

CRITERIOS DE CALIDAD DE SUELO AGRÍCOLA

1. CALIDAD DE SUELO DE USO AGRÍCOLA

1.1 Calidad del suelo.

El Comité de la Sociedad de la Ciencia del Suelo Americana define la calidad del suelo (CS) como *“la capacidad funcional de un tipo específico de suelo, para sustentar la productividad animal o vegetal, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, y sostener el asentamiento y salud humanos, con límites ecosistémicos naturales o determinados por el manejo”* (Karlen *et al* ,1997). La calidad del suelo incluye los conceptos de capacidad productiva del suelo y la protección ambiental. Las funciones específicas representadas por la calidad del suelo (Brejda y Moorman, 2001) incluyen:

1. Captar, mantener y liberar nutrientes y otros compuestos químicos.
2. Captar, mantener y liberar agua a las plantas y recargar las napas subterráneas.
3. Mantener un hábitat edáfico adecuado para la actividad biológica del suelo.

La CS es dinámica y puede cambiar en el corto plazo de acuerdo al uso y a las prácticas de manejo; para conservarla es necesario implementar prácticas sustentables en el tiempo (NRCS, 2004). La mantención o mejora de la CS puede generar beneficios económicos en forma de aumentos la productividad, mayor eficiencia en el uso de nutrientes y pesticidas, mejor calidad del aire y del agua, y reducción de los gases de efecto invernadero (Brejda y Moorman, 2001).

De lo anterior se desprende que la calidad del suelo es una propiedad dinámica asociada al uso del suelo y su función, comúnmente la protección ambiental y la producción silvoagropecuaria.

1.2 Evaluación de calidad de suelo.

La evaluación de la calidad permite mejorar la respuesta de los recursos, como son: pérdida de suelo por erosión, depósitos de sedimento por viento o inundación, reducción de a infiltración e incrementos de lluvia, endurecimiento de la capa superficial, pérdida de nutrientes, transporte de pesticidas, cambios en el pH, aumento de la disponibilidad de metales pesados, pérdida de materia orgánica, reducción de la actividad biológica, infestación de organismos patógenos y reducción de calidad de agua (NRCS, 2004).

La calidad del suelo y del agua de riego se puede ver afectada por el manejo del suelo como uso de maquinaria, utilización de fertilizantes, agroquímicos y enmiendas orgánicas, tipo de cultivo. Un problema que cada día adquiere mayor importancia, por las

connotaciones que pueda tener tanto en la calidad del suelo como de los cultivos y salud humana, es la aplicación benéfica de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas o residuales y los aspectos toxicológicos de su uso en la agricultura (**Anexo 1**)

Debido al carácter dinámico de la CS, ésta puede cambiar en el corto o largo plazo de acuerdo al uso y a las prácticas de manejo, por lo tanto, es necesario monitorear los cambios del suelo y determinar qué prácticas son sustentables (NRCS, 2004). La selección de un conjunto de indicadores de CS y el desarrollo de su aplicación dentro de un sistema de monitoreo son claves para la evaluación de la CS (**Figura 1.1**)

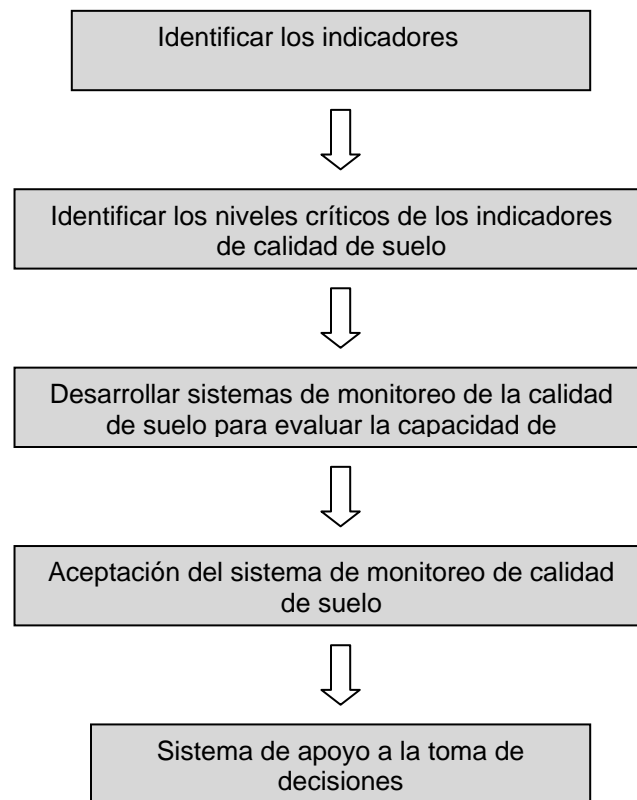


Figura 1.1. Proceso para el desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de suelo. (modificado de Barrios et al., 2002)

El mejoramiento de la calidad de un suelo se percibe, en general, por aumento o disminución en el valor de algunas características. Por ejemplo, puede incrementarse la

tasa de infiltración o de aireación, debido a un aumento de la cantidad de macroporos, a un mayor tamaño y estabilidad de los agregados y una mayor cantidad de materia orgánica. Pero pudiesen reducirse la densidad aparente, la resistencia a la labranza, el crecimiento radical, la tasa de erosión y la pérdida de nutrimentos. Una mejor evaluación se logra si, además de los cambios señalados, se incluyesen otros indicadores potenciales de índole ecológico-biológico; por ejemplo, el grado de diversidad genética (tanto del cultivo como de las especies de microorganismos, insectos y animales benéficos), el rendimiento de los cultivos (en grano o biomasa total), el vigor de las plantas y su desarrollo radical, y la calidad del agua que drena superficialmente, así como la que se pierde por lixiviación subterránea (Parr et al., 1992).

La manutención o mejora de la CS puede generar beneficios económicos en forma de incrementos de la productividad, mayor eficiencia en el uso de nutrientes y pesticidas, mejor calidad del aire y del agua, y reducción de los gases de efecto invernadero (Brejda y Moorman, 2001).

1.3 Indicadores de calidad del suelo.

El suelo, a diferencia del agua y el aire no tiene estándares de calidad definidos debido a su variabilidad, por lo que es casi imposible establecer una simple medida física, química o biológica que la refleje adecuadamente. Se deben considerar, además, otros factores que afectan su funcionamiento, lo que dificulta definir, medir y regular la calidad de este recurso (Bandick y Dick, 1999). La CS se puede evaluar empleando indicadores que reflejen los cambios en la capacidad del suelo y en su función (Dalurzo *et al.* 2002). Los indicadores dependen del ecosistema considerado, debiendo determinarse características que sirvan como indicadores de su sustentabilidad.

Los indicadores directos comúnmente utilizados corresponden a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La capacidad productiva del suelo puede ser evaluada indirectamente con el rendimiento de los sistemas (agrícolas, forestales, ganaderos).

Según la NRCS (2004) los indicadores de CS deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Ser fáciles de medir.
- Medir los cambios en las funciones del suelo.
- Abarcar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Ser accesibles a los evaluadores y aplicables en condiciones de campo.

- Ser sensibles a las variaciones climáticas y de manejo.

Los indicadores de CS permiten analizar la situación actual e identificar puntos críticos con respecto a la sustentabilidad del suelo como medio productivo o bien como recurso natural importante para la calidad de la vida y mantención de la biodiversidad; permiten analizar los posibles impactos antes de una intervención; monitorear el impacto de la intervención y ayudar a determinar si el uso del recurso es sustentable (Hünneimyer et al., 1997). Los indicadores pueden ser variables cualitativas (afloramiento del subsuelo, aparición de canalículos de erosión, aparición de encharcamiento, etc.), variables cuantitativas (tasa de infiltración, capacidad de intercambio catiónico, pH, cantidad de nemátodos u otros) o bien índices compuestos por la relación entre diferentes variables (Astier-Calderón, 2002). La evolución de la calidad del suelo puede determinarse de manera comparativa o relativa. Para esto puede compararse la evolución de un sistema a través del tiempo (comparación longitudinal), u observar simultáneamente uno o más sistemas de manejo alternativo con una referencia (comparación transversal) (Masera et al., 1999).

1.3.1 Indicadores físicos del suelo. Existe una variedad de indicadores físicos de la CS (**Cuadro 1.1**), éstos varían de acuerdo a las características predominantes del lugar en estudio. Doran y Parkin (1994) seleccionaron como indicadores la textura, profundidad, tasa de infiltración de agua del suelo, densidad aparente, y capacidad de retención agua. Chen (2000) por otra parte sugirió la textura del suelo, que se relaciona con la porosidad, infiltración y disponibilidad de agua; la densidad aparente, relacionada con la tasa de infiltración y conductividad hidráulica; y la estabilidad de agregados, que se relaciona con la resistencia a la erosión y contenido de materia orgánica.

Cuadro 1.1 Indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de suelo

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo
Indicadores físicos	
Textura del suelo	Retención y transporte de agua y minerales; erosión del suelo
Profundidad del suelo	Estimación del potencial productivo y de erosión
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lixiviación, productividad y erosión
Capacidad de retención de agua	Relacionado al contenido de humedad, transporte y erosión
Estabilidad de agregados	Erosión potencial de un suelo, infiltración de agua
Indicadores químicos	
Materia orgánica (C y N orgánico)	Fertilidad de suelo, estabilidad y grado de erosión. Potencial productivo.
pH	Actividad química y biológica, límites para el crecimiento de las plantas y actividad microbiana
Conductividad eléctrica	Actividad microbiológica y de las plantas, límites para el crecimiento de plantas y actividad microbiológica
N,P y K extraíble	Disponibilidad de nutrientes para las plantas y pérdida potencial de N, indicadores de productividad y calidad ambiental.
Capacidad de intercambio catiónico	Fertilidad de suelo, potencial productivo
Metales pesados disponibles	Niveles de toxicidad para el crecimiento de la planta y calidad del cultivo
Indicadores biológicos	
Biomasa microbiana (C y N)	Potencial catalizador microbiano y reposición de C y N.
N potencial mineralizable	Productividad del suelo y aporte potencial de N
Respiración edáfica, contenido de agua, temperatura del suelo	Medición de la actividad microbiana.
Nº de lombrices	Relacionado con la actividad microbiana
Rendimiento del cultivo	Producción potencial del cultivo, disponibilidad de nutrientes

Fuente: modificado de Chen 2000

Las propiedades físicas más útiles como indicadores de la calidad del suelo observadas en la Universidad de Chile (www.sap.uchile.cl) son las relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros y estabilidad de los agregados, que reflejan la manera en que el

suelo acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que presenta a la emergencia de las plántulas y al crecimiento de las raíces (Acevedo y Martínez, 2003; Bautista *et al.*, 2004; Valle *et al.* 2005). Los indicadores físicos de CS (**Cuadro 1.1**), varían de acuerdo a las características predominantes del lugar y con el manejo.

1.3.2 Indicadores químicos del suelo. Los indicadores químicos de CS incluyen propiedades que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos (**Cuadro 1.1**). Doran y Parkin (1994) propusieron como indicadores el contenido de materia orgánica (MO), o carbono y nitrógeno orgánico, el pH, la conductividad eléctrica (CE), y el N, P y K disponible. Los indicadores que reflejan estándares de fertilidad (pH, MO, N, P y K) son factores importantes en términos de producción de cultivos. Cuando se evalúa la CS en sistemas polucionados, sin embargo, otros indicadores toman mayor importancia, como es el caso de los los elementos trazas disponibles, Cu, Zn, Cd y Pb seleccionados en Taiwan como indicador químico (Chen 2000).

1.3.3 Indicadores biológicos del suelo. Los indicadores biológicos (Cuadro 2.1) integran los diferentes factores que afectan la calidad del suelo. Generalmente se refieren a la abundancia y subproductos de los organismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos (Bautista *et al.*, 2004). También se considera como indicador biológico el rendimiento de los cultivos (Chen 2000).

Las propiedades biológicas del suelo son muy dinámicas por lo que tienen la ventaja de servir de señales tempranas de degradación o de mejoría de los suelos. Doran y Parkin (1994) seleccionaron como indicadores biológicos el carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana, el nitrógeno potencialmente mineralizable y la respiración edáfica. También se consideran como indicadores biológicos la población de lombrices de tierra y el rendimiento de los cultivos (Chen 2000). Las propiedades biológicas y bioquímicas (respiración edáfica, biomasa microbiana, actividades enzimáticas, microorganismos, y otros) son más sensibles y son valiosas en la interpretación de la dinámica de la materia orgánica y en los procesos de transformación de los residuos orgánicos; además, dan rápida respuesta a los cambios en el manejo del suelo, son sensibles al estrés ambiental y fáciles de medir (Bandick y Dick, 1999). El **Cuadro 1.2** muestra la sensibilidad y respuesta de los indicadores biológicos más usados, y tipo de laboratorio requerido para

su medición.

Cuadro 1.2 Sensibilidad y respuesta de indicadores biológicos de calidad de suelos

Indicador	Sensibilidad	Respuesta	Determinación
Carbono (%)	Muy sensible	Lenta	Laboratorio de suelos
Biomasa C	Muy sensible	Rápida	Laboratorio especializado
Biomasa N	Muy sensible	Rápida	Laboratorio especializado
Biomasa P	Muy sensible	Rápida	Laboratorio especializado
Actividad respiratoria	Muy sensible	Rápida	Laboratorio especializado
Respiración específica	Muy sensible	Rápida	Laboratorio especializado
Act. Deshidrogenasa	Muy sensible	Rápida	Laboratorio de suelos

1.4 Indicadores para evaluar la CS en relación a los metales pesados.

La biomasa de microorganismos del suelo representa menos del 5% de su materia orgánica, sin embargo, desempeña por lo menos tres funciones críticas en el suelo y en el medio ambiente (R.C. Dalal, 1998): es una fuente lábil de carbono, nitrógeno y fósforo, constituye una reserva de estos elementos, y es un agente de transformaciones de nutrientes y de degradación de pesticidas.

Para fines comparativos la biomasa microbiana e índices derivados de ella se han usado exitosamente para medir cambios inducidos por las prácticas de manejo, cero-labranza, rotación de cultivos y otras prácticas culturales, ciclo de nutrientes, disposición de lodo o aplicación de herbicidas e insecticidas.

El incremento actual de la demanda para monitorear la calidad del suelo y cuidar el medio ambiente ha hecho que se modernicen técnicas para medir biomasa u otros índices equivalentes.

La biomasa tiene un rápido “turnover”, lo que determina que experimente cambios muy rápidos frente a modificaciones del medio ambiente, aparición de contaminantes, pesticidas u otros, modificando sus valores antes de que estos cambios se manifiesten en propiedades químicas o físicos del suelo.

Los parámetros medidos y que se encuentran con mayor frecuencia en la literatura son: biomasa, actividades enzimáticas como la deshidrogenasa por ejemplo, y actividad respiratoria (evolución de CO₂) y también ciertos índices que combinan dos o más

parámetros como por ejemplo qCO_2 (cuociente respiratorio) que corresponde a mg de CO_2 respirado por hora y por kilogramo de biomasa microbiana.

Los metales pesados cuando se encuentran en concentraciones excesivas son tóxicos para la mayoría de los organismos y frecuentemente se han reportado efectos tóxicos en los microorganismos del suelo por la presencia de metales pesados, Gillier et al (1998), Lipman y Burgess (1914) y Brown and Minges (1916), hacen las primeras observaciones

Alta contaminación por la presencia de metales pesados en la vecindad de fundiciones causan efectos visibles tales como acumulación en las capas profundas de la materia orgánica y en la superficie causa inhibición de la actividad de los microorganismos del suelo y de la fauna (Tyler, 1975; Strojan, 1978; Freedman y Hutchinson, 1980).

¿Cuál es el nivel tóxico para los microorganismos? Es una pregunta difícil de contestar ya que hay muchos parámetros en juego, como es tipo de suelo, ensayo utilizado, población específica y otros. Pueden considerarse dos aspectos como los cruciales en esta disparidad en los diversos estudios: primero los factores que modifican la toxicidad del metal pesado y segundo, la distinta sensibilidad de los distintos microorganismos a los tóxicos.

Hay estudios agregan sales metálicas a los suelos para tratar de relacionar efectos tóxicos con algunas propiedades de los suelos. Estos estudios generalmente señalan efectos más dañinos en suelos poco estructurados y con baja materia orgánica (Mikkelsen, 1974; Daif y Beusichem, 1981; Doelman y Haanstra, 1984, 1986; Haanstra y Doelman, 1984, 1991; Maliszewska et al., 1985; Hattori, 1992). Sin embargo, no ha sido posible establecer firmemente este tipo de relaciones ya que hay datos contradictorios en diferentes estudios (Tabatabai, 1977). Las distintas especies varían en sensibilidad a los tóxicos (Berdicevsky et al. 1993) e incluso, dentro de una misma especie hay cepas con distinta sensibilidad (Balsalobre et al. 1993; Torslov, 1993). También, entre los estudios suelen haber diferencias metodológicas, lo que agrava las diferencias.

En Chile se ha hecho un seguimiento de suelos incubados con lodos sanitarios en dosis equivalente a 200 y 400 $mg\ kg^{-1}$ de nitrógeno, valor inferior a 15 toneladas por hectárea, (valor propuesto en el anteproyecto de norma para Chile de CONAMA (2000)). Los posibles efectos de los metales pesados se han medido como actividad deshidrogenasa, enzima relacionada al ciclo del carbono y que es producida por los microorganismos presentes en el suelo. No se han observado efectos tóxicos a las dosis aplicadas en lodos provenientes de las plantas de La Ligua (V Región), Rancagua (VI Región) y Curicó (VII

Región) cuyo contenido de metales pesados era bajo, con valores inferiores a los niveles señalados como tóxicos en las normas internacionales. (G. Santander ,2004)

Con el propósito de proponer indicadores que reflejen la calidad de los suelos de uso agropecuario en Chile se dividió el país en seis zonas agroecológicas que corresponden a áreas relativamente homogéneas de actividad silvoagropecuaria. Para cada zona se seleccionó uno o más perfiles de suelo a nivel de serie, familia o asociación. Se seleccionó un total de 14 perfiles para las seis zonas. Adicionalmente, en cada zona se identificaron los principales rubros y tipos de cultivos silvoagropecuarios mediante reclasificación de información publicada en línea por ODEPA y otros estudios regionales.

Las zonas agroecológicas correspondieron a : 1) Zona norte, 2) Zona del secano de la Cordillera de la Costa de Chile Central, 3) Zona Central de Riego, 4) Zona de la Precordillera Centro-Sur, 5) Zona del Secano Interior de la Cordillera de la Costa Sur, y 6) Zona Húmeda del Sur. Dentro de ellas se identificaron las series de suelos de mayor importancia agrícola (Anexo 2. Suelos).

1.5 Literatura citada

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

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

Balsalobre, C.,Calonge, J.,Jiménez, E., Lafuente, R., Mouriño M., Muñoz M.T., Riquelme M. and Mas-Castella J.(1993). Using the metabolic capacity of *Rhodobacter sphaeroides* to assess heavy metals toxicity. Environmental Toxicology and Water Quality 8,437-450

Bandinck, A.K. y Dick,R.P. 1999. Field management effects on soil enzymes activities. Soil Biology and Biochemistry 31(11):1471-1479

Berdicevsky, I., Duek L., Merzbach, D. and Yannai S. 1993. Suceptibility of different yeast species to environmental toxic metals. Environmental Pollution 80,41-44

- Brejeda, J.J. and Moorman, T.B.. 2001. Identification and interpretation of regional soil quality factors for the Central High Plains of the Midwestern USA. *In*: D.E Stott. R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds). Sustaining the Global Farm. pp.535-540.
- Brown, P.E. and Minges G.A. 1916. The effects of some manganese salts on ammonification and nitrification. *Soil Science* 1:67-85
- Daif, M.A. and Beusichem M.L. (1981) Effects of some trace elements on urea hydrolysis in soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 29,249-257.
- Dalal. R.C. 1998. Soil microbial biomass- what the numbers really means?. *Australian Journal of Experimental Agriculture*,38:649-665.
- Dalurzo, H. C., Serial, R. C., Vázquez, S. y Ratto, S. 2002. Indicadores químicos y biológicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina). Facultad de Ciencias Agrarias-UNNE.
- Doelman, P. and Haanstra, L. 1979. Effects of lead on soil respiration and dehydrogenase activity. *Soil Biology and Biochemistry* 11,475-479.
- Doran, J. W., and Parkin, T. B. 1994. Defining and assessing soil quality. *In*: Doran, J. W., Coleman, D. C., Bezdicek, D. C., and B. A. Stewart (eds) .Defining and Assessing Soil Quality for Sustainable Environment. Soil Science Society of America. Special Publication 35. Madison, Wisconsin, USA. pp: 3-21.
- España, M. 2003 Evaluación de la calidad del suelo a través de indicadores bioquímicos. Seminario INIA-CENIAP.
- FAO, 1995. Planning for sustainable use of land resources: towards a new approach . *In*: Sombroeck, W.G., Simms, D.(Eds). Land and Water bulletin No. 2 FAO, Rome.
- Giller, K.E., Witter, E. and McGrath, S.P. (1998) Toxicity of heavy metals to microorganism and microbial processes in agricultural soils: a review .*Soil Biology and Biochemistry* 30 (10-11),1389-1414
- Haanstra, L. and Doelman P. 1984. Glutamic acid decomposition as a sensitive measure of heavy-metal pollution in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 16:595-600.
- Hattori, H. 1992. Influence of heavy metals on soil microbial activities. *Soil Science and Plant Nutrition* 38: 93-100.

- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., and Schuman, G.E.. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:4-10.
- Lipman, C.B. and Burgess, P.S. 1914. The effects of copper, zinc, iron and lead salts on ammonification and nitrification in soils. *University of California Publications in Agricultural Science* 1,127-139.
- Maliszewska W., Dec S., Wierzbicka H. and Wozniakowska A. 1985. The influence of various heavy metal compounds on the development and activity of soil micro-organisms. *Environmental Pollution (Series A)* 37: 195-215
- Mikkelsen J.P. (1974) Indvirkning af bly på jordbundens mikrobiologiske aktivitet. *Statens Forsogsvirksomhed I Plantekultur* 1173: 509-516
- National Resource Conservation Soil (NRCS). 2004. What is soil quality?. United States Department Agriculture. [http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/what_is/]. Visitado el 2/12/04.
- Parr, J. F., Papendick, R. I., Hornick, S. B., and Meyer, R. E. 1992. Soil quality: Attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. *American Journal of alternative Agriculture* 7: 5-11.
- Santander, G. 2004. Efecto de la aplicación de residuos de alto impacto en la actividad biológica de suelos de uso forestal. Tesis para optar al título de Bioquímico. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile.
- Strojan, C.L. 1978. Forest leaf litter decomposition in the vicinity of zinc smelter. *Oecologia* 32, 203-212
- Tabatabai, M.A. 1977. Effects of trace elements on urease activity in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 9: 9-13
- Torslov, J. 1993. Comparison of bacterial toxicity test based on growth, dehydrogenase activity and esterase activity of *Pseudomonas fluorescens*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 25: 33-40
- Tyler, G. 1975. Effect of heavy metal pollution on decomposition and mineralization rates in forest soil. p 217-226. *In*: Hutchinson, T. C., Page, A. L. and Loon, J. C. (eds). *Heavy Metals in the Environment*, Toronto, Canada.

Wander, M.M., Water, G. L., Nissen, T. M., Bollero G. A. M., Andrews, S. S. and Cavanaugh-Grant, D. A. 2002. Soil quality and process. *Agronomy Journal* 94: 23-32.