

La calidad del suelo y sus indicadores

A. Bautista Cruz¹, J. Etchevers Barra², R.F. del Castillo³, C. Gutiérrez⁴

(1) Departamento de Recursos Naturales, CIIDIR IPN Oaxaca. Hornos 1003, Xoxocotlan. 71203, Oaxaca, México

(2) Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. 56230, Montecillo, México

(3) Departamento de Recursos Naturales, CIIDIR IPN Oaxaca. Hornos 1003, Xoxocotlan. 71203, Oaxaca, México

(4) Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. 56230, Montecillo, México

A pesar de la importancia para la vida, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad. Por lo tanto, los científicos se enfrentan al triple desafío de intensificar, preservar e incrementar la calidad de la tierra. Para ello, es necesario contar con una sólida concepción de la calidad y con indicadores de calidad o salud de la tierra y de manejo sostenible de la misma, tal como se cuenta para dar seguimiento a variables sociales y económicas. En este trabajo se realiza una revisión de los principales conceptos relacionados con la calidad del suelo y sus indicadores. El adecuado manejo de los conceptos sobre estos temas debe redundar en un mejor manejo de la sostenibilidad del recurso, de la agricultura sostenible y en la toma de decisiones de políticas de uso del suelo. El desarrollo de indicadores de calidad del suelo debería basarse en el uso de este recurso y en la relación entre los indicadores y la función del suelo que se esté evaluando. Deben considerarse propiedades edáficas que cambien en un periodo de tiempo relativamente corto.

¿Qué es la calidad del suelo?

La calidad y la salud del suelo son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos (Doran y Parkin, 1994). La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo (Carter *et al.*, 1997). El estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular constituyen la salud del suelo (Romig *et al.*, 1995).

La preocupación por la calidad del suelo no es nueva (Lowdermilk, 1953; Doran *et al.*, 1996; Karlen *et al.*, 1997; Singer y Ewing, 2000). En el pasado, este concepto fue equiparado con el de productividad agrícola por la poca diferenciación que se hacía entre tierras y suelo. Tierras de buena calidad eran aquellas que permitían maximizar la producción y minimizar la erosión. Para clasificarlas se generaron sistemas basados en esas ideas (Doran y Parkin, 1994). Esos incluían términos como tierras agrícolas de primera calidad. El concepto de calidad del suelo ha estado asociado con el de sostenibilidad, pero éste último tiene varias acepciones. Para Budd (1992), es el número de individuos que se pueden mantener en un área dada. En cambio, para Buol (1995), el uso del suelo se debe basar en la capacidad de éste para proporcionar elementos esenciales, pues éstos son finitos y limitan, por ende, la productividad. La calidad del suelo, ha sido percibida de muchas formas desde que este concepto se popularizó en la década anterior (Karlen *et al.*, 1997). Este concepto ha sido relacionado con la capacidad del suelo para funcionar. Incluye atributos como fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental. Simultáneamente, calidad del suelo es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso. A pesar de su importancia, la ciencia del suelo no ha avanzado lo suficiente para definir claramente lo que se entiende por calidad.

El término calidad del suelo se empezó a acotar al reconocer las funciones del suelo: (1) promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); (2) atenuar contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y (3) favorecer la salud de plantas, animales y humanos (Doran y Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1997) (**Fig. 1**). Al desarrollar este concepto, también se ha considerado que el suelo es el substrato básico para las plantas; capta, retiene y emite agua; y es un filtro ambiental efectivo (Larson y Pierce, 1991; Buol, 1995). En consecuencia, este concepto refleja la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema del cual forma parte y con el que interactúa (Parr *et al.*, 1992).

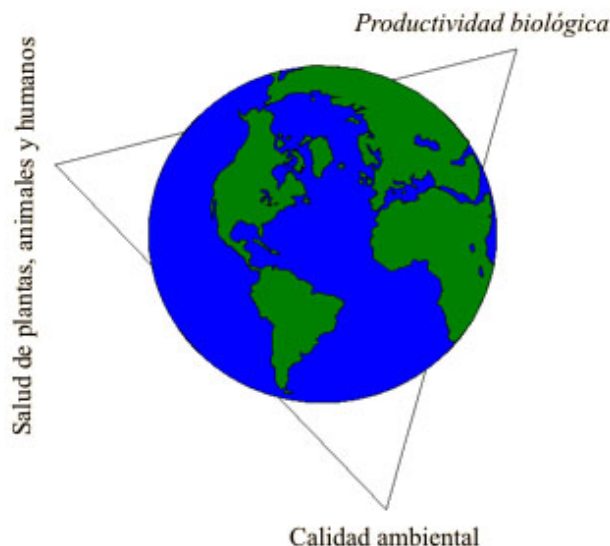


Figura 1. Principales componentes de la calidad de suelo (Doran y Parkin, 1994).

Para Gregorich *et al.* (1994) la calidad de suelo es una medida de su capacidad para funcionar adecuadamente con relación a un uso específico. Arshad y Coen (1992) le dieron a este concepto una connotación más ecológica; la definieron como su capacidad para aceptar, almacenar y reciclar agua, minerales y energía para la producción de cultivos, preservando un ambiente sano.

Las definiciones más recientes de calidad del suelo se basan en la multifuncionalidad del suelo y no sólo en un uso específico, pero este concepto continúa evolucionando (Singer y Ewing, 2000). Estas definiciones fueron sintetizadas por el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America (Karlen *et al.*, 1997) como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat.

Algunas contradicciones conceptuales acerca del paradigma de la calidad del suelo

Según Sojka y Upchurch (1999) las definiciones de calidad del suelo son contextuales y subjetivas. Estos autores consideran necesaria la unificación de criterios sobre su significado, importancia y medición, como lo hacen Singer y Ewing (2000). Su principal objeción es que ninguna evaluación de la calidad edáfica considera, de manera objetiva y simultánea, los resultados potenciales, positivos o negativos, de todos los indicadores empleados en la evaluación de los elementos de la multifuncionalidad (producción, sostenibilidad y calidad ambiental, etc). A menudo, se reconocen sólo los resultados positivos de ciertos indicadores, tales como el contenido de materia orgánica y la cantidad de lombrices, o sólo los negativos de aspectos como la salinidad o la compactación (Sojka y Upchurch, 1999). Así, la materia orgánica proporciona muchos beneficios al suelo, pero también puede tener impactos negativos ambientales y agrícolas, rara vez considerados en la evaluación de la calidad edáfica. Al incrementarse la materia orgánica se deben aumentar las dosis de aplicación de muchos pesticidas, lo que conlleva obvias repercusiones negativas económicas, ambientales y de salud. Otro ejemplo de efectos negativos, escasamente reconocidos en el contexto de la calidad edáfica, es la cantidad de lombrices. Por una parte, estos invertebrados benefician de manera importante la producción agrícola, pero por otra, incrementan el flujo y movimiento rápido de contaminantes aplicados superficialmente hacia el subsuelo y actúan como vectores de enfermedades vegetales (Sojka y Upchurch, 1999).

Indicadores de la calidad del suelo

A pesar de la preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún no hay criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo (Arshad y Coen, 1992). Para hacer operativo este concepto, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, pues representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (Dumanski *et al.*, 1998). Según Adriaanse (1993) los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos. Tales indicadores se aplican en muchos campos del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc). Los indicadores de calidad del suelo pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él (SQI, 1996). Para Dumanski *et al.* (1998) dichos indicadores, no podrían ser un grupo seleccionado *ad hoc* para cada situación particular, sino que deben ser los mismos en todos los casos. Esto con el propósito de facilitar y hacer válidas las comparaciones a nivel nacional e internacional. Tal posición no es compartida por los autores del presente trabajo, quienes sostienen que los indicadores que se empleen deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con la función o las funciones principales que se evalúan, como lo ha sugerido Astier *et al.* (2002). Hünнемeyer *et al.* (1997) establecieron que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de una intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

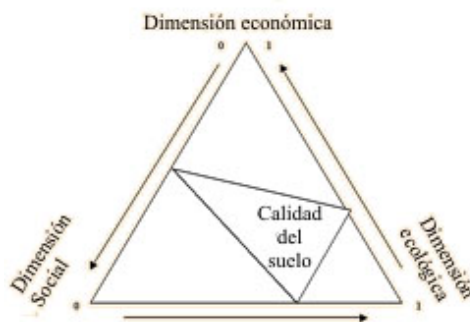


Figura 2. Triángulo Moebius para las tres dimensiones implícitas en el concepto sostenible. (Hünнемeyer *et al.* 1997).

Hay tres elementos implícitos en el concepto sostenibilidad: la dimensión económica, la social y la ecológica (Goodland y Daly, 1996; Hünнемeyer *et al.*, 1997) (**Fig. 2**). La sostenibilidad ecológica se refiere a las características fundamentales para la supervivencia que deben mantener los ecosistemas a través del tiempo en cuanto a componentes e interacciones. La sostenibilidad económica implica la producción a una rentabilidad razonable y estable a través del tiempo, lo cual haga atractivo continuar con dicho manejo. Y, la sostenibilidad social aspira a que la forma de manejo permita a la organización social un grado aceptable de satisfacción de sus necesidades. El manejo sostenible puede, por lo tanto, significar distintas cosas según la función principal del recurso o del momento histórico en que se hace una evaluación. El desarrollo agrícola sostenible abarca las tres vertientes. No parece posible optimizar simultáneamente cada uno de los tres componentes de la definición anterior, lo más conveniente es definir ciertos límites aceptables para cada uno de ellos y optimizar primero uno, procurando que la intensidad de los otros dos se ubique en el límite aceptable para ese momento y condición particulares. Con el transcurso del tiempo, los tres objetivos deberían ir acercándose a los óptimos ideales para cada uno de los tres componentes. La **Figura 3** muestra un enfoque para la definición de indicadores propuesto por Hünнемeyer *et al.* (1997). Este enfoque hace que los indicadores de calidad del suelo puedan considerarse dinámicos en el tiempo. Por lo que para cada momento histórico o situación particular habría que buscar un equilibrio entre los tres objetivos del desarrollo sostenible.

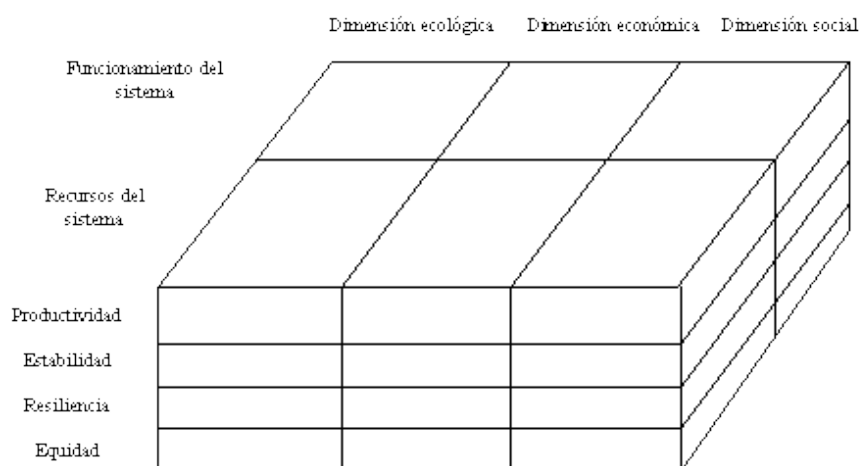


Figura 3. Enfoque para la definición de indicadores (Hünne Meyer *et al.* 1997).

Condiciones que deben cumplir los indicadores de calidad del suelo

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones (Doran y Parkin, 1994):

a) describir los procesos del ecosistema; b) integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; c) reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir; d) ser sensitivas a variaciones de clima y manejo; e) ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo; f) ser reproducibles; g) ser fáciles de entender; h) ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica; i) y, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

En virtud de que existen muchas propiedades alternativas para evaluar la calidad del suelo, Larson y Pierce (1991); Doran y Parkin (1994) y Seybold *et al.* (1997) plantearon un conjunto mínimo de propiedades del suelo para ser usadas como indicadores para evaluar los cambios que ocurren en el suelo con respecto al tiempo (**Tabla 1**). Los indicadores disponibles para evaluar la calidad de suelo pueden variar de localidad a localidad dependiendo del tipo y uso, función y factores de formación del suelo (Arshad y Coen, 1992). La identificación efectiva de indicadores apropiados para evaluar la calidad del suelo depende del objetivo, que debe considerar los múltiples componentes de la función del suelo, en particular, el productivo y el ambiental. La identificación es compleja por la multiplicidad de factores químicos, físicos y biológicos que controlan los procesos biogeoquímicos y su variación en intensidad con respecto al tiempo y espacio (Doran *et al.*, 1996).

Indicadores físicos

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000). Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo (**Tabla 1**) son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad.

Tabla 1. Conjunto de indicadores físicos, químicos y biológicos propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Seybold *et al.*, 1997).

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
Físicas		
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión	cm o m
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad	minutos/2.5 cm de agua y g/cm ³
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica	% (cm ³ /cm ³), cm de humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación
Químicas		
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión	Kg de C o N ha ⁻¹
pH	Define la actividad química y biológica	comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana	dSm ⁻¹ ; comparación entre los límites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
P, N, y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental	Kg ha ⁻¹ ; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos
Biológicas		
C y N de la biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica	Kg de N o C ha ⁻¹ relativo al C y N total o CO ₂ producidos
Respiración, contenido de humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa	Kg de C ha ⁻¹ d ⁻¹ relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N	Kg de N ha ⁻¹ d ⁻¹ relativo al contenido de C y N total

Indicadores químicos

Los indicadores químicos propuestos (**Tabla 1**) se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos (SQI, 1996).

Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrimentos, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable.

Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos propuestos (**Tabla 1**) integran gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y macroorganismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. Incluyen funciones como la tasa de respiración, ergosterol y otros subproductos de los hongos, tasas de descomposición de los residuos vegetales, N y C de la biomasa microbiana (SQI, 1996; Karlen *et al.*, 1997). Como la biomasa microbiana es mucho más sensible al cambio que el C total se ha propuesto la relación $C_{\text{microbiano}}:C_{\text{orgánico}}$ del suelo para detectar cambios tempranos en la dinámica de la materia orgánica (Sparling, 1997).

De acuerdo con estas ideas, no habría un enfoque único para generar un conjunto de indicadores para cada propósito. Los enfoques pueden cambiar con el tiempo conforme incrementa el entendimiento de los problemas ambientales y conforme los valores sociales evolucionen. Uno de los enfoques ampliamente utilizados por lo inmediato de su comprensión es en el que trabaja la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD). Se trata del sistema presión-estado-respuesta, el cual se basa en una cadena de causalidades donde se entiende que las actividades humanas originan presiones sobre el ambiente (indicadores de presión) que modifican la calidad y cantidad de los recursos naturales (indicadores de estado) en virtud de lo cual se produce una respuesta que tiende a modular la presión (indicadores de respuesta) (**Fig. 4**, OECD, 1993). Dentro del enfoque presión-estado-respuesta, la OECD (1991, 1993, 2003) ha propuesto algunos indicadores ambientales que se relacionan con la calidad del suelo. Dos de ellos son indicadores para el riesgo de erosión hídrica y riesgo de erosión eólica. Recientemente la OECD (2003) ha propuesto indicadores de acumulación de C en el suelo. Por la urgencia de contar con herramientas que permitan evaluar la evolución de este recurso natural se continúa trabajando en la materia. Adicionalmente, esta organización ha instado a sus miembros a establecer indicadores nacionales de diversa naturaleza, entre ellos de calidad del suelo. En los Estados Unidos de América se ha constituido el Soil Quality Institute (SQI, 1996), organismo encargado de difundir entre los productores agrícolas los principios básicos de los indicadores de calidad del suelo y a proponer metodologías simples para realizar mediciones. La Unión Europea y Canadá han publicado información valiosa al respecto (Gregorich *et al.*, 1994; MMA, 1998).

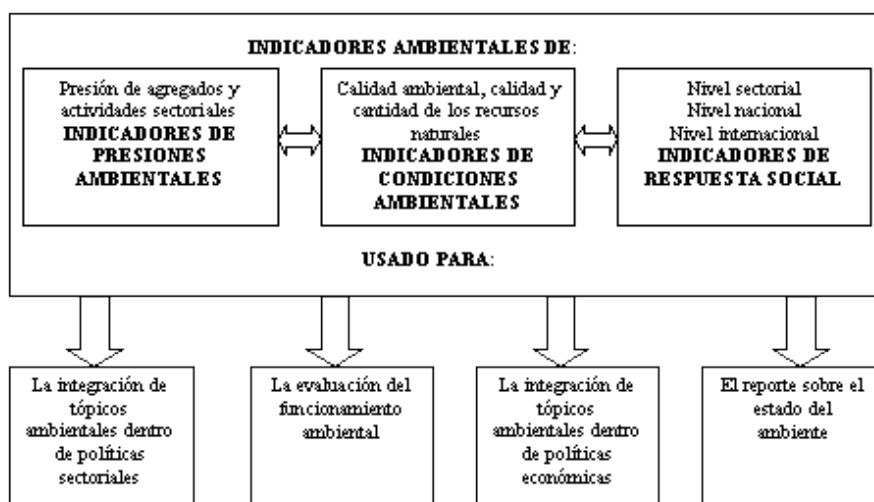


Figura 4. Naturaleza y uso de los indicadores ambientales (OECD, 1993).

Conclusiones

Todo tipo de vida depende de la calidad del suelo para su supervivencia. Por ende, la protección de este recurso natural debe ser una política nacional e internacional. Para lograr lo anterior y, al mismo tiempo, un manejo adecuado del suelo, es necesario contar con indicadores que permitan evaluar su calidad. El desarrollo de tales indicadores debe hacerse con base en las funciones del suelo que se evalúan; considerando aquellas propiedades edáficas sensibles a los cambios de

uso del suelo. En materia de calidad de suelo, se requiere ampliar la perspectiva original enfocada sólo a suelos agrícolas para incluir también suelos forestales de ecosistemas naturales y modificados con fines específicos como el urbano o el pecuario. Queda mucho por hacer, pero los primeros pasos ya se han dado.

Agradecimientos

La primera autora agradece al CONACyT la beca otorgada durante la realización de sus estudios de postgrado y al personal del Colegio de Postgraduados por contribuir a su formación académica. Reconocemos a la Comunidad Europea (INCO IV programme, BIOCORES project contract no. ICA4-CT 2001-10095) y al Instituto Politécnico Nacional su apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Referencias

- Adriaanse, A. 1993. *Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands*. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.
- Arshad, M.A. y Coen, G.M. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American J. of Alternative Agriculture* 7: 25-31.
- Astier, C.M., Mass-Moreno, M. y Etchevers, B.J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.
- Budd, W.W. 1992. What capacity the land? *J. Soil Water Conservation* 47: 28-31.
- Buol, S. W. 1995. Sustainability of soil use. *Annual Review of Ecology and Systematic* 26:25-44.
- Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. y Pierce, F.J. 1997. Concepts of soil quality and their significance. En *Soil quality for crop production and ecosystem health* (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- Doran, J.W. y Parkin, B.T. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Doran, J.W., Sarrantonio, M. y Liebig, M.A. 1996. *Soil Health and Sustainability*. Advances in Agronomy Vol. 56. Academic Press, Inc. San Diego, California.
- Dumanski, J., Gameda, S. y Pieri, C. 1998. *Indicators of land quality and sustainable land management*. The World Bank, Washington DC, USA.
- Goodland, R. y H. Daly. 1996. Environmental sustainability: universal and non-negotiable. *Ecological Applications* 6:1002-1017.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M. y Ellert, B.H. 1994. Towards a minimum data set to asses soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian J. of Soil Science* 74: 367-386.
- Hünemeyer, J.A., De Camino, R. y Müller, S. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. y Schuman, G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61: 4-10.
- Karlen, D.L., Wollenhaupt, N.C., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B., Each, N.S. y Jordahl, J.L. 1994. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil Tillage Research* 31: 149-167.
- Larson, W.E. y Pierce, F.J. 1991. Conservation and Enhancement of Soil Quality. In *Evaluation for sustainable land*

- management in the developing world. En *Proc. of the Int. Work-shop on Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Chiang Rai*. pp. 175-203. 15-21 Sept. 1991. Int. Board of Soil Res. and Manage., Bangkok, Thailand.
- Lowdermilk, W.C. 1953. *Conquest of the Land Through Seven Thousand Years*. Agriculture Information Bulletin N° 99, USDA, Soil Conservation Service, Washington, D.C.
- MMA-Ministerio del Medio Ambiente. 1998. *Sistema español de indicadores ambientales: Subáreas de agua y suelo*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España.
- OECD-Organization for Economic Co-Operation and Development. 1991. *Environmental indicators for agriculture. Methods and Results*. Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris, Francia.
- OECD-Organization for Economic Co-Operation and Development. 1993. *Environment Monographs No. 83. OECD Core set of indicators for Environmental Performance Reviews*. OECD. Paris, Francia.
- OECD-Organization for Economic Co-Operation and Development. 2003. *Soil organic carbon and agriculture: developing indicators for policy analyses*. Proceedings of an OECD expert meeting. (ed. Scott Smith, C.A). Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa and Organization for Economic Co-Operation and Development, Paris, Francia.
- Parr, J.F., Papendick, R.I., Hornick, S.B. y Meyer, R.E. 1992. Soil quality: attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. *American J. of Alternative Agriculture* 7: 5-11.
- Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F. y McSweeney, K. 1995. How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conservation* 50: 229-236.
- Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L. y Rogers, H.H. 1997. Quantification of Soil Quality. En *Soil Process and the Carbon Cycle* (eds. Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. y Stewart, B.A.), pp. 387-403, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Singer, M.J. y Ewing, S. 2000. Soil Quality. En *Handbook of Soil Science. Chapter 11* (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Sojka, R.E y Upchurch, D.R. 1999. Reservations Regarding the Soil Quality Concept. *Soil Science Society of America J.* 63: 1039-54.
- Sparling, G.P. 1997. Soil Microbial Biomass, Activity and Nutrient Cycling, as Indicators of Soil Health. En *Biological Indicators of Soil Health* (eds. Pankhursts, C.E., Doube, B.M. y Gupta, V.S.R.), pp. 97-105, Cab International, Oxon, UK.
- SQI-Soil Quality Institute. 1996. *Indicators for Soil Quality Evaluation*. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.