

# **CALIDAD DE SUELOS COMO MEDIDA PARA SU CONSERVACIÓN**

Jiménez Ballesta R.

Universidad Autónoma de Madrid. Dtº de Geología y Geoquímica.  
Ciudad Universitaria de Cantoblanco, 28049 -Madrid. España.  
Teléfono: 914974810, e-mail: raimundo.jimenez@uam.es

## **Resumen**

Se discute brevemente la aparición de un nuevo termino “calidad del suelo”, en cuanto que complementario o sustitutivo de la tradicional “capacidad de uso”. Se revisa el concepto y se evalúa si su utilización vendrá a suponer un cambio en la necesidad de determinar estudios encaminados a la evaluación de la citada capacidad de uso. Para ello, se concibe una reflexión en el marco de un objetivo fundamental: disponer de una herramienta que permita dictar adecuadas medidas de uso y conservación del suelo.

## **Introducción**

Dada la importancia del recurso natural edáfico y como consecuencia de las numerosas amenazas que conducen a la degradación del mismo, se ha producido, en época relativamente recientemente, un nuevo impulso a los estudios de suelos, con la aparición de ciertos términos, entre los que cabe citar el de “calidad. Palabra casi mágica que aparece como en otros numerosos campos (aire, agua etc.). Sin embargo aunque podría pensarse que las demandas de medida de calidad de suelo son similares a las de estos otros recursos, no existe similitud, entre otras razones, porque evaluar el sustrato edáfico es mucho mas complejo. Por ejemplo, al abordar la calidad del suelo se debe incluir la función que se pretende que realice que, como se sabe, son múltiples y complejas; sabemos que un suelo puede ser considerado de alta calidad para una función y baja para otra. Añádase además que son numerosas las propiedades que pueden ser indicadores de calidad.

Este nuevo trazado iniciado desde mediados del siglo pasado, probablemente se inicia con un impulso al reconocimiento que se ha producido acerca de una perdida de la calidad física, química y biológica de los suelos, conllevando su contaminación, erosión etc. (dato: de los 8.7 billones de hectáreas de suelos dedicados a uso agrícola, cultivos de pastos y bosques, alrededor de 2 billones se han degradado). En efecto, a finales del siglo XX se percibe un cambio en el papel medioambiental del suelo, si bien el problema es que los cambios en el suelo ocurren a largo plazo y la perdida de calidad solo se observa pasado un

cierto tiempo, ya que el suelo tiene capacidad o habilidad para amortiguar un efecto perjudicial.

El interés sobre este nuevo concepto subidamente aumentó tras la publicación del "Soil and Water Quality: an Agenda for Agriculture (NRC, 1993). Después se celebran varios congresos y emanan varias publicaciones (Doran et al., 1994; Doran y Jones, 1996, Doran y Parkin, 1994). Más tarde el concepto evoluciona con la denominada agricultura sostenible (NRC, 1989; Gómez et al., 1996).

### **Funciones del suelo.**

La calidad se percibe de muchas formas desde que se popularizó hace dos décadas, pero quizás y de forma resumida se entiende como cuál es su utilidad y cuál es su salud. Conviene no obstante en virtud de su funcionalidad acotar el término como:

1. substrato básico para las plantas
2. atenuar contaminantes
3. promover la productividad de manera sostenible
4. favorecer la salud de las plantas, animales y humanos

Se acepta y reconoce que realiza varias funciones y no de forma independiente, por tanto es multifuncional. Y aunque cuando se plantea la calidad surgen dos cuestiones importantes, como son para que se estima la calidad y a que escala, podemos señalar las siguientes funciones del suelo:

- (1) Sostiene el crecimiento y diversidad de plantas y animales aportando el medio físico, químico y biológico para el intercambio de agua, aire, nutrientes y energía.
- (2) Regula la distribución del agua entre la infiltración y escorrentía y regula el flujo de agua y solutos, incluyendo nitrógeno, fósforo, pesticidas y otros nutrientes y compuestos disueltos en el agua.
- (3) Almacena y modera la liberación de los nutrientes de los ciclos de las plantas y otros elementos.
- (4) Actúa como filtro para proteger la calidad del aire, agua y otros recursos.
- (5) Es el apoyo de estructuras y alberga riquezas arqueológicas asociadas a la vivienda humana.
- (6) Filtra, amortigua, degrada, immobiliza y detoxifica sustancias orgánicas e inorgánicas.

## **Confusión en la terminología.**

El creciente impacto de la agricultura en el medio ambiente ha creado un renovado interés en la salud de suelo, entendiendo que la salud del suelo puede interpretarse como la capacidad para funcionar. De hecho, los filósofos griegos y romanos (hace ya 2000 años) hablaban ya de la salud del suelo para la producción de alimentos, es decir para la prosperidad agrícola. Los esfuerzos para definirla, en el contexto de sus múltiples funciones probablemente empezó con Warkentin y Fletcher en 1977, seguidas inmediatamente de un alud de formalizaciones conceptuales.

Por otra parte, hay quien considera la calidad como sinónimo de salud. Algunos autores utilizan ambos conceptos indistintamente (Roming et al., 1995); otros, como (Karlen et al., 1997), opinan que ambos conceptos no pueden ser utilizados como sinónimos

Pero ¿cuál es la diferencia entre capacidad de uso-salud y calidad del suelo?. Calidad y salud son conceptos equivalentes, aunque no siempre sinónimos (Doran y Parkin 1994). La capacidad de uso es la habilidad del suelo para un uso determinado, si bien generalmente se refiere al de productividad agrícola. Mientras la calidad debe entenderse como la utilidad del suelo para un fin específico y durante un tiempo continuado y duradero. El estado de las propiedades dinámicas del suelo, tales como contenido en materia orgánica, diversidad de organismos, productos microbianos constituyen la salud del suelo (Roming et al 1995.). La calidad del suelo sería una evaluación de cuan bien realiza todas sus funciones ahora, (lo que equivaldría a capacidad de uso mas salud), además de como las preserva para el futuro. La calidad del suelo no solo esta relacionada con su productividad efectiva, sino también con la salud de otros recursos como al agua, aire, plantas y animales. Por eso no se mide directamente, sino que se miden indicadores cuantitativos o cualitativos.

## **Definición calidad**

Para definir la calidad del suelo es necesario, en primer lugar, analizar etimológicamente la palabra calidad. Según el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española la palabra calidad es un nombre derivado del latín *qualitas* y entre las definiciones dadas se encuentran:

- I) Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor.
- II) Buena calidad, superioridad o excelencia.

Lo cierto es que se ha sugerido que los conceptos relativos a calidad del suelo se han asociado con sostenibilidad, lo que provoca cierta confusión Sojka and Upchurch (1999). De hecho, tradicionalmente el término “calidad del suelo”

aparecía como sinónimo de productividad del mismo, siendo en la década de los años 80-90 cuando comienzan a establecerse las primeras definiciones.

Pero, ¿se utiliza el término calidad con el mismo significado a escala mundial, nacional, regional?. En Europa residuos y lodos son la principal fuente de contaminación de suelos, por lo que existen niveles críticos para concentraciones de metales pesados en suelos (Cd, Cu, Pb, Hg, etc.) que se aplican en todos los países (Anexo 1ª de la directiva 86/288/EEC), de tal modo que estos valores que no deben excederse cuando se añaden al suelo lodos para agricultura. También se han establecido valores críticos para limpiar suelos basados en criterios funcionales y aspectos de salud.

En UK y en relación al desarrollo de suelos potencialmente contaminados el ICRCCL presentó los “trigger values” para un rango de suelos contaminados y diferentes tipos de usos. En Holanda se introdujo la Guía para limpiar suelos en 1983 (Moen et al., 1986). En el caso de Alemania en 1998 el Soil Protection Act incluye ambos valores “trigger y precautionary” como anticipo Bachmann et al. (1997). En España, el HIOBE promulga la Guía de determinación de la calidad de suelos. Todas ellas son guías ampliamente usadas aunque, a veces, no se sabe claramente su base.

En definitiva, no hay consenso dentro de la UE sobre como entender o definir la calidad de suelos, aunque mas bien parece enfocada hacia la contaminación. Otro tanto sucede en Canadá. Howard (1993), en su revisión en el contexto europeo, nota que existen diferentes percepciones, con gran discusión y poco acuerdo. Singer y Ewing (1998) enfatizan esta falta de consenso, sugiriendo que el debate internacional sobre calidad del suelo se ha complicado por el hecho de que en USA la noción de calidad incluye fertilidad y productividad del suelo, sostenibilidad y calidad ambiental.

La subjetividad del término y la dependencia de factores externos a él mismo como el uso, interacciones con el ecosistema, prioridades políticas y socioeconómicas van a dificultar la tarea de llegar a un consenso y así establecer una definición clara y objetiva.

Las definiciones dadas por algunos de los autores han sido las siguientes:

**Larson y Pierce (1991).** La capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas e interactuar positivamente con el medio ambiente externo a ese ecosistema.

**Arshad y Coen (1992).** Su capacidad para aceptar, almacenar y reciclar agua, minerales y energía para la producción de cultivos, preservando un ambiente sano.

**Pierce y Larson (1993).** Capacidad para uso.

**Doran y Parkin (1994).** La capacidad de un suelo para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas para sostener la productividad biológica, mantener la calidad medioambiental, y promover la salud de animales y plantas.

Las diferentes definiciones no han logrado alcanzar un consenso. Sin embargo, la definición más aceptada es la tomada por la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA) como:

**“la capacidad de un suelo específico para funcionar, dentro de los límites de los ecosistemas naturales o manejados, para sostener productividad de plantas y animales y mantener o mejorar la calidad del agua y aire, y apoyar la salud humana y hábitat”** (Karlen et al., 1997).

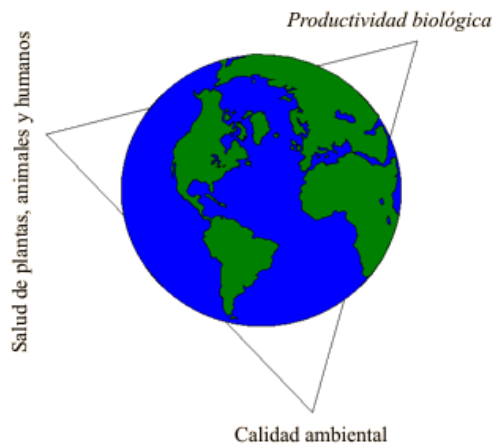
Autores como Sojka y Upchurch (1999) creen que las definiciones de calidad son contextuales y subjetivas, ya que ninguna evaluación de la calidad considera de manera objetiva los aspectos positivos y negativos de todos los indicadores empleados.

En términos simples calidad es “la capacidad para funcionar” (Karlen et al., 1997); concepto que equilibra tres metas básicas: sostenimiento de la productividad biológica, calidad ambiental y salud de las plantas, animales y del hombre (Mausbach y Tugel, 1997). Y aunque algunos sugieren que la calidad del suelo se relaciona simplemente con la productividad, otros enfatizan la importancia sobre como la calidad afecta a la calidad de los alimentos. Finalmente otros proponen que debe ser evaluada sobre la base de su impacto sobre el hábitat para una diversidad de biota (Warkentin, 1995). En términos de producción agrícola, quizás la clave sea máxima producción sin efectos adversos en el medio ambiente. También se ha hecho énfasis en calidad ambiental, salud humana y animal y buena calidad de alimentos (Haberern, 1992).

Cuando hablamos de calidad a veces nos referimos a la pregunta “¿Qué medidas debería hacer o qué puedo observar que me ayude a evaluar los efectos del manejo del suelo en las funciones del suelo ahora y en el futuro?”. En este sentido, se sugiere que los indicadores puedan ser medidas lo suficientemente simples para que no sea necesario la implicación de personal altamente cualificado.

Un rasgo común a todas las definiciones realizadas es que la calidad del suelo debe tener en cuenta tres aspectos fundamentales (Doran y Parkin 1994):

1. **Productividad.** Habilidad del suelo para aumentar la productividad
2. **Calidad ambiental.** Habilidad del suelo para atenuar contaminantes ambientales, patógenos.
3. **Salud.** Las interrelaciones entre la calidad del suelo y plantas, animales y salud humana



**Figura 1.** Principales componentes de la calidad del suelo (Doran & Parkin, 1994))

Algunos requerimientos necesarios para evaluar la calidad del suelo son:

- Dirección del cambio: positivo o negativo
- Magnitud del cambio: porcentaje del cambio sobre los valores base
- Proporción de cambio: duración, meses, años.
- Extensión del cambio: porcentaje del área a controlar, qué porcentaje de granja ha cambiado con respecto a un indicador seleccionado durante un período específico.

### **Indicadores de calidad. Que atributos deben medirse**

Cualquier índice de calidad de suelo debe considerar la función del suelo, pero estas funciones son variadas y a menudo complejas. Un suelo que es considerado de alta calidad para una función puede no ser igual para otras. Como consecuencia hay potencialmente muchas propiedades del suelo que pueden servir como indicadores de la calidad del suelo (Nortcliff, 2002).

Para Arshad (2002) los indicadores de calidad del suelo se refieren a las propiedades del suelo medibles que influyen en la capacidad de realizar funciones de producción agrícola o medioambiental

Criterios básicos de los indicadores son:

- Validez científica
- Disponibilidad y fiabilidad de los datos
- Representatividad
- Sensibilidad a cambios

- Sencillez
- Relevancia y utilidad
- Comparabilidad
- Razonable relación coste/beneficio

Las evaluaciones de la calidad realizadas hasta el momento por diferentes autores difieren o en el método seguido o en los indicadores seleccionados, algo que es entendible pues como hemos afirmado antes la calidad es algo específico de un suelo y uso determinado. Sin embargo, **algunos estudios consideran indicadores de la calidad del suelo cualquiera de las propiedades físicas, químicas y biológicas (SQI, 1996) mientras la mayoría establece la necesidad de aunar todas las propiedades** para conocer el estado global del suelo (Zonneveld, 1982; Doran y Parkin, 1996). Por todo ello podían proponerse los siguientes indicadores:

**Indicadores físicos** tales como textura, densidad real y aparente, porosidad, estabilidad de agregados, encostramiento, compactación y profundidad.

**Indicadores químicos** tales como pH, salinidad, estatus de aireación, materia orgánica, capacidad de cambio catiónico, estatus de nutrientes, concentraciones en elementos tóxicos, y la capacidad amortiguadora.

**Indicadores biológicos** tales como las poblaciones de micro, meso y macroorganismos, nivel de respiración u otros indicadores de la actividad microbiana.

**Indicadores visibles** tales como la erosión, depresiones endorreicas, superficies de escorrentía, etc.

En todo caso la selección final de indicadores debe basarse en:

- uso de los suelos
- relaciones entre las funciones y el indicador
- facilidad de las medidas
- esquema espacial y temporal de las variaciones
- sensibilidad de las medidas a los cambios de uso y comparación con programas de muestreo y monitoreo.

La tabla 1 muestra una serie de indicadores para una caracterización inicial de calidad del suelo propuesta por varios autores como Larson y Pierce (1991), Doran y Parkin (1994) y Seybold *et al.* (1997). Sin embargo, existen indicadores importantes no incluidos como CIC, estabilidad de agregados y propiedades bioquímicas, entre otros.

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
<b>Físicas</b>		
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
<b>Químicas</b>		
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
<b>Biológicas</b>		
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

**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).



## Reflexiones finales

Aceptamos que la evaluación de la calidad es una herramienta útil, (como otras), para el conocimiento del recurso suelo, pero sobre todo, para apoyar en la toma de decisiones adecuadas sobre su manejo. Sin embargo, el concepto de calidad del suelo no ha sido aceptado universalmente, probablemente debido a que se ha tratado como un método supletorio de la capacidad de uso, cuando realmente es un complemento.

El mantenimiento de una buena calidad de los suelos va a traducirse en un mejor funcionamiento del mismo con mayores rendimientos en cuanto a producción y va a proteger al suelo de contra los distintos tipos de degradación y de contaminación asegurando su mantenimiento sostenible para usos futuros.

La evaluación de la calidad va a ofrecer información sobre el estado funcional que presenta el suelo en ese determinado momento y mediante ella va a ser posible identificar áreas de especial interés, áreas problemáticas, o comparar suelos sometidos a manejos diferentes.

Se podrá conocer cuales son los problemas que presentan y será posible a partir de ellos proponer prácticas de conservación y manejo que ayuden a mantener la mejor salud de los suelos. La realización de evaluaciones periódicas va a ser fundamental para saber cómo evoluciona el suelo y si las medidas propuestas son las adecuadas o son necesarias otras prácticas.

En todo caso, resulta complicado evaluar la calidad del suelo, dada la multiplicidad de factores de diferente naturaleza que controlan los procesos biogeoquímicos y su variación en el tiempo, espacio e intensidad. Sugerimos que su evaluación debe llevarse a cabo posteriormente al establecimiento de la capacidad de uso, realizando una priorización en función de los objetivos de manejo específicos, es decir, tras proponer las funciones críticas. La selección de indicadores adecuados para esta función específica del suelo debe centrarse en los horizontes superficiales.

Entendemos que en las próximas décadas el uso sostenible del suelo será un desafío comparable al de otros problemas ambientales mundiales, tales como el cambio climático y la biodiversidad. Será preciso pues, emprender acciones necesarias para satisfacer diversas demandas actuales, sin necesidad de comprometer ni su uso, ni su disponibilidad para las generaciones futuras.

El "**manejo sustentable del suelo**" será aquel que proponga estrategias productivas, al tiempo que mantengan los valores de los indicadores, (a los que podemos denominar en lo sucesivo '**evaluadores**' de la sostenibilidad), dentro de un rango de variación aceptable. Sin embargo, todavía no hay consenso acerca de cuales son esos indicadores y cuales son los valores críticos que en cada uno de ellos señalan un proceso de deterioro del suelo". Dicho de otro modo, no existen criterios universales para evaluar los cambios en la calidad

del suelo. La evaluación de la calidad de forma regular en el tiempo debe ser útil para controlar si las medidas adoptadas en un momento determinado han paliado o no la degradación. Es decir una vez establecidas las medidas de protección del suelo será preciso realizar un seguimiento de los efectos que tienen en el suelo dichas medidas, de forma que si se mantiene una buena calidad se tiene un buen síntoma funcional que se traducirá en unos mayores rendimientos en cuanto a producción, a la vez que se va a proteger al suelo contra los distintos tipos de degradación, esto es asegurando su mantenimiento sostenible para usos futuros.

En todo caso esperamos que el concepto de calidad evolucione positivamente hacia formulas de mayor consenso.

### **Referencias**

Arshad, M.A., Coen, G.M., 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7, 25– 31.

Doran, J.W., Jones, A.J., 1996. Methods for assessing soil quality. *Soil Science Society of America Special Publication*, vol. 49. Soil Science Society of America, Madison, WI. 410 pp.

Doran, J.W., Parkin, T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W. (Ed.). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America Special Publication No. 35. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 3 – 21.

Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicsek, D.F., Stewart, B.A., 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America Special Publication No. 35. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI.

Gomez, A.A., Swete Kelly, D.E., Syers, J.K., Coughlan, K.J., 1996. Measuring sustainability of agricultural systems at the farm level. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), *Methods for Assessing Soil Quality*. Soil Science Society of America Special Publication, vol. 49. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 401– 409.

Haberern, J., 1992. Coming full circle—the new emphasis on soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7, 3– 4.

Howard, P.J.A., 1993. Soil protection and soil quality assessment in the EC. *Sci. Total Environ.* 129, 219–239. Interdepartmental Committee on the Redevelopment of Contaminated Land (ICRCL), 1987. *Guidance on Assessment and Redevelopment of Contaminated Land*, 2nd Edition. ICRCL Central Directorate on Environmental Protection, Department of the Environment Circular 59/83, London.

Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61, 4– 10.

Larson, W.E., Pierce, F.J., 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In: Dumanski, J. (Ed.), *Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World*. Proceedings of the International Workshop,

Mausbach, M.J. and C.A. Seybold. 1998. p. 33-43. In: R. Lal (ed.) *Soil Quality and Agricultural Sustainability*. Ann Arbor Press, Chelsea,

Moen, J.E.T., Cornet, J.P., Ewers, C.W.A., 1986. Soil protection and remedial actions: criteria for decision making and standardisation of requirements. In: Assink, J.W., van den Brink, W.J. (Eds.), *Contaminated Soil*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, pp. 441–448.

National Research Council (NRC), 1993. *Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture*. National Academy Press, Washington, DC.

Nortcliff S. 2002. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88 :161–168

Pierce, F.J., Larson, W.E., Dowdy, R.H., 1984. Soil loss tolerance: maintenance of long-term soil productivity. *Journal of Soil and Water Conservation* 39, 136–138.

Roming, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F., McSweeney, K., 1995. How farmers assess soil health and quality. *Journal of Soil and Water Conservation* 50, 229–236.

Seybold, C.A., M.J. Mausbach, D.L. Karlen, and H.H. Rogers. 1997. Quantification of Soil Quality. In: B.A. Stewart and R. Lal (eds.) *Advances in Agronomy*. Proceedings from an International Symposium on Carbon Sequestration in Soil. Lewis Publishers.

Singer, M.J., Ewing, S., 2000. Soil quality. In: Sumner, M.E. (Ed.), *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. G-271– G-298.

Sojka, R.E., Upchurch, D.R., 1999. Reservations regarding the soil quality concept. *Soil Science Society of America Journal* 63, 1039– 1054.

Warkentin, B.P., Fletcher, H.F., 1977. Soil quality for intensive agriculture. *Intensive Agriculture Society of Science, Soil and Manure*. Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertilizer Management. National Institute of Agricultural Science, Tokyo, pp. 594– 598.

Warkentin, B.P. 1995. The Changing Concept of Soil Quality. *J. Soil Water Cons.* 50:226-8.