ' de Latitud Norte y 99° 30 ' y 100° 35 ' de Longitud Oeste (Sánchez, 1987). En Nuevo León, las primeras tierras que atraviesa son de Rayones y Galeana; siguiendo por Montemorelos, y General Terán (figura 3-1). En Terán se integra al caudal del río San Juan, el cual desemboca en el Río Bravo (Elizondo y Lozano, 1981; Sánchez, 1987; Olvera, 1999).



Figura 3-1. Ubicación del área de estudio.

Selección e integración de variables al Sistema de Información Geográfica (SIG).

Para modelar el riesgo de degradación del suelo en la subcuenca, se seleccionaron variables y criterios sugeridos por la literatura pertinente, como se detalla a continuación.

Bennet (1939) y Treviño *et al.* (2000), describen la relación entre escorrentía, infiltración y la cobertura vegetal. Se incluye además la intensidad de uso de la vegetación, considerando que la vegetación modificada reduce sus funciones. También se reconoce la relación entre intensidad de la precipitación y erosión. Foster (1985) relaciona la pendiente con la velocidad e impacto de la escorrentía. Tacket y Pearson (1965) sugieren que suelos de texturas finas y débiles están más sujetos a compactación. Además se consideró que mayor población o mayor concentración de ésta ejercen mayor presión sobre los recursos y que ambos extremos del ingreso económico (muy alto y muy bajo) implican mayor riesgo de degradación.

Estas variables se procesaron e integraron en un SIG con Arc View 3.2®; excepto para integrar el espaciograma de imágenes satelitales y derivar el índice transformado y normalizado de la vegetación (TNDVI), que requirió el uso del paquete ERDAS imagine 8.7. La fórmula del $TNDVI = 2v(b4-b3)/(b4+b3)+0.5$ relaciona las dos bandas que mejor definen a la vegetación, y su valor se relaciona estrechamente con la cobertura vegetal (Chuvienco, 1996), (figura 3-2).

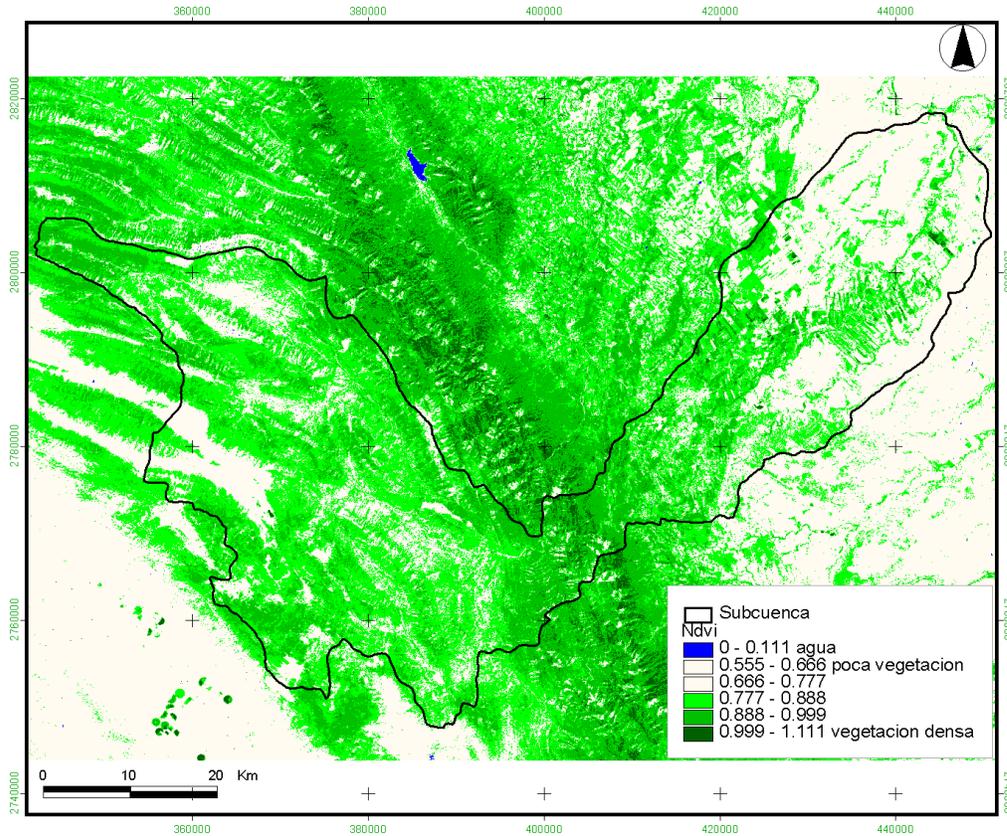


Figura 3-2. Valores del TNDVI en la subcuenca del río Pílon. Elaboración propia basada en Semarnat -INEGI (2000).

En algunas regiones de la Sierra Madre Oriental se observan macizos de vegetación densa, que corresponde a los bosques de oyamel, pino y encino y al matorral submontano. En las zonas bajas, la vegetación densa se encuentra en matorrales y algunos cultivos.

La intensidad de uso del suelo se derivó de las capas del Inventario Nacional Forestal con el módulo Geoprocessing (figura 3-3).

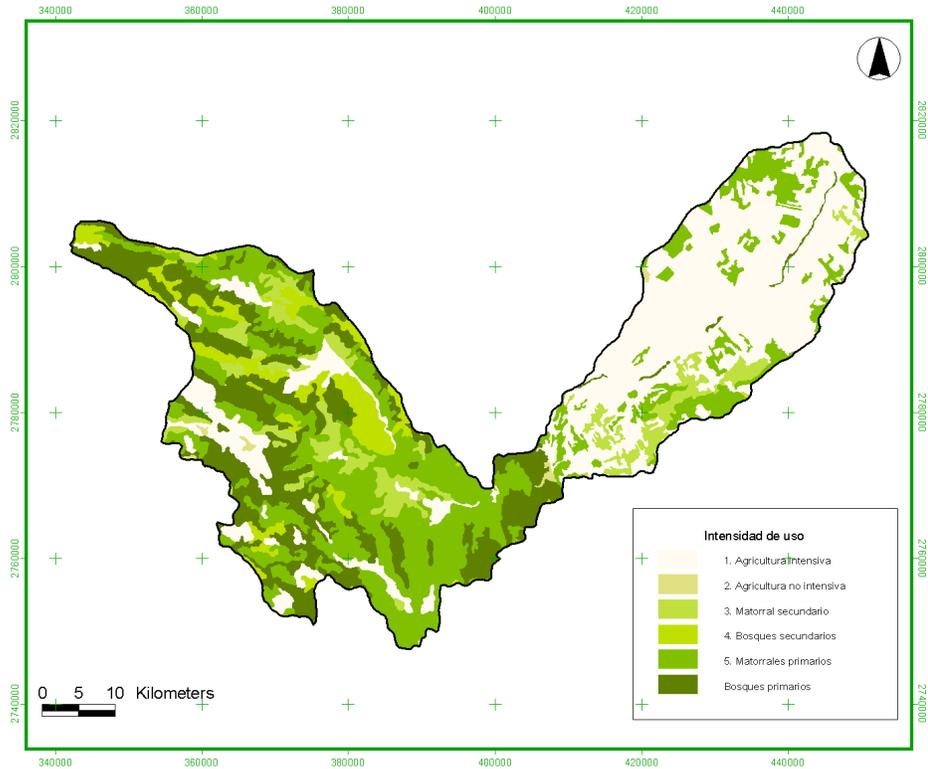


Figura 3-3. Intensidad de uso de la vegetación.
Elaboración propia basada en Semarnat, (2000).

El uso de la vegetación tiene diferentes intensidades en la Sierra Madre Oriental, mostrando grandes áreas de matorrales y bosques primarios; no así en la Llanura Costera que en su mayoría está dominada por agricultura.

Para la precipitación se digitalizaron puntos en regiones conocidas, mismos que se interpolaron en el modulo 3D (algoritmo Spline - regularizado, que asume un patrón lineal entre éstos), (figura 3-4).

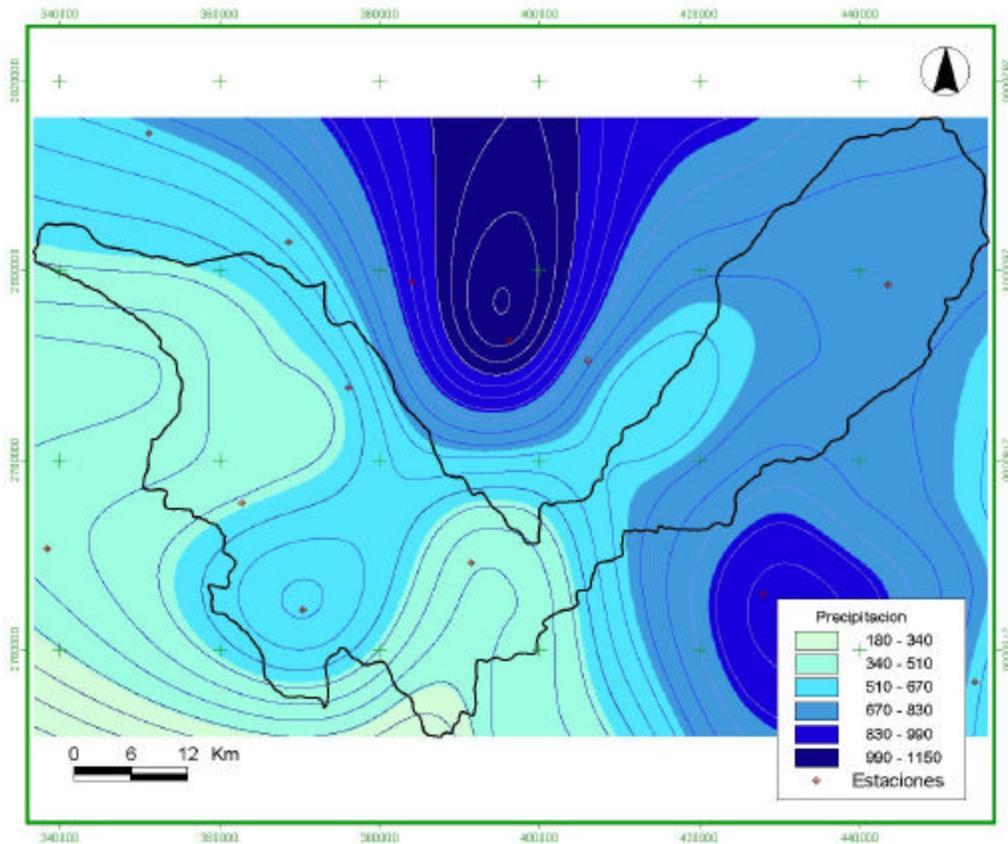


Figura 3-4. Distribución de la precipitación media anual. Elaboración propia basada en CNA (2002).

La precipitación divide en cinco regiones a la subcuenca, siendo mayor en la Llanura Costera y presentando una zona de mayor precipitación en Rayones que en el resto de la Sierra Madre donde tiende a ser baja.

Las pendientes se extrajeron del modelo de elevación digital con la opción pendientes del modulo 3D, que relaciona diferencias de altitud entre píxeles, aproximándolas a porcentaje (figura 3-5).

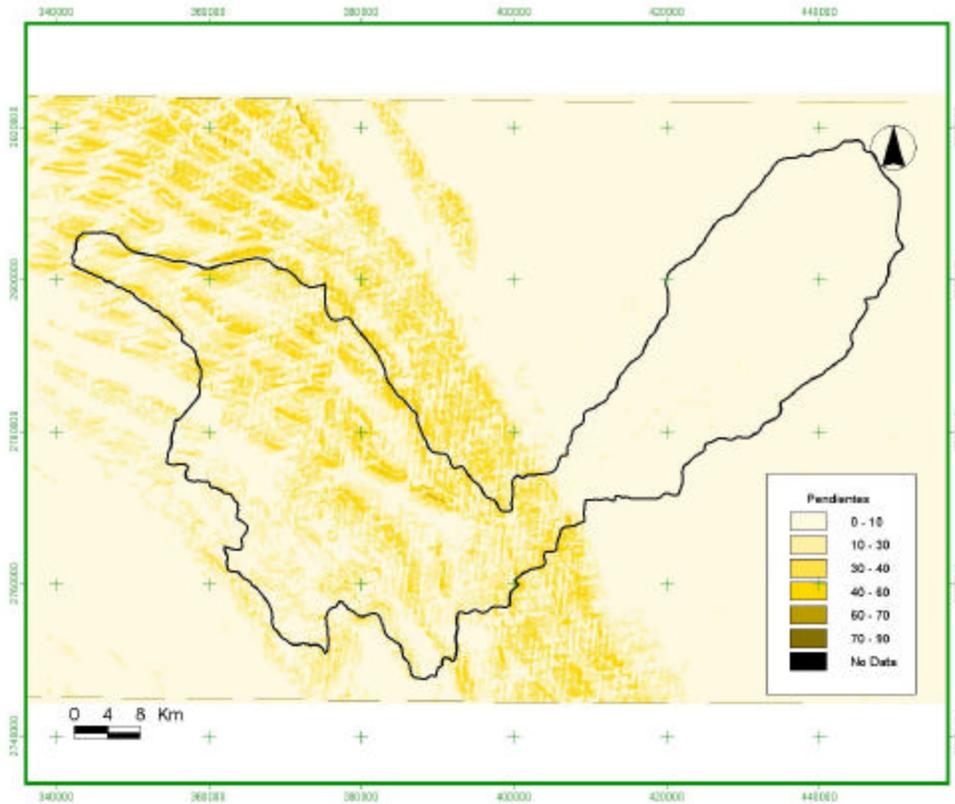


Figura 3-5. Pendientes en la subcuenca del río Pílon. Elaboración propia basada en INEGI (2000).

Las pendientes en la Llanura Costera tienden a ser inferiores al 30%, no así en la Sierra Madre, donde con frecuencia superan ese porcentaje, e incluso llegan a ser del 60%.

Las capas de textura del suelo fueron digitalizadas en ARC INFO (figura 3-6).

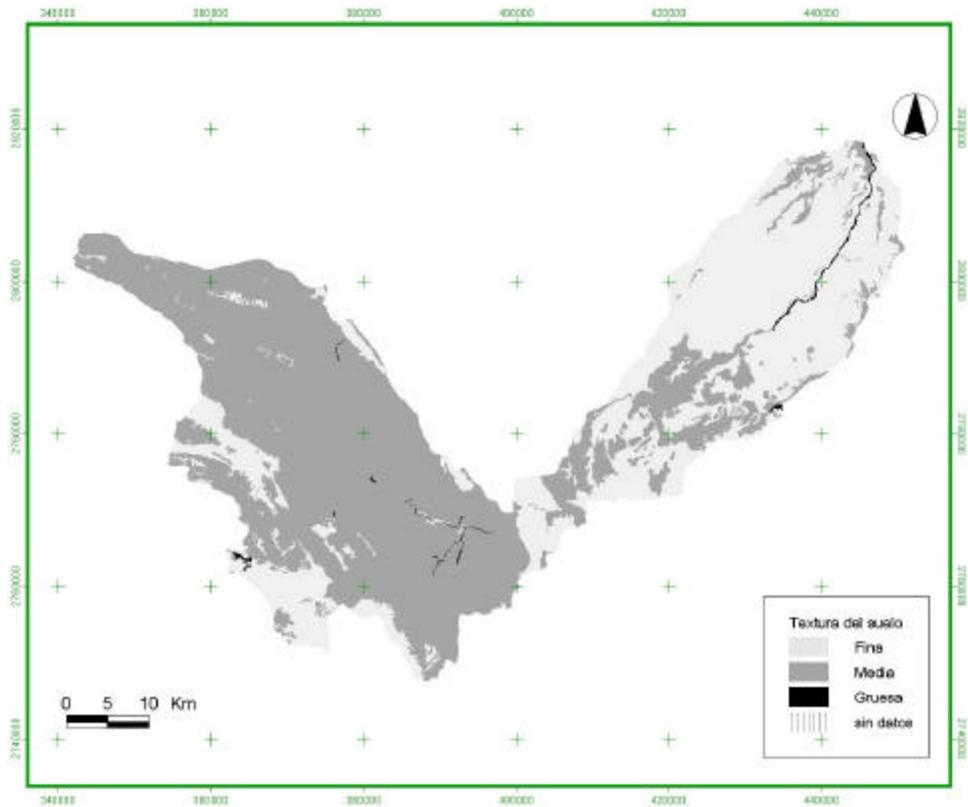


Figura 3-6. Textura del suelo. Elaboración propia basada en SPP (1970).

En la Llanura Costera, la textura del suelo es fina, por su origen aluvial. Por el contrario, los suelos de la Sierra Madre tienden a ser de textura media, debido a su origen sedimentario.

Al tema con los municipios de Nuevo León se añadieron en Arc View la población y los niveles de bienestar económico reportados por INEGI (2000a), INEGI (2000b) e INEGI (2000c), (figuras 3-7 y 3-8).

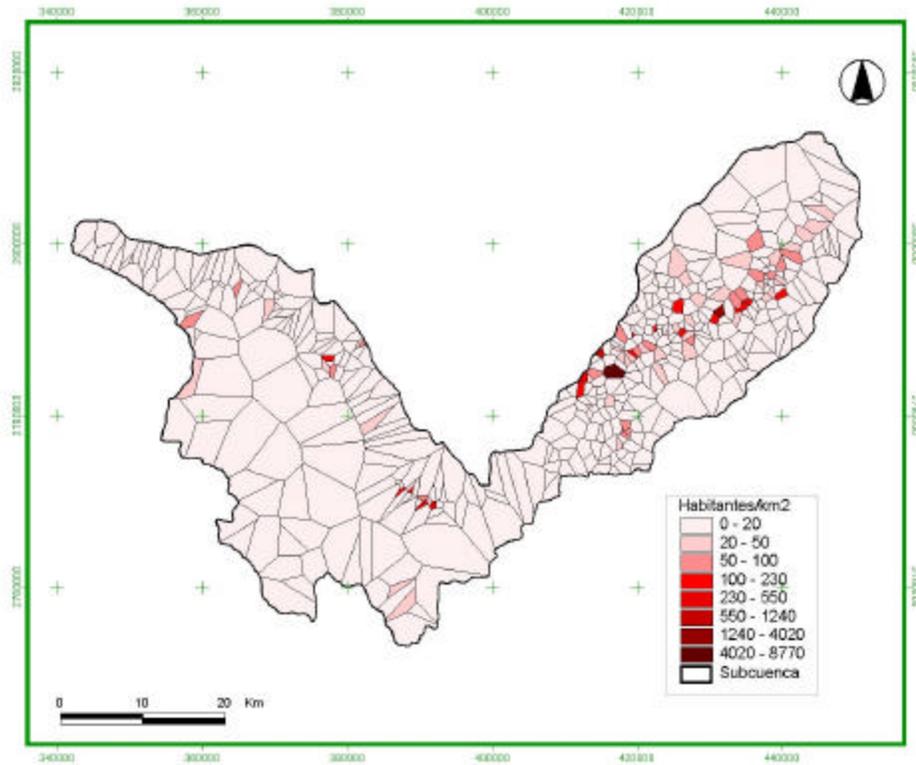


Figura 3-7. Densidad poblacional (Habitantes/Municipio/Km²). Elaboración propia.

La población tiende a concentrarse en la Llanura Costera, en los municipios de General Terán y Montemorelos.

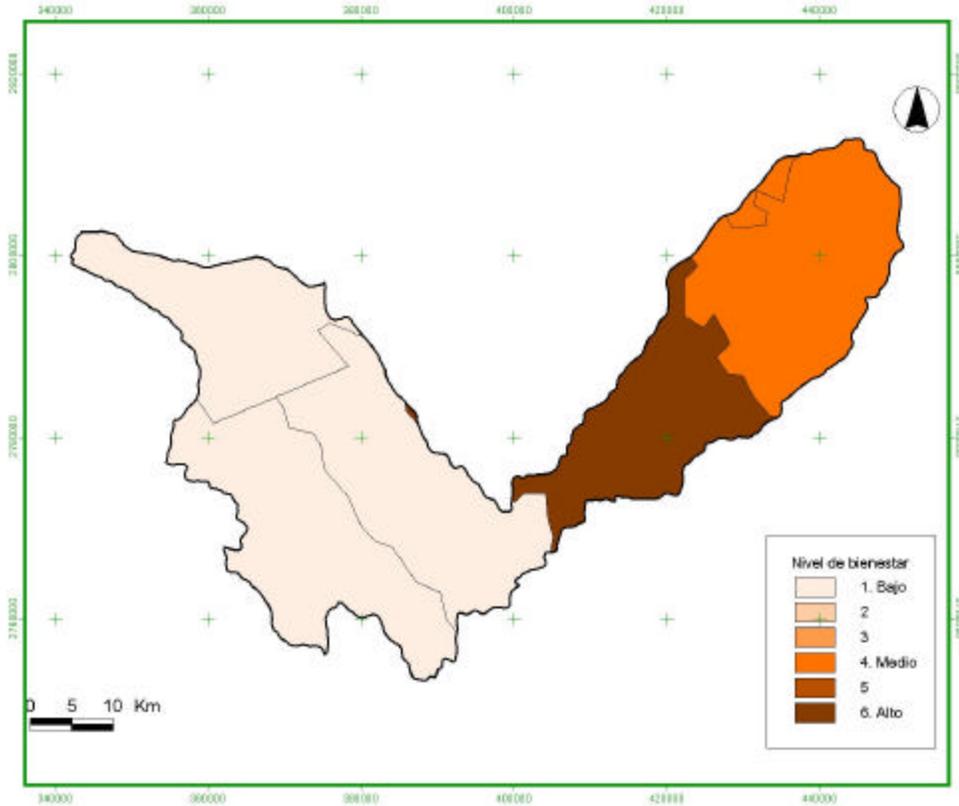


Figura 3-8. Niveles de bienestar. Elaboración propia basada en INEGI (2000c).

Los habitantes de las comunidades ubicadas en la Sierra Madre tienen un nivel bajo de bienestar, mientras que en la Llanura, los de Montemorelos tienen un nivel alto y en General Terán, un nivel medio.

Como indicador de la distribución de la población el área de influencia de cada localidad reportada en el catálogo ITER (INEGI, 2000d) se calculó mediante los polígonos de Thiessen (figura 3-9).

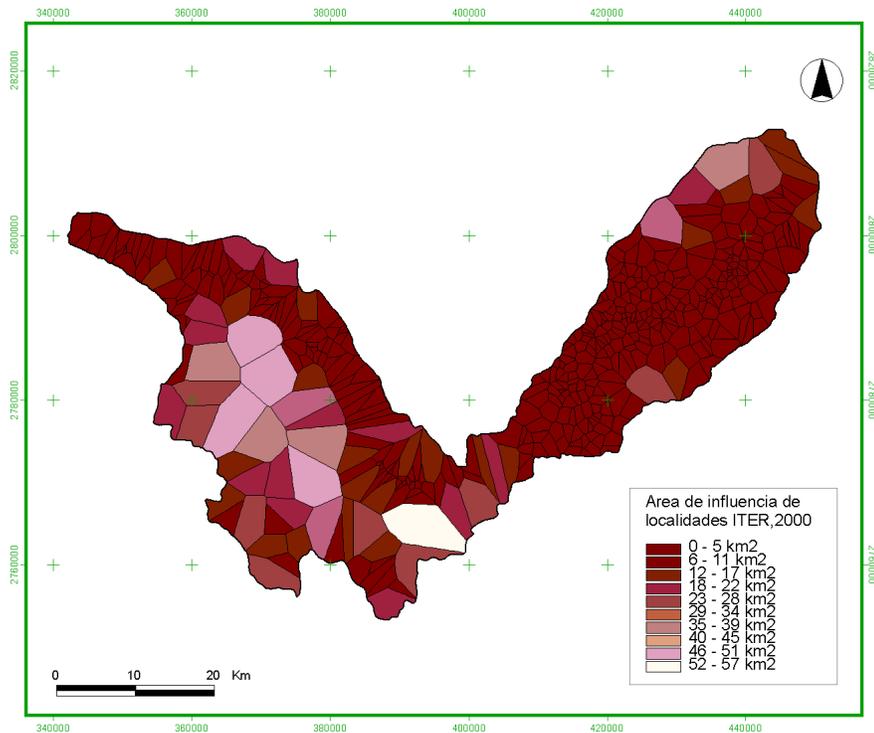


Figura 3-9. Área de influencia de las comunidades.

Elaboración propia basada en INEGI (2000d).

El área de influencia muestra que hay un mayor número de comunidades en la Llanura Costera, mientras que en la Sierra Madre hay menos y se distribuyen a lo largo de las márgenes del río.

Diseño del modelo: asignación de pesos.

Los mapas de las variables seleccionadas se reclasificaron y convirtieron a formato raster, para asignarles un peso de riesgo de degradación, considerando los criterios sugeridos por la literatura. Para ello se usó el módulo Spatial Analyst de Arc View y se consideró la información que muestra la tabla I. El peso considera la importancia de la variable en el problema así como el detalle de la información disponible. Al nivel de bienestar se le dio el peso más bajo, ya que su valor absoluto no considera la distribución espacial.

Tabla 3-1. Clasificación de las variables, pesos y riesgos de degradación asignados.

Variable	Criterio de clasificación ¹	Riesgo de degradación asignado	Peso asignado
TNDVI como indicador de cobertura vegetal	0.000-0.555 Agua	0. No relacionado	1.4
	0.555-0.666 suelo desnudo	6. Extremo	
	0.666-0.777	5. Alto	
	0.777-0.888	4. Medio	
	0.888-0.999	3. Bajo	
	0.999-1.111 vegetación densa	2. Nulo	
Precipitación media anual	Inferior a 300 mm - Muy escasa	4. Medio	1.3
	De 300 a 700 mm	2. Nulo	
	De 700 a 1100 mm - Abundante	3. Bajo	
Intensidad de uso del suelo	1. Agrícola intenso	6. Extremo	1.2
	2. Agrícola semi-intenso	5. Alto	
	3. Matorral y vegetación Sec.	3. Bajo	
	4. Bosques y Vegetación Sec.	4. Medio	
	5. Matorrales primarios	2. Nulo	
	6. Bosques	2. Nulo	
Pendiente	De 0% a 7% suave	2. Nulo	1.0
	De 7% a 15% moderada	3. Bajo	
	De 15% a 30% escarpada	5. Alto	
	Mas de 30% muy escarpada	6. Extremo	
Textura del suelo	0. Sin datos	0. No relacionado	0.9
	1 Gruesa	2. Nulo	
	2 Media	3. Bajo	
	3 Fina	4. Medio	
Variable	Criterio de clasificación ¹	Riesgo de degradación asignado	Peso asignado
Área de influencia de las localidades	2000 a 5800 has	3. Bajo	0.8
	900 a 2000 has	4. Medio	
	28 a 900 has	6. Extremo	
Población en el municipio	2613-6237 Poco poblado	2. Nulo	0.6
	6237-19353	3. Bajo	
	19353-52741 Muy poblado	4. Medio	
Niveles de bienestar económico	1 Bajo	4. Medio	0.5
	4 Medio	2. Nulo	
	6 Alto	3. Bajo	

Los valores del modelo se calcularon según la fórmula:

$$\text{Modelo} = (\text{Variable1} * \text{peso 1}) + (\text{Variable2} * \text{peso2}) + \dots (\text{Variable } n * \text{peso } n).$$

Para ello se requirió el modulo Spatial analyst y Model Builder de Arc View.

4. Validación del modelo.

De las cartas edafológicas (SPP, 1970) se tomaron 75 sitios de control, de los que se registraron la profundidad del suelo y del horizonte A, y las características químicas de contenido de materia orgánica, pH y capacidad de intercambio catiónico. Estos valores se compararon con aquellos del modelo para buscar relaciones entre ambos.

Adicionalmente, en 2003 se colectaron muestras de suelo en 25 sitios en campo, en las que se midió el pH, para buscar relaciones entre estos valores y los del modelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Como resultado se obtuvo un mapa de riesgo de degradación del suelo en la subcuenca del río Pilón (figura 3-10). Mayor valor en el modelo corresponde a mayor riesgo de degradación, que se muestra con color más intenso en el mapa. De este modo, se destacan las zonas donde es prioritario desarrollar actividades de conservación y restauración del suelo.

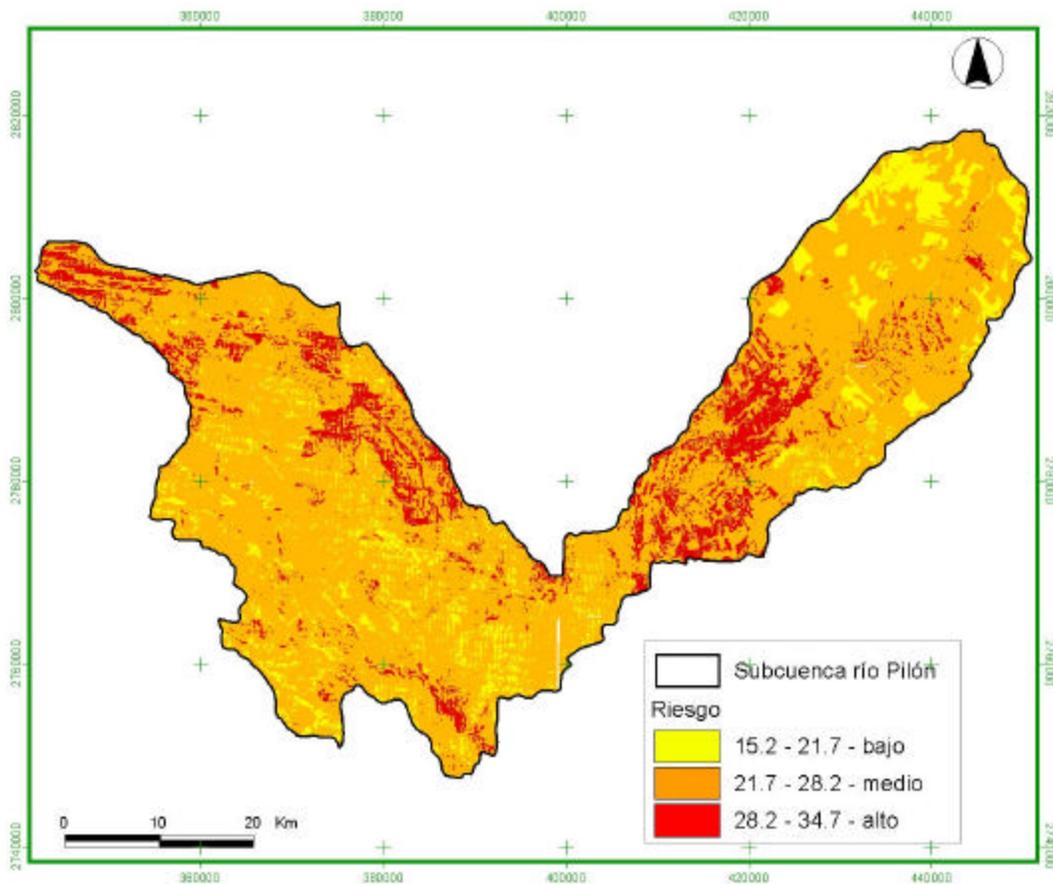


Figura 3-10. Riesgo de degradación del suelo en la subcuenca del río Pilón.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

El modelo se validó con mediciones de las propiedades fisicoquímicas de muestras del suelo. La tabla 3-2 muestra, que al comparar los valores del modelo con los 75 sitios de validación en campo de las cartas edafológicas (SPP, 1970) no se encontró ninguna relación significativa entre las propiedades del suelo y el riesgo de degradación predicho por el modelo.

Tabla 3-2. Correlación entre el riesgo de degradación y las propiedades del suelo

Propiedad	Variable	correlación (r^2)
Física	Profundidad del estrato A	0.094
	Profundidad del suelo	0.098
Química	Contenido de materia orgánica	0.160
	pH	0.003
	Capacidad de intercambio catiónico total	0.060

Se esperaba que las zonas de alto riesgo coincidieran con profundidades menores del suelo, pH más ácido, menor contenido de materia orgánica y por ende menor capacidad de intercambio catiónico. No existe significado en la relación de estas variables con el modelo. De entre todas las variables, sólo el contenido de materia orgánica mostró mayor relación, guardando una relación inversamente proporcional con el riesgo. Probablemente, la poca relación entre el mapa de riesgo y los sitios de control levantados, es la inconsistencia temporal entre las fuentes de datos, pues el modelo se desarrolló con datos de 1990 o más recientes, mientras que los puntos de control SPP fueron levantados en los años setenta.

Por ello se compararon los resultados del mapa contra las 25 mediciones levantadas en 2002. La figura 3 muestra la relación entre el pH medido en campo y los valores del mapa de riesgo. La relación entre estas variables fue pobre (0.24). Sin embargo, en general, hay una tendencia de que valores de pH más ácido se relacionen con riesgos mayores de degradación del suelo. En este sentido se considera que el modelo es adecuado.

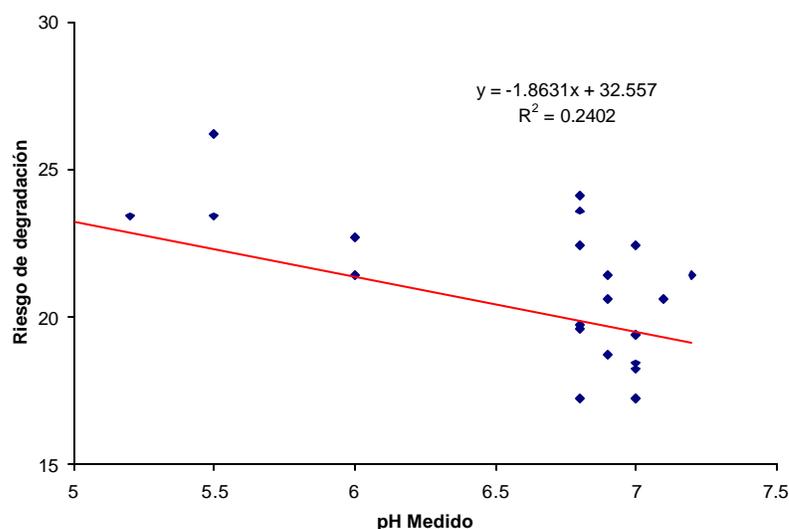


Figura 3. Relación entre pH medido y el riesgo de degradación.

La tabla 3-3 muestra como se distribuye el riesgo de degradación en el área de los municipios que forman parte de la subcuenca.

Tabla 3-3. Distribución del riesgo (%) en las áreas de los municipios dentro de la subcuenca

Municipio	Nivel de riesgo de degradación del suelo (%)		
	bajo	Medio	alto
Galeana, Nuevo León.	19	76	5
Rayones, Nuevo León.	18	73	9
Montemorelos, Nuevo León.	9	71	19
General Terán, Nuevo León.	11	80	9
Arteaga, Coahuila	6	77	16

Los municipios de Montemorelos, en Nuevo León y de Arteaga, en Coahuila poseen más del 10% de su superficie dentro de la subcuenca en riesgo alto de degradación. Estos porcentajes fueron calculados respecto al área del municipio incluida dentro de la subcuenca, ya que no siempre la totalidad del marco municipal formaba parte de la subcuenca.

Para conocer como se distribuye el mayor riesgo con las localidades, la tabla 3-4 muestra el número de localidades que se encuentran en la zona de alto riesgo de degradación, organizadas por municipio.

Tabla 3-4. Número de localidades por municipio, en alto riesgo de degradación.

Municipio	Comunidades en alto riesgo de degradación
Galeana	14
Arteaga	11
Gral. Terán	18
Rayones	21
Montemorelos	28

Montemorelos y Rayones destacan por ser los municipios con mayor número de localidades en alto riesgo de degradación del suelo.

Se presenta como anexo un listado de las localidades en las que se detectó riesgo alto de degradación del suelo.

CONCLUSIONES

Considerando las relaciones entre los valores del mapa de riesgo de degradación del suelo y el pH medido en campo, se considera que este mapa es adecuado para predecir el riesgo de degradación del suelo.

Los municipios de Montemorelos y Rayones en Nuevo León y de Arteaga en Coahuila requieren especial atención en cuanto a estrategias de manejo del suelo se refiere, ya que son aquellos con mayor superficie y mayor número de localidades con alto riesgo de degradación.

Se comprueba la hipótesis ya que el riesgo de degradación del suelo es igual para al menos un municipio de alta productividad agropecuaria (General Terán) y un municipio de la Sierra (Rayones).

Zonificar el riesgo de degradación del suelo, permite identificar aquellas zonas donde establecer acciones de conservación y restauración del suelo son prioritarias. Específicamente, se debe promover la labranza de conservación y sistemas de producción agroforestal mas adecuados para la región.

LITERATURA CITADA

26. Angelsen, A; Fjeldstad, OH. (1995). Land reforms and land degradation in Tanzania: alternative economic approaches. Working Paper Christian Michelsen Institute. No. WP 1995:3, 38 pp.
27. Annersten, L. (1988) SADCC co-ordination in soil and water conservation. ODU Bulletin of Hydraulics Research-Ltd.,UK. No.9: 8-10.
28. Batjes, N. H. (1996) Global assessment of land vulnerability to water erosion on a 1/2° by 1/2° grid. *Land Degradation and Development* 7: 4, 353-365.
29. Bennet, H. (1939). Soil conservation. Mc Graw Hill: New York.
30. Boggs, G; Devonport, C; Evans, K; Puig, P. (2001) GIS-based rapid assessment of erosion risk in a small catchment in the wet/dry tropics of Australia. *Land Degradation and Development* 12: 5, 417-434.
31. Chuviaco, E. (1996). Fundamentos de teledetección espacial. Rialp, Madrid.
32. CNA. (2002). Registros de las estaciones meteorológicas del estado de Nuevo León. Inédito. Disponible: Delegación Estatal Nuevo León. Comisión Nacional del Agua.
33. D'Angelo, M; Enne, G; Madrau, S; Percich, L; Previtali, F; Pulina, G; Zucca, C; Brandt, CJ. (2000) The sensitivity of the Mediterranean environment to degradation caused by land use and climate change. *Catena* 40: 1, 37-49.
34. Elizondo, R. y Lozano, R. (1981). Geografía de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León: Editorial Didáctica
35. Faulkner, H. (1995) Gully erosion associated with the expansion of unterraced almond cultivation in the coastal Sierra de Lujar, S. Spain. *Land Degradation and Rehabilitation* 6:3, 179-200.
36. Foster, A. (1985). Métodos probados en la conservación del suelo. Trillas: México, DF.
37. Garg, P. K.; Harrison, A. R. (1992) Land degradation and erosion risk analysis in S.E. Spain: A geographic information system approach. *Catena*.19: 5, 411-425.
38. Gavande, S. (1976). Física de suelos, principios y aplicaciones. Limusa: México, D.F.
39. INEGI. (2000). CD Geomodelos de Altimetría GEMA. Zonas G14-7, 8,10 y 11. Escala 1:250,000.
40. INEGI. (2000a). Resultados del XII Censo de población y vivienda 2000. Consulta digital por localidades [CD]. Disponible en: INEGI Nuevo León. Av. Pino Suárez. Centro. Monterrey.
41. INEGI. (2000b). Indicadores demográficos municipales. CD SCINCE 2000. Aguascalientes, Aguascalientes.: autor.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

42. INEGI. (2000c). Base de datos SIIGE [En línea]. Disponible en <http://www.inegi.gob.mx>.
43. INEGI. (2000d). Catálogo de Integración Regional ITER 2000 [En línea]. Disponible en <http://www.inegi.gob.mx>.
44. Kanchan, C.; Gulati, SC; Chopra, K. (1997) Environmental degradation and population movements: the role of property rights. *Environmental and Resource Economics* 9: 4, 383-408.
45. Kempf, J. (1997) Land degradation in Namibia north of the tropic of Capricorn: an outline of the problem. *Applied geography and development* 50:21-36.
46. Kok, K.; Clavaux, M.; Heerebout, W.; Bronsveld, K. (
47. 1995) Land degradation and land cover change detection using low resolution satellite images and the corine data base: a case study in Spain. *ITC Journal* 1995 (3): 217-228.
48. Lindskog, P. ; Tengberg, A. (1994). Land degradation, natural resources and local knowledge in the Sahel zone of Burkina Faso. *Geojournal* 33:4, 365-375
49. Luckman, P.; Gibson, R. D.; Derose, R. C. (1999) Landslide erosion risk to new Zealand pastoral steeplands. *Land degradation and development* 10 (1):49-65.
50. Malafant, K.; Atyeo, C; Derbyshire, P (1999) Degradation propensity in Australian land tenure systems. *Land Degradation and Development* 10 (5): 455-466.
51. Martínez M., E. (2001) Análisis de la degradación de ecosistemas del pastizal semidesértico del altiplano central de México. Cuaderno de trabajo. Sistema de Investigación Miguel Hidalgo. México, D. F.. CONACYT.
52. Mati, B.; Morgan, R.; Gichuki, F.; Quinton, J.; Brewer, T. y Liniger, H. (2000) Assessment of erosion hazard with the USLE and GIS: a case study of the upper Ewaso Ng'iro North basin of Kenya. *Journal of Applied Geography* 2 (2): 78-86.
53. Milham, N. (1994) An analysis of farmers' incentives to conserve or degrade the land. *Journal of Environmental Management* 40: 1, 51-64.
54. Olvera, A. (1999). La lucha por el agua en la región citrícola. Serie la Historia y el Derecho no. 12. Monterrey, Nuevo León: Congreso del Estado de Nuevo León
55. Powell, P. T. (1998). Traditional production, communal land tenure, and policies for environmental preservation in the South Pacific. *Ecological Economics Amsterdam* 24: 1, 89-101.
56. Sánchez, S. R. (1987). Algunas características hidrológicas del río Pílon, Nuevo León. *Ingeniería hidráulica en México*. Vol. 2 (2): 36-51. México, D. F.
57. Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). (1970). Cartas edafológicas G14c35, G14c45, G14c46, y G14c47. Escala 1:50,000.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

58. SEMARNAT (2000). Zonas G14-7,-8,-10 y -11. 1:250,000. CD Inventario Nacional Forestal. México, D. F.: Autor.
59. SEMARNAT-INEGI. (febrero, 2000). Imágenes 2742, 2743, 2842 y 2843 satélite Landsat ETM 7+
60. Shiferaw, B; Holden, ST (2001) Farm-level benefits to investments for mitigating land degradation: empirical evidence from Ethiopia. *Environment and Development Economics* 6: 3, 335-358.
61. Southgate,D. (1990). The causes of land degradation along 'spontaneously' expanding agricultural frontiers in the Third World. *Land-Economics* 66: 1, 93-101.
62. SPP (1970). Cartas Edafológicas 1:50,000. Cartas G14C35 a G14C57. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
63. Tackett J. y Pearson, R. (1965). Some characteristics of soil crust formed by simulated rainfall. *Soil Science* 99:407-13.
64. Treviño, E; Muñoz, C., Cavazos, C. y Barajas, L. (2000). Estimación del volumen medio escurrido en la Sierra de San Carlos, Tamaulipas. Resúmenes VIII Congreso SELPER. Iguazú, Argentina.
65. Vicien, C.; Pacella, P. (1985) Evaluación económica del desmonte mecánico en el Noroeste de Santiago del Estero. Cátedra de Administración Rural. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires No. 18, 23pp.
66. Wischmeir, W. H.; Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. *Agricultura handbook* 537. United States Department of Agriculture. Science and education administration. 58 p.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

Anexo 1.

Localidades con alto riesgo de degradación del suelo en la subcuenca del río Pílon.

Municipio	Localidad	Municipio	Localidad	Municipio	Localidad
		Gral. Terán	Tierra Dura	Galeana	El Pino
Montemorelos	Chihuahua	Gral. Terán	San Rafael	Galeana	El Salitre
Montemorelos	El Cerrito	Gral. Terán	Tierra Blanca	Galeana	La Nueva Betania
Montemorelos	El Encadenado	Gral. Terán	San Lorenzo	Galeana	Lajas Negras
Montemorelos	El Gavilán	Gral. Terán	San José de la brisa	Galeana	Lomas Las Blancas
Montemorelos	El Gavilán	Gral. Terán	Puerto Nogalillos	Galeana	Los Aguacates
Montemorelos	El Huarache	Gral. Terán	Rancho Nuevo	Galeana	Los Conejos
Montemorelos	El Papalote	Gral. Terán	El Toro	Galeana	Los Llanitos
Montemorelos	El Pedregal	Gral. Terán	Los Pinos	Galeana	Los Mimbres
Montemorelos	El Ranchito	Gral. Terán	Los Lirios	Galeana	San Francisco Javier
Montemorelos	El Sauz	Gral. Terán	Los Cerritos	Galeana	San José De La Martha
Montemorelos	La Colmena	Gral. Terán	Buena Vista	Galeana	Santa Cruz
Montemorelos	La Palma	Gral. Terán	El Encadenado	Galeana	Santa Cruz
Montemorelos	La Soledad	Gral. Terán	El Rincón	Galeana	Santa Cruz De Sauces
Montemorelos	Laborcitas				
Montemorelos	Las Coloradas	Rayones	La Nopalera	Arteaga	El Altamar
Montemorelos	Las Margaritas	Rayones	Labores De Adentro	Arteaga	El Pino
Montemorelos	Las Siete Palmas	Rayones	Los Corcovados	Arteaga	El Recreo
Montemorelos	Los Ángeles	Rayones	Los Nogales	Arteaga	El Mimbral
Montemorelos	Mexiquito	Rayones	Los Quemaditos	Arteaga	La Almendrilla
Montemorelos	Montemorelos	Rayones	Monte blanco	Arteaga	Las Tres Marías
Montemorelos	Huerta El Carmen	Rayones	Las Cañadas	Arteaga	Los Cañoncitos
Montemorelos	Noria Blanca	Rayones	Las Gallinas	Arteaga	Mesa De Las Tablas
Montemorelos	P. La Esmeralda	Rayones	Pedro Carrizales	Arteaga	Nuncio
Montemorelos	Puerto La Cantera	Rayones	Casillas		
Montemorelos	Puerto La Cantera	Rayones	Cartagena		
Montemorelos	San Francisco	Rayones	Despoblado De Abajo		
Montemorelos	San Juanita	Rayones	El Ancón		
Montemorelos	Cantera Chica	Rayones	El Carrillo		
		Rayones	El Garabatillal		
General Terán	La Mora	Rayones	El Barreal		
General Terán	Los Aguacates	Rayones	El Nogal		
General Terán	La Altamira	Rayones	El Ranchito		
General Terán	La Corona	Rayones	Emilio Carranza		
		Rayones	La Hacienda		
		Rayones	La Morita		

CAPÍTULO 4.

LA FRAGMENTACIÓN FORESTAL EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PILÓN

INTRODUCCIÓN

Latinoamérica ha perdido la tercera parte de superficie boscosa en el periodo 1850-1985 (Houghton *et al.*, 1991). El crecimiento poblacional actual, la desigual distribución de la riqueza, el libre comercio y la explotación maderera; aunada a la debilidad de políticas e instituciones de conservación de los bosques, se conjugan para impactarlos negativamente (Laurance y Laurance, 1999).

A escala global, hoy los bosques son en realidad fragmentos y bordes (Riitters *et al.*, 2000). La fragmentación forestal es una de las peores amenazas contra la diversidad biológica y la mayor causa de extinción de especies (Fahrig, 2001). En México, el porcentaje de especies en peligro de extinción es mayor en la flora que en cualquier otro grupo biológico. Cerca del 40% del total de especies vegetales se encuentra bajo peligro de extinción (INEGI-INE, 2000).

ANTECEDENTES

Un bosque fragmentado toma varias formas: a) reducirse, b) dividirse, c) volverse un mosaico; d) tener un hueco (Thompson *et al.*, 1995; Ford *et al.*, 2001). La primera consecuencia de la fragmentación es el efecto de borde. Este abrupto contraste entre el bosque y el paisaje circundante modifica las condiciones abióticas (altera el flujo de la radiación y de los nutrientes, aumenta la temperatura e ímpetu del viento y reduce la humedad), bióticas, y las interacciones planta-animal (Saunders *et al.*, 1990; Thompson *et al.*, 1995; Arango, 2002). En selvas amazónicas este efecto se extiende por lo menos hasta 10 y 20 metros de la orilla (Sizer y Tanner, 1999; Mesquita *et al.*, 1999); pudiendo extenderse hasta 100 y 200 m (Laurance *et al.*, 1998; Carvalho y Vasconcelos, 1999).

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

El efecto de borde modifica el área basal de árboles y arbustos de las orillas (López *et al.*, 1995; Carvalho y Vasconcelos, 1999). También afecta la estructura y la composición de especies (Arango, 2002) y favorece el crecimiento acelerado de especies pioneras normalmente ausentes (Sizer y Tanner, 1999). También produce daños y mortalidad de árboles, retrasando el recambio de plantas viejas por nuevas (Laurance *et al.*, 1998). La sobrevivencia futura de los árboles se altera al reducir la transferencia de polen e interferir los mecanismos de generación, dispersión y consumo de semillas (Guariguata y Pinarde, 1998; Flores, 2000; Cuellar, 1999). Además, en fragmentos pequeños, la poca variabilidad genética y la endogamia pueden erosionar genéticamente a las poblaciones (Summer *et al.*, 1999; Fernandez-Manjarrez, 2002). La fragmentación reduce la diversidad vegetal, la densidad del follaje, la biomasa y las fuentes de frutas frescas, es decir, la producción primaria de los ecosistemas (Thorburn, 1998; Loreau *et al.*, 2001; Laurance *et al.*, 1998; Tabarelli *et al.*, 1999; Malcom, 1994).

El impacto de fragmentación del hábitat en las poblaciones nativas de fauna puede verse como un espectro desde devastador a relativamente benigno (Collinge *et al.*, 2001). También tiende a afectar a aves y mamíferos muy especializados mientras que favorece a especies oportunistas y generalistas (Kammesheidt *et al.*, 2002; Lynam y Billick, 1999; Menzel *et al.*, 1999; Lindemayer *et al.*, 1999; Foster y Gaines, 1991; Hames, 1999; Shirley, 2002).

Sin embargo, hay más evidencias de que la fragmentación del hábitat afecta negativamente a la fauna, ya que al alterar la estructura y composición de la vegetación, se reducen sus posibilidades de alimentación, crecimiento y reproducción. Además, aunque una especie animal pueda mantenerse en el hábitat fragmentado, su supervivencia futura peligrará, pues se limita su dispersión y variación genética, al tiempo que crece el riesgo de ser cazado (Estrada y Coates, 2002; D'Eon, 2003; Katnik, 2002; Pérez, 2002).

La riqueza de mariposas nocturnas, hormigas, murciélagos, palomas y pichones, mamíferos y aves es afectada negativamente por la fragmentación. (Summerville, 2002; Carvalho y Vasconcelos, 1999; Evelyn, 2002; Price *et al.*, 1999; Ortega, 2002).

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

Ésta también altera la composición de especies de coleópteros del matorral tamaulipeco mexicano (Cuellar, 1999), y de arañas de los bosques mixtos de encino (Miyashita *et al.*, 1998). Las poblaciones de aves cantoras de Estados Unidos sufren por este fenómeno, que reduce su diversidad y causa creciente predación de nidos, extinciones locales, aislamiento de poblaciones, incremento de parásitos y del riesgo de muerte (Keyser cit en Williams, 1998; Ford *et al.*, 2001).

La fragmentación amenaza la estabilidad del ecosistema, ya que al reducir el número de individuos y especies, se reducen las posibilidades de que sucedan las interacciones necesarias para funcionar (mutualismo, cadenas tróficas, y competencia). Esto reduce su capacidad de generar respuestas diferentes, amenazando su estabilidad y la de los ciclos biogeoquímicos, (McCann, 2000; Loreau *et al.*, 2001; Erhlich, 1990). Además afecta grupos que cumplen funciones vitales: descomponer materia orgánica, polinizar, transportar semillas, controlar plagas, fertilizar suelo o crearlo (Summerville, 2002; Miyashita *et al.*, 1998; Carvalho y Vasconcelos, 1999; Evelyn, 2002). También altera delicadas interacciones interespecíficas; tales como la polinización (Kammesheidt *et al.*, 2002), la predación (Law y Lean, 1999; Cosson *et al.*, 1999), la expansión de plantas invasoras (Harrison, 2001), la herbivoría en plántulas (Benítez *et al.*, 1999), y la competencia entre aves (Ford *et al.*, 2001).

Debido a la seriedad y magnitud de los efectos de la fragmentación, es importante cuantificarla y revertirla. Los indicadores para cuantificar la magnitud de la fragmentación del paisaje se basan en dos teorías biogeográficas: la de islas (que considera un entorno neutral) y la del mosaico (considera ensamblajes heterogéneos). (McGarigal y Marks, 1994). No todas las medidas son igualmente útiles. Pfister (2003), sugiere que tres medidas son suficientes: el área promedio del fragmento, el promedio de la relación entre el perímetro y el área del fragmento, y el porcentaje de zonas adyacentes al bosque que son similares. Mass y Correa (1999), coinciden en que el tamaño de fragmento y el índice de proximidad, considerando las características del entorno, describen mejor el proceso. Además, es deseable incluir factores que tengan un efecto agregado tales como la exposición (Thompson *et al.*,

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

1995), la altitud (Menzel *et al.*, 1999), las actividades de restauración (Arroyo-Mora, 2002) o la topografía favoreciendo la agricultura (Simonson, 2002).

Para revertir la fragmentación, se sugiere en general proteger a los árboles remanentes, eliminar la flora y la fauna invasora, restaurar los ecosistemas, cuidar los patrones de pastizales, manejar el fuego, regular la explotación maderera, reducir el impacto de las actividades humanas y reforestar (Ford *et al.*, 2001; Ehrlich, 1996; Fitzimmons, 2001; Gibbs, 2001).

Otros coinciden en que es necesario establecer zonas prioritarias (Wigleya y Roberts, 1997; Riitters *et al.*, 2000; Lapin, 2003), y sugieren trabajar con fragmentos clave, especialmente aquellos de tamaño grande (Verboom *et al.*, 2001, Lindenmayer, 1999). Los corredores son ampliamente recomendados para preservar poblaciones y microhábitats (Newmark, 1991; Lima y Gascon, 1999; Laurence y Laurence, 1999; Wolf, 2001). También se sugiere continuar estudiando en espacio y tiempo, la vulnerabilidad, las interacciones y la susceptibilidad de las especies, para adaptar las prácticas de manejo. Por ello, se propone desarrollar los siguientes objetivos:

OBJETIVOS

1. Determinar cuáles comunidades vegetales de la cuenca del río Pilón han sido más afectadas por el proceso de la fragmentación forestal durante el periodo 1974-2000.
2. Seleccionar aquellos fragmentos cuya conservación es prioritaria

HIPÓTESIS

H₁. Hay un marcado proceso de fragmentación forestal amenazando todos los tipos de vegetación.

MATERIALES Y MÉTODOS

1) Indicadores de la fragmentación

Se utilizaron dos indicadores de fragmentación forestal para comparar las diferencias en las comunidades vegetales en 1974 y 2000. Estos son: el tamaño del fragmento y el promedio de la relación entre el perímetro y el área del fragmento.

Para derivar estos indicadores, fue necesario contar con cartografía de la vegetación en las fechas de interés. Esta cartografía se derivó mediante la interpretación de las imágenes del satélite Landsat 1 MSS de febrero de 1974 y del satélite Landsat ETM 7+ de marzo del 2000 (líneas 42 y 43 de las órbitas 27 y 28). La interpretación se hizo según el método de clasificación supervisada.

La información relacionada con el número y el tamaño de los fragmentos de vegetación dentro de cada comunidad vegetal, fue obtenida de la cartografía y exportada a EXCEL para su procesamiento posterior.

2) Selección de fragmentos

Para seleccionar aquellos fragmentos cuya conservación es prioritaria por sus funciones de amortiguamiento en los cuerpos de agua se establecieron y aplicaron los siguientes criterios de selección:

- 1) Fragmentos densos, ubicados a 500 m o menos del río, pertenecientes a las comunidades matorral submontano y bosque de oyamel, fueron considerados de alta prioridad como zonas de amortiguamiento.
- 2) Fragmentos densos, ubicados a 500 m o menos del río, pertenecientes a las comunidades bosque de pino-encino, bosque de encino, chaparral y mezquital-huizachal, fueron considerados de prioridad media como zonas de amortiguamiento.

Para cartografiar estos fragmentos se determinó la zona de interés (500 metros con respecto a los escurrimientos) en el mapa hidrológico de la zona. En esta zona de interés, se interpretó la fotografía aérea de INEGI (1999), para digitalizar aquellos fragmentos densos de vegetación.

Por otra parte, para elegir los fragmentos prioritarios por sus funciones de estabilización de laderas, se diseñaron y aplicaron criterios, los cuales se describen a continuación.

- 3) Fragmentos en pendientes superiores a 30%, pertenecientes a las comunidades matorral submontano y bosque de oyamel, fueron considerados de alta prioridad para estabilización de laderas.

4) Fragmentos en pendientes superiores a 20%, pertenecientes a las comunidades bosque de pino-encino, bosque de encino, chaparral y mezquital- huizachal, se consideraron de prioridad media para estabilización de laderas.

Las pendiente se obtuvieron interpretando el modelo de elevación digital de la zona (INEGI, 2000). Además, para ambas funciones, los criterios incluyen a las comunidades más afectadas por la transformación vegetal, las cuales se seleccionaron a partir de la cartografía de la vegetación de SEMARNAT (2000).

RESULTADOS

1) Indicadores de la fragmentación

En los bosques en general se nota una tendencia a tener más fragmentos menores de cinco hectáreas que cualquier otra clase de tamaño, siendo poco probable encontrar fragmentos con superficies superiores a las 50 hectáreas (tabla 4-1).

Tabla 4-1. Numero de fragmentos por clase de tamaño en bosques

Tamaño (ha)	Bosque de oyamel		Bosque de pino		Bosque de pino-encino		Bosque de encino	
	1974	2000	1974	2000	1974	2000	1974	2000
0 a 1	10	306	1142	1261	1924	690	236	78
1 a 5	672	239	1003	1101	1395	623	187	79
5 a 10	149	72	246	276	242	169	50	21
10 a 50	147	83	258	280	168	145	46	18
50 a 100	29	17	30	29	14	15	4	4
100 a 500	22	12	33	28	2	4	8	2
mas de 500	1	2	0	3	0	0	1	0

Se observa una fuerte tendencia en los fragmentos menores a desaparecer. Siendo los bosques de oyamel y los de pino-encino, en los que se ha reducido notablemente el número de fragmentos durante el periodo 1974-2000. Por el contrario, los bosques puros de pino no parecen haber perdido fragmentos, debido probablemente a que se encuentran en las altitudes máximas de la cuenca (tabla 4-2).

Tabla 4-2. Diferencia en número de fragmentos en los bosques

Tamaño (ha)	Oyamel	Pino	Pino-Encino	Encino
0 a 1	-504	+119	-1234	-158
1 a 5	-433	+98	-772	-108
5 a 10	-77	+30	-73	-29
10 a 50	-64	+22	-23	-28
50 a 100	-12	-1	+1	0
100 a 500	-10	-5	+2	-6
mas de 500	+1	+3	0	-1

El promedio de la relación área-perímetro muestra la misma tendencia, en la que tanto la comunidad de bosque de oyamel como la de pino-encino se han visto mas afectadas por el proceso de fragmentación durante el periodo 1974-2000, que las comunidades de pino y encino (tabla 4-3).

Tabla 4-3. Promedio de la relación área-perímetro en los bosques

	Oyamel	Pino	Pino-Encino	Encino
1974	32.77	32.8	26.8	34.0
2000	38.06	32.2	32.9	35.8

En matorrales también es notable la fragmentación, ya que son pocos los fragmentos que alcanzan más de 50 hectáreas (tabla 4-4).

Tabla 4-4. Número de fragmentos por clase de tamaño en matorrales.

Tamaño (ha)	Huizachal		Matorral tamaulipeco		Matorral submontano	
	1974	2000	1974	2000	1974	2000
0 a 1	1333	249	2151	339	3182	746
1 a 5	916	171	755	315	1934	618
5 a 10	220	55	88	75	438	131
10 a 50	176	50	46	91	368	119
50 a 100	25	10	2	10	55	14
100 a 500	11	8	0	14	47	11
más de 500	1	0	0	1	4	5

El matorral submontano es el más afectado por la fragmentación, ya que no sólo pierde un gran número de fragmentos pequeños, si no también un número considerable de fragmentos de tamaño mayor. La fragmentación de huizachales tampoco muestra un escenario favorable (tabla 4-5).

Tabla 4-5. Diferencia en número de fragmentos en los matorrales

Tamaño (ha)	Huizachal	Tamaulipeco	Submontano
0 a 1	-1084	-1812	-2436
1 a 5	-745	-440	-1316
5 a 10	-165	-13	-307
10 a 50	-126	+45	-249
50 a 100	-15	+8	-41
100 a 500	-3	+14	-36
mas de 500	-1	+1	-1

La relación área-perímetro muestra un comportamiento contradictorio con respecto al resultado anterior, ya que es el matorral tamaulipeco el que muestra mayores diferencias (tabla 4-6), cuando se esperaría que esto ocurriera con el matorral submontano.

Tabla 4-6. Promedio de la relación área-perímetro en los matorrales

	Huizachal	Tamaulipeco	Submontano
1974	28.6	19.9	28.2
2000	35.0	36.6	31.4

2) Selección de fragmentos

La figura 4-1 muestra los fragmentos de alta prioridad como zonas de amortiguamiento en color negro y los de prioridad media en color gris.

Considerando una distancia de 500 metros a lo largo de los ríos principales, se abarca una superficie de 642 km². De éstos, según los criterios establecidos, se considera prioritario conservar 347 fragmentos que ocupan 33 km². Algunos de éstos se ubican en las siguientes comunidades del municipio de Rayones: El Mimbral, Los Cirrales, Los Barreno, Las Adjuntas, El Zapatero, El Jabalí, El Encinal de Abajo y La Diojeda. Así como las siguientes comunidades de Montemorelos: Las Pintas, San Antonio, San Francisco, La Esmeralda y El Ebanito. La comunidad Las Comitas en General Terán también posee estos fragmentos.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

De acuerdo con los criterios definidos, se recomienda conservar 150 fragmentos que ocupan 19.4 km², como zonas de amortiguamiento. Algunos de estos se encuentran en las comunidades: Los Cirrales, Monte Redondo, Santa Rita y La Ventana de Rayones y la comunidad Los Puertecitos de Montemorelos.

La figura 4-2 muestra los fragmentos de alta prioridad para la estabilización de laderas en color negro, y las de prioridad media en color gris.

Se considera prioritario conservar 210 fragmentos para estabilización de laderas, los cuales abarcan una extensión de 56.36 km². Algunos de estos se encuentran ubicados cerca de las localidades Los Chilares, de Rayones y Las Cuevas y Las Pintas de Montemorelos. Se recomienda además, conservar 294 fragmentos, los cuales ocupan 294.6 km². Algunos de ellos se encuentran cerca de las localidades: Los Cirrales, Los Pocitos, El Ranchito y El Tepozán de Rayones.

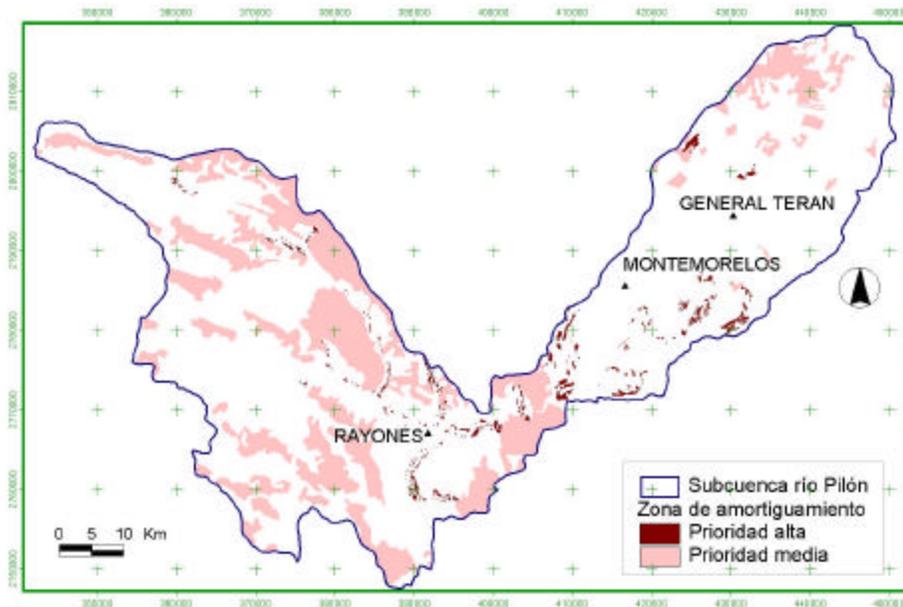


Figura 4-1. Fragmentos prioritarios para zonas de amortiguamiento.

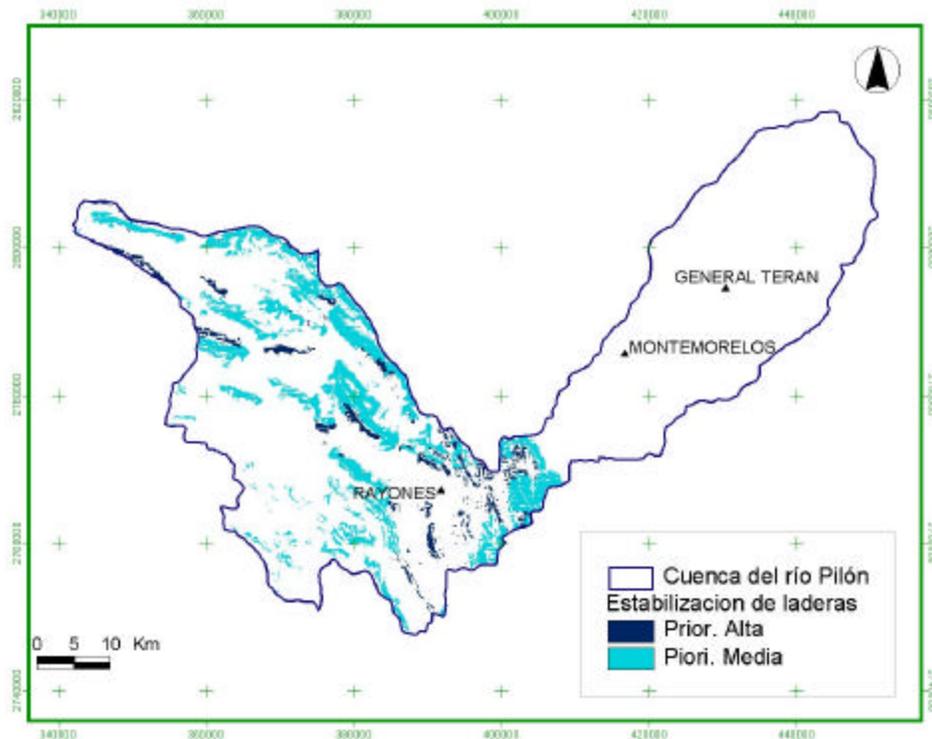


Figura 4-2. Fragmentos prioritarios para estabilización de laderas.

CONCLUSIONES

El tamaño de los fragmentos de bosques y matorrales en la subcuenca del río Pílon es relativamente pequeño, ya que difícilmente se encuentran fragmentos cuyo tamaño supere las cincuenta hectáreas. Esto nos habla de la presencia clara de un proceso de fragmentación forestal en la subcuenca.

La magnitud de la fragmentación forestal evaluada en función del tamaño de los fragmentos ha afectado principalmente a las siguientes comunidades vegetales: bosque de oyamel, bosque de pino-encino y matorral submontano. De este modo se rechaza la hipótesis de que la fragmentación es un proceso generalizado en la cuenca, puesto que afecta en diferente intensidad a los tipos vegetales.

En virtud de ello y considerando los resultados del análisis anterior, se recomienda conservar 347 fragmentos remanentes de vegetación, como zonas de amortiguamiento y 210 fragmentos para estabilización de laderas.

LITERATURACITADA

1. Arango C., S. 2002. Edge-effects on Tree Regeneration in the Colombian Andes. PhD Degree. University of Missouri-Saint Louis. Dai-B 63/06, p. 2690. 231 pages.
2. Arroyo-Mora, J. P. 2002. Forest Cover Assessment, Fragmentation Analysis and Secondary Forest Detection for the Chorotega Region, Costa Rica. MSc Degree. University of Alberta, Canada. Mai 41/01, p. 168. 111 pages.
3. Benitez-Malvido, J.; García-Guzmán, G. and Kossman-Ferraz, I. D. 1999. Leaf-fungal Incidente and Herbivory on Tree Seedlings in Tropical Rainforest Fragments: An Experimental Study. Biological Conservation. Vol. 91. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 143-150.
4. Carvalho, K. S. and Vasconcelos, H. L. 1999. Forest Fragmentation in Central Amazonia and its Effects on Litter-dwelling Ants. Biological Conservation. Vol. 91. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 151-157.
5. Collinge, S. K.; Holyoak, M.; Barr, Ch. B. and Marty, J. T. 2001. Riparian Habitat Fragmentation and Population Persistence of the Threatened Valley Elderberry Longhorn Beetle in Central California. Biological Conservation. Vol. 100. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 103-113.
6. Cosson, J. F.; Ringuet, S.; Claessens, O.; De Massary, J. C.; Dalecky, A.; Villiers, J. F.; Granjon, J. M. and Pons, J. M. 1999. Ecological Changes in Recent Land-bridge Islands in French Guiana, with Emphasis on Vertebrate Communities. Biological Conservation. Vol. 91. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 213-222.
7. Cuellar R., L. G. 1999. Efecto de la Fragmentación del Matorral Tamaulipeco en la Diversidad y Densidad de Coleópteros y en la Producción de Semillas. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales, Linares, N. L. México. 85 pags.
8. Déon, R. G. 2003. Landscape Spatial Patterns and Forest Fragmentation in Managed Forests in Southeast British Columbia: Perceptions, Measurements, and scale. PhD Degree. The University of British Columbia (Canada). Dai-B 64/05, p. 1992. 107 pages.
9. Ehrlich, P. R. 1990. Habitats in Crisis: Why We Should Care About the Loss of Species. Forest Ecology and Management. Vol. 35. Elsevier Science. Publishers B. V., Amsterdam pp 5-11
10. Ehrlich, P. R. 1996. Conservation in Temperate Forest: What Do We Need to Know and do?. Forest Ecology and Management. Vol. 85. Issues 1-3, September 1996, pages 9-19.
11. Estrada, A. and Coates-Estrada, R. 2002. Bats in Continuous Forest, Forest Fragments and in an Agricultural Mosaic Habitat-island at Los Tuxtlas, Mexico. Biological Conservation. Vol. 103. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 237-245.
12. Evelyn, M. J. 2002. Ecological Consequences of Forest Fragmentation: Bats and Birds in Human-Dominated Landscapes. PhD Degree. Stanford University. Dai-B 63/04, p. 1658. 171 pages.
13. Fahrig, L. 2001. How Much Habitat is Enough? Biological Conservation. Vol. 100. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 65-74.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

14. Fernandez-Manjarrez, J. F. 2002. Genetic Diversity and Matting System in a Fragmented Population of the Andean oak *Quercus humboldtii* Bonpl. (Fagaceae) (Colombia). PhD Degree. University of Missouri – San Louis. Dai-B 63/02, p. 646. 135 pages.
15. Fitzsimmons, M. 2003. Effects of reforestation on Landscape Spatial Structure in Boreal Saskatchewan, Canada. *Forest Ecology and Management*. Vol. 174. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 577-592.
16. Flores G., M. L. 2000. Remoción de Semillas en Fragmentos de Matorral Espinoso Tamaulipeco, Linares, N. L. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales, Linares, N. L. México. 70 pags.
17. Ford, H. A.; Barrett, G. W.; Saunders, D. A. and Recher, H. F. 2001. Why Have Birds in the Woodlands of Southern Australia Declined? *Biological Conservation*. Vol. 97. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 71-88.
18. Foster, J. and Gaines, M. S. 1991. The Effects of a Successional Habitat Mosaic on a Small Mammal Community. *Revist Ecology*. Vol 72(4) Department of Systematics and Ecology, University of Kansas. Lawrence, Kansas. pp 1358-1373.
19. Gibbs, J. P. 2001. Demography Versus Habitat Fragmentation as determinants of genetic variation in wild populations. *Biological Conservartion*. Vol. 100. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 15-20.
20. Guariguatal, M. R. and Pinarde, M. A. 1998. Ecological Knowledge of Regeneration from Seed in Neotropical Forest Trees: Implications for Natural Forest Management. *Forest Ecology and Management*. Vol. 112, Issues 1-2, pages 87-99.
21. Hames, S. 1999. Early Looks at Thrush Relationships. *Birdscope*, Volume 13, Number 3: 11-13.
22. Harrison, S.; Rice, K. And Maron, J. 2001. Habitat Patchiness Promotes Invasión by Alien Grasses on Serpentine Soil. *Biological Conservation*. Vol. 100. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 45-53.
23. Houghton, R. A.; Lefkkowitz, D. S. and Skole D. L. 1991. Changes in the Landscape of Latin America Between 1850 and 1985 I. Progressive Loss of Forest. *Forest Ecology and Management*. Vol. 38. Elsevier Science. Publischers, B. V. Amsterdam pp 143-172.
24. INEGI-INE. (2000) Indicadores de desarrollo sustentable en México. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
25. INEGI. (1999). SINFA. Fotografía aérea de las zonas G14-7 y G14-8. Escala 1:75,000. Aguascalientes, Aguascalientes: Autor.
26. INEGI. (2000). CD Geomodelos de Altimetría GEMA. Zonas G14-7, 8,10 y 11. Escala 1:250,000.
27. Kammesheidt, L.; Köhler, P. and Huth, A. 2002. Simulating Logging Scenarios in Secondary Forest Embedded in a Fragmented Neotropical Landscape. *Forest Ecology and Management*. Vol. 170. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 89-105.
28. Katnik, D. D. 2002. Predation and Habitat Ecology of Mountain Lions (*Puma concolor*) in the Southern Selkirk Mountains. PhD Degree. Washington State University. Dai-B 63/07, p. 3085. 217 pages.

29. Lapin, M. F. 2003. Nature Conservation in an Agricultural Landscape: Forest Ecology, Fragmentation Analysis, and systematic site prioritization, Southern Champlain Valley, Vermont, United States. PhD Degree. Cornell University. Dai-B 63/12, p. 5637. 237 pages.
30. Laurance, W. 1998. Forest Fragmentation May Worsen Global Warming. *Science* vol. 278, pp. 1117-1118.
31. Laurance, W. F.; Laurance, S. G. and Delaminica, P. 1998. Biological Dynamics of Forest Fragments Project, Nacional institute for Research in the Amazon (INPA), C. P. 478 69011-970 Manaus, AM Brazil. *Forest Ecology and Management*. Vol. 110, Issues 1-3. Pages 173-180.
32. Laurence, S. G. and Laurence, W. F. 1999. Tropical Wildlife Corridors: Use of Linear Rainforest Remnants by Arboreal Mammals. *Biological Conservation*. Vol. 91. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 231-239.
33. Laurence, W. F. 1991. Ecological Correlations of Extinction Proneness in Australian Tropical Rain Forest Mammals. *Conservation Biology* Vol. 5. No. 1 pages. 79-89.
34. Laurence, W. F.; Ferreira, L. V.; Rankin-De Merona, J. M. and Laurence, S. G. 1998. Rain Forest Fragmentation and the Dynamics of Amazonian Tree Communities. *Ecology*. Vol 79(6). Biological Dynamics of Forest Fragments Project, Nacional Institute for Research in the Amazon (INPA). Brazil. pp 2032-2040
35. Law, B. S. and Lean, M. 1999. Common Blossom Bats (*Syconycteris australis*) as Pollinators in Fragmented Australian Tropical Rainforest. *Biological Conservation*. Vol. 91. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 201-212.
36. Lima, M. G. and Gascon, C. 1999. The Conservation Value of Linear Forest Remnants in Central Amazonia. *Biological Conservation*. Vol. 91. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 241-247.
37. Lindenmayer, D. B.; Cunningham, R. B.; and Pope, M. L. 1999. A Large-Scale "Experiment" to Examine the Effects of Landscape Context and Habitat Fragmentation on Mammals. *Biological Conservation*. Vol. 88. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 387-403.
38. Lopez de C., J.; Pelottob, J. P. and Protomastroc, J. 1995. Edge-interior Differences in Vegetation Structure and Composition in a Chaco Semi-arid Forest, Argentina. *Forest Ecology and Management*. Vol. 72. Issues 1. This Document Abstract. pp 61-69.
39. Loreau, M.; Níame, S.; Inchausti, P.; Bengtsson, J.; Grime, J. P.; Hector, A.; Hooper, D. U.; Huston, M. A.; Raffaelli, D.; Schmid, B.; Tilman, d. and Wardle, D. A. 2001. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Current Knowledge and Future Challenges. *Science* Vol. 294. pp 804-808.
40. Lynam, A. J. and Billick, I. 1999. Diferencial Responses of Small Mammals to Fragmentation in a Thailand Tropical Forest. *Biological Conservation*. Vol. 91. Elsevier Science. pp 191-200.
41. Malcolm, J. R. 1994. Edge Effects in Central Amazonian Forest Fragments. *Ecology* 75(8). Department of Wildlife and Range Sciences, School of Forest Resources and Coservation. University of Florida. Gainesville, Florida. USA. pp 2438-2445.

42. Mass, F. y Correa S., J. 1999. Análisis de la Fragmentación del Paisaje en el Área protegida "Los Petenes", Campeche, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. Núm. 43, pp 42-59.
43. McCann, K. S. 2000. The Diversity-Stability Debate. Nature Vol. 405. 11 May 2000. www.nature.com Insight Review Articles.
44. McGarical, K. and Marks, B. J. 1994. Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. Landscape Pattern Metrics. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis.
45. Menzel, M. A.; Ford, W. M.; Laerm, J. and Krishon, D. 1999. Forest to Wildlife Opening: Habitat Gradient Analysis Among Small Mammals in the Southern Appalachians. Forest Ecology and Management. Vol. 114. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 227-322.
46. Mesquita, R. C. G.; Delamônica, P. and Laurence, W. F. 1999. Effect of Surrounding Vegetation on Edge-related Tree Mortality in Amazonian Forest Fragments. Biological Conservation. Vol. 86. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 357-364.
47. Miyashita, T.; Shinkai, A. and Chida, T. 1998. The effects of Forest Fragmentation on Web Spider Communities in Urban Areas. Biological Conservation. Vol. 91. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 129-134.
48. Newmark, W. D. 1991. Tropical Forest Fragmentation and the Local Extinction of Understory Birds in the Eastern Usambara Mountains, Tanzania. Conservation Biology Vol. 5. No. 1 pages. 67-78.
49. Ortega-Huerta, M. A. 2002. Analizing Spatial Patterns of Biodiversity, Landscape Fragmentation, and Land Ownership Regimes in Northeastern Mexico. PhD Degree. University of Kansas. Dai-B 64/03, p. 1154. pages 148.
50. Perez S., B. M. 2002. The Molecular Systematics of Leontopithecus, Population Genetics of L. chrysopygus and the Contribution of these Two Sub-fields to the Conservation of L. chrysopygus (Brazil). PhD Degree. Columbia University. Dai-A 62/12, p. 4234. 159 pages.
51. Pfister, J. 2003. Mapping Forest Fragmentation in Maryland using Landscape Indices. 16th. Annual Geographic Information Sciences Conference. Towson University. Junio 2-3, 2003. Towson, Maryland.
52. Price, O. F.; Woinarski, J. C. Z. and Robinson, D. 1999. Very Large Area Requiriments for Frugivorous Birds in Monzón Rainforest of the Northern Territory, Australia. Biological Conservation. Vol. 91. Elsevier Science. pp 169-180.
53. Riitters, K.; Wickham, J.; O'Neill, R.; Jones, B. and Smith, E. 2000. Global-Scale Patterns of Forest Fragmentation. [En Línea] Disponible en: <http://www.consecol.org/vol4/iss2/art3>
54. Saunders, D. A.; Hobbs, R. J. and Margules, CH. R. 1990. Biological Consequences of Ecosystem Fragmentation: A Review. Conservation Biology. Vol. 5, 1 March 1991. pages. 18-32.
55. SEMARNAT (2000). Zonas G14-7,-8,-10 y -11. 1:250,000. CD Inventario Nacional Forestal. México, D. F.: Autor.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

56. Shirley, S. 2002. Forest Fragmentation and Regrowth: Use of Riparian and Upland Forest by Birds in Managed and Unmanaged Mature Coastal British Columbia Rainforest. PhD Degree. Dai-B 63/12, p. 5641. 180 pages.
57. Simonson, J. T. 2002. A Systematic Description of Vegetation Pattern Change in the Forest-grassland Region of Southern Alberta. MSc Degree. University of Calgary (Canada). Mai 41/02, p. 485. 55 pages.
58. Sizer, N. and Tanner, E. V. J. 1999. Responses of Woody Plant Seedlings to Edge Formation in a Lowland Tropical Rainforest, Amazonia. *Biological Conservation*. Vol. 91. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 135-142.
59. Summer, J.; Moritz, C. and Shine, R. 1999. Shrinking Forest Shrinks Skink: Morphological Change in response to Rainforest Fragmentation in the Prickly Forest Skink (*Gnypetoscincus queenslandiae*). *Biological Conservation*. Vol. 91. Elsevier Science. pp 159-167.
60. Summerville, K. S. 2002. Ecological Determinants of Species Diversity and Community Composition of Forest Moths (Lepidoptera) at Local Regional Scales. PhD Degree. Miami University . Dai-B 63/06, p. 2699. 227 pages.
61. Tabarelli, M.; Mantovani, W. and Peres, C. A. 1999. Effects of Habitat Fragmentation on Plant Guild Structure in the Montane Atlantic Forest of Southeastern Brazil. *Biological Conservation*. Vol. 91. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 119-127.
62. Thompson III, F. R.; Donovan, T. M.; Whitehead, D. R. and Faaborg, J. 1995. Regional Forest Fragmentation and the Nesting Success of Migratory Birds. *Science* Vol. 267:1987-1990.
63. Thornburn, J. 1998. Forest Fragmentation. [En línea]. Disponible en: <http://www.ucfv.bc.ca>.
64. Verboom, J.; Foppen, R.; Chardon, P.; Opdam, P. and Luttikhuisen, P. 2001. Introducing the Key Patch Approach for Habitat Networks with Persistent Populations: An Example for Marshland Birds. *Biological Conservation*. Vol. 100. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 89-101.
65. Wigley, T. B. and Roberts, T. H. 1997. Landscape-level Effects of Forest Management on Faunal Diversity in Bottomland Hardwoods. *Forest Ecology and Management*. Vol. 90. Issues 2-3. This Document Abstract. pp 141-154.
66. Williams, P. 1998. Fewer Songbirds Linked to Forest Fragmentation. Albion monitor: the news you are missing [En línea]. Disponible en: <http://www.monitor.net>
67. Wolf, A. 2001. Conservation of Endemic Plants in Serpentine Landscapes. *Biological Conservation*. Vol. 100. Elsevier Science. Washington, DC. USA. pp 35-44.

CAPÍTULO 5

RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PILÓN

INTRODUCCIÓN

La subcuenca del río Pílon posee variaciones topográficas y climáticas tales, que permiten el desarrollo de doce tipos diferentes de vegetación. Esta permite la captación de agua y provee elementos para el sustento de los habitantes de la región, además de albergar una variada fauna. También se ha registrado la presencia de endemismos y fenómenos evolutivos sobresalientes en la provincia Sierra Madre Oriental (PRONATURA, 1998; y Cantú, *et al.*, 1999).

Sin embargo, como demuestra esta investigación, la vegetación está amenazada por procesos de transformación que han causado su desaparición y su fragmentación.

Estos procesos, además de poner en riesgo a los ecosistemas naturales, pueden alterar la captación de agua en la subcuenca, lo que pondría en riesgo la producción de cítricos y nueces, que son dos de los principales productos agrícolas del estado de Nuevo León.

Por ello, es importante diseñar una estrategia para el manejo adecuado los recursos naturales de la subcuenca, conciliando las necesidades de producción con las de conservación de recursos. Es por eso que este apartado presenta el siguiente

OBJETIVO

Diseñar una estrategia para el manejo adecuado de los recursos naturales de la subcuenca del río Pílon, estableciendo las actividades recomendables y zonificando los sitios óptimos para su desarrollo.

MÉTODO

Para establecer los criterios, las líneas de acción y las actividades recomendables para el manejo adecuado de los recursos de la subcuenca, se efectuó una revisión de literatura pertinente.

En el manejo de la subcuenca, se consideró necesario que los criterios se desarrollen en el marco de la legislación y la planeación nacional actual. Por ello, se consideran los lineamientos del Plan Estratégico Forestal 2025 (SEMARNAT, 2001). Para procurar el manejo sustentable de los recursos forestales de la subcuenca, se plantean tres objetivos principales. Estos son el mantenimiento y sanidad de los ecosistemas forestales, como prioridad ante otros usos de suelo; la generación de beneficios económicos, sin afectar el objetivo último del manejo, que es la conservación y el mantenimiento del suelo y el agua.

Estos tres objetivos son acordes con la Ley General del Equilibrio Ecológico, que dispone que se deben “establecer las bases para el aprovechamiento sustentable, la preservación y en su caso la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas” (DOF, 1998). Además, se espera que estas condiciones permitan mantener la diversidad biológica y generar servicios ambientales.

Para alcanzar los objetivos del manejo sustentable de la subcuenca del río Pílon, conviene establecer tres líneas de acción.

La primera línea establece la necesidad de conservar los fragmentos remanentes de vegetación. Esta vertiente incluye dos acciones: la preservación de fragmentos en zonas de amortiguamiento del río y la preservación de fragmentos en laderas. Esto, según lo establecido por la NOM-ECOL 060 (1994) que dispone la conservación de la vegetación ribereña y la estabilidad de los taludes, así como con la NOM-ECOL 062 (1994), que dispone la conservación de tipos originales de vegetación.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

La segunda línea propone establecer sistemas de labranza de conservación, es decir, sistemas de producción agrícola y pecuaria que consideren las condiciones medioambientales para causar el menor impacto posible en el suelo y la vegetación. Su importancia radica en el mantenimiento de las formas de producción y subsistencia de los habitantes de la subcuenca.

La restauración del hábitat es la tercera línea de acción necesaria. En este renglón se sugieren tres actividades. Por una parte es necesaria la restauración de bosques y matorrales, así como la restauración de laderas y de vegetación riparia. Estas actividades son de interés público y social, y figuran como uno de los primeros objetivos de la Ley General del Equilibrio Ecológico (DOF, 1998). Sin embargo su establecimiento se ha limitado a zonas donde no compita con la productividad y su ejecución está sujeta a la factibilidad de las actividades, tanto por factores físicos como económicos.

La tabla 5-1 resume las acciones recomendadas para el manejo de los recursos de la subcuenca del río pilón

Tabla 5-1. Actividades para el manejo de la subcuenca

Línea de acción	Actividades
1.Conservación de fragmentos	1.1 Fragmentos útiles como zonas de amortiguamiento
	1.2 Fragmentos útiles para estabilización de laderas
2.Labranza de conservación	2.1 Sistemas agroforestal de tipo agro silvícola
	2.2 Sistemas agroforestal de tipo pastoril silvícola
3. Restauración	3.1 Restauración de bosques y matorrales
	3.2 Restauración de laderas
	3.3 Restauración de vegetación riparia

Selección de sitios óptimos para el desarrollo de las actividades recomendables

Por su parte, para identificar los sitios óptimos para las actividades requeridas para el manejo de la subcuenca, se consideró la metodología para la restauración hidrológico forestal de cuencas (López, 1994). En ella, se evalúan los valores de las variables medioambientales, juzgando si favorecen o no las actividades sugeridas, y su importancia para el desarrollo de las actividades. De este modo se determina que tan adecuada es cada actividad en un determinado sitio.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

Para ello, se integró un sistema de información geográfica con las variables pendiente, precipitación, uso del suelo, tipos de vegetación, patrones de cambio de uso y riesgo de degradación del suelo, así como distancia al río y a las poblaciones.

Considerando estas variables, se juzgó la viabilidad de las actividades considerando si los valores dentro de las variables medioambientales permitían su desarrollo.

En la conservación de fragmentos, se recomienda generar y aplicar estrategias para preservar aquellos remanentes de vegetación original, dando prioridad a los pertenecientes a comunidades vegetales que han sido afectadas o fragmentadas por el cambio de uso del suelo ocurrido entre 1974 y 2000. Se recomienda también considerar fragmentos ubicados en sitios a no más de 500 metros de la margen del río, en pendientes superiores al 30%, con alto riesgo de degradación del suelo, o donde la vegetación se ha recuperado.

La labranza de conservación sugiere el establecimiento de sistemas agroforestales de tipo agro silvícola o sistemas de labranza cero, en donde se encuentran sistemas agrícolas intensivos; y de sistemas agroforestales de tipo pastoril silvícola, donde actualmente se practica la ganadería extensiva. Para ambas actividades se da preferencia a suelos con poca pendiente y con bajo riesgo de degradación. Se favorece también a sitios con condiciones adecuadas de precipitación y cercanos a los centros poblacionales, donde la agricultura ha desplazado a los tipos originales de vegetación.

Las actividades de restauración se deben desarrollar en sitios con suelo desnudo o aquellos donde la vegetación original ha sido desplazada por agricultura o pastizales, dando prioridad a aquellos sitios con alto riesgo de degradación del suelo. Para la restauración de bosques y matorrales se sugiere considerar sitios donde la pendiente, la precipitación y la cercanía a localidades favorezcan las actividades de reforestación. Para la restauración de laderas, se otorga más importancia a la pendiente y para la de zonas de amortiguamiento, a la cercanía del río.

La tabla 5-2 resume la viabilidad de las actividades considerando las cualidades del medio ambiente.

Tabla 5-2. Viabilidad de las actividades de acuerdo con las características del medio

Variables	Línea de acción Valores	Viabilidad de las actividades						
		Conservación		Labranza		Restauración		
		1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	3.3
Pendiente	De 1% a 20%	0	0	3	3	3	1	0
Pendiente	De 21% a 30%	0	2	2	2	2	2	0
Pendiente	Superior a 30%	0	3	1	1	1	3	0
Precipitación	Inferior a 300 mm	0	0	1	1	1	1	0
Precipitación	De 300 a 700 mm	3	3	3	3	2	3	0
Precipitación	De 700 a 1100 mm	1	1	2	2	3	2	0
Uso del suelo	Agrícola	0	0	3	1	3	3	3
Uso del suelo	Pastizal	0	0	1	3	3	3	3
Uso del suelo	Suelo descubierto	0	0	3	3	3	3	3
Vegetación	Matorral submontano, vegetación de galería	3	3	1	1	2	2	2
Vegetación	Huizachal-Mezquitil, M. tamaulipeco y desértico	2	2	1	1	2	2	2
Vegetación	Chaparral	2	2	1	1	2	2	2
Vegetación	Bosque de oyamel	3	3	1	1	2	2	2
Vegetación	Bosque de encino	2	2	1	1	2	2	2
Vegetación	Bosque de pino-encino	2	2	1	1	2	2	2
Cambio de uso	Agrícola sobre bosque	0	1	3	3	3	3	3
Cambio de uso	Agrícola sobre matorral	0	1	3	3	3	3	3
Cambio de uso	Recuperación de bosques	3	3	1	1	1	1	1
Cambio de uso	Recuperación matorral	3	3	1	1	1	1	1
Riesgo de degradación	Alto	3	3	1	1	3	3	3
Riesgo de degradación	Medio	0	2	2	2	2	2	2
Riesgo de degradación	Bajo	0	1	3	3	1	1	1
Distancia a localidades	Menor de 1 km	0	0	3	3	2	2	3
Distancia a localidades	Mayor de 1 km	0	0	2	2	1	1	2
Distancia al río	Menor de 500 m	3	0	0	0	2	2	3
Distancia al río	Mayor de 500 m	1	0	0	0	1	1	1

Escala 0: indistinto, 1: Poco viable, 2: Viable, 3: Muy viable.

En el proceso también se juzgó la importancia que tiene cada variable del medio para el desarrollo de las actividades. Así, para la conservación de fragmentos de amortiguamiento se le dio más importancia al tipo de vegetación, al riesgo de degradación y a la distancia al río. Mientras que, para la conservación de fragmentos útiles en la estabilización de laderas se privilegió a la pendiente, al tipo de vegetación y al riesgo de degradación del suelo. El establecimiento de sistemas agroforestales y de mínima labranza da prioridad al uso del suelo, al tipo de vegetación existente y al patrón de cambio en el uso del suelo. La restauración de bosques y matorrales da prioridad al uso del suelo y los tipos de vegetación, así como al riesgo de

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

degradación del suelo. Para la restauración de laderas, se consideran además de las variables anteriores, la pendiente y el patrón de cambio de uso del suelo. En la restauración de la vegetación riparia, cobran más importancia el uso y el riesgo de degradación del suelo, así como la distancia al río.

La sobreposición de mapas juzgando la viabilidad de las actividades y considerando la importancia de las variables del medio, se desarrolló utilizando la extensión *model builder* del software ArcView 3.2 y generó mapas de sitios óptimos para el desarrollo de las actividades.

Los mapas de sitios óptimos se integraron en un mapa final que selecciona la actividad más importante según los lineamientos cuando el sitio tiene potencial para desarrollar más de una actividad. Para producirlo se utilizó el software ERDAS *imagine*.

RESULTADOS

Los municipios de Rayones y Montemorelos concentran la mayor parte del terreno óptimo para la conservación de los fragmentos útiles como zonas de amortiguamiento. Para financiar la protección de estos fragmentos se debe fortalecer el ecoturismo, pues Montemorelos se encuentra muy cerca de varios núcleos poblacionales. Rayones no ofrece tal ventaja al visitante, pero su gran valor escénico hace plausible tales actividades. También es importante fortalecer la investigación de la riqueza, la ecología y las interacciones que ocurren en estos fragmentos, con el fin de promover conservación mediante financiamientos para la conservación de grupos taxonómicos específicos (figura 5-1).

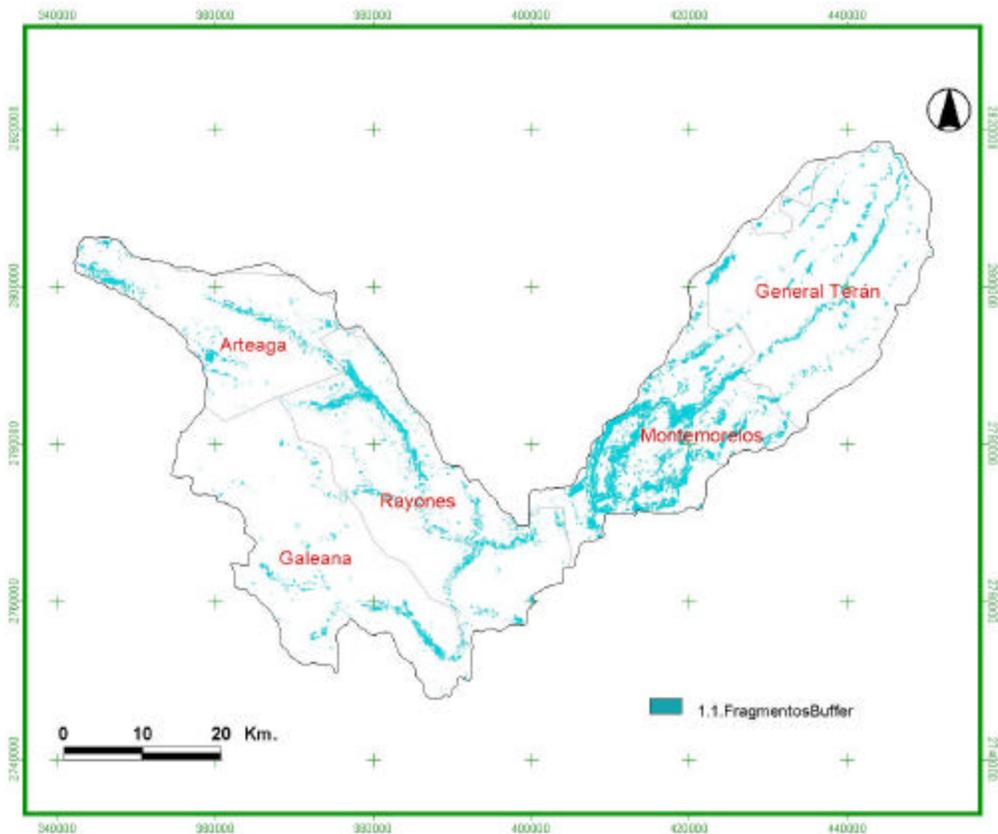


Figura 5-1. Sitios óptimos para la conservación de fragmentos útiles como zonas de amortiguamiento.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

Los taludes en Rayones y Galeana frecuentemente afectan las vías de comunicación, por ello se deben conservar fragmentos de vegetación saludable con el fin de evitar daños en la carretera y el arrastre de suelo hacia Montemorelos y General Terán. Además de mantener la cubierta vegetal actual se debe promover la calidad del sitio mediante operaciones forestales, actividades que pueden financiarse con apoyo de programas federales (figura 5-2).

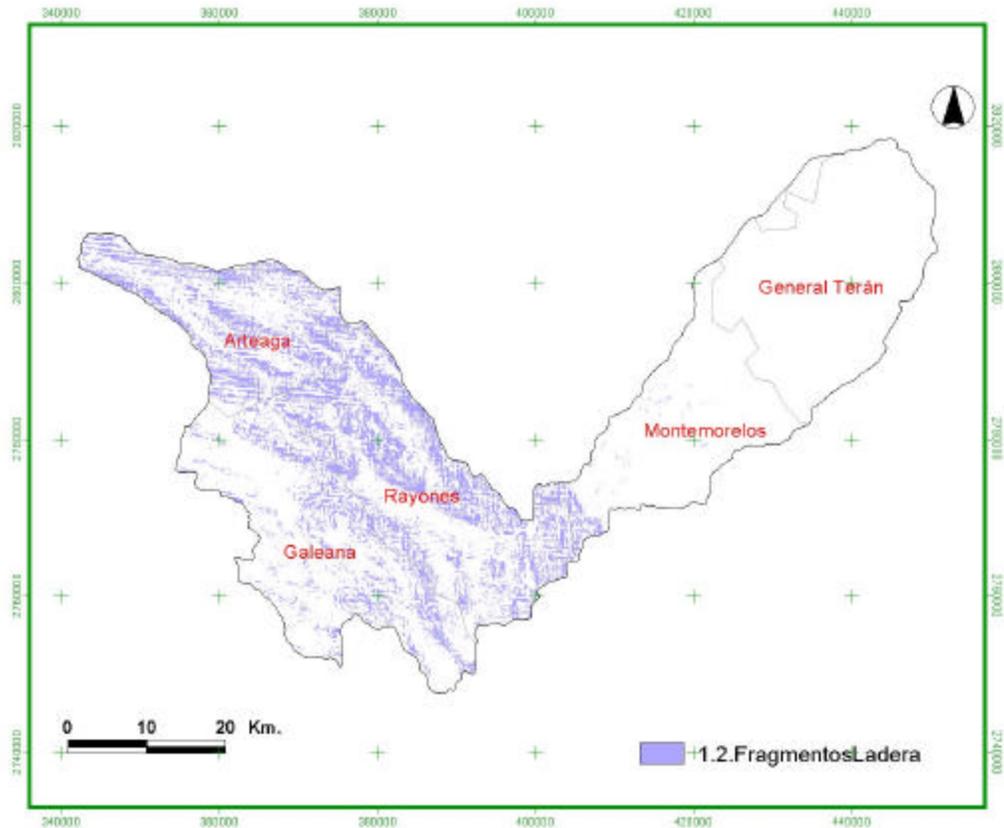


Figura 5-2. Sitios óptimos para la conservación de fragmentos útiles para estabilización de laderas

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

En Montemorelos y General Terán las actividades agroforestales del tipo agro silvícola deben fortalecerse. En esta zona es necesario incrementar la productividad agrícola mejorando el proceso de preparación del suelo, implementando la rotación y enriquecimiento de cultivos, estableciendo el manejo de rastrojos y apoyando el mantenimiento de sistemas de riego y la siembra de especies forestales multipropósito. Para ello se recomienda ampliar la influencia de instituciones tales como el INIFAP, la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León y los gobiernos municipales promoviendo una mayor interacción con los productores agrícolas mediante programas de extensión y de investigación aplicada (figura 5-3).

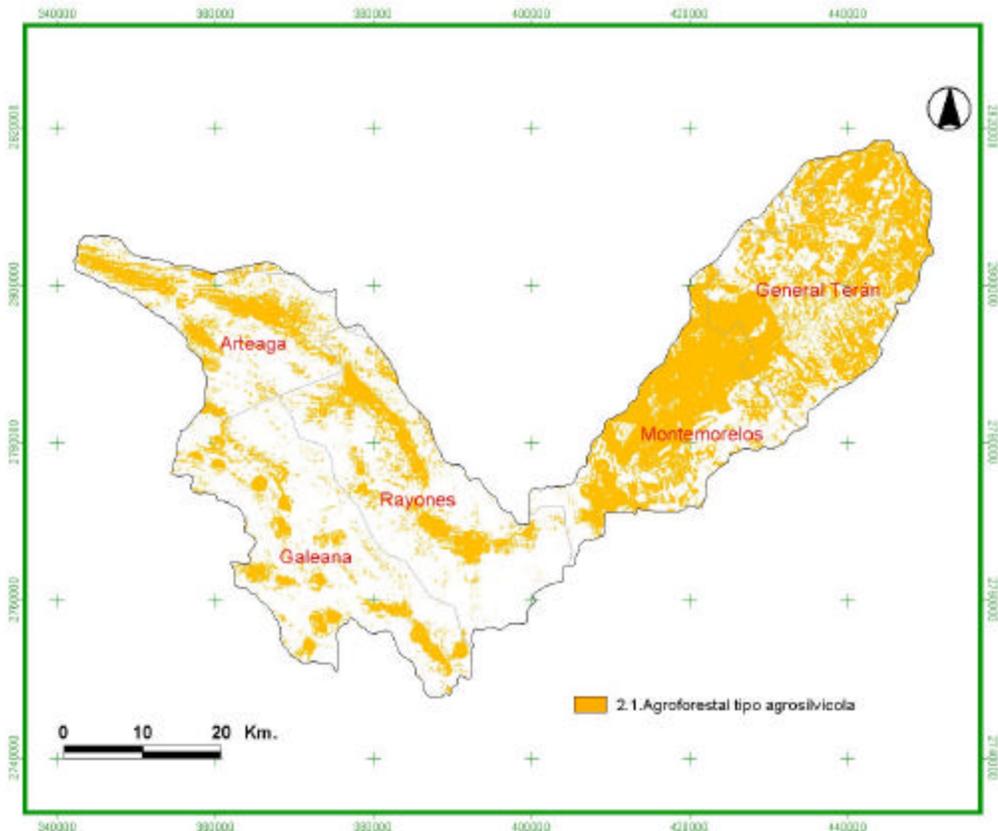


Figura 5-3. Sitios óptimos para el desarrollo de sistemas agroforestales del tipo agro silvícola

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

La mayoría de sitios óptimos para el establecimiento de sistemas agroforestales del tipo pastoril silvícola, se encuentra en Montemorelos y General Terán. Para el manejo de estos sistemas se recomienda la rotación de cultivos introduciendo especies de alto valor nutritivo y el manejo de rastrojos. Se considera necesaria también la introducción de cercos vivos y de especies de árboles nativos para que funjan como sombra. Especialmente importante en el manejo de estos sistemas será limitar y rotar el pastoreo de las cabras, ya que reducen la regeneración y pueden causar serios daños a las especies nativas, además de contribuir a la compactación del suelo (figura 5-4).

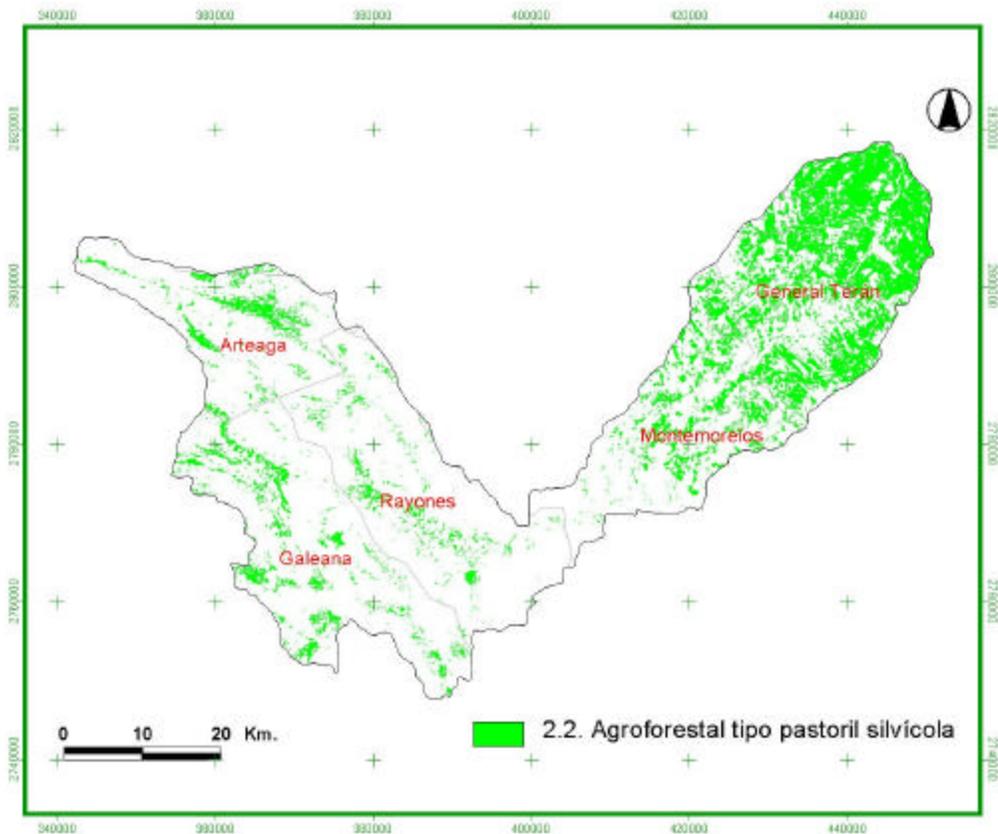


Figura 5-4. Sitios óptimos para el establecimiento de sistemas agroforestales del tipo pastoril silvícola.

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

Gran parte del territorio de la cuenca es susceptible de ser restaurado en sus bosques y matorrales, sin embargo es necesario recordar que la restauración sólo puede llevarse a cabo en aquellas zonas donde no compita con otras actividades.

Para la restauración de bosques y matorrales se recomienda detectar los sitios donde la vegetación ha sido removida para sembrar en ellos las especies nativas de acuerdo al tipo de vegetación original (figura 5-5).

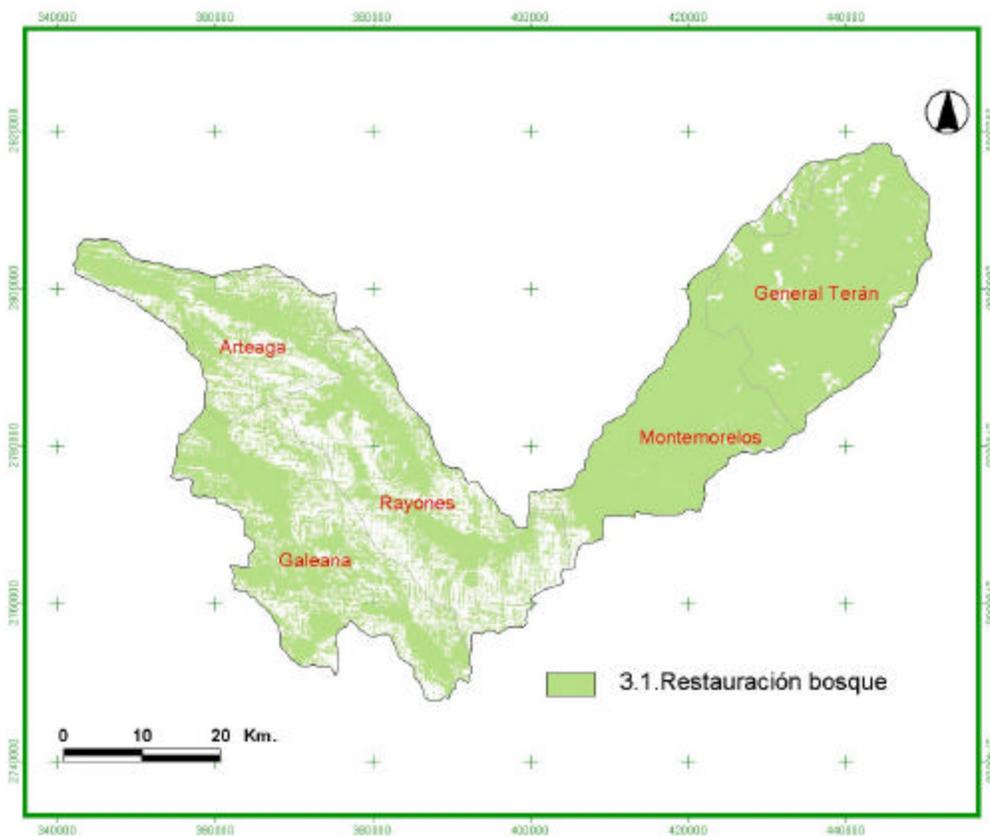


Figura 5-5. Sitios óptimos para la restauración de bosques y matorrales

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

Los sitios óptimos para la restauración de laderas se localizan sobre todo en los municipios de Rayones y Galeana. En estas zonas conviene establecer sistemas de surcos y empalizadas para reducir el impacto del agua de escorrentía. Estas zonas deberán ser inicialmente plantadas con especie de alta capacidad de adaptación tales como el cenizo (*Leucophyllum frutescens*) y posteriormente enriquecidas con especies de mayor importancia ecológica (figura 5-6).

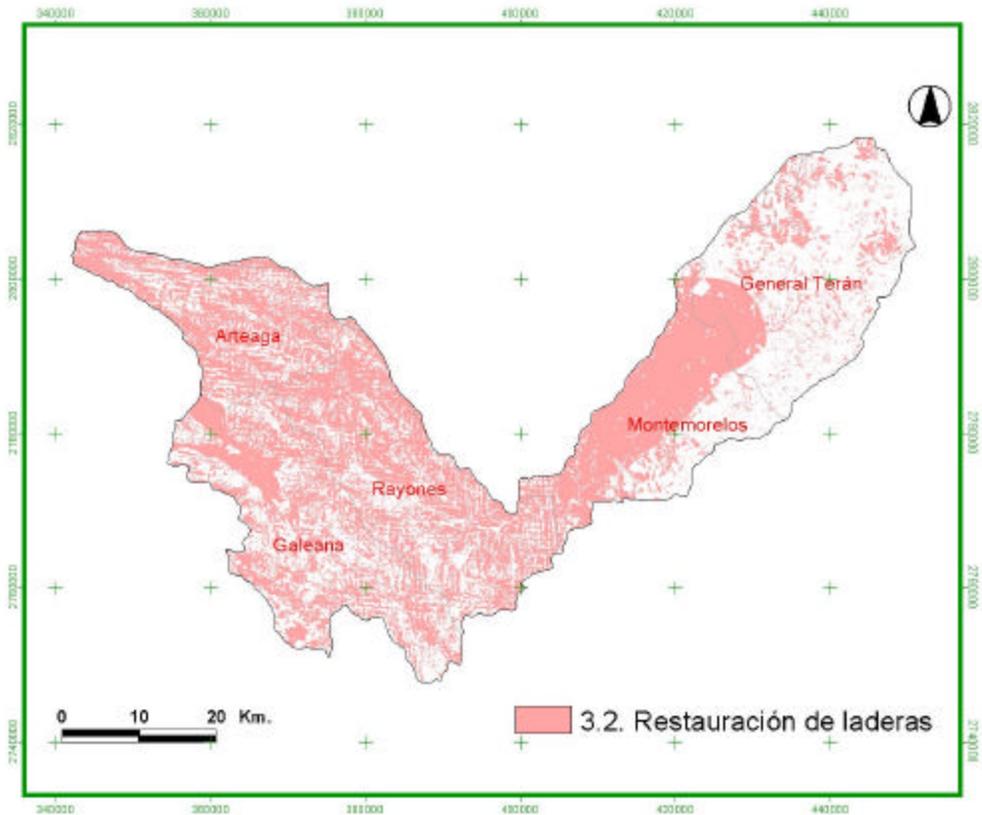


Figura 5-6. Sitios óptimos para la restauración de laderas

Modelos geo-espaciales para el manejo de los recursos naturales

Las actividades de restauración de la vegetación riparia requieren del inventario y estudio de la estructura de la vegetación remanente, con el fin de tratar de re establecer las condiciones originales. El éxito de estas actividades dependerá también del establecimiento de sistemas de protección de plantas recién introducidas. También depende de la participación de los habitantes de las localidades cercanas, para lo cual se requeriría implementar un programa de participación y educación ambiental para el manejo del río y establecer o fortalecer los comités de vigilancia de las riberas (figura 5-7).

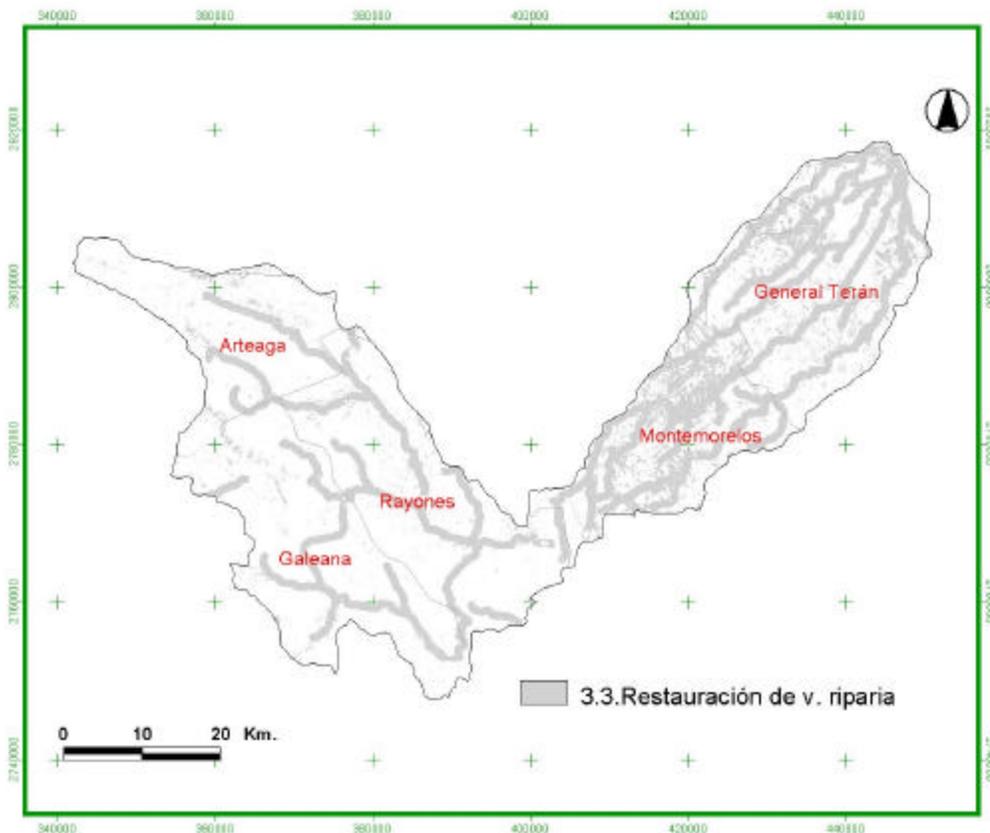


Figura 5-7. Sitios óptimos para la restauración de vegetación riparia

De la sobreposición de sitios óptimos para las actividades recomendables, se obtuvo el mapa de zonificación de actividades para el manejo de la subcuenca. Este se muestra en la figura 5-8. Es evidente la reducción de territorio designado para la restauración, ya que ésta no puede llevarse a cabo si no se han satisfecho primero las necesidades básicas de la sociedad.

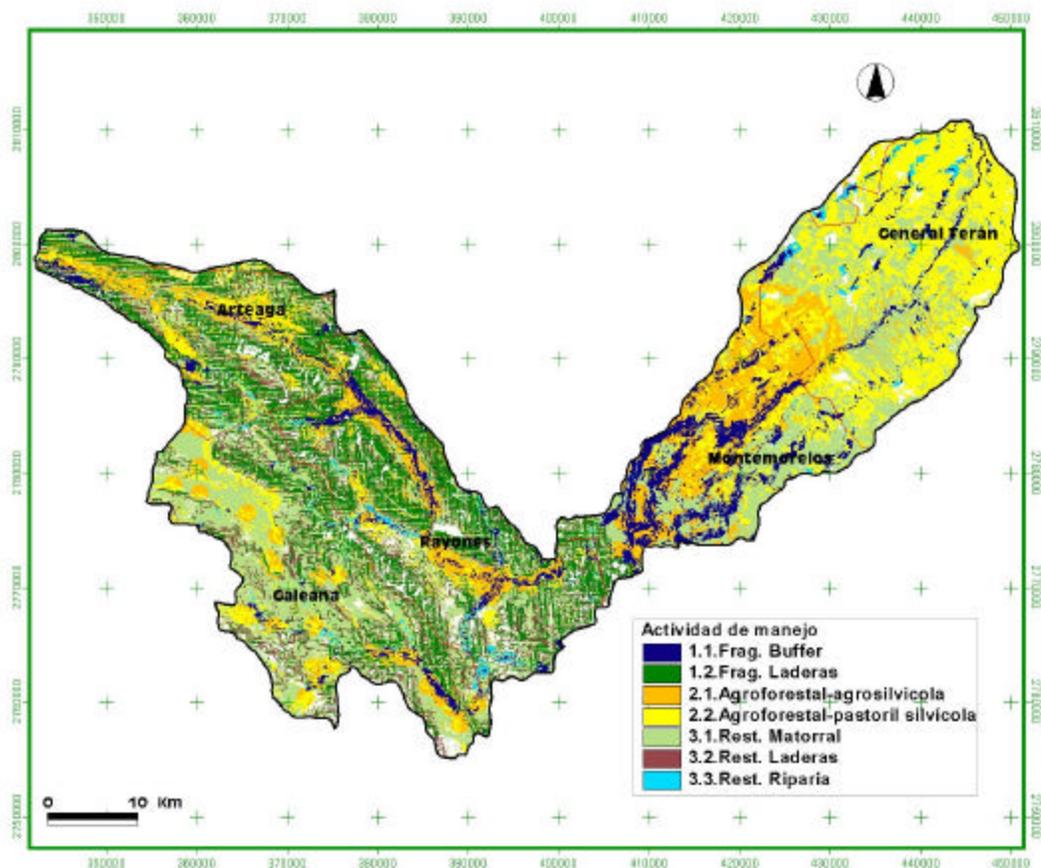


Figura 5-8. Zonificación de actividades para el manejo de la subcuenca.

CONCLUSIONES

La zonificación respeta las características físicas y biológicas de la subcuenca e incorpora tanto los patrones de cambio de uso del suelo, como su riesgo de degradación. Es por ello que no sorprende que en gran parte de la superficie de Rayones y Galeana se recomienden actividades de conservación; mientras que en Montemorelos y General Terán se recomiendan más las actividades productivas.

De este modo, la zonificación cumple con el objetivo de conciliar las necesidades de producir y de conservar los recursos de la subcuenca.

LITERATURA CITADA

1. Cantú, C.; Sariñana, R.; Rodríguez, G.; González, F.; Treviño, E.; Rocha, L. y Hernández, S. (1999). Evaluación e inventarios de áreas naturales susceptibles para la conservación ecológica en Nuevo León. Monterrey Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León -SEMARNAP Nuevo León- Subsecretaría de Ecología del gobierno del Estado de Nuevo León.
2. Diario Oficial de la Federación (28 de Enero 1998). Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
3. López, C., F. (1994). Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Publicaciones TRAGSA-Mundiprensa: Madrid. 508 p.
4. NOM-ECOL 060 (1994). Norma oficial mexicana que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal. Diario Oficial de la Federación: 13 de Mayo de 1994. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
5. NOM-ECOL 062 (1994). Norma oficial mexicana que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad que se ocasionen por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios. Diario Oficial de la Federación: 13 de Mayo de 1994. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
6. Pronatura Noreste. (1998). Zonas prioritarias de conservación en el Noreste de México. Memorias del taller de conservación 1998. Monterrey, Nuevo León, México: autor.
7. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2001). Plan estratégico forestal. México, D. F: Autor. 173 p.