

El uso de la información edáfica en los estudios ambientales

HELENA COTLER A.



INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha hecho notoria la preocupación de la sociedad por los agudos problemas ambientales, como la contaminación del agua y del aire, la degradación de los suelos, la deforestación y la pérdida de biodiversidad, entre otros. Ante esta situación, varias disciplinas han evolucionado hacia

el estudio de los riesgos, la vulnerabilidad y la fragilidad de los ecosistemas, haciendo hincapié en los procesos de degradación originados por la actividad antrópica. La ciencia del suelo no ha sido ajena a esta problemática, la necesidad de información edáfica se ha vuelto cada vez más importante en términos de la

sustentabilidad del manejo de tierras, la salud del ecosistema y de los ciclos biogeoquímicos. Para responder a esta preocupación, la evaluación del recurso suelo y su monitoreo se encuentran ante nuevos paradigmas. Además del uso intensivo de tecnologías de información (Rossiter 2000), hoy es ampliamente reconocido que las respuestas a problemas ambientales sólo podrán surgir de un enfoque multidisciplinario (Mermut y Eswaran 2001).

El presente artículo tiene como objetivos: a) revisar el sustento del levantamiento edafológico tradicional, b) presentar las tendencias de las investigaciones edafológicas, enfatizando la situación en México y c) identificar el tipo de información edáfica que requieren los estudios ambientales en nuestro país.

LOS SUELOS: DISTRIBUCIÓN EN EL PAISAJE Y SUS FUNCIONES

El suelo es un cuerpo natural, distribuido como un continuo en el paisaje con variaciones determinadas por las condiciones lito-climáticas del sitio, el drenaje, la historia geomorfológica y el uso de la tierra.

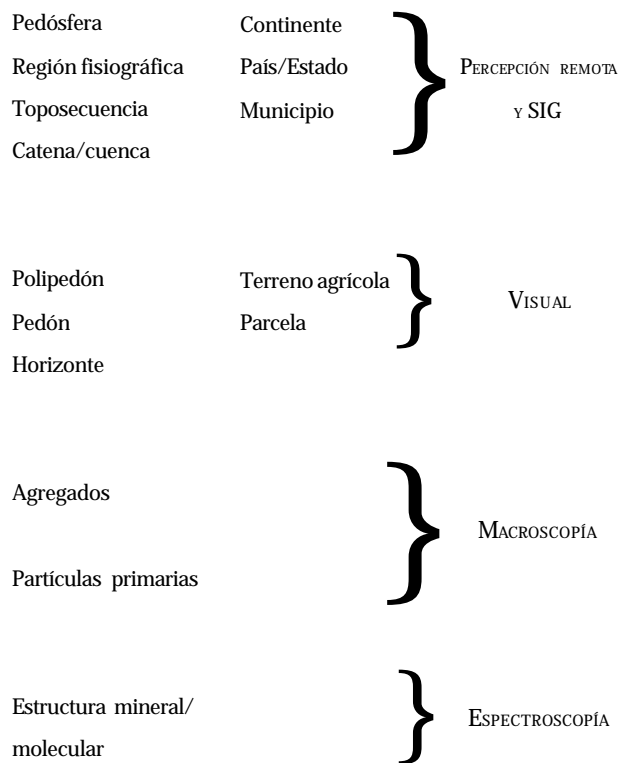
Una característica básica de la cubierta edáfica sobre la superficie terrestre (pedósfera) es que presenta una estructura jerárquica anidada (Sposito y Reginato 1992) (ver figura 1).

A escala regional, las geoformas principales están caracterizadas por unidades o asociaciones de diferentes tipos de suelo. A esta escala se pueden diferenciar catenas, donde los suelos se distribuyen en función de la topografía y el material parental, influenciados por el flujo del agua. Los segmentos de catena que corresponden a la misma unidad de suelo se denominan polipedones (variaciones en espesor de horizontes dentro de una misma unidad de suelo), compuestos a su vez por pedones. El pedón es el mínimo volumen de suelo, que comienza en la superficie terrestre y comprende toda la secuencia de horizontes hasta el límite entre la pedósfera y la litós-

fera. Cada horizonte está conformado por agregados que consisten, a su vez, en partículas minerales y orgánicas, formadas por moléculas y átomos.

Dado los procesos que participan en su formación, los suelos mantienen funciones que han permitido la sobrevivencia de la población. La más conocida y utilizada es la de soporte y suministro de nutrientes para las plantas. Sin embargo, cumple con otras funciones igualmente trascendentes como la de constituir un medio poroso y permeable, necesario para la regulación del sistema hidrológico, influyendo en la retención y pérdida de agua, su contaminación o purificación.

FIGURA 1. ORGANIZACIÓN JERÁRQUICA DE LA PEDÓSFERA Y POSIBLES MÉTODOS PARA SU ESTUDIO



Fuente: Sposito y Reginato 1992.

Además, según sus características, el suelo es el hábitat de una miríada de organismos, muchos de los cuales cumplen un papel fundamental en la salud humana. Finalmente, en los ecosistemas urbanos, el suelo juega un papel destacado no sólo como material de construcción sino como cimiento para la infraestructura urbana (Brady y Weil 1999).

En síntesis, los suelos son una pieza clave en cuanto al soporte de todos los ecosistemas terrestres, determinando su funcionamiento y productividad. Por estas razones varios autores (Burrough 1993, Backhaus *et al.* 2002, Hennings 2002, Purnell 1993, Valenzuela y Zinck 1994) afirman que la información edáfica es el sustento natural para la evaluación y manejo sustentable de las tierras.

LOS INVENTARIOS DE SUELOS: SU UTILIDAD Y SU APLICACIÓN EN MÉXICO

Tradicionalmente la información edáfica se obtiene de los inventarios de suelos, los cuales «describen las características de los suelos en una determinada área, clasifican los suelos y trazan los límites de las unidades de suelo en un mapa» (Soil Survey Division 1993). Este tipo de trabajos se han venido llevando a cabo por más de un siglo en Rusia, los Estados Unidos de América y Hungría y, durante al menos cincuenta años en otras partes del mundo (Boulaine 1989, Zinck 1995, Yaalon y Berkowicz 1997). En un inicio estos inventarios apoyaron las decisiones de uso rural de la tierra, en particular la adaptabilidad de los sistemas de producción con los tipos de suelos (Bacic *et al.* 2003). Este conocimiento se sistematizó en el enfoque de aptitud de tierras (Klingebiel 1991) donde los tipos de suelos se agruparon en función de su habilidad para sostener diferentes clases de uso de suelo. A partir de la década de los cincuenta se iniciaron los levantamientos de suelos multipropósito para usos no-agrícolas (Bartelli 1996). En este campo, la FAO lideró el desarro-

llo de metodologías de evaluación de tierras (FAO 1976, 1983, 1984, 1985, 1991 y 1996). Los levantamientos de suelos de propósito general que se venían elaborando respondían a la necesidad de conocer al recurso suelo: sus características y su distribución espacial, para que, a partir de ello, se pudiera utilizar de una manera sustentable la tierra. En la década de los setenta se realizó un esfuerzo sistemático para documentar el recurso suelo a nivel global y mejorar el entendimiento de los factores y procesos que controlan su formación. En ese sentido, el estudio elaborado por la FAO-UNESCO (1974) donde se generó la base digital mundial de suelos constituyó un hito para este tipo de levantamientos.

Actualmente resulta ampliamente reconocida la necesidad de generar información edáfica para la producción sustentable de cultivos (Alexandratos 1995), su contribución en la planeación de uso del suelo y la evaluación sobre los efectos del uso de la tierra en el medio ambiente.

El tipo de preguntas que un inventario general de suelos debe responder se pueden agrupar en tres temas principales (Beckett y Burrough 1971 y Rossiter 2000):

1. Resumen de clases de suelos en toda el área de interés: ¿qué tipo de suelos existen?, ¿en qué proporción?, ¿qué proporción del área es ocupada por suelos con propiedades específicas?. Esta información requiere principalmente de un muestreo estadístico simple.
2. Distribución geográfica de las clases de suelos y sus propiedades en un sitio determinado: ¿cuál es la clase particular de suelos en un sitio determinado?, ¿qué propiedades de suelo se encuentran en ese sitio?, ¿cuál es el patrón espacial de clases de suelo en el sitio?, ¿cuál es el patrón espacial de propiedades de suelo en el sitio?. Para responder a este tipo de información se requiere el mapeo de los suelos.



Las actividades de levantamiento de suelos en México se iniciaron en 1927 por la Comisión Nacional de Irrigación, institución que estaba a cargo del desarrollo de los nuevos esquemas de irrigación en el país (Takaki 1993). Durante las décadas siguientes, el levantamiento de suelos tuvo como finalidad, prácticamente exclusiva, la de apoyar la ampliación de la frontera agrícola. En la década de los setenta, con la adjudicación del levantamiento de suelos al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI) se inició la generación sistemática de mapas taxonómicos de suelo a dos diferentes escalas, 1:50,000 y 1:250,000. Gracias a este arduo trabajo contamos con más del 85% del territorio mexicano con información edafológica a escala 1:250,000. Podemos entonces afirmar que hoy conocemos, a nivel regional, la distribución y las características de casi la totalidad de los suelos del territorio mexicano. Es momento entonces de preguntarnos cuál debe ser la siguiente etapa para los estudios edafológicos en México, pero antes de entrar a este tema en esta idea es necesario precisar el tipo de información que puede obtenerse de los levantamientos de suelos en el país.

3. Localización de áreas de interés, de un tipo de suelo específico o características de éste: ¿dónde se puede encontrar una clase determinada de suelo?, ¿dónde se pueden encontrar propiedades específicas de suelo?, ¿dónde se puede encontrar un cierto patrón espacial de suelos?. Esta temática surge cuando se busca un área para un determinado uso de la tierra, el cual generalmente ha sido agropecuario.

Resulta claro que por el desarrollo de los levantamientos de suelos ha dominado el énfasis utilitario, que busca responder preguntas específicas sobre el comportamiento del suelo ante un determinado uso, más que un énfasis científico por entender al suelo como un cuerpo natural, componente del paisaje.

Los mapas edafológicos en México se elaboraron a partir de puntos definidos de perfiles de suelo, cuya información fue generalizada y extrapolada utilizando información fisiográfica. Como resultado se obtuvieron polígonos que pueden representar a una o más unidades de suelo. Dado que en estos mapas las unidades de suelo se refieren a datos provenientes de un solo perfil, no se cuenta con representación estadística (intervalo de confianza de los datos, varianza, etc.), lo cual dificulta que los usuarios conozcan la precisión de la información disponible y la variabilidad de ésta en la unidad. Por otro lado, la generalización edáfica no se basa en un sustento geomorfológico; es decir, que a pesar de la estrecha relación existente entre la forma del terreno (convexidad, concavidad de ladera), los movimientos de agua (procesos mor-

fodinámicos) y los procesos pedogenéticos, la representación cartográfica de las unidades de suelo ignoran esta relación. Por lo tanto, la generalización de una unidad de suelo puede cubrir diferentes formas de laderas y hasta diferentes geoformas. Finalmente, los perfiles de suelo están complementados por una base de datos físicos y químicos, que constituyen características inherentes determinadas por los factores formadores del suelo. Esta base de datos se encuentran en archivos alfanuméricos que pueden ser manejados en plataformas de sistemas de información geográfica.

Tradicionalmente en México, la información edáfica se ha utilizado en los diagnósticos de ordenamiento ecológico a escala regional. En ellos, la utilización de los datos edafológicos se basa casi exclusivamente en la descripción del tipo de suelo dominante, mediante la clasificación FAO vigente, haciendo hincapié en algunas de las principales características físicas, químicas o morfológicas que estos suelos presentan, tanto de manera general como particular de la zona de interés (INE-Colegio de México 1998, INE-SEMARNAT 2001). Este tipo de interpretación de los datos de suelos presenta varias desventajas. La más importante es la dificultad de inferir la aptitud de los suelos a partir de las características diagnóstico establecidas en la clasificación. Por otro lado, este tipo de interpretación no permite realizar un seguimiento de la evolución de las propiedades del suelo en el tiempo y bajo distintos usos.

¿QUÉ SIGUE? NUEVAS TENDENCIAS EN LOS ESTUDIOS EDAFOLÓGICOS

Como resultado de un taller internacional que abordó las perspectivas y estrategias sobre levantamientos de suelos de cara al siglo XXI (Zinck 1995), los responsables nacionales de los levantamientos de suelo coincidieron en la importancia actual de este tipo de información, aunque convinieron en la nece-

sidad de mejorarla. En las últimas décadas la evaluación del recurso suelo ha sufrido diversas modificaciones debido a varias situaciones como: a) las prioridades de la sociedad han ido variando de sólo aumentar la productividad a la preocupación de proteger y preservar el ambiente (Mermut y Eswaran 2001), con lo cual el suelo es evaluado en la totalidad de sus funciones; b) el uso intensivo de sistemas de información geográfica y percepción remota ha aumentado y diversificado el tipo de usuarios, muchos de los cuales carecen de conocimiento edafológico y c) el aumento de la información edafológica a distintas escalas en internet ha extendido el uso de la información edáfica en muchos análisis ambientales.

Las tendencias en las investigaciones edafológicas van desde el uso intensivo de tecnologías que permiten el almacenamiento y conversión de datos, reduciendo costos; la elaboración de mapas temáticos, utilizando técnicas geoestadísticas para enfocarse en un problema o en un manejo específico (Zinck 2003); estudios sobre tecnologías de suelos que permitan reemplazar y reducir la aplicación de fertilizantes comerciales y técnicas alternativas de cultivos; trabajos de clasificación de suelos basados en microscopía, clasificación de suelos, desarrollo de instrumentos para la comprensión de los componentes del suelo (Mermut y Eswaran 2001) y sobre su calidad.

En México, a la vez que se ha venido discutiendo sobre la pertinencia de la información edafológica existente¹ se han desarrollado nuevos enfoques con diferentes requerimientos de información edafológica. La particularidad de estos trabajos reside en tres aspectos. El primero es la escala, que varía entre 1:1 a 1:20,000, es decir, es una escala local para la cual se requiere la adquisición de datos a través de diseños de muestreo propios para cada nivel de observación. El segundo es la integración de los datos de suelos con otra información biofísica y/o socioeconómica para la explicación de procesos ambientales. Un tercer aspecto es la aplicación de herramientas que per-

mitan la utilización y la generación de datos edafológicos y que facilitan su conversión y manipulación, como la percepción remota, los sistemas de información geográfica y la geoestadística.

Entre los temas edafológicos más relevantes se encuentran:

1. El establecimiento de indicadores de calidad del suelo (Mäser *et al.* 1999, Astier Calderón *et al.* 2002) que utilizan la información edáfica de manera conjunta con otras variables socioambientales para definir las bases de una agricultura sustentable. Aquí es necesario enfatizar la diferencia entre la información edáfica requerida para evaluar la calidad del suelo de aquella que se obtiene de un levantamiento tradicional. La evaluación de la calidad del suelo enfatiza tanto las características inherentes del suelo (producto de los factores formadores), que se mencionan también en un levantamiento tradicional, como las características dinámicas superficiales (que se presentan en los primeros 20 cm, aproximadamente) y describen el status o la condición de un suelo específico como resultado de su uso y manejo (Karlen *et al.* 2003).
2. El enfoque morfo-edafológico, donde la información edáfica y geomorfológica sustenta la cartografía de unidades de paisaje (Rossignol *et al.* 1987, Geissert *et al.* 1994) y permite la explicación de la formación de los suelos y la evaluación de la calidad del sitio.
3. El conocimiento tradicional del suelo y su contribución a la elaboración de indicadores potenciales para el desarrollo sustentable (Pulido y Bocco 2003).
4. El suelo como sumidero para almacenar carbón y reducir futuros aumentos en las concentraciones de CO₂ atmosférico (Etchevers *et al.* 2000).
5. La relación existente entre las prácticas de manejo y las características edáficas (Etchevers *et*

al. 2000, Sandoval *et al.* 1996, Velásquez *et al.* 2001).

6. Los estudios sobre degradación de suelos que utilizan parámetros edáficos para evaluar la productividad, para explicar los procesos de erosión (Maass *et al.* 1988, Bocco 1993) y para elaborar modelos de degradación de suelos.
7. Los monitoreos edafo-ecológicos multiescalares que reconocen la jerarquía y multifuncionalidad de los suelos en el espacio (Siebe 1999).

El usuario, en función de los conocimientos que posee y de los objetivos de su trabajo, normalmente integra la información de suelos con otros elementos del medio natural, como el relieve, la vegetación, la información climática, el uso actual de la tierra, ya sea para elaborar modelos de aptitud (*sensu lato* FAO), modelos de erosión o, en general, conocer la oferta ambiental de cierta región. Cualquiera que sea el objetivo, la información edáfica constituye un insumo básico para los tomadores de decisiones. Sin embargo, la formación, el desarrollo, las funciones, la erosionabilidad y la aptitud de los suelos sólo pueden ser entendidos al integrarse al interior de una unidad de paisaje y, en ese sentido, algunos estudios edafológicos recientes en México muestran una clara tendencia a integrar la información edáfica con otras variables ambientales a distintas escalas. Esta situación nos sugiere la necesidad de una forma distinta de estratificar el espacio.

LA REGIONALIZACIÓN MORFO-EDAFOLÓGICA

Si bien el conocimiento de las características edáficas nos permite inferir las calidades de los suelos, éstas por sí solas no son suficientes para conocer el estado de la tierra, como unidad integral, para ello es necesario recurrir a un enfoque científico multidisciplinario. Un método que responde a estas características es el constituido por el enfoque morfo-edafológico

(Tricart y Kilian 1979, Geissert y Rossignol 1987, Geissert 2002), el cual nos permite obtener un conocimiento integral del medio natural y llegar rápidamente a un diagnóstico global de la complejidad del medio ambiente y de los principales problemas de ordenamiento y de conservación de tierras.

La regionalización morfo-edafológica es el resultado de una búsqueda metodológica realizada por geomorfólogos y edafólogos, con el fin de obtener nuevas herramientas de evaluación del suelo para la planeación de su uso (Kilian 1972, Tricart y Kilian 1979, Geissert 2000). En México aún son escasas y localizadas las aplicaciones de este enfoque, que han puesto énfasis en los procesos morfodinámicos (Campos 1987), en los aspectos geomorfológicos (Gutierrez 1987), en la explicación de procesos de degradación ambiental en una cuenca endorreica (Barrera Bassols 1987), en la cartografía morfo-edafológica (Rossignol *et al.* 1987, Geissert *et al.* 1994), en la explicación de la formación de suelos (Geissert y Dubroeuq 1995) y en la explicación de la formación de suelos y evaluación de la calidad del sitio (Cotler *et al.* 2002). La información presentada en la cartografía morfo-edafológica requiere ser interpretada y traducida en términos de su aptitud para un patrón de uso definido.

Este enfoque se basa en la premisa de que la formación y el desarrollo de suelos se encuentran estrechamente ligados al conjunto de fenómenos que modifican el relieve, dado que los factores formadores que en ellos influyen son los mismos. Así, la pedogénesis se considera a la vez como componente y como resultante de la morfogénesis: como componente porque se inicia con la descomposición de la roca y condiciona la preparación del material que posteriormente será sometido a los procesos de ablación; como resultante porque se desarrolla en un medio creado por la morfogénesis. En este sentido, la geomorfología facilita la segmentación del paisaje en unidades discretas donde puede explicarse la formación, el desarrollo y la vulnerabilidad de los suelos.



Las unidades morfo-edafológicas son porciones de territorio que poseen una estructura, dinámica y problemas comunes. La estructura representa la organización espacial de las unidades, definidas por sus límites y sus componentes; expresa la organización de la red hidrográfica y el arreglo de las formas de relieve. La evolución expresa la estabilidad o la inestabilidad del medio a partir del balance morfogénesis-pedogénesis. Los problemas clasifican las características del medio en términos de restricciones (Geissert y Rossignol 1987). Este tipo de estratificación del ambiente es suficientemente flexible como para incorporar otras variables, como la vegetación y el uso de la tierra, permitiendo la generación de unidades de paisaje (*sensu* Zonneveld 1995). La unidad del paisaje se conceptualiza como la mínima unidad cartografiable que permite denotar espacialmente los principales componentes de un ecosistema (estructural y funcionalmente, *sensu* Velázquez 1993).

Las principales desventajas, que podrían salvarse mediante un mapa morfo-edafológico, se refieren, por un lado, a la pérdida de información ocurrida durante el proceso de mapeo y elaboración de leyendas, ya que mediante la regionalización morfo-edáfica la aso-

ciación de suelos reflejaría la distribución edáfica en el paisaje. Por otro lado, se podría evaluar la aptitud de la tierra o mapas de calidad de la tierra, información que es de gran utilidad para los tomadores de decisiones (Hennings 2002).

CONCLUSIONES

Actualmente resulta muy extendida la necesidad de información edáfica para la planeación de uso del suelo, los impactos sobre el medio ambiente, los estudios de ordenamiento y la evaluación de los recursos. Por ello, sin importar el objetivo que se persigue, la información edáfica constituye un insumo básico para los tomadores de decisión. Sin embargo, la manera de adquirir, presentar e interpretar dicha información plantea nuevos paradigmas, ante los cuales se han abierto nuevos caminos. Los principales cambios que sugieren las nuevas tendencias se relacionan: 1) con una forma distinta de estratificar el espacio y 2) con la integración de datos edáficos con otros datos socioambientales mediante el uso de herramientas computacionales y de geoestadística.

El enfoque morfo-edafológico podría dar respuesta a ambas necesidades posibilitando la segmentación geomorfológica del espacio y la estructuración de unidades de paisaje integrales, a partir de las cuales sea posible la evaluación de la oferta ambiental.

NOTA

1. Convención Nacional de Geografía, organizada por el INEGI, 17-19 de febrero de 2003.

BIBLIOGRAFÍA

Alexandratos, N. (ED.) 1995. *World Agriculture: Towards 2010*. John Wiley & Sons y FAO.

Astier-Calderón, M., M. Maass y J. Etchevers 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.

Bacic I.L.Z., D.G. Rossiter y A.K. Bregt 2003. The use of land evaluation information by land use planners and decision-makers: a case study in Santa Catarina, Brazil. *Soil Use and Management* 19(1): 12-18.

Bartelli, L.J. 1996. *Soil surveys and land use planning*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison Wisconsin.

Backhaus, R., M. Bock y S. Weiers 2002. The spatial dimension of landscape sustainability. *Environment, Development and Sustainability* 4: 237-251.

Barrera Bassols, N. 1987. El balance morfogénesis-pedogénesis de una cuenca lacustre del eje neovolcánico transmexicano: la región natural del Pátzcuaro, Michoacán. En: D. Geissert y J.P. Rossignol (eds.) 1987.

Beckett, P.H.T. y P.A. Burrough 1971. The relation between cost-utility in soil survey. Comparison of the utility of soil maps produced by different survey procedures, and to different scales. *Journal of Soil Science* 22(4): 466-480.

Bocco, G. 1993. Gully initiation in Quaternary volcanic environments under temperate subhumid seasonal climates. *Catena* 20: 495-513.

Boulaine, J. 1989. *Histoire des pédologues et de la science des sols*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris.

Brady, N.C. y R.R. Weil 1999. *The nature and properties of soils*. Prentice Hall, 345 pp.

Burrough, A.P. 1993. The technologic paradox in soil survey: new methods and techniques data capture and handling. En: A. Zinck (ed.) 1995: 15-22.

Campos, A.C. 1987. Los medios penestables: procesos morfodinámicos en una unidad morfoedafológica, municipio de Cosautlán, Ver. En: D. Geissert y J.P. Rossignol (eds.) 1987.

Cotler, H., E. Durán y C. Siebe 2002. Caracterización morfo-edafológica y calidad de sitio de un bosque tropical caducifolio. En: Noguera *et al.* (eds.) 2002: 17-79.

- Etchevers, J., R. Fisher, I. Vidal, K. Sayre, M. Sandoval, K. Oleshko y S. Román. 2000. Labranza de conservación, índices de calidad del suelo y captura de carbono. En: *Memorias del Simposio Internacional de labranza de conservación*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agro Pecuarias-Produce. Mazatlán, Sinaloa.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 1996. *Our land our future: A new approach to land use planning and management*. FAO, Roma.
- 1991. *Guidelines: land evaluation for extensive grazing*. Roma.
- 1985 *Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture*. FAO Soils Bulletin 55, Roma.
- 1984. *Land evaluation for forestry*. FAO Soils Bulletin 53, Roma.
- 1983. *Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture*. FAO Soils Bulletin 52, Roma.
- 1976 *A framework for land evaluation*. FAO Soils Bulletin 32, Roma.
- FAO-UNESCO 1974. *Soil map of the world 1:5,000,000*. UNESCO, París.
- Geissert, D. 2000. La cartografía morfoedafológica: un método integral para la evaluación del recurso suelo. En: López-Olguín *et al.* 2000: 1-14.
- Geissert, D. y D. Dubroeuq 1995. Influencia de la geomorfología en la evolución de suelos de dunas costeras en Veracruz, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín especial* 3: 37-52.
- Geissert, D., D. Dubroeuq, A. Campos y E. Meza 1994. *Carta de unidades geomorfo-edaológicas de la región natural Cofre de Perote*, Veracruz, México, escala 1:75,000. Instituto de Ecología-ORSTOM-CONACYT, Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México.
- Geissert, D. y J.P. Rossignol 1987. *La morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales*. INIREB-ORSTOM, México, 83 pp.
- Gutiérrez, R. 1987 Morfoedafología del Totonacapan con énfasis en los aspectos geomorfológicos. En: D. Geissert y J.P. Rossignol (eds.) 1987.
- Hennings, V. 2002. Accuracy of coarse-scale land quality maps as a function of the upscaling procedure used for soil data. *Geoderma* 107: 177-196.
- Instituto Nacional de Ecología (INE)-SEMARNAT 2001. El ordenamiento ecológico en la gestión y manejo de recursos naturales de cara al siglo XXI. México, D.F. 25 al 27 de septiembre del 2001.
- Instituto Nacional de Ecología (INE)-Colegio de México 1998. Ordenamiento ecológico para la región de la mariposa monarca. INE- SEMARNAP-Colegio de México. Informe técnico.
- Karlen, L.D., C.A. Ditzler y S.S. Andrews 2003. Soil quality: why and how? *Geoderma* 114: 145-156.
- Kilian, J. 1972 Les inventaires morphopédologiques. Applications au développement agricole. *L'Agronomie Tropicale*, vol. XXVII(9): 930-938.
- Klingebiel, A.A. 1991 Development of soil survey interpretations. *Soil Survey Horizons* 32: 53-66.
- López Olguín, J.F., G. Aragón y M.A. Valera (eds.) 2000. *Métodos de investigación en las ciencias ambientales*. Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México, pp. 1-14.
- Maass, J.M., C. Jordan y J. Sarukhán 1988. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques. *Journal of Applied Ecology* 25: 595-607.
- Masera, O.R., M. Astier y S. Lopez Ridaura 1999. *Sostenibilidad y manejo de recursos naturales: el marco de la evaluación MESMIS*. GIRA. Mundi Prensa e Instituto de Ecología-UNAM, México, 109 pp.
- Mermut, A.R. y H. Eswaran 2001. Some major developments in soil science since the mid-1960s. *Geoderma* 100: 403-426.
- Noguera, F.A., J.H. Vega, A.N. García Aldrete y M. Quesada Avendaño (eds.) 2002. *Historia natural de Chame-la*. UNAM, México.
- Pulido, J. y G. Bocco 2003. The traditional farming system of a Mexican indigenous community. *Geoderma* 111(3-4): 249-265.

- Purnell, F.M. 1993. *Soil survey information supply and demand: international policies and stimulation programmes*. En: A. Zinck (ed.) 1987: 30-35.
- Rossignol, J.P., D. Geissert, A. Campos y J. Kilian 1987. *Mapa de unidades morfoedafológicas del area Xalapa-Coatepec, escala 1:75,000*, INIREB-ORSTOM_CIRAD, Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Ver.
- Rossiter, D.G. 2000. *Methodology for soil resources inventories*. Segunda edición revisada. Soil Science Division, International Institute for Aerospace Survey & Earth Sciences (ITC): www.itc.nl/~rossiter/teach/ssm/SSM_LectureNotes2.pdf. Última revisión: marzo de 2000).
- Sandoval, M.A., J. Etchevers, I. Vidal, R. Fisher, K. Sayre y S. Román. 1996. Sistemas de producción para una agricultura sustentable en los valles altos de México e índices para su evaluación. En: Memorias del II Simposio Internacional y III Reunión nacional sobre agricultura sostenible. San Luis Potosí, México.
- Siebe, C. 1999. Monitoreo edafo-ecológico multiescalar. En: C. Siebe *et al.* 1999: 263-278.
- Siebe, C., H. Rodarte, G. Toledo, J. Etchevers y C. Oleshko (eds.) 1999. *Conservación y restauración de suelos*. UNAM-SEMARNAP, México.
- Sposito, G. y R.J. Reginato 1992. *Opportunities in basic soil science research*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Soil Survey Division 1993. *Soil survey manual*. United States Department of Agriculture. Handbook n°18, Washington D.C. Department of Agriculture, XIX, 437 pp.
- Stewart, B.A. (ed.) 1991. *Advances in soil science*. Springer, New York.
- Takaki, T.F. 1993. Mexico. En: A. Zinck (ed.) 1987: 92-94.
- Tricart, J. y J. Kilian 1979. *L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel*. Francois Maspero, París, 326 pp.
- Valenzuela, C.R. y J.A. Zinck 1994. Information technology requiring soil data. *Transactions of 15th World Congress of Soil Science*, vol 6A, Commission V: 20-39. Acapulco, México.
- Velázquez, A. 1993. *Landscape ecology of Tlálac and Pelado volcanoes, México*. ITC publication No. 16.
- Velásquez A., J.F. Mas, J.L. Palacio 2001. Análisis del cambio de uso. Instituto Nacional de Ecología- Instituto de Geografía, UNAM (Informe técnico). Se puede consultar en: www.ine.gob.mx.
- van Diepen, C.A., H. Van Keulen, J. Wolf y J.A.A. Berkhout 1991. *Land evaluation: from intuition to quantification*. En: B.A. Stewart (ed.) 1991: 139-204.
- Yaalon, D.H. y S. Berkowicz (ed.) 1997. *History of soil science: international perspectives*. Catena Verlag, GMBH, Reiskirchen.
- Zinck, J.A. 2003. *Soils, soil information and society*. ITC Valedictory Address, 15 pp.
- (ed.) 1995. *Soil Survey: perspectives and strategies for the 21st century*. FAO/ITC, Roma, 132 pp.
- Zonneveld, I.S. 1995. *Land ecology*. SPB Academic Publishing, Amsterdam.

Este texto fue revisado por Pilar Ortega y por Silke Cram, ambos del Instituto de Geología de la UNAM.

Helena Cotler A. se desempeña como Directora de manejo integral de cuencas hídricas en la Dirección general de investigación de ordenamiento ecológico y conservación de ecosistemas del Instituto Nacional de Ecología. Correo-e: hcotler@ine.gob.mx
Ilustraciones: Patsi Valdez.