La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. El caso de Michoacán de Ocampo

Gerardo Bocco*
Manuel E. Mendoza*
Alejandro Velázquez**
Alejandro Torres*

Recibido: 11 mayo de 1999.
Aceptado en versión final: 2 de agosto de 1999.

Resumen. El proceso de organización territorial es un ejercicio de síntesis interdisciplinaria que requiere de una cantidad sustancial de datos espaciales y atributos territoriales, en un eje temporal específico. Uno de los supuestos para la ejecución de los diferentes pasos de ordenamiento es la definición de unidades espaciales apropiadas, que sirvan como base territorial para evaluar la oferta ambiental y la demanda social, por un lado, y su manejo para efectos de planificación sectorial y espacial, por otro.

El objetivo de este trabajo es proponer un modelo de regionalización geomorfológica que sirva de base a la regionalización ecológica, como un estudio piloto, para el estado de Michoacán. Se formulan y describen los elementos de leyendas que son susceptibles de operar como modelos espaciales para los esquemas cartográficos a nivel regional (de reconocimiento, 1:250 000, apta para el nivel estatal). Asimismo, se formulan leyendas ligadas al nivel nacional y se describen las estrategias para bajar en forma anidada (jerárquica) al nivel de semidetalle (1:50 000, apto para municipios).

Palabras clave: Regionalización geomorfológica, regionalización ecológica, unidades espaciales, planificación regional y sectorial, Michoacán, México.

Abstract. Land use procedures represent an interdisciplinary synthesis that need an important set of spatial and non spatial databases, in a specific temporal axis. Land use planning assumes a landscape delimitation to evaluate the environmental offer and social demand; both are useful in sectorial and spatial planning.

The main objetive of this paper is to propose a model of geomorphological regionalization as a basis of ecological regionalization. A pilot study in the State of Michoacán, in Central Mexico is present. The principal elements to define legends have been formulated and described; those may act as spatial models at regional levels (reconnoissance at 1:250 000, useful to state level). In addition, methods to zoom in at lower levels are proposed.

Key words: Geomorphological regionalization, ecological regionalization, spatial units, regional and sectorial planning, Michoacán, Mexico.

INTRODUCCIÓN

El proceso de ordenamiento u organización del territorio, incluyendo la planeación del desarrollo, consiste en formular un compromiso adecuado entre la oferta de los recursos naturales, por un lado, y la demanda de los actores sociales, por otro, en un espacio específico y en un tiempo determinado. Este modelo debe expresarse en decisiones contenidas en documentos (mapas e informes), que deben ser analizados, aprobados por consenso e implementados por la comunidad y uno o más niveles de gobierno, para desembocar en el proceso de planificación.

El proceso de organización territorial es un ejercicio de síntesis interdisciplinaria que requiere de una cantidad sustancial de datos espaciales y atributos territoriales, en un eje temporal específico. Uno de los supuestos para la ejecución de los diferentes pasos del ordenamiento es la definición de unidades espaciales apropiadas, que sirvan como base territorial para evaluar la oferta ambiental y la demanda social, por un lado, y su manejo para efectos de planificación sectorial y espacial, por otro (véase revisión teórica en Mendoza y Bocco, 1998).

* Instituto de Ecología, Campus Morelia, Apdo. Postal 3-27 (Xangari), 58089, Morelia, Michoacán, México. E-mail: gbocco@oikos.unam.mx
** Facultad de Ciencias, UNAM, México.

ENFOQUE Y OBJETIVOS

Las unidades espaciales deben describir tanto los componentes relativamente estables del terreno (roca, forma del relieve y suelos, en forma integrada), como los menos estables, cuya tasa de cambio en el tiempo es más alta (vegetación y uso del suelo, fauna). Ambos componentes se pueden combinar en unidades integrales de paisaje (o de ecología del paisaje), cuando sea conveniente, utilizando las ventajas de las bases de datos espaciales de un sistema de información geográfica (SIG).

Los componentes de estas unidades territoriales homogéneas se definen mediante la utilización de técnicas de observación del terreno, cartografía digital y verificación selectiva en el campo. El modelo espacial subyacente es una leyenda y su diseño a modo de bases de datos espaciales y sus atributos. Como estas unidades territoriales deben ser aptas para modelar varios niveles (nacional, estatal, municipal), y por tanto diversas escalas, se debe utilizar un enfoque jerárquico y multiescalar, que permita moverse de lo general a lo particular, y viceversa.

El objetivo de este trabajo es proponer un modelo de regionalización geomorfológica que sirva de base a la regionalización ecológica, como estudio piloto, para el estado de Michoacán. Se formulan y describen los elementos de leyendas que son susceptibles de operar como modelos espaciales para los esquemas cartográficos a nivel regional (de reconocimiento, 1:250 000, apta para el nivel estatal). Asimismo, se formulan leyendas ligadas al nivel nacional y se describen las estrategias para bajar en forma anidada (jerárquica) al nivel de semidetalle (1:50 000, apto para municipios).

Esta clasificación de paisaje tiene una estructura jerárquica y está orientada a ofrecer la base físico-geográfica para ejecutar el proceso de evaluación de tierras (aptitud), imprescindible para llevar a cabo el ordenamiento ecológico del territorio.

En este trabajo se parte del supuesto de que la regionalización geomorfológica (a diferentes escalas) proporciona la base espacial para la delimitación de otros componentes del medio natural (generalmente modificado por diferentes grados de intervención antrópica). El papel de la geomorfología, y más específicamente de la cartografía geomorfológica, ha sido reconocido en México desde hace más de una década (Bocco y Palacio, 1982). Asimismo, está en la base de la mayoría de las estrategias de clasificación del terreno y el paisaje, toda vez que las características del sustrato abiótico (controladas por el tipo de roca, expresado en un relieve concreto modificado por las condiciones climáticas) lo hacen aceptablemente susceptible de ser segmentado (discretizado) en unidades relativamente homogéneas (zonificación de relieve o paisaje geomorfológico y formas de relieve).

Los suelos y la vegetación, en cambio, varían más a lo largo de gradientes, menos aptos para ser segmentados en unidades discretas. Sin embargo, la relación coherente y sistemática de las unidades geomorfológicas y su cobertura (vegetación y uso actuales) permite discretizar el paisaje a diferentes escalas, mismas que representan diferentes niveles de conceptualización.

Para garantizar coherencia en relación con esquemas generales de cartografía (nacionales o continentales), el enfoque que se presenta aquí está ligado a la leyenda propuesta por la Comisión de Cooperación Ambiental en su proyecto de Regiones Ecológicas de América del Norte (CCA,1995).

Se consideró conveniente, a este nivel, implementar el enfoque en forma diferenciada para la parte geomorfológica y de cobertura, respectivamente. La combinación de ambas para obtener unidades integrales se facilita por el uso de la tecnología de SIG, y se analiza al nivel de semidetalle (1:50 000).

El enfoque que se presenta aquí contempla sólo los aspectos relacionados con la geomorfología. De acuerdo con este enfoque se formularon las leyendas (estatal y local), las cuales pueden concebirse como operaciones de diseño de bases de datos geográficos y sus atributos. Para su formulación se tomó en cuenta que la ejecución de cartografía a nivel de reconocimiento y semidetalle se basa en el uso intensivo de fotografías aéreas y cartografía plani-altimétrica y temática, apoyado en verificación selectiva en el campo, además del uso de tecnologías de SIG.

En todos los casos se usaron como base materiales geográficos producidos por el INEGI. Se creó nueva información en los aspectos de relieve; en cambio, se utilizó información preexistente para topografía, geología, suelos y climas. El enfoque considera que a diferentes escalas se mapean los rasgos inequívocamente presentes en el paisaje a la escala dada, diferenciándolos a partir de criterios de discriminación reconocibles en los documentos espaciales y en el trabajo de campo.

MICHOACÁN

El estado de Michoacán de Ocampo, al igual que otras entidades del país, ha sufrido fuertes presiones sobre su ambiente, como consecuencia de un crecimiento económico y demográfico carente de planeación del uso del espacio.

Varios de los ecosistemas del estado se encuentran amenazados desde el punto de vista de la protección de su biodiversidad, importantes zonas agrícolas están sujetas a procesos acelerados de pérdida de suelos y degradación, y es común la ausencia de manejo de residuos urbanos e industriales, por mencionar sólo algunos problemas que acarrea la falta de planificación en el uso del espacio.

Michoacán de Ocampo forma parte de la región Centro Occidente de México, se localiza entre los 20°23´44" y 18°09´49" de latitud norte y los 100°04´48" y 103°44´20" de longitud oeste. Abarca una superficie de 58 836 km^2. Limita al norte con los estados de Jalisco y Guanajuato, al noreste con Querétaro, al este con el estado de México, al sureste y sur con Guerrero, al oeste con Colima y al suroeste con el Océano Pacífico (Figura 1). Se localiza en las provincias geológicas denominadas Sierra Madre del Sur y Sistema Volcánico Transversal. Los principales factores geológicos que han dado lugar al paisaje característico de la Sierra Madre del Sur son el magmatismo y el tectonismo; en la zona costera, los procesos de erosión-depositación marina, además de los fenómenos tectónicos, y en el Sistema Volcánico, han sido el vulcanismo y fenómenos asociados.

La fisiografía del territorio michoacano es una de las más accidentadas de México, con prominentes elevaciones y notables depresiones; tales características resultan de la confluencia en la entidad de cinco grandes unidades naturales: Planicie Costera, Sierra Madre del Sur, Depresión del Balsas, Sistema Volcánico Transversal y Altiplanicie Mexicana.

Con excepción de los climas húmedos y áridos extremosos, los tipos de clima predominantes en Michoacán son (según Köppen modificada por García, en Correa, 1974), en forma sintética, los climas templados, que dominan en el Sistema Volcánico Transversal y las porciones elevadas de la Sierra Madre del Sur; los cálido-secos en la Depresión del Balsas, y los tropicales en la sierra y la costa.

Con respecto a los suelos del área en estudio, la variedad litológica, fisiográfica y climática en Michoacán, ha permitido el desarrollo de litosoles, rendzinas, andosoles, regosoles, vertisoles y fluvisoles.

La vegetación natural incluye (Rzedowski, 1978), en zonas templadas, al bosque de coníferas representado por los siguientes tipos de vegetación: bosque de *Abies*, bosque de pinos, bosque de pino-encino y bosque de encino. En zonas cálido-secas se presenta la selva baja y mediana, la cual incluye los siguientes tipos de vegetación: bosque tropical caducifolio, bosque tropical subcaducifolio, además del bosque espinoso.

La vegetación transformada incluye los pastizales inducidos, los pastizales cultivados, el matorral secundario y el bosque cultivado. Las zonas más importantes están en la Altiplanicie Mexicana (templada) y en la cuenca del río Tepalcatepec (cálido-seca).

MARCO CONCEPTUAL Y MÉTODO

Regionalización geomorfológica jerárquica

La propuesta de regionalización geomorfológica del estado de Michoacán, base de la regionalización ecológica, es el resultado del análisis comparativo de distintos enfoques (Mendoza, 1997; Bocco *et al.*, en prep.) que se han abocado a la problemática del manejo de los recursos naturales, en general, a partir de la caracterización del ambiente. Esta labor implica el definir cuáles son las unidades diferenciables, a las distintas escalas de información espacial existente.

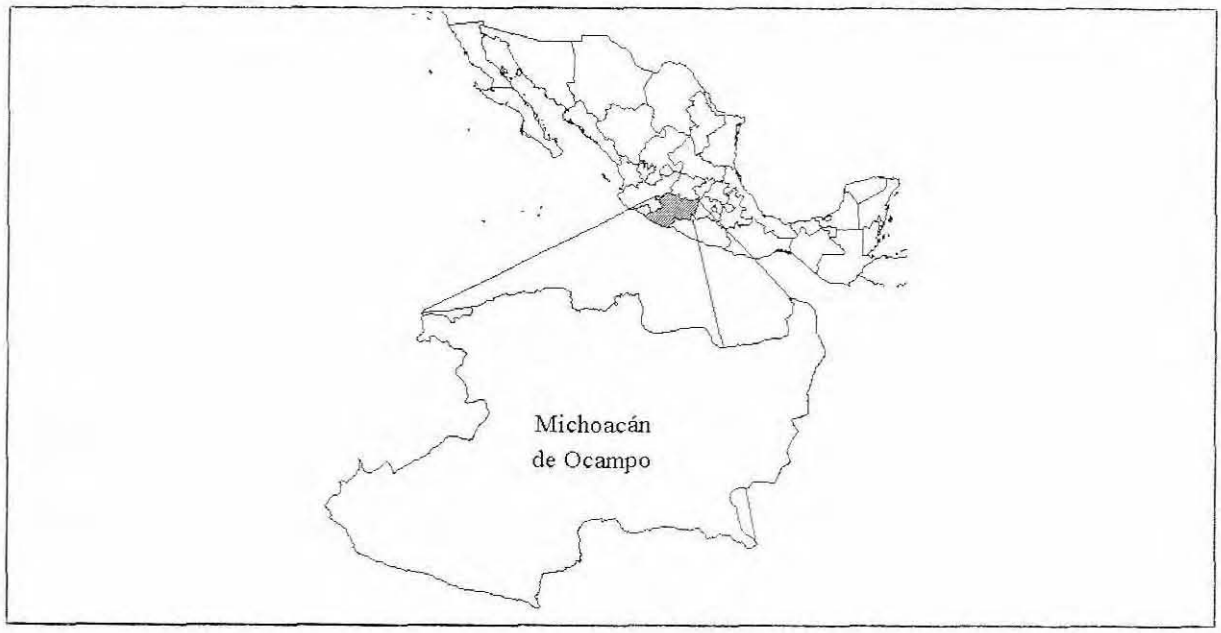

Figura 1. Localización del estado de Michoacán en la República Mexicana.

Métodos y técnicas

Los pasos metodológicos seguidos y las técnicas implementadas se describen en forma sintética en la figura 2.

Básicamente, se realizaron las siguientes operaciones de manera secuencial:

- Recopilación de la cartografía del INEGI existente para el estado, a escalas desde 1:1 000 000 hasta 1:50 000, tanto mapas topográficos como temáticos, cuando éstos estuvieron disponibles; en total se analizaron 234 mapas. Recopilación de fotografías aéreas pancromáticas blanco y negro, escala aproximada 1:75 000, de 1995 y 1996, que cubren el estado de Michoacán.
- Recopilación y análisis de la bibliografía existente sobre la geografía física del estado, y acerca de estrategias cartográficas como base para la evaluación de tierras y el ordenamiento. A la par se construyó la leyenda preliminar de carácter jerárquico, a nivel de paisaje geomorfológico.
- Los mapas temáticos analizados incluyeron el tipo de rocas, el tipo de suelos, el uso del suelo y vegetación; el tipo de clima y la fisiografía constituyen datos analógicos cuya interpretación selectiva se digitalizó.
- Interpretación de paisajes geomorfológicos (zonalidad geomorfológica) en mapas topográficos y geológicos 1:50 000 y delimitación de las unidades sobre los cinco mapas topográficos a escala 1:250 000 que cubren el estado de Michoacán. La interpretación se realizó siguiendo básicamente criterios morfométricos y morfográficos de acuerdo con los lineamientos conceptuales descritos en Mendoza (1997) y Mendoza y Bocco (1998), y verificación en campo.
- Caracterización sistemática de las unidades de paisaje geomorfológico con los tipos de suelo (INEGI) a escala 1:250 000. A la par se interpretaron los espaciomapas correspondientes, con el fin de delimitar las unidades de cobertura/uso actual de terreno.
- Una vez elaborados los mapas preliminares se procedió a la planeación de las salidas de campo. Para esto se consideraron dos aspectos

a) realizar la verificación de tantos puntos como fueran necesarios para tener representación significativa de toda la heterogeneidad detectada;

b) asegurarse de que una alta proporción de estos puntos fueran accesibles; se seleccionaron 79 en todo el estado.

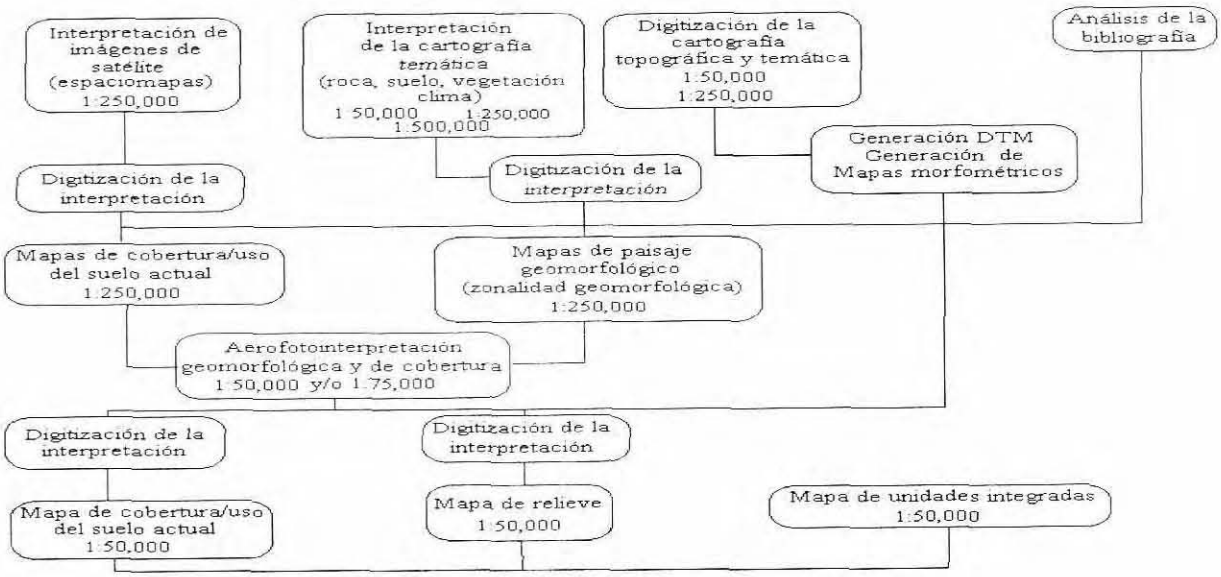

Figura 2. Diagrama de flujo con el método global de regionalización ecológica.

- Digitización (creación de bases de datos vectoriales a escala 1:250 000) de las interpretaciones de paisajes geomorfológicos y de cobertura actual.
- Interpretación con criterios morfogenéticos, morfométricos, morfográficos y morfoedafológicos sobre fotografías aéreas a escala 1:50 000 y 1:75 000 de las unidades de relieve y de cobertura en función de los tipos de vegetación y su asociación con las formas de relieve y los suelos de dos áreas piloto, en zona templada y cálido-seca (ventanas), respectivamente.
- Digitización de curvas de nivel a escala 1:50 000 y creación de modelos digitales de terreno para ambas ventanas. Elaboración de mapas hipsométricos, de relieve sombreado, de inclinación de la pendiente y perspectivas tridimensionales. Estos mapas apoyaron la interpretación aerofotográfica descrita en el punto anterior y sirvieron para mejorar la transferencia de la información.
- Digitización de los mapas de relieve (creación de las bases de datos a escala 1:50 000).
- Formulación de unidades integrales (relieve-suelos-cobertura), para cada zona climática, mediante el uso de técnicas de modelamiento cartográfico (sobreposición).

Este último procedimiento de cruzamiento puede también realizarse con los mapas generados a escala 1:250 000 si se considera necesario, ya que las clases de cobertura siguen un esquema jerárquico.

Resultados a escala regional (nivel estatal, 1:250 000)

A partir de un análisis detallado de las diferentes escuelas o corrientes metodológicas se seleccionó una clasificación jerárquica de carácter geomorfológico, a fin de lograr una propuesta metodológica de regionalización ecológica nacional y estatal.

El sistema jerárquico seleccionado fue el levantamiento geopedológico (Zinck, 1988; Mendoza y Bocco, 1998), del cual se adaptaron a las características locales, las clases ambiente morfogenético, paisaje geomorfológico (zonalidad geomorfológica), relieve/modelado, litología/facies y forma de relieve.

La entrada a la leyenda es de carácter bioclimático, y está enmarcada en la leyenda de Regiones Ecológicas de América de Norte (CCA, 1995). Cabe mencionar que la unidad litología/facies, fue conjuntada con la de relieve/modelado y renombrada como relieve, a fin de facilitar su comprensión y uso durante el proceso de trabajo.

Este sistema fue seleccionado porque las jerarquías están definidas con precisión, los rasgos apreciables a cada nivel pueden aplicarse en cualquier ambiente y, además, ofrece la posibilidad de establecer una relación coherente con otros componentes del paisaje (suelos, vegetación). Para los niveles cartografiados el mapeo es relativamente simple, cuantificable y pragmático. Se mapean los rasgos inequívocamente apreciables, es decir, lo que cualquier observador puede observar en el mapa, en la fotografía y en campo). Las consideraciones morfogenéticas, de muy alta complejidad, se manejan y analizan a niveles inferiores, lo cual presenta ventajas en la reaplicabilidad del método a escala regional (Cuadro 1).

Cuadro 1. Uso de atributos del terreno según importancia relativa (simplificada de Zinck,1988)

Atributos	Paisaje	Relieve	Forma de terreno
Pendiente del terreno	X	x	x
Perfil topográfico		x	x
Exposición		x	x
Configuración		x	x
Arreglo de las curvas de nivel	X	x	x
Granulometría		o	x
Estructura			x
Mineralogía			x
Consistencia			x
Morfoscopía			x
Grado de intemperismo de las partículas			x
Grado de desarrollo del suelo			x
Mineralogía de arcillas			x
Indices de lixiviación			x
Complejo de absorción			x
Amplitud de relieve	X	x	o
Morfométricos			
Densidad de valles	X	x	
Morfográficos			
Forma topográfica	X	o	
Patrón del drenaje	X	x	
Condiciones limítrofes			
Morfogenéticos			
Morfocronológicos			

x = atributo muy importante.
o = atributo moderadamente importante.

Las unidades que se utilizan dentro del actual proyecto son ambiente morfogenético cartografiable a escala 1:1 000 000 y menores, *correlacionables con el nivel III o IV del esquema* de Eco-regiones de América de Norte (CCA, 1995); paisaje geomorfológico (equivalente a zonalidad geomorfológica; véase entre otros *Bocco y Palacio, 1982*), *cartografiable a escala* 1:250 000 y menores, y relieve, cartografiable a escala 1:50 000 y mayores (Cuadro 2).

En este trabajo se implementó hasta el nivel de paisaje geomorfológico para todo el estado, y a nivel de relieve para dos zonas piloto en climas templado y cálido-seco, respectivamente, indi*cándose así la forma de abordar unidades a* mayor detalle En otras palabras, se manejaron dos niveles, uno de reconocimiento y otro de semidetalle. Este último nivel es apto para proseguir con los procesos de evaluación de tierras y *ordenamiento territorial*. Por este motivo se enfatizó la formulación de unidades integradas para este nivel.

El enfoque jerárquico de este sistema se basa en la delimitación de rasgos a partir de una mayor abstracción y generalización de información para las unidades mayores; mientras que las unidades menores se delimitan mediante un proceso de análisis con mayor detalle (Figura 3). Las unidades mayores siempre implican una utilización menor de atributos, contrariamente a las unidades mayores (Cuadro 2).

Cuadro 2. Esquema básico de la clasificación taxonómica (modificado de Zinck, 1988)

Nivel	Concepto genérico
4	Ambiente morfogenético
3	Paisaje geomorfológico
2	Relieve
1	Forma de relieve

↑ Abstracción y generalización (menos atributos)

Análisis y detalle ↓ (más atributos)

↑ clasificación

↓ identificación

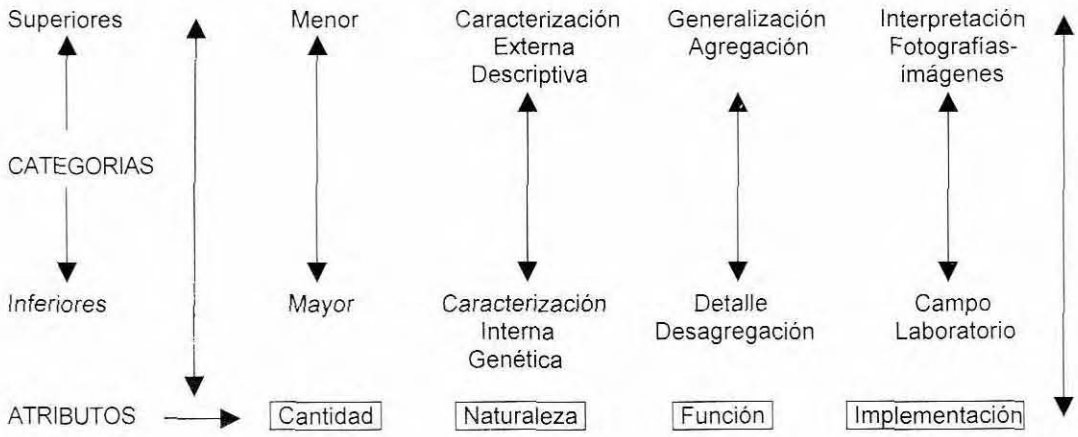

Figura 3. Descripción de la importancia relativa de los atributos de terreno (simplificada de Zinck, 1988).

Se diferencian cuatro ambientes morfogenéticos para el estado de Michoacán denominados Sistema Volcánico Transversal (volcánico), Sierra Madre del Sur (tectónico-denudativo), Depresión del Balsas (tectónico) y Tierras Bajas Costeras (tectónico-denudativo), que a su vez se subdividieron en unidades menores según los criterios mencionados.

Los tres primeros ambientes morfogenéticos diferenciados se ligan con las unidades cartografiadas en los niveles II y III de las Eco-regiones de América del Norte. Las Tierras Bajas Costeras constituyen una unidad diferenciable de la Sierra Madre del Sur y corresponden a la unidad de Lomeríos y Planicies de la Costa Pacífica de las Eco-regiones. El resultado del análisis se presenta en el Cuadro 3. Dos mapas generalizados y representativos de la regionalización se presentan en las Figuras 4 y 5.

Cuadro 3. Leyenda de la Regionalización Geomorfológica

Leyenda geomorfológica jerárquica del estado de Michoacán hasta el nivel de paisaje geomorfológico
1 Ambiente Morfogenético
Sistema Volcánico Transversal
Paisaje geomorfológico
Planicies
Altiplanicies
Piedemontes
Colinas
Lomeríos bajos
Lomeríos altos
Sierras
2 Ambiente Morfogenético
Sierra Madre del Sur
Paisaje geomorfológico
Valles
Altiplanicies
Colinas
Piedemontes
Lomeríos bajos
Lomeríos altos
Sierras
3 Ambiente Morfogenético
Depresión del Balsas
Paisaje geomorfológico
Valles fluviales
Planicies acumulativas
Piedemontes
Lomeríos bajos
Lomeríos altos
Sierras
4 Ambiente Morfogenético
Tierras Bajas Costeras
Paisaje geomorfológico
Planicies fluviomarinas
Deltas

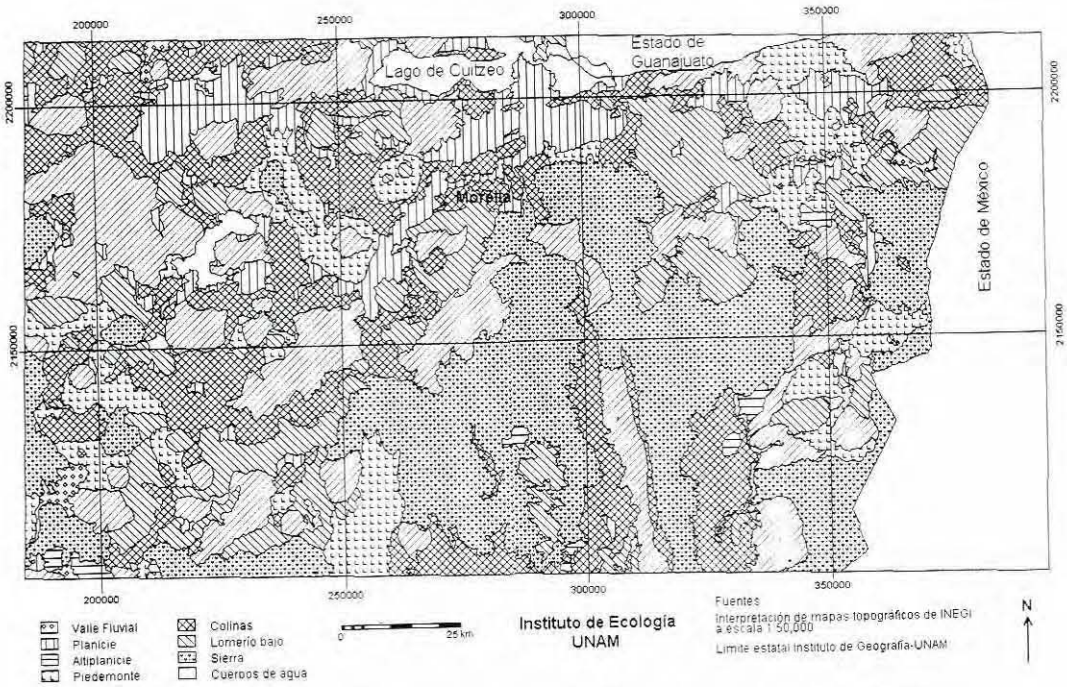

Figura 4. Mapa de paisajes geomorfológicos de la hoja Morelia E14-1.

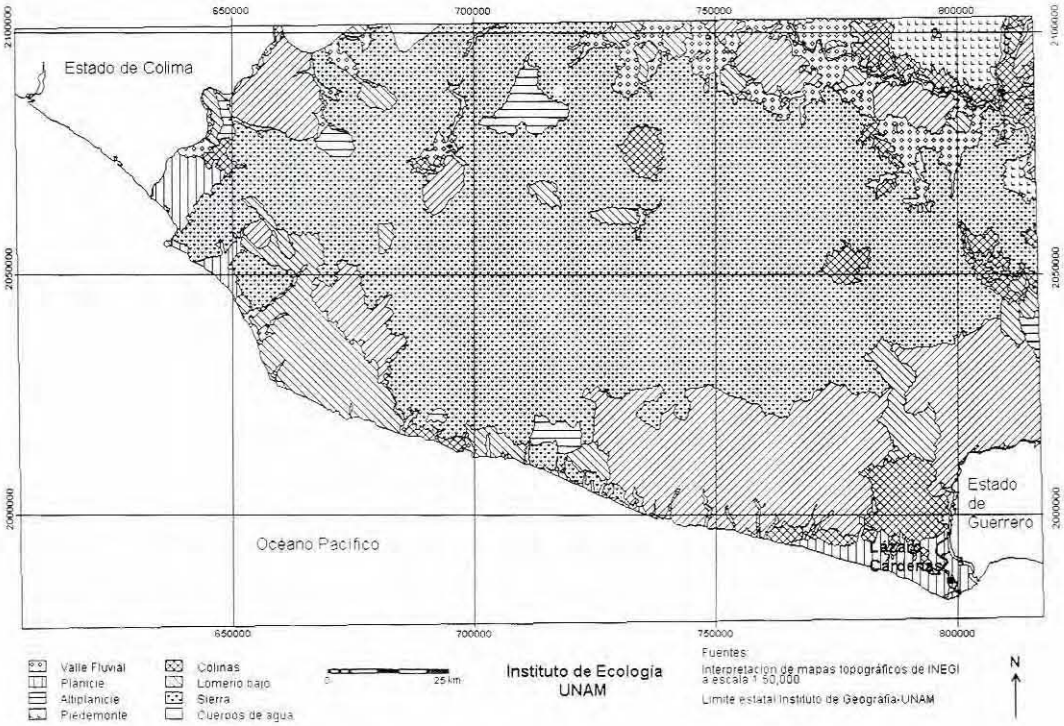

Figura 5. Mapa de paisajes geomorfológicos de la hoja Guerrero E13-6-9.

Las unidades sin relieve positivo importantes son:

- *Valles:* paisajes relativamente planos resultado de la acción fluvial, generalmente limitados por formas transicionales o positivas. La pendiente dominante es inferior a 3° y su amplitud puede variar de acuerdo con su extensión longitudinal.
- *Planicies:* paisajes sin relieve, independientemente de su génesis, pero excluyendo la actividad fluvial. Pendiente inferior a 3°, amplitud en general menor a 100 m, dependiendo de su magnitud.
- *Altiplanicies:* paisajes relativamente planos flanqueados por al menos una ladera fuertemente inclinada (altura relativa a partir del rompimiento de la pendiente de la ladera menor a 100 m y pendientes menores a 6°).
- *Paisajes pedemontanos:* unidades transicionales entre un relieve positivo y la planicie de nivel de base local. Presenta pendientes menores a 10°, la amplitud de relieve puede variar considerablemente de decenas a cientos de metros.

Dentro de las elevaciones se diferenciaron cuatro niveles, descritos a continuación:

- Nivel I. *Colinas:* elevaciones suaves, con pendientes superiores a 3° y menores a 8° con alturas relativas menores a 250 m.
- Nivel II. *Lomeríos bajos:* elevaciones más abruptas que las del nivel anterior, con alturas relativas mayores a 250 m e inferiores a 500 m, y pendientes que oscilan entre 6° y 20°.
- Nivel III. *Lomeríos altos:* elevaciones con alturas relativas mayores a 500 m y menores a 1 000 m, y pendientes variables entre 20° y 45°.
- Nivel IV. *Sierra:* elevaciones abruptas con pendientes superiores a los 30° y alturas relativas superiores a los 1 000 m, pero menores a 4 000 m.

INTEGRACIÓN

El Cuadro 4 describe un primer nivel de integración a escala 1:250 000. Esto es factible porque los datos se almacenan y analizan en bases de datos digitales del sistema de información geográfica. En todos los casos se debe tener en cuenta que las unidades geomorfológicas a cualquier nivel son las que permiten segmentar el terreno en unidades discretas y a cada una de ellas le corresponderá uno o más tipos de cobertura/uso de suelo dominante. Estas consideraciones también son válidas para la integración a un nivel más detallado.

Utilizando una estrategia similar de integración se puede realizar la misma operación de síntesis de unidades relativamente homogéneas a cualquier escala. Esto es posible por las características jerárquicas de ambos sistemas de mapeo (biótico y abiótico) y su implementación en un sistema automatizado de bases de datos geográficos. De esta manera, se puede segmentar el territorio de acuerdo con parámetros fisioecogeográficos sin necesidad de recurrir a nombres de lugares (enfoque corográfico).

Cuadro 4. Integración geomorfología cobertura/uso de suelo bajo un esquema jerárquico a nivel reconocimiento. Ligada al proyecto de Eco-regiones de América del Norte

Nivel I	Sierras templadas		Selvas cálido secas	
Nivel II	Sistema Volcánico Transversal Bosque	Sierra Madre del Sur Bosque	Depresiones intermontanas Selva	Planicies Costeras y Lomeríos del Pacífico Selva
Nivel III	Lomeríos y Sierras Bosque de Coníferas y o Encino	Planicies interiores y Piedemontes Matorral Xerófilo y Pastizal	Depresión del Balsas Selva Caducifolia y Matorral Xerófilo	Planicies Costeras y Lomeríos Selva Caducifolia y Matorral Xerófilo

RESULTADOS A ESCALA LOCAL (NIVEL MUNICIPAL, 1:50 000)

Se implementó el enfoque en dos áreas piloto para verificar su aplicación de manera anidada e integrada. La primera de las áreas corresponde a una zona templada localizada en las cercanías de la ciudad de Morelia, la segunda en una zona cálida ubicada en la costa central de Michoacán (Torres *et al.*, 1997).

Estudio de caso de la Zona Templada: Cerro del Águila (Municipio de Morelia)

En el Cuadro 5 se presentan las clases de paisaje geomorfológico y relieve que describen la variabilidad de la zona del Cerro del Águila. Las clases cartografiadas de cobertura y uso de suelo fueron: bosque de encino, bosque de encino y pino, bosque de pino y encino, matorral xerófilo, pastizal inducido, cultivos anuales, suelo desnudo y asentamientos humanos.

Cuadro 5. Paisajes geomorfológicos y relieve del Cerro del Águila

1. *Planicie* Planicie sobre sedimentos aluviales. Mesa de lava sobre derrames básicos. Frente de mesa en rocas básicas.	4. *Lomerío alto* Ladera suave en rocas básicas. Ladera inclinada en rocas básicas. Cono de escoria.
2. *Pedemontano* Piedemonte superior en rocas básicas con una importante cubierta de piroclastos, geometría cóncava. Piedemonte superior en rocas básicas con una ligera cubierta de piroclastos, geometría convexa. Piedemonte inferior desarrollado en clastos lávicos básicos. Superficie cumbral del piedemonte inferior. Cono de escoria. Mesa de lava sobre derrames básicos. Frente de mesa en rocas básicas. Planicie sobre sedimentos aluviales.	5. *Colinas* Piedemonte no diferenciado en rocas básicas. Ladera suave en rocas básicas. Ladera inclinada en rocas básicas. Superficie cumbral en rocas básicas. Colada de lava basáltica cubierta con tefra. Colada de lava basáltica sin cobertura de tefra. Mesa de lava sobre derrames básicos. Frente de mesa en rocas básicas. Cono de escoria.
3. *Lomerío bajo* Ladera suave en rocas básicas. Ladera inclinada en rocas básicas. Planicie sobre sedimentos aluviales. Superficie cumbral en rocas básicas.	6. *Sierra* Ladera suave en rocas básicas. Superficie cumbral. Cono de escoria. Colada de lava basáltica cubierta con tefra. Colada de lava basáltica sin cobertura de tefra. Planicie sobre sedimentos aluviales.

Las clases integradas mediante sobreposición cartográfica automatizada de suelos y cobertura se presentan en el Cuadro 6. En la Figura 6 se presenta un mapa generalizado de las clases integradas.

Estudio de caso de la Zona Cálido-Seca (Porción de la zona costera, Municipio de Aquila)

En el Cuadro 7 se presentan las clases de paisaje geomorfológico y relieve que describen la variabilidad de una porción de la costa de Michoacán.

Las clases cartografiadas de cobertura y uso de suelo fueron: selva caducifolia, selva caducifolia-pastizal, cultivos anuales, cultivos permanentes.

Las clases integradas mediante sobreposición cartográfica automatizada de suelos y cobertura se presentan en el Cuadro 8, y en la Figura 7 se presenta un mapa generalizado de las clases de mapeo integradas.

Cuadro 6. Leyenda integrada de relieve-suelo-cobertura a nivel semidetalle

■ Planicie sobre sedimentos aluviales con vertisol-feozem y cultivos anuales.
■ Mesa de lava sobre derrames básicos con feozem y cultivos anuales.
■ Frente de mesa en rocas básicas con feozem y cultivos anuales y matorral xerófilo.
■ Piedemonte no diferenciado en rocas básicas con acrisol-luvisol y cultivos anuales.
■ Piedemonte superior en rocas básicas con una importante cubierta de piroclastos, geometría cóncava con acrisol-luvisol y cultivos anuales y pastizal.
■ Piedemonte superior en rocas básicas con una ligera cubierta de piroclastos, geometría convexa con acrisol-luvisol y cultivos anuales, pastizal, matorral xerófilo y bosque de encino.
■ Piedemonte inferior desarrollado en clastos lávicos básicos con acrisol-luvisol y cultivos anuales.
■ Superficie cumbral del piedemonte inferior con acrisol-luvisol y cultivos anuales.
■ Cono de escoria con andosol y cultivos anuales y matorral xerófilo.
■ Ladera suave en rocas básicas con andosol-feozem-acrisol y cultivos anuales y matorral xerófilo.
■ Ladera inclinada en rocas básicas con andosol y bosque de encino y bosque de encino-pino y bosque de pino-encino.
■ Superficie cumbral en rocas básicas con andosol y cultivos anuales.
■ Colada de lava basáltica cubierta con tefra con andosol y matorral xerófilo.
■ Colada de lava basáltica sin cobertura de tefra con litosol y matorral xerófilo.

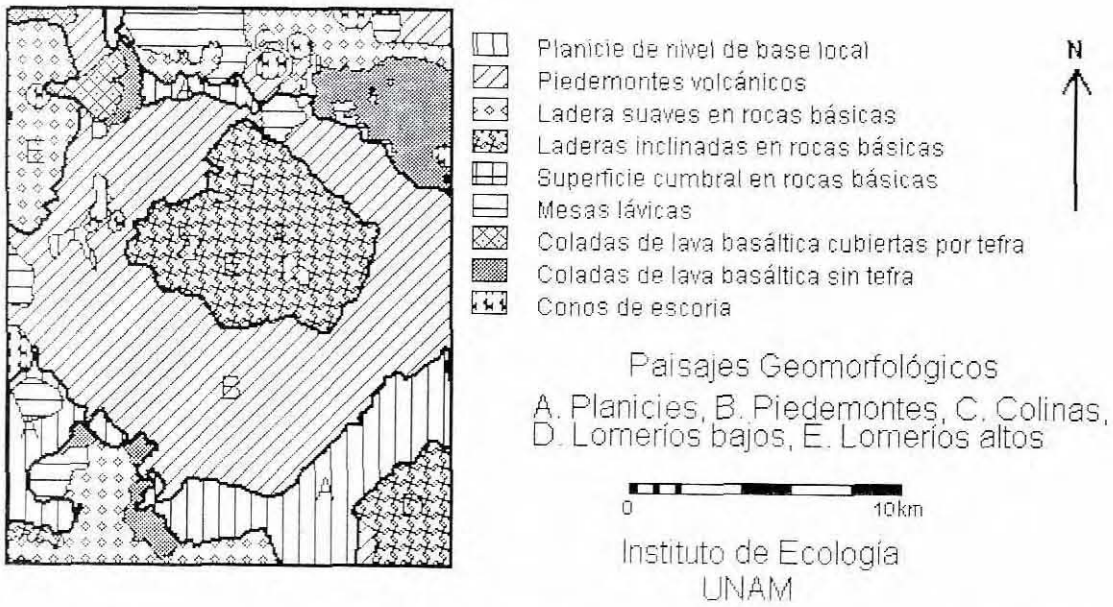

Figura 6. Mapa de unidades integradas simplificadas del Cerro del Águila, Michoacán, México (zona templada).

Cuadro 7. Paisajes geomorfológicos de una porción de la zona costera de Michoacán

1. *Planicies* Planicie costera en aluvión y sedimentos arenosos. Cordón costero sobre sedimentos arenosos. Playa baja desarrollada sobre arenas. 2. *Altiplanicies* Mesa casi plana sobre calizas. Escarpa modelada sobre calizas. Ladera inclinada sobre calizas. Superficie cumbral. Valle erosivo. 3. *Valles* Valle acumulativo. Terraza fluvial. 4. *Colinas* Ladera suave sobre calizas. Ladera suave sobre lutitas-areniscas. Ladera suave sobre calizas y lutitas.	5. *Lomeríos bajos* Superficie cumbral sobre calizas. Ladera inclinada en calizas. Ladera suave en calizas. Valle erosivo. 6. *Lomeríos altos* Ladera inclinada en andesitas y tobas ácidas. Valle acumulativos. Ladera suave en calizas-lutitas. Ladera inclinada en calizas-lutitas. 7. *Sierras* Superficie cumbral en caliza. Ladera inclinada en lutitas-areniscas. Ladera suave en lutitas-areniscas. Ladera inclinada en rocas cristalinas.

Cuadro 8. Leyenda integrada de relieve-suelo-cobertura a nivel semidetalle

■ Ladera suave sobre calizas con rendzina y selva caducifolia.
■ Ladera suave sobre calizas y lutitas con rendzina y litosol y selva caducifolia-pastizal.
■ Ladera suave sobre lutitas-areniscas con regosol y litosol y cultivos permanentes y anuales.
■ Ladera inclinada en andesitas y tobas ácidas con litosol y luvisol y selva caducifolia y selva caducifolia-pastizal.
■ Ladera inclinada en rocas cristalinas con luvisoles y selva caducifolia y cultivos anuales.
■ Ladera inclinada sobre calizas con litosol y selva caducifolia y selva caducifolia-pastizal.
■ Ladera inclinada en calizas-lutitas con litosol y luvisol y selva caducifolia.
■ Escarpa modelada sobre calizas con litosol y selva caducifolia y selva caducifolia-pastizal.
■ Mesa casi plana sobre calizas con rendzina y selva caducifolia.
■ Superficie cumbral sobre calizas con rendzina y selva caducifolia.
■ Planicie costera en aluvión y sedimentos arenosos con regosol y cultivos permanentes.
■ Cordón costero sobre sedimentos arenosos con regosol y cultivos permanentes.
■ Playa baja desarrollada sobre arenas sin cobertura aparente.
■ Terraza fluvial con fluvisoles y cultivos permanentes.
■ Valle erosivo con misceláneo arenoso y sin cobertura aparente.
■ Valle acumulativo con fluvisoles y cultivos permanentes.

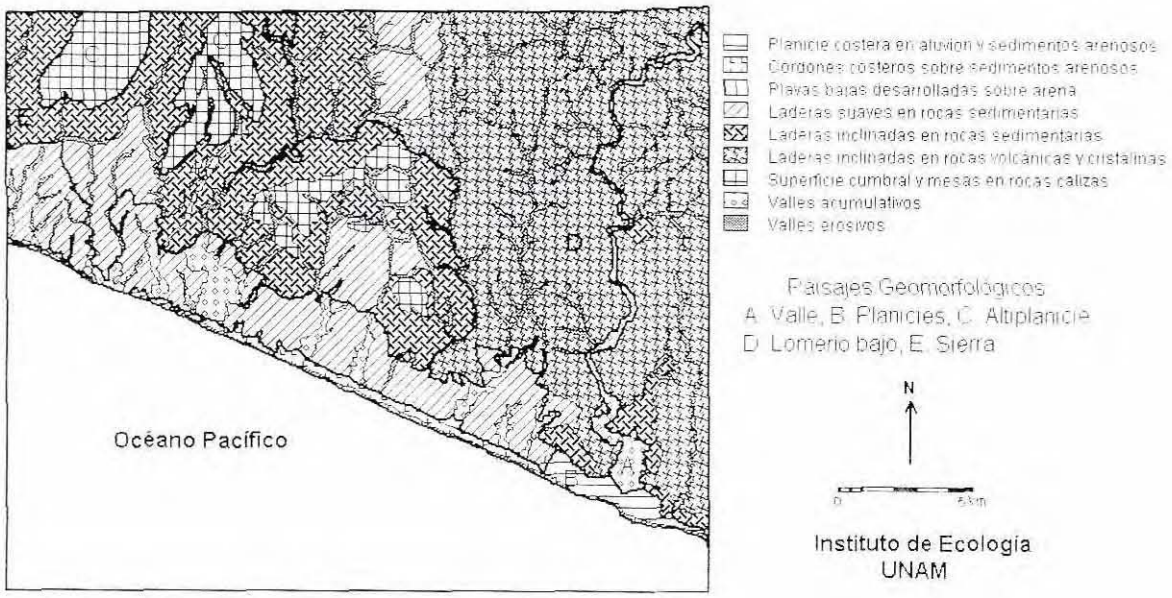

Figura 7. Mapa de unidades integradas simplificadas de la costa de Michoacán, México (zona cálido-seca)

IMPLEMENTACIÓN DEL ENFOQUE Y ALCANCES

El trabajo descrito es resultado de la selección cuidadosa de estrategias de mapeo en geomorfología y cobertura/uso del suelo, y posteriormente de una adaptación a las condiciones actuales de disponibilidad de datos en México. Esto es especialmente importante, y se tuvo en cuenta el papel del INEGI en la producción de datos geográficos para formular, en lo específico, el método y las técnicas.

Merece destacarse el uso de los mapas topográficos, litológicos y edafológicos (a escalas 1:250 000 y 1:50 000) para el paisaje geomorfológico y el relieve, y los espaciomapas (1:250 000) para la cobertura/uso del terreno. Estos dos conjuntos de datos resultaron ser cruciales y, de hecho, todo el método se sustenta en una interpretación adecuada de ellos. De esta manera, los requerimientos mínimos para implementar este enfoque en otros estados de la República son relativamente pocos, accesibles y de bajo costo. La disponibilidad de espaciomapas posibilita el análisis de cobertura a nivel de reconocimiento para grandes zonas; asimismo, se abre la posibilidad de monitoreo de cambios del uso de la tierra.

En cuanto al uso de técnicas de bases de datos y sistemas de información geográfica, es importante destacar que todo el sistema cartográfico que se presenta en este informe fue diseñado e implementado en un sistema de manejo sencillo en plataforma PC. La experiencia indica que no se necesitan configuraciones técnicas más sofisticadas. Éstas pondrían una limitante en los costos de adquisición y mantenimiento, y fundamentalmente en la capacitación de personal de manejo. Por otro lado, movería el centro de gravedad en el esquema, de la parte conceptual, analítica, a la parte operacional.

Los esquemas como el que se describe en este trabajo requieren de relativamente pocas técnicas automatizadas (edición, corrección, etc.). Sin embargo, los resultados son robustos, tanto en la definición de unidades integrales, homogéneas, en especial a las escalas de semidetalle (1:50 000 y mayores), cruciales para las posteriores tareas de evaluación de tierras y ordenamiento, como para el monitoreo de cambios en esquemas multitemporales.

El eje central de todo el esquema es su carácter jerárquico, lo cual permite el diseño anidado, desde la relación con escalas continentales, hasta las unidades fundamentales en el manejo de los recursos (suelo, agua, flora y fauna) y la planificación espacial (las laderas y sus procesos).

El control de calidad de los productos generados en este proyecto se centró en la verificación de la interpretación en campo, en forma selectiva, y en la verificación del etiquetamiento de los polígonos digitizados durante el proceso de creación de bases de datos. Es importante definir alguna estrategia de caracterización de la calidad de datos en proyectos similares.

Las limitaciones principales de este enfoque son:

1. Es esencialmente continental, la parte marina es excluida. Las aguas continentales y las costas deben tratarse a una escala más detallada.
2. La cartografía disponible escala 1:250 000 de suelos está demasiado compactada en clases complejas como para ser ligadas coherentemente con las unidades de relieve (1:50 000) y, en conjunto, para servir de base en la evaluación de aptitud de los suelos.
3. Los requerimientos de datos para bajar en forma confiable al nivel de semidetalle son más altos y menos disponibles en relación con los requerimientos de las unidades de relieve. Esta es una de las explicaciones de la diferencia en la cantidad de unidades a niveles equivalentes.

Las principales ventajas de este enfoque son:

1. La movilidad del análisis a diversas escalas.
2. La posibilidad de monitoreo y actualización de la cobertura/uso de manera independiente de las unidades de relieve, más estables.
3. La aplicación rápida y a bajo costo de un concepto y un método en un sistema de análisis espacial automatizado.
4. La formulación de unidades integrales para evaluación de aptitud, ordenamiento territorial, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS

Parte de los datos en los que se basó esta investigación resultaron de un proyecto de regionalización elaborado para INE-SEMARNAP.

REFERENCIAS

Bocco, G. y J. L. Palacio (1982), "Utilidad de la cartografía geomorfológica en la evaluación y planeación del territorio", *Anuario de Geografía*, año XXII, UNAM, México, pp. 29-40.

Bocco, G., A. Velázquez, M.E. Mendoza, M.A. Torres y A. Torres (1996), *Informe Técnico Final,* Subproyecto Regionalización Ecológica, Proyecto de Actualización del Ordenamiento Ecológico General del Territorio del País, Instituto Nacional de Ecología (INE–SEMARNAP), julio, pp. 1-95.

Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA; 1995), *Documento de trabajo para la Reunión de Oaxaca, Oax., México*, octubre, Montreal.

Correa, P. G. (1974), *Geografía del estado de Michoacán*, Gobierno del Estado de Michoacán, México.

Mendoza Cantú, M. E. (1997), *Regionalización geomorfológica y de paisaje de la zona costera entre Guaymas y Agiabampo, Sonora, México*, Tesis de maestría en Ciencias (Conservación, Ecología y Manejo de Recursos Naturales), Centro de Conservación y Aprovechamiento de los Recursos Naturales, CECARENA, ITESM-Guaymas, México.

Mendoza Cantú, M.E. y G. Bocco (1998), "La regionalización geomorfológica como base geográfica para el ordenamiento del territorio: una revisión bibliográfica", *Serie Varia*, núm. 17, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp.25-55.

Rzedowski, J. (1978), *Vegetación de México*, Limusa, México.

Torres Torres, M. A. *et al.* (inédito), *Unidades de mapeo para el levantamiento de la cobertura del estado de Michoacán de Ocampo. Un enfoque jerárquico.*

Zinck, J. A. (1988), *Physiography and soils. Soil survey course*, ITC, Enschede, The Netherlands.