

Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso

Soil quality indicators: A new way to evaluate this resource

Y. García, Wendy Ramírez y Saray Sánchez

Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"

Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba

E-mail: yoansy.garcia@indio.atenas.inf.cu

Resumen

El suelo es un recurso indispensable para la vida que permite el desarrollo de las plantas, los animales y el hombre. Sin embargo, aún no se reconocen todas las funciones que realiza, por lo que el concepto general de suelo fértil se refiere más bien a sus propiedades químicas, específicamente a la disponibilidad de los macroelementos primarios (nitrógeno, fósforo y potasio). En los últimos años se han propuesto nuevas definiciones que integran las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, así como su capacidad de ser sostenibles, producir alimentos sanos y mitigar la polución medioambiental. No obstante, aún no existen criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo, y para ello se utilizan indicadores que son atributos edáficos sensibles al manejo y a las condiciones edafoclimáticas, entre otras características, que permiten valorar su estado. En este artículo se pretende, de forma general, contribuir al conocimiento de la nueva concepción de la calidad del suelo, a partir de sus funciones; definir los indicadores biológicos, físicos y químicos y la relación entre ellos; así como describir algunos estudios que se han realizado en Cuba sobre el tema de los indicadores de la calidad, como una herramienta para la toma de decisiones en el manejo.

Palabras clave: Calidad, organismos indicadores, suelo

Abstract

Soil is an essential resource for life, which allows the development of plants, animals and men. However, all the functions it performs are not acknowledged yet, for which the general concept of fertile soil rather refers to its chemical properties, specifically to the availability of primary macroelements (nitrogen, phosphorus and potassium). In recent years new definitions have been proposed integrating the physical, chemical and biological properties of soils, as well as their capacity of being sustainable, producing healthy food and mitigating environmental pollution. However, there are no universal criteria yet to evaluate the changes in soil quality, and for such purpose indicators are used, sensitive to management and the edaphoclimatic conditions, among other characteristics, which allow appraising its status. This paper intends, in general, to contribute to the knowledge of the new conception of soil quality, from its functions; define the biological, physical and chemical indicators and the relation among them; as well as to describe some studies which have been conducted in Cuba about the topic of quality indicators, as a tool for decision-making in management.

Key words: Quality, indicator organisms, soil

Introducción

El suelo constituye uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que es la base fundamental para la explotación agropecuaria y forestal. La producción de alimentos depende en un alto porcentaje del uso que se les dé a los suelos (Martin y Adad, 2006).

Según el concepto de Atlas y Bartha (2002) y Nannipieri *et al.* (2003), “el suelo es un sistema estructurado, heterogéneo y discontinuo, fundamental e irremplazable, desarrollado a partir de una mezcla de materia orgánica, minerales y nutrientes capaces de sostener el crecimiento de los organismos y los microorganismos”.

Su formación es un proceso complejo que involucra cambios físicos, químicos y biológicos de la roca originaria. Los físicos implican la reducción del tamaño de las partículas sin ninguna alteración en su composición, y son causados por ciclos de hielo-deshielo, lluvia y otros efectos ambientales. Los químicos son originados por la separación de las partículas minerales de las rocas; su alteración o destrucción y la resíntesis a compuestos sólidos estables se deben, principalmente, a la acción del agua, el oxígeno, el dióxido de carbono y los compuestos orgánicos (Budhu, 2007).

Por su parte, los cambios biológicos son realizados por la comunidad que habita en el suelo: flora (plantas), macrofauna (invertebrados), mesofauna (artrópodos, anélidos, nemátodos y moluscos), microfauna (protozoos y algunos nemátodos) y microbiota (bacterias, actinomicetes, hongos y algas), y el 80-90% de los procesos son reacciones mediadas por la microbiota (Nannipieri *et al.*, 2003; Porta *et al.*, 2003). Estos cambios biológicos son: la degradación y el aporte de materia orgánica, la producción de CO₂ en la respiración, la intervención en la movilidad de los ciclos biogeoquímicos de los elementos y los efectos mecánicos de los animales y las plantas, así como el fraccionamiento de las rocas por las raíces, entre otros (Porta *et al.*, 2003).

Para la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción es necesario disponer de

Introduction

Soil constitutes one of the most important resources for life in the planet, because it is the fundamental basis for agricultural and forestry exploitation. Food production depends in a high percentage on the use soils are put into (Martin and Adad, 2006).

According to the concept proposed by Atlas and Bartha (2002) and Nannipieri *et al.* (2003), “the soil is a structured, heterogeneous and discontinuous, fundamental and irreplaceable system, developed from a mixture of organic matter, minerals and nutrients capable of supporting the growth of organisms and microorganisms”.

Its formation is a complex process which involves physical, chemical and biological changes of the parent rock.

The physical changes imply the reduction of particle size of without any alteration in particle composition, and are caused by cycles of frosting-defrosting, rainfall and other environmental effects. The chemical changes are originated by the separation of mineral particles from the rocks; their alteration or destruction and the resynthesis to stable solid compounds are due, mainly, to the action of water, oxygen, carbon dioxide and organic compounds (Budhu, 2007).

On the other hand, the biological changes are performed by the community that inhabits the soil: flora (plants), macrofauna (invertebrates), mesofauna (arthropods, annelids, nematodes and mollusks), microfauna (protozoa and some nematodes) and microbiota (bacteria, actinomycetes, fungi and algae), and 80-90% of the processes are reactions mediated by the microbiota (Nannipieri *et al.*, 2003; Porta *et al.*, 2003). These biological changes are: degradation and contribution of organic matter, CO₂ production in respiration, intervention in the mobility of biogeochemical cycles of the elements and mechanical effects of animals and plants, as well as fractioning of the rocks by roots, among others (Porta *et al.*, 2003).

For the evaluation of the sustainability of production systems, it is necessary to have indicators that allow determining the long term

indicadores que permitan determinar la calidad ambiental, a largo plazo, que provocará el manejo (Doran y Parkin, 1994). En este sentido, el objetivo de este artículo es contribuir al conocimiento de nuevos conceptos de la calidad del suelo, y de los indicadores que la determinan.

Un concepto nuevo de fertilidad del suelo

Se han propuesto muchos conceptos para definir la fertilidad del suelo; “suelo fértil” se ha usado convencional y tradicionalmente para comprender y conocer el estado y el comportamiento de los suelos en los contextos agropecuario y forestal (Brady, 1990; Havlin *et al.*, 1999). La definición común de suelo fértil plantea que es aquel que tiene la capacidad de suministrar los nutrientes suficientes al cultivo, asegurando su crecimiento y su desarrollo (Brady, 1990; Havlin *et al.*, 1999).

Esta definición se ajustaba bien a la agricultura industrial, hasta que esta comenzó a mostrar sus efectos (Soto, 2006). Riechman y Sempere (2003) plantearon que dicha agricultura ha tenido un impacto negativo en el suelo, manifestado en la degradación del 40% de la superficie agrícola en los últimos 50 años, la desertificación del planeta (seis millones de hectáreas por año) y la velocidad de la degradación –irreversible– del medio edáfico (que subió de un 10% por año en 1980 a 16% en 1990).

El suelo ya no es un recurso renovable y, además de producir, debe descomponer la materia orgánica y al hacer esto reciclar nutrientes, renovándose a sí mismo (Soto, 2006).

La definición anterior excluye otras propiedades que influyen, en gran medida, en el crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo que muchos autores la consideran incompleta o limitada; por ejemplo Pieri (1989) y Etchevers (1999) plantearon que la fertilidad del suelo es un concepto mucho más abarcador, que debe integrar los atributos físicos, químicos y biológicos.

Los tres atributos tienen una estrecha relación entre sí y participan de manera activa en la producción y la estabilidad de los agroecosistemas. Por ejemplo, los macroinvertebrados del suelo intervienen en los procesos de

environmental quality that management will cause (Doran and Parkin, 1994). In this sense, the objective of this paper is to contribute to the knowledge of new concepts of soil quality, and of the indicators that determine it.

A new concept of soil fertility

Many concepts have been proposed to define soil fertility; “fertile soil” has been conventionally and traditionally used to understand and know the status and behavior of soils in the agricultural and forestry contexts (Brady, 1990; Havlin *et al.*, 1999). The common definition of fertile soil states that it is the one which has the capacity to supply enough nutrients to the crop, ensuring its growth and development (Brady, 1990; Havlin *et al.*, 1999).

This definition was well adjusted to industrial agriculture, until it began to show its effects (Soto, 2006). Riechman y Sempere (2003) stated that such agriculture has had a negative impact on the soil, shown in the degradation of 40% of the agricultural soil in the last 50 years, the desertification of the planet (six million hectares per year) and the degradation rate –irreversible– of the edaphic medium (which increased from 10% per year in 1980 to 16% in 1990).

The soil is not a renewable resource anymore and, besides producing, it must decompose the organic matter and by doing this, recycle nutrients, renewing itself (Soto, 2006).

The previous definition excludes all other properties that influence, to a large extent, plant growth and development, for which many authors consider it incomplete or limited; for example Pieri (1989) and Etchevers (1999) stated that soil fertility is a much more comprehensive concept, which should integrate physical, chemical and biological attributes.

The three attributes are closely related among themselves and participate actively in the production and stability of agroecosystems. For example, soil macroinvertebrates participate in the processes of infiltration, aeration and incorporation of organic matter in the soil (Huerta *et al.*, 2008); and microorganisms, such as bacteria, fungi and protozoa, which can be called

infiltración, aireación e incorporación de la materia orgánica en el suelo (Huerta *et al.*, 2008); y los microorganismos, como las bacterias, los hongos y los protozoos, los cuales pueden denominarse ingenieros químicos del suelo, son los responsables de la descomposición de la materia orgánica y de hacer disponibles los nutrientes para las plantas, los animales y los humanos; además tienen gran importancia en la formación del humus (Turbé *et al.*, 2010). En este sentido, Cairo y Herrera (1994) plantearon que el incremento de la materia orgánica en 1% incrementa en 2 cmol.kg⁻¹ la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Por tanto, las propiedades biológicas tienen una estrecha relación con las físicas, como la agregación, y con las químicas, como la capacidad de intercambio iónico y la disponibilidad de nutrientes, lo cual determina que un suelo fértil sea el que conserve las propiedades físicas, químicas y biológicas deseables, mientras suministra adecuadamente el agua y los nutrientes, y provee de sostén mecánico a las plantas (Etchevers, 1999).

Surgimiento de los indicadores de la calidad del suelo

El término 'calidad del suelo' se comenzó a usar al reconocer las funciones de este (Doran y Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1997), las cuales son las siguientes:

1. Promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible).
2. Atenuar los contaminantes ambientales y los patógenos (calidad ambiental).
3. Favorecer la salud de las plantas, los animales y los humanos.

Para el desarrollo de este concepto también se tuvo en cuenta que el suelo es el sustrato básico para las plantas; este capta, retiene y emite agua, y es, además, un filtro ambiental efectivo (Larson y Pierce, 1991). De esta manera, refleja la capacidad para funcionar dentro de los límites del ecosistema del que forma parte y con el cual interactúa (Parr *et al.*, 1992).

chemical engineers of the soil, are responsible for organic matter decomposition and for making nutrients available for plants, animals and humans; in addition, they are highly important in humus formation (Turbé *et al.*, 2010). In this sense, Cairo and Herrera (1994) stated that the increase of organic matter in 1% increases the cation exchange capacity (CEC) in 2 cmol.kg⁻¹.

Thus, biological properties have a close relation to the physical ones, such as aggregation, and to the chemical ones, such as ion exchange capacity and nutrient availability, which determines that a fertile soil is the one that preserves the desirable physical, chemical and biological properties, while adequately supplying water and nutrients and providing mechanical support to the plants (Etchevers, 1999).

Emergence of soil quality indicators

The term 'soil quality' began to be used when the soil functions were acknowledged (Doran and Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1997), which are the following:

1. To promote the system productivity without losing its physical, chemical and biological properties (sustainable biological productivity).
2. To attenuate the environmental contaminants and pathogens (environmental quality).
3. To favor plant, animal and human health.

For the development of this concept, it was also taken into account that the soil is the basic substratum for plants; it absorbs, retains and emits water, and is, besides, an effective environmental filter (Larson and Pierce, 1991). This way, it reflects the capacity to function within the limits of the ecosystem, of which it is part and with which it interacts (Parr *et al.*, 1992).

Soil quality is considered a measure of its capacity to function adequately with regards to a specific use (Gregorich *et al.*, 1994). However, Arshad and Coen (1992) ascribed a more ecological link to this concept, by defining it as its capacity to accept, store and recycle water, minerals and energy for crop production, and, in turn, to preserve a healthy environment.

The most contemporary definitions of soil quality are based on several of its functions and

La calidad del suelo se considera como una medida de su capacidad para funcionar adecuadamente en relación con un uso específico (Gregorich *et al.*, 1994). Sin embargo, Arshad y Coen (1992) le adjudicaron a este concepto un vínculo más ecológico, al definirlo como su capacidad para aceptar, almacenar y reciclar agua, minerales y energía para la producción de cultivos, y a la vez preservar un ambiente sano.

Las definiciones más contemporáneas de calidad del suelo se basan en varias de sus funciones y no solo en un uso específico, aunque este concepto continúa evolucionando (Singer y Ewing, 2000). El Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America sintetizó esta definición como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de las plantas y los animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat.

Para que este concepto sea funcional es necesario contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Así surgen los indicadores, pues las variables representan una condición y conllevan información sobre los cambios o tendencias (Dumanski *et al.*, 1998).

Los indicadores de la calidad de suelo se conciben como una herramienta de medición que debe ofrecer información sobre las propiedades, los procesos y las características. Estos se miden para dar seguimiento a los efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo en un periodo dado (Astier *et al.*, 2002).

Adriaanse (1993) refirió que los indicadores son instrumentos de análisis que permiten simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos, y son usados en muchas esferas del conocimiento (economía, salud, recursos naturales, etc.). Los indicadores de la calidad del suelo pueden ser las propiedades físicas, químicas y biológicas, o los procesos que ocurren en él (SQI, 1996). Según Hünemeyer *et al.* (1997), los indicadores deberían permitir:

1. Analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible.

not only on a specific use, although this concept continues to evolve (Singer and Ewing, 2000). The Soil Health Committee of the Soil Science Society of America synthesized this definition as the soil capacity to function within the limits of a natural or managed ecosystem, support plant and animal productivity, maintain or improve air and water quality, and sustain human health and habitat.

For this concept to be functional, it is necessary to have variables which can serve to evaluate the soil status. Thus the indicators emerge, because the variables represent a status and carry information about the changes or trends (Dumansky *et al.*, 1998).

Soil quality indicators are conceived as a measurement tool which should provide information about the properties, processes and characteristics. They are measured to follow up the effects of management on soil functioning in a given period (Astier *et al.*, 2002).

Adriaanse (1993) referred that indicators are analysis instruments that allow simplifying, quantifying and communicating complex phenomena, and are used in many areas of knowledge (economics, health, natural resources, etc.). Soil quality indicators can be the physical, chemical and biological properties or the processes that occur in it (SQI, 1996). According to Hünemeyer *et al.* (1997), the indicators should allow:

1. Analyzing the current situation and identifying the critical points with regards to sustainable development.
2. Analyzing the possible impacts before an intervention.
3. Monitoring the impact of anthropic interventions.
4. Helping to determine whether the use of the resource is sustainable.

Conditions that soil quality indicators should fulfill

For the physical, chemical and biological properties of the soil to be considered quality indicators they should fulfill the following conditions (Masera *et al.*, 1999):

2. Analizar los posibles impactos antes de una intervención.
3. Monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas.
4. Ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.

Condiciones que deben cumplir los indicadores de la calidad del suelo

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de la calidad deben cubrir las siguientes condiciones (Masera *et al.*, 1999):

- Ser integradores.
- Ser fáciles de medir, basados en información objetiva y fácil de reconocer.
- Ser adecuados al nivel de análisis y al sistema estudiado.
- Ser preferentemente aplicables a un rango de ecosistemas y condiciones.
- Reflejar el atributo de sostenibilidad que se quiere evaluar.
- Ser fáciles de entender.
- Permitir cambios y diferencias entre los sistemas.
- Centrarse en aspectos prácticos y claros.

Además de las condiciones anteriores, dentro de los atributos seleccionados como indicadores de la calidad de los suelos, Ramírez (2004) señaló que:

- Deben ser sensibles a los cambios que sufre el suelo, tanto en los procesos de degradación como en los de recuperación.
- Debe haber una alta correlación con los procesos del ecosistema.
- Deben integrar los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo.
- Deben ser relativamente fáciles de medir en condiciones de campo, tanto por los productores como por los especialistas.

Teniendo en cuenta que el suelo es un ecosistema donde interactúan múltiples factores y que no es posible que un solo indicador provea una información completa, es necesario basarse en indicadores físicos, químicos, biológicos, productivos y sociales para determinar la calidad

- Be integrative.
- Easy to measure, based on objective, easy-to-recognize information.
- Adequate to the level of analysis and the studied system.
- Preferably applicable to a range of ecosystems and conditions.
- Reflect the sustainability feature that is to be evaluated.
- Easy to understand.
- Allow for changes and differences among ecosystems.
- Focus on practical and clear aspects.

In addition to the above-mentioned conditions, within the attributes selected as soil quality indicators, Ramírez (2004) stated that:

- They should be sensitive to the changes undergone by the soil, in the degradation as well as the recovery processes.
- There should be a high correlation to the ecosystem processes.
- The soil physical, chemical and biological processes should be integrated.
- They should be relatively easy to measure under field conditions, by farmers as well as by specialists.

Taking into consideration that the soil is an ecosystem where many factors interact and that it is not possible for a single indicator to provide complete information, it is necessary to rely on physical, chemical, biological, productive and social indicators in order to determine the soil quality and/or health (Doran and Parkin, 1994; Ramírez, 2004).

Larson and Pierce (1991), Doran and Parkin (1994) and Seybold *et al.* (1997) established a minimum group of soil properties to be used as indicators, because there were many and not all of them had enough accuracy and importance; among them are the physical, chemical and biological indicators.

Physical indicators

The soil physical characteristics are a necessary part in evaluating the quality of this resource, because they cannot be easily

y/o la salud del suelo (Doran y Parkin, 1994; Ramírez, 2004).

Larson y Pierce (1991), Doran y Parkin (1994) y Seybold *et al.* (1997) establecieron un grupo mínimo de propiedades del suelo para ser utilizadas como indicadores, ya que existían muchas y no todas tenían la suficiente precisión e importancia; entre ellas se encuentran los indicadores físicos, los químicos y los biológicos.

Indicadores físicos

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso, ya que no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000). La calidad física del suelo se asocia con el uso eficiente del agua, los nutrientes y los pesticidas, lo cual reduce el efecto invernadero (Navarro *et al.*, 2008), y conlleva un incremento de la producción agrícola (Lal, 1998). Esta calidad no se puede medir directamente, pero se infiere a través de los indicadores de la calidad (estáticos o dinámicos) y de la medición de los atributos que están influenciados por el uso y las prácticas de manejo (Carter, 2002; Sánchez-Maranon *et al.*, 2002; Dexter, 2004). La estructura, la densidad aparente, la estabilidad de los agregados, la infiltración, la profundidad del suelo superficial, la capacidad de almacenamiento del agua y la conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad.

Indicadores químicos

Los indicadores químicos se refieren a las condiciones de este tipo 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 los microorganismos (SQI, 1996). Entre ellos se encuentran la disponibilidad de nutrientes, el carbono orgánico total, el carbono orgánico lábil, el pH, la conductividad eléctrica, la capacidad de absorción de fosfatos, la capacidad de intercambio de cationes, los cambios en la materia orgánica, el nitrógeno total y el nitrógeno mineralizable.

improved (Singer and Ewing, 2000). The soil physical quality is associated to the efficient use of water, nutrients and pesticides, which reduces the greenhouse effect (Navarro *et al.*, 2008), and leads to an increase of agricultural production (Lal, 1998). This quality cannot be directly measured, but it is inferred through quality indicators (static or dynamic) and by measuring the attributes that are influenced by the use and management practices (Carter, 2002; Sánchez-Maranon *et al.*, 2002; Dexter, 2004). The structure, apparent density, aggregate stability, infiltration, topsoil depth, water storage capacity and saturated water conductivity are the soil physical characteristics which have been proposed as indicators of its quality.

Chemical indicators

Chemical indicators refer to the conditions of this type that affect the soil-plant relations, water quality, soil buffering capacity and water and nutrient availability for plants and microorganisms (SQI, 1996). Among them are nutrient availability, total organic carbon, labile organic carbon, pH, electrical conductivity, phosphate adsorption capacity, cation exchange capacity, changes in organic matter, total nitrogen and mineralizable nitrogen.

Biological indicators

Biological indicators integrate a large number of factors that affect soil quality, such as macroinvertebrate abundance and byproducts (Karlen *et al.*, 1997). They break, transport and mix the soil by constructing galleries, nests, feeding sites, excreta or compartments (Villani *et al.*, 1999); they affect the processes directly –incorporation and redistribution of several materials– or indirectly –formation of microbial communities, propagule transport, antibiosis or selective viability reduction, etc.– (Wolters, 2000); they include such functions as the respiration rate, ergosterol and other byproducts of fungi, decomposition rates of plant residues, and N and C of the microbial biomass (SQI, 1996; Karlen *et al.*, 1997). As microbial biomass is much more sensitive to change than total C, the microbial

Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos integran una gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo, como la abundancia y los subproductos de los macroinvertebrados (Karlen *et al.*, 1997). Estos rompen, transportan y mezclan el suelo al construir galerías, nidos, sitios de alimentación, túriculos o compartimientos (Villani *et al.*, 1999); afectan los procesos de manera directa –incorporación y redistribución de varios materiales– o indirecta –formación de comunidades microbiales, transporte de propágulos, antibiosis o reducción selectiva de la viabilidad, etc.– (Wolters, 2000); incluyen funciones como la tasa de respiración, el ergosterol y otros subproductos de los hongos, las tasas de descomposición de los residuos vegetales, y el N y el 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 microbiano:C orgánico del suelo para detectar cambios tempranos en la dinámica de la materia orgánica (Sparling, 1997).

Los cambios temporales en las propiedades del suelo constituyen indicadores de su funcionamiento y del manejo a que es sometido. Sin embargo, debe considerarse que, aunque para su mejor comprensión se estudien independientemente una de otra, entre todas ellas existe una estrecha interrelación y dependencia, que hace que de la interpretación de alguna se pueda inferir el comportamiento de otras (Mortola y Lupi, 2011). Por ejemplo, las propiedades físicas más útiles como indicadores de la calidad del suelo, observadas en la Universidad de Chile, son las relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros y con la estabilidad de los agregados, las cuales reflejan la manera en que el suelo acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como sus limitaciones para la emergencia de las plántulas y el crecimiento de las raíces (Acevedo *et al.*, 2005). Los indicadores físicos de la calidad del suelo varían de acuerdo con las características predominantes del lugar y el manejo, lo cual es válido también para los indicadores químicos y biológicos. En el cuadro 1 se muestran los indicadores que más se utilizan a nivel mundial.

C:organic C ratio of the soil has been proposed to detect early changes in the organic matter dynamics (Sparling, 1997).

The temporary changes in soil properties constitute indicators of its functioning and the management to which it is subject. However, it should be considered that, although for their better understanding they are studied independently form each other, among all of them there is a close interrelation and dependence, which makes it possible that from the interpretation of any of them the performance of others can be interpreted (Mortola and Lupi, 2011). For example, the most useful physical properties as soil quality indicators, observed at the University of Chile, are the ones related to the arrangement of particles and pores and aggregate stability, that reflect the way in which the soil accepts, retains and transmits water to plants, as well as its limitations for seedling emergence and root growth (Acevedo *et al.*, 2005). The physical indicators of soil quality vary according to the prevailing characteristics of the site and management, which is also valid for the chemical and biological indicators. Chart 1 shows the most used indicators worldwide.

Soil quality indicators: a tool for decision-making

The use of soil quality indicators can be a fast tool for decision-making, because they are sensitive to management in the short, medium and long term, depending on the property and the evaluated soil. For example, in the case of texture, to perceive changes 1 000 years are necessary (Arnold *et al.*, 1990); nevertheless, the changes in the infiltration rate are perceived in less than a year (Arshad and Coen, 1992). The same occurs for a group of properties which, well managed, can reflect a sensitive diagnosis of the quality of a certain soil.

In Colombia a geo-referential system of soil quality indicators was developed (Rubiano *et al.*, 2004), which –from a database– allows their characterization and combines morphological and analytical elements. The indicators are conformed through a qualification system that allows

Cuadro 1. Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo.
Chart 1. Physical, chemical and biological soil quality indicators.

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo
<i>Físicos</i>	
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 con el contenido de humedad, transporte y erosión.
Estabilidad de agregados	Erosión potencial de un suelo, infiltración de agua.
<i>Químicos</i>	
Materia orgánica (C y N orgánico)	Fertilidad del 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 las plantas y la 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 la calidad del cultivo.
<i>Biológicos</i>	
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.
Número de lombrices	Relacionado con la actividad microbiana.
Rendimiento del cultivo	Producción potencial del cultivo, disponibilidad de nutrientes.

Fuente: De Chen (2000) modificado por Acevedo *et al.* (2005).

Indicadores de la calidad del suelo: una herramienta para la toma de decisiones

El uso de indicadores de la calidad del suelo puede ser una herramienta rápida para la toma de decisiones, ya que estos son sensibles al manejo en el corto, mediano y largo plazos, en dependencia de la propiedad y del suelo que se evalúe. Por ejemplo, en el caso de la textura, para percibir cambios se necesitan 1 000 años (Arnold *et al.*, 1990); sin embargo, los cambios en la tasa de infiltración se perciben en menos de un año (Arshad y Coen, 1992). Así ocurre para un conjunto de propiedades que, bien manejadas, pueden reflejar un diagnóstico sensible de la calidad de un suelo determinado.

En Colombia se desarrolló un sistema georreferencial de indicadores de la calidad de los suelos (Rubiano *et al.*, 2004), el cual –a partir de una base de datos– permite su

visualizing the degree and number of soil limitations, which, integrated to a geographical information system, can be a tool in the decision-making of managers, technical personnel and even farmers.

Current situation of Cuban agricultural soils

Cuba has a large variety of soils and 14 groupings are acknowledged (Instituto de Suelos, 1989; 1999), which are similar in the formation process by the action of common factors (climate, parent rock, vegetation, relief). The prevailing soils are sialitic Brown (27,0%), Ferralitic (16,7%) and Fersialitic (11,6%) with regards to the total (Instituto de Suelos, 1999).

The most recent studies about land evaluation in the country, defined that 65% of the soils are diagnosed as corresponding to categories III and IV (Instituto de Suelos, 2006), which implies that they are affected by some or other limiting fac-

caracterización y combina elementos morfológicos y analíticos. Los indicadores se conforman mediante un sistema de calificación que permite visualizar el grado y el número de limitaciones del suelo, lo que, integrado a un sistema de información geográfica, puede ser una herramienta en la toma de decisiones de los directivos, el personal técnico e incluso de los productores.

Situación actual de los suelos agrícolas de Cuba

Cuba tiene una gran variedad de suelos y se reconocen 14 agrupamientos (Instituto de Suelos, 1989; 1999), los cuales son similares en el proceso de formación por la acción de factores comunes (clima, roca madre, vegetación, relieve). Los suelos predominantes son los Pardos sialíticos (27,0%), los Ferralíticos (16,7%) y los Fersialíticos (11,6%) respecto al total (Instituto de Suelos, 1999).

Los últimos estudios sobre la evaluación de las tierras en el país definieron que el 65% de los suelos se diagnostican como de las categorías III y IV (Instituto de Suelos, 2006), lo que implica que están afectados por uno u otro factor limitante y ello provoca que su rendimiento potencial esté por debajo del 50%. De esto se deriva que, para que la agricultura sea sostenible, se debe tener un alto grado de eficiencia y cuidado en el manejo de los agroecosistemas, para no romper el equilibrio ecológico.

Los factores que más influyen en la baja productividad de los suelos cubanos son: el bajo contenido de nutrientes y de materia orgánica, y una tendencia a la acidez. En estudios recientes se obtuvo una depreciación de 10 526 millones USD/ha; el carbono representó el 94% del monto total y el restante fue de nitrógeno; asimismo se demostró la disminución de la materia orgánica, componente base de la sostenibilidad de los ecosistemas.

Estudio de indicadores de la calidad de los suelos en Cuba

Durante las décadas de los 80 y 90 se realizó en Cuba un Programa Nacional de Regionalización de las gramíneas, las leguminosas y las leñosas

tor and this causes their potential yield to be below 50%. From this it is derived that, for agriculture to be sustainable, high efficiency and care must be had in the management of agroecosystems, in order to prevent breaking ecological balance.

The factors that influence the most the low productivity of Cuban soils are: low nutrient and organic matter content, and a trend to acidity. In recent studies a depreciation was obtained of 10 526 million USD/ha; carbon represented 94% of the total and the rest was nitrogen; likewise, the decrease of organic matter, basic component of the ecosystem sustainability, was proven.

Study of soil quality indicators in Cuba

During the 80s and 90s a National Regionalization Program was made of grasses, legumes and multipurpose trees of interest for livestock production (Paretas and López, 2006). This program signaled the beginning of a new form of work in soil evaluation, because many of the factors managed in this study constitute soil quality indicators, in the strict sense, under the current exploitation conditions of production systems.

Later studies, related to the attainment of a software (SEMCAS) to evaluate and monitor soil quality (Font, 2007) and the use of quality indicators in livestock production systems (Lok, 2005), showed the importance and interest assigned to these quality indicators in Cuba. Management systems with diverse uses and their influence on soil have also been studied and compared, through quality indicators. In this case Díaz *et al.* (2005), when working with five different systems, but on the same soil (Brown with Carbonates), used the physical and some biological indicators as the most representative ones, based on the good chemical attributes it has. It has also been proven that the stratification of organic matter between 0-10 and 10-20 cm allows appraising the long-term soil management (Díaz *et al.*, 2008).

In addition, multivariate analyses were conducted to determine the quality indicators of Ferralitic Red soils of the central region in Cuba, where the most representative indicators were the physical ones, that is: permeability, stable

multipropósito de interés para la ganadería (Paretas y López, 2006). Este programa marcó el inicio de una nueva forma de trabajo en la evaluación de los suelos, ya que muchos de los factores que se manejaron en ese estudio constituyen indicadores, propiamente dichos, de la calidad de los suelos en las condiciones actuales de explotación de los sistemas de producción.

Estudios posteriores, relacionados con la obtención de un software (SEMCAS) para evaluar y monitorear la calidad de los suelos (Font, 2007) y el uso de indicadores de la calidad en los sistemas ganaderos (Lok, 2005), demostraron la importancia y el interés que se les concede a estos indicadores de la calidad en Cuba. También se han estudiado y comparado sistemas de manejo con diversos usos y su influencia en el suelo, a través de indicadores de la calidad. En este caso Díaz *et al.* (2005), al trabajar con cinco sistemas distintos, pero bajo un mismo suelo (Pardo con Carbonato), utilizaron como indicadores más representativos los físicos y algunos biológicos, basado en los buenos atributos químicos que este posee. También se ha comprobado que la estratificación de la materia orgánica entre 0-10 y 10-20 cm permite valorar el manejo del suelo a largo plazo (Díaz *et al.*, 2008).

Además se realizaron análisis multivariados para determinar los indicadores de la calidad de los suelos Ferralíticos Rojos de la región central de Cuba, donde los indicadores más representativos fueron los físicos, o sea: la permeabilidad, los agregados estables, la estructura y el límite inferior de plasticidad (Colás *et al.*, 2008). De acuerdo con lo antes expuesto, Valdés *et al.* (2009) propusieron los indicadores físicos como fundamentales en la evaluación del índice de estabilidad a nivel de los ecosistemas agrícolas. Se han hecho estudios de la calidad de los suelos con el empleo de indicadores biológicos, tales como: la respiración basal e inducida, la nitrificación real y potencial y la descomposición de la celulosa, para determinar los efectos de la calidad del suelo sobre los productos biológicos (Del Castillo y Campos, s/f).

En síntesis, los estudios en Cuba aún son escasos debido a la novedad de la temática, por lo

aggregates, structure and lower plasticity limit (Colás *et al.*, 2008).

According to the above-presented facts, Valdés *et al.* (2009) proposed the physical indicators as fundamental in the evaluation of the stability index at the level of agricultural ecosystems. Studies of soil quality have been conducted using biological indicators, such as: basal and induced respiration, real and potential nitrification and cellulose decomposition, to determine the effects of soil quality on biological products (Del Castillo and Campos, s/f).

Summarizing, the studies in Cuba are still scarce because of the novelty of the topic, for which their implementation and in-depth research are recommended.

Conclusions

Soil quality is a current and necessary term, which should be considered in the evaluation of the sustainability of systems.

Soil quality indicators constitute a powerful tool for decision-making in soil management and use at local, regional and global scale, and their study should be done in a particular way, according to the conditions of each agroecosystem.

--End of the English version--

que se recomienda su puesta en práctica y su profundización.

Conclusiones

La calidad del suelo es un término actual y necesario, que se debe considerar en la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas.

Los indicadores de la calidad del suelo constituyen una herramienta poderosa para la toma de decisiones en el manejo y uso del suelo a escala local, regional y global, y su estudio debe hacerse de forma particular, según las condiciones de cada agroecosistema.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, E. *et al.* 2005. Criterios de calidad de suelo agrícola. Ministro de la Agricultura. Servicio agrícola y ganadero. Gobierno de Chile. 205 p. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000400009 [8/2/2010]

- 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
- Arnold, R.W. *et al.* 1990. Global soil change : report of an International Institute for Applied System Analysis, International Society of Soil Science, United Nations. Environmental Programme: task force on the role of soil in global change. International Society of Soil Science, UNEP. Laxenburg, Austria. 110 p.
- Arshad, M.A. & Coen, G.M. 1992. Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. *American J. of Alternative Agriculture*. 7:25
- Astier, M. *et al.* 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*. 36 (5):605
- Atlas, R. & Bartha, R. 2001. Ecología microbiana y microbiología ambiental. 4ta. ed. Addison Wesley. Madrid, España. 677 p.
- Brady, N.C. 1990. The nature and properties of soils. McMillan Publishing Company. New York, USA. 621 p.
- Budhu, M. 2007. Soil mechanics and foundations. 2da. ed. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA. 634 p.
- Cairo, P. & Herrera, O. 1994. Algunas propiedades físicas de los suelos. Edafología. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 476 p.
- Carter, R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*. 94:38
- Colás, A. *et al.* 2008. Análisis multivariado de las propiedades de un suelo Ferralítico Rojo (Oxisol), como base para la selección de indicadores de calidad. *Centro Agrícola*. 35 (3):17
- Del Castillo Ramírez, A. & Mena Campos, J. (s/a). Influencia de la calidad del suelo sobre la eficiencia del bionematicida Hebernem. <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/revistas/index/assoc/HASH0144/19b1800f.dir/doc.pdf>. [8/2/2010]
- Dexter, A.R. 2004. Soil physical quality. Part I. Theory, effect of soil texture, density and organic matter, and effect on root growth. *Geoderma*. 120:201
- Díaz, B. *et al.* 2005. Evaluación de la sostenibilidad del manejo del suelo Pardo con Carbonato (Inceptisol) a través de indicadores de calidad del mismo. *Centro Agrícola*. 32 (2):73
- Díaz, B. *et al.* 2008. Evaluación del manejo del suelo pardo mullido medianamente lavado a largo plazo a través de la razón de estratificación de la materia orgánica y el índice de calidad del suelo. *Centro Agrícola*. 35 (3):25
- Doran, J.W. *et al.* 1994. Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication No. 35. Madison, Wisconsin, USA. 244 p.
- Dumanski, J. *et al.* 1998. Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank. Washington DC, USA
- Etchevers, B. 1999. Indicadores de calidad de suelos. En: Conservación y restauración de suelos. (Eds. C.H. Siebe *et al.*). Universidad Nacional Autónoma de México y Programa Universitario del Medio Ambiente. México, D.F. p. 239
- Font, L. 2007. Sistema de evaluación y monitoreo de la calidad del suelo con un software a tal fin. http://innovacion.idict.cu/Resultados_cvview.asp?id=363. [8/2/2010]
- Gregorich, E.G. *et al.* 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian J. of Soil Science*. 74:367
- Havlin, J.L. *et al.* 1999. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. Prentice Hall. New Jersey, USA. 499 p.
- Hernández, A. *et al.* 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. MINAGRI, AGRINFOR. La Habana, Cuba. 64 p.
- Huerta, Esperanza *et al.* 2008. Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. *Terra Latinoamericana*. 26 (2):171
- Hünne Meyer, J.A. *et al.* 1997. Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 157 p.
- Instituto de Suelos. 1989. Mapa de suelos escala 1:25000. MINAGRI. La Habana, Cuba
- Instituto de Suelos. 2006. La evaluación de tierras, base para el monitoreo de la degradación de los suelos. En: Resúmenes del Taller "La metodología LADA y la evaluación de las tierras de Cuba". La Habana, Cuba. p. 25
- Karlen, D.L. *et al.* 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America J.* 61:4
- Lal, R. 1998. Soil quality and agricultural sustainability. In: Soil quality and agricultural sustainability. (Ed. R. Lal). Ann Arbor Press, Chelsea, MI. p. 3
- Larson, W.E. & Pierce, F.J. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In: Evaluation for sustainable land management in the developing world. Proc. of the Int. Workshop on evaluation

- for sustainable land management in the developing world. Bangkok, Thailand. p. 175
- Lok, Sandra. 2005. Estudio y selección de indicadores de la estabilidad en el sistema suelo-planta de pastizales en explotación. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 100 p.
- Martin, N. & Adad, Idaybis. 2006. Generalidades más importantes de las ciencias del suelo. En: *Disciplina Ciencias del Suelo. Tomo I. Pedología*. Universidad Agraria de La Habana. Cuba. 504 p.
- Masera, O. *et al.* 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS. GIRA. Mundi-Prensa e Instituto de Ecología-UNAM. México. 109 p.
- Mortola, N. & Lupi, A.M. 2011. Indicadores de calidad de suelo para el manejo sustentable de los agroecosistemas productivos en Argentina. VI Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. México
- Nannipieri, P. *et al.* 2003. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*. 54:655
- Navarro, A. *et al.* 2008. Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Agricultura Técnica en México*. 34 (2):151
- Paretas, J.J. & López, M. 2006. Regionalización de gramíneas, leguminosas y árboles multipropósitos. En: *Recursos forrajeros, herbáceos y arbóreos*. (Ed. Milagros Milera). EEPF «Indio Hatuey», Matanzas, Cuba-Universidad de San Carlos de Guatemala. p. 39
- Parr, J.F. *et al.* 1992. Soil quality: attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. *American J. of Alternative Agriculture*. 7:5
- Pieri, C. 1989. Fertilité des terres de savanes. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT. Paris, France.
- Porta, J. *et al.* 2003. Edafología: para la agricultura y el medio ambiente. 3ra. ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 929 p.
- Ramírez, M. 2004. Indicadores de estado: factores biológicos que limitan la calidad agrícola de los suelos. En: *Primer Taller Nacional sobre indicadores de calidad de suelo*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Palmira, Colombia.
- Riechman, J. & Sempere, J. 2003. Cuidar la T(tierra). Políticas agrarias y alimentarias sostenibles para entrar en el siglo XXI. Icaria Editorial, S.A. Barcelona, España. 621 p.
- Rubiano, Yolanda *et al.* 2004. Sistema georreferenciado de indicadores de calidad de suelos para los llanos orientales de Colombia, estudio del caso: municipio de Puerto López, Meta. En: *Memorias XVI Congreso Latinoamericano-XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo*. Colombia.
- Sánchez-Maranon, M. *et al.* 2002. Soil quality in Mediterranean mountain environments: effects of land use change. *Soil Science Society of America Journal*. 66:948
- Seybold, C.A. *et al.* 1997. Quantification of soil quality. In: *Soil process and the carbon cycle*. (Eds. R. Lal *et al.*). CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. p. 387
- Singer, M.J. & Ewing, S. 2000. Soil quality. In: *Handbook of soil science*. (Ed. M.E. Sumner). CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. p. 271
- Soto, Gabriela. 2006. Calidad de los suelos: una nueva visión del suelo. I Congreso Latinoamericano de Experimentadores e Investigadores en Producción Orgánica. Managua, Nicaragua.
- Sparling, G.P. 1997. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling, as indicators of soil health. In: *Biological indicators of soil health* (Eds. C.E. Pankhursts, B.M. Doube y V.S.R. Gupta). CAB International. Oxon, UK. p. 97
- SQI-Soil Quality Institute. 1996. Indicators for soil quality evaluation. USDA natural resources conservation service. The National Soil Survey Center / The Soil Quality Institute, NRCS, USDA / The National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
- Turbé, Anne *et al.* 2010. Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers. Bio Intelligence Service, IRD, NIOO. Report for European Commission DG Environment. 14 p. <http://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/1%20Exec%20Summ.pdf> [8/2/2010]
- Valdés, N. *et al.* 2009. Evaluación del índice de estabilidad a nivel de ecosistemas agrícolas. *Cultivos Tropicales*. 30 (2):31
- Villani, M. *et al.* 1999. Adaptative strategies of edaphic arthropods. *Annual Reviews Entomology*. 44:233
- Wolters, V. 2000. Invertebrate control of soil organic matter stability. *Biology and Fertility of Soils*. 31 (1):1

Recibido el 28 de diciembre del 2011

Aceptado el 16 de mayo del 2012



XVIII Congreso Científico Internacional del INCA

6 al 9 de noviembre de 2012 San José

Simposios y Talleres

(7 al 9 de noviembre de 2012)

X Simposio de agricultura ecológica y sostenible.

Coordinador: Dr.C. Angel Leyva Galán

III Simposio de desarrollo endógeno, innovación local y extensionismo agrario.

Coordinador: Dr.C. Rodobaldo Ortiz Pérez

VII Simposio de caracterización y manejo de microorganismos rizosféricos.

Coordinador: Dr.C Eduardo Pérez Ortega

VI Simposio mejoramiento y conservación de recursos fitogenéticos.

Coordinadora: Dra.C. María Margarita Hernández Espinosa

III Simposio de edafología y nutrición de las plantas.

Coordinador: Dr.C. Adriano Cabrera Rodríguez

III Simposio de ecofisiología vegetal.

Coordinador: Dr.C. Eduardo Jerez Mompies

VII Taller productos bioactivos.

Coordinadora: Dra.C. Inés Reynaldo Escobar

VIII Taller informatización e información científico-técnica en las ciencias agrícolas.

Coordinador: Dr.C. René Florido Bacallao

Taller: La morera (*Morus alba* Linn.), un árbol multipropósito.

Coordinador: Dr. C. Giraldo J. Martín Martín

Taller: Perspectivas del manejo integrado de los cítricos en el control del hlb.

Coordinador: Lic. Raixa LLauger Riverón

Para más información contactar con:

Dra. C. Idioleidy Alvarez Bello, Secretaria Ejecutiva del XVIII Congreso Científico Internacional del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

Teléfono: 53-47-861374

Fax: 53-47-863867

E-mail: congreso@inca.edu.cu