



ANÁLISIS CRÍTICO DE LA CALIDAD DE SUELOS Y DE SUS INDICADORES

Ildelfonso Pla

Universidad de Lleida,
Lleida, España
✉: ipla@macs.udl.cat

Palabras clave: Calidad del suelo, Indicadores físicos, manejo sostenible

RESUMEN

El concepto de calidad del suelo, desarrollado a partir del inicio de la década de los noventa, se ha ido popularizando y utilizando hasta el presente en forma más o menos afortunada. Su utilización se ha justificado con base en su pretendida capacidad para establecer las bases y políticas de la planificación de un uso y manejo sostenibles de los suelos. Como no se puede medir directamente, para evaluar la calidad de un suelo se requieren índices o indicadores basados en evaluaciones más o menos cualitativas o en mediciones de algunas características, propiedades o procesos de los suelos relacionadas con dicha calidad. La evaluación y utilización del concepto de calidad del suelo y de sus indicadores, ha estado sometida recientemente a una serie de críticas y controversias relacionadas fundamentalmente con el uso y evaluación de los indicadores, y con su capacidad objetiva para evaluar los efectos del uso y manejo sobre diferentes funciones y procesos dinámicos del suelo bajo diferentes condiciones (climáticas, socioeconómicas, etc.).

También se han adelantado opiniones sobre la mayor o menor subjetividad o arbitrariedad en las evaluaciones de la calidad de los suelos, e incluso sobre su escaso rigor científico. En este trabajo se discutirán en forma crítica algunos de esos aspectos, en especial los relacionados con la evaluación de indicadores físicos, y se presentarán algunas alternativas basadas principalmente en una evaluación más objetiva de los procesos dinámicos relacionados o involucrados con el funcionamiento de los suelos bajo diferentes usos y manejos.

CRITICAL ANALYSIS OF SOIL QUALITY AND ITS INDICATORS

Key words: Soil Quality, physical Indicators, sustainable management

**SUELOS
ECUATORIALES**
43 (1): 1-10

ISSN 0562-5351

ABSTRACT

The concept of soil quality, developed from the beginning of the nineties, has become more popular and use to present more or less successful way. Its use has been justified based on its purported ability to lay the groundwork and planning policies for sustainable use and management of soils. As it can't be measured directly, to assess soil quality indices or indicators based on more or less qualitative assessments or measurements of some characteristics, properties or processes related to soil quality. The evaluation and use of soil quality concept and its indicators, it has recently been subjected to a series of critiques and controversies related mainly to the use and evaluation of indicators, and its ability to objectively evaluate the effects of the use and management of different functions and dynamic soil processes under different conditions (climatic, socioeconomic, etc). Opinions have also been upfront about the degree of subjectivity or arbitrariness in evaluations of the quality of the soil, and even on his little scientific rigor. This paper will discuss in critical form some of these aspects, especially those related to the evaluation of physical indicators, and some alternatives based mainly on a more objective assessment of the dynamic processes involved or related with the performance of the soils under different uses and management will be presented.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de características y propiedades del suelo y su relación con el crecimiento de las plantas es algo que se remonta a los orígenes de la agricultura. Los primeros agricultores dependían de la fertilidad natural (calidad intrínseca?) de los suelos para la producción de cultivos, y estaban conscientes que una productividad sostenida era sólo posible cuando se mantenía dicha fertilidad natural agregando materia orgánica, haciendo rotaciones de cultivos, incorporando estiércol, etc.

El término calidad del suelo se ha venido utilizando ocasionalmente desde hace décadas, pero el concepto de calidad del suelo per se, como una manera de facilitar y mejorar la planificación del uso de la tierra para las varias funciones del suelo, es más reciente. (Alexander, 1971; Warkentin and Fletcher, 1977). La definición formal de calidad del suelo, la selección y uso de indicadores del suelo, y su utilización como base de las estrategias de uso para mantener o mejorar dicha calidad ocurrió en la década de los 90 del pasado siglo (Larson y Pierce, 1991; Doran y Parkin, 1994; Karlen y col. 1997)

Aunque el término y concepto de calidad del suelo no tiene una base estrictamente científica, ha ido ganando popularidad en las últimas décadas como una manera de establecer conexiones entre científicos del suelo y responsables de la planificación y uso de las tierras para diferentes fines, en especial para agricultura (Karlen y col. 2003). El creciente uso del concepto de calidad del suelo ha estado también asociado a la creciente preocupación por la degradación (pérdida de calidad) de los suelos a nivel mundial.

El concepto de calidad del suelo ha sido desarrollado para caracterizar la utilidad y salud del suelo, ya que los suelos son fundamentales para la productividad y conservación de los ecosistemas agrícolas y naturales. Es una característica compleja que no puede ser medida directamente. Ha sido definida de diferentes formas, ya que no existe ni se ha adoptado un único grupo de características del suelo para cuantificarla. En la mayoría de los casos la calidad del suelo se asocia con la productividad y sostenibilidad agrícolas. En forma más amplia, el concepto de calidad del suelo es definido como la capacidad de funcionamiento de un determinado suelo dentro de los límites de un ecosistema natural o intervenido para una productividad sostenible de plantas o animales, para mantener o mejorar la calidad del agua y del aire, y para soportar la salud y vida de la especie humana (Karlen y col. 1997).

Los términos de calidad y salud del suelo, si bien se suelen utilizar como sinónimos a nivel de publicaciones científicas y de otros medios de

comunicación, en el caso de la salud del suelo, debería utilizarse para referirse a la condición de un suelo como resultado de su manejo, mientras que calidad del suelo suele referirse a la condición y propiedades permanentes del suelo.

Para pasar de la definición a la medición de calidad del suelo, deben seleccionarse y cuantificarse un grupo mínimo de características del suelo relacionadas con dicha calidad. Se han sugerido muy diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas para separar suelos de diferente calidad, unas de ellas deseables y otras indeseables.

La evaluación de la calidad del suelo es complicada por los numerosos procesos físicos, químicos y biológicos involucrados y por sus interacciones en tiempo, espacio e intensidad. En general no es posible medir directamente los procesos involucrados en la calidad del suelo y por ello suelen deducirse a partir de la medición de propiedades específicas del suelo o indicadores de dichos procesos. Las propiedades medidas suelen llamarse indicadores de la calidad del suelo.

Los mejores indicadores de la calidad del suelo son aquellos que integran los efectos combinados de varias propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos, son sensibles a variaciones en clima y al manejo del suelo, y fáciles de detectar sus cambios a corto plazo. También se busca que en la medida de lo posible dichos indicadores sean propiedades o atributos del suelo disponibles en las bases de datos de estudios de suelos ya realizados, o que sean fáciles de evaluar con metodologías disponibles, o que permitan a través de funciones de pedo-transferencia (FPT) relacionar las propiedades con los niveles de calidad del suelo. Como la calidad del suelo es una medida de la capacidad del suelo para funcionar en relación a un uso determinado, los índices de calidad o indicadores deberían ser evaluados en relación a las funciones de los suelos como medio para el crecimiento vegetal y producción biológica, como regulador del régimen hídrico y como filtro ambiental. En general se buscan índices prácticos de evaluación de calidad del suelo in situ, que puedan ser utilizados por agricultores, extensionistas y formuladores de políticas.

En producción agrícola se pretende que los índices de calidad sirvan para identificar áreas con problemas para la producción, para hacer estimaciones reales de producción de alimentos, monitorear cambios en la sostenibilidad y calidad ambiental en relación a manejo agrícola, y servir de base a las instituciones u organismos responsables para formular y evaluar políticas de uso de la tierra y desarrollos agrícolas. La calidad del suelo es una combinación de características y propiedades inherentes y dinámicas del suelo. El enfoque de gran parte de los estudios sobre calidad del suelo es sobre las propiedades

dinámicas del suelo y cómo ellas cambian en relación a las características inherentes del suelo. Las propiedades o características inherentes cambian muy poco a nada con las prácticas de uso y manejo de la tierra. Entre ellas se incluyen la textura del suelo, la profundidad, el tipo de arcilla, etc.

Las características y propiedades dinámicas pueden cambiar en unos meses o años por efecto de los cambios en el uso y manejo de la tierra. Entre ellas se incluyen la materia orgánica, la estructura, la velocidad de infiltración, la densidad aparente y retención de agua y nutrientes del suelo. Los cambios en las propiedades dinámicas dependen tanto de las prácticas de manejo de la tierra como de las propiedades inherentes del suelo. Algunas propiedades como la densidad aparente pueden ser consideradas inherentes por debajo de los 20-50 cm, pero son dinámicas en el suelo superficial, en la denominada capa arable.

Los componentes de los índices de calidad del suelo pueden incluir características y propiedades deseables e indeseables. Las características deseables del suelo pueden ser las que benefician la productividad del suelo u otra función importante del suelo, o la ausencia de una propiedad que sea perjudicial para dichas funciones. Dentro de una misma característica o propiedad puede haber rangos de valores que contribuyan positivamente a la calidad y rangos que contribuyan negativamente. Es necesario tener en cuenta de que independientemente de la definición y uso del concepto de calidad, de los indicadores utilizados, etc., nunca debe olvidarse que el objetivo final debe ser utilizar y manejar los suelos para asegurar la provisión de bienes y servicios requeridos para la vida y salud humanas, minimizando al mismo tiempo la degradación de suelos, agua y medio ambiente en general.

USO DEL CONCEPTO DE CALIDAD DEL SUELO Y DE SUS INDICADORES: ANÁLISIS CRÍTICO

El concepto de calidad del suelo y de su utilización han recibido variadas críticas que se refieren a aspectos conceptuales, técnicos y estratégicos (Sojka y Upchurch 1999; Letey y col, 2003; Sojka y col, 2003). Gran parte de las críticas se basan tanto en el uso del concepto en sí, como en las limitaciones y fuentes de error en la evaluación y utilización de dicha calidad para los fines propuestos. Muchos científicos de suelos han llamado la atención sobre los errores que se pueden derivar del uso del concepto de calidad del suelo por su alta dependencia de conceptos subjetivos y de juicios personales de valor (Letey y col. 2003; Singer y Ewing, 2000; Singer y Sojka, 2001; Sojka y Upchurch, 1999). Como no es posible medir

directamente los procesos involucrados en la calidad del suelo, suelen deducirse indirectamente a partir de la medición o evaluación indirecta de propiedades específicas del suelo o indicadores de dichos procesos. Es muy complicado evaluar la calidad del suelo e identificar las propiedades del suelo que sirvan como indicadores de funciones de los suelos, por los múltiples factores que determinan dicha calidad y por la multiplicidad de factores físicos, químicos y biológicos que controlan los procesos biogeoquímicos en el suelo y su variación (interacciones) en tiempo, espacio e intensidad. Adicionalmente los valores referencia y límites de indicadores de calidad del suelo que permiten establecer las relaciones entre propiedades o atributos medidos del suelo y de sus funciones varían según sea el clima, suelo y manejo. Los indicadores utilizados pueden ser cuantitativos o cualitativos, y estos últimos suelen ser altamente subjetivos y dependientes del evaluador (Fig. 1).

Muchas veces se utilizan funciones de pedotransferencia (FPT), supuestamente con el fin de ahorrar tiempo y costos, para relacionar características y propiedades del suelo entre ellas, para evaluar calidad del suelo o para estimar indicadores (atributos del suelo) difíciles de medir, con todas las fuentes de error derivadas del uso de dichas relaciones empíricas. La utilización de valores medidos directamente se justifica por su mayor precisión y mayor correspondencia con el sitio específico (Pla, 2011a; 2011b). La selección de los indicadores a incluir en la evaluación de la calidad del suelo suele hacerse con un sistema de expertos, dependiendo de los objetivos del uso y manejo del suelo y de la localización. En la interpretación que sigue se le da un valor relativo del 0 al 1 a cada indicador, dependiendo de la relación a una determinada función para cada sitio específico.



Figura 1. Indicadores y factores influyentes sobre la calidad del suelo, y su relación con la planificación del uso de la tierra y manejo sostenible del suelo.

La fase de integración en un solo índice de calidad se hace multiplicando dichos valores y sumando los productos. Las tres etapas están sujetas a criterios más o menos subjetivos o arbitrarios, dependiendo de los conocimientos y experiencia del evaluador (Fig. 2).



Figura 2. Etapas en la evaluación de índices de calidad del suelo, basados parcialmente en criterios más o menos subjetivos (adaptado de Karlen y col. 2003).

La calidad dinámica del suelo, se refiere y refleja los cambios asociados a uso y manejo actual o pasado, por el hombre, y por lo tanto varía y es específica para el tiempo en que se evalúen los indicadores, lo que se presta a confusión e incluso manipulación por parte del evaluador.

Las relaciones entre los valores relativos dados a los indicadores para evaluar la calidad del suelo y su relación con los efectos sobre un determinado uso del suelo (ej. producción de cultivos) depende de las percepciones, conocimientos o falta de conocimientos de quienes hacen la evaluación, por lo que pueden ser muy subjetivos e incluso conducir a evaluaciones erróneas.

El concepto de calidad del suelo incluye la productividad y la preservación de la calidad ambiental como principales funciones del suelo. Esta definición requiere que se le pongan valores a funciones específicas del suelo y su relación con la sostenibilidad de cambios en el uso de la tierra, y asume que la calidad del suelo puede expresarse por un conjunto único de características para cada tipo de suelo. El suelo realiza varias funciones simultáneamente y no por separado. Esta simultaneidad es uno de los principales problemas para poder aplicar los índices de calidad, cuando se tratan de establecer relaciones entre calidad del suelo con diferentes manejos y escenarios ambientales para cada suelo y para cada uso. Además, una alta calidad para una función a menudo puede significar una mala calidad para otras funciones simultáneas (ej. producción vs protección ambiental) lo que hace imposible evaluar una calidad del suelo integral para todas las funciones simultáneas.

La producción de cultivos está determinada por las propiedades del suelo, clima, agua, potencial genético de la planta, organismos simbióticos, plagas y enfermedades, por los insumos físicos y químicos utilizados, por los mercados, por las regulaciones gubernamentales, por los subsidios e incentivos, etc., pero fundamentalmente por el manejo, determinado por todos esos otros factores. Es por ello, que excepto en casos extremos, la calidad del manejo de los suelos controla más la productividad que las propiedades inherentes de los suelos. Por ejemplo, en el caso de la calidad física de los suelos, los resultados alcanzados en numerosos estudios han llevado a la conclusión de que los efectos de las condiciones físicas de los suelos sobre el crecimiento de las plantas depende fundamentalmente de factores de manejo, y que no hay ninguna propiedad física del suelo (textura, estructura, densidad aparente) que por sí sola resulte ser la mejor bajo diferentes condiciones de manejo (Letey, 1985).

Hay situaciones en que la implementación del concepto de calidad del suelo ha resultado en valores bajos de los índices para suelos agrícolas de alta productividad económica, mientras que en suelos con índices mayores dicha productividad ha resultado ser más baja. Si en el pasado el énfasis hubiera sido la búsqueda y uso de índices de calidad en lugar de innovaciones en las prácticas de manejo, millones de hectáreas hoy con producciones sostenibles hubieran sido abandonadas o no cultivadas debido a que las calificaciones indicarían o sugerirían peligros o susceptibilidad a erosión, acidificación, salinización, pérdida de estructura, etc., problemas que han logrado resolverse con innovaciones modernas de manejo. En el mismo sentido, existen evidencias que la supervivencia de algunas civilizaciones antiguas estuvo menos relacionada a la calidad inherente de sus suelos y tierras, y más a su habilidad para manejar dichas tierras. Todo ello se debe a que ciertos suelos pueden ser no muy productivos para ciertas plantas bajo condiciones naturales, pero al mismo tiempo transformarse en altamente productivos con un manejo adecuado. Se podría concluir que muchas veces un manejo de calidad adecuada es más importante que una valoración arbitraria de una calidad inherente del suelo.

En forma general se podría afirmar, que hasta la fecha, el uso de indicadores integrales de la capacidad del suelo no han sido capaz de llevar directamente a la deducción de recomendaciones de manejo ni a deducir la productividad de cultivos. Mientras, el enfoque de la investigación de suelos concentrada en la evaluación, muchas veces arbitraria de los índices de calidad de los suelos, ha desviado recursos para estudios e investigaciones dirigidas a identificar los problemas prioritarios de producción y al desarrollo de prácticas mejoradas de manejo para resolverlos. Se

sugiere que la investigación y educación en Ciencia del Suelo debería enfocarse más al desarrollo de prácticas de manejo del suelo de calidad que al desarrollo de índices de calidad o de salud del suelo.

ALTERNATIVAS AL USO DEL CONCEPTO DE CALIDAD DEL SUELO

La prioridad en la investigación sobre los problemas de manejo y conservación de nuestros recursos naturales suelos y agua no es la localización, identificación y calificación de dichos problemas con índices de calidad. Nuestra prioridad debe ser buscar cómo resolverlos en forma efectiva, permanente y sostenida utilizando aproximaciones, tecnologías y técnicas de comunicación que puedan ser entendidas, aceptadas y aplicadas por los usuarios de las tierras. Se necesitan nuevos sistemas y prácticas de manejo para aumentar los rendimientos y la producción de alimentos, y para mejorar simultáneamente la protección del medio ambiente.

Uno de los retos principales, dada la escasez de tierras a nivel mundial para afrontar la producción de alimentos para una creciente población, es la incorporación de nuevas tierras potencialmente arables a la producción agrícola, independientemente de los índices de calidad inherente de los suelos. Un buen ejemplo de ello son las tierras de sabana del Cerrado Brasileño y de los Llanos Orientales de Colombia, donde los suelos predominantes son Oxisoles y Ultisoles con relativamente buenas condiciones físicas, pero con propiedades inherentes químicas muy deficientes.

Gracias a una investigación de suelos y agronómica dirigidas a la búsqueda de sistemas mejorados de manejo de suelos y cultivos en ambas regiones, hoy en día hay grandes posibilidades para un exitoso desarrollo agrícola, ganadero y forestal en grandes extensiones de esas tierras. Se requiere seguir con las investigaciones para resolver problemas específicos ya identificados, y para definir con más precisión prácticas de manejo de suelos, incluyendo labranza y recomendaciones de uso de fertilizantes y enmiendas, para diferentes usos de la tierra, incluyendo desarrollos agrícolas, forestales, y ganaderos. Utilizando como ejemplo la calidad física del suelo, los indicadores más utilizados son la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, la aireación del suelo y la impedancia al crecimiento de las raíces (Fig. 3).

Es preferible utilizar como indicadores, parámetros directamente relacionados con el almacenamiento de agua y con la aireación del suelo, como son la porosidad, la porosidad de aireación, la capacidad de campo, y el punto de marchitez permanente, en lugar de parámetros indirectos como la estabilidad de agregados o la distribución de tamaño de agregados. Para resistencia mecánica suelen utilizarse como

indicadores la densidad aparente y la resistencia a penetración. A veces se incluye como indicador la materia orgánica por su influencia sobre todos los aspectos de calidad física del suelo.

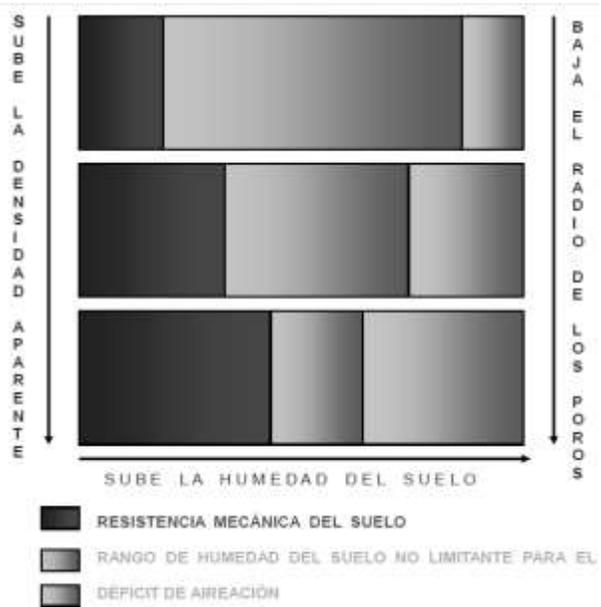


Figura 3. Relaciones entre diferentes indicadores de la calidad física del suelo

Los valores óptimos de indicadores de calidad física del suelo para una productividad de cultivos, manteniendo la salud ambiental, no son iguales para diferentes condiciones del cultivo, clima, suelos, topografía, tiempo y posición en el perfil del suelo, y además depende mucho del manejo. Sin embargo, se han seguido proponiendo algunos índices empíricos para un óptimo desarrollo de las plantas, con fines agrícolas o no, con resultados poco satisfactorios. Los indicadores físicos del suelo deben reflejar fundamentalmente las limitaciones para el desarrollo de las raíces, emergencia de plántulas, infiltración, movimiento del agua en el perfil del suelo, y retención de agua. Una complicación es que estos cuatro factores físicos del suelo considerados están interrelacionados y no son independientes uno de otro. Cambios favorables en uno de ellos puede afectar, a veces negativamente, alguno de los otros (Fig. 4).

EFFECTOS DE LA COMPACTACIÓN Y CAMBIOS DE HUMEDAD DEL SUELO

Además las relaciones entre producción de cultivos y condiciones físicas del suelo depende de la especie vegetal, de la fase de crecimiento y del clima (Pla, 1994).

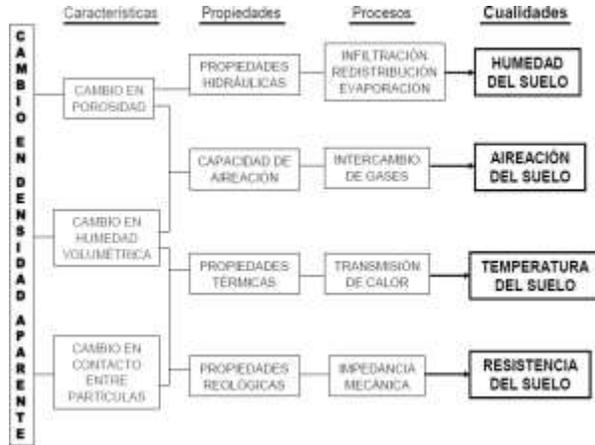


Figura 4. Interacciones de diferentes características y propiedades físicas del suelo, derivadas de cambios en un indicador de calidad física del suelo (densidad aparente), sobre los procesos conducentes a diferentes índices de calidad del suelo.

Cuando se miden indicadores como densidad aparente, textura, agregación, estabilidad de agregados y distribución de tamaño de poros, sus relaciones indirectas (no directas) son efectos sobre el agua, aireación, temperatura y resistencia mecánica. Cuando sea posible deberían preferirse mediciones directas a indirectas, más difíciles de interpretar. De las cuatro condiciones físicas directamente relacionadas con el crecimiento de las plantas, el agua es el factor más dominante. Los otros tres están afectados por el contenido de agua, en sentido positivo o negativo para el crecimiento de las plantas.

Las correlaciones entre determinadas funciones del suelo (ej. producción de cultivos) con las propiedades físicas del suelo generalmente utilizadas como indicadores de calidad, tales como textura, estructura, densidad aparente, dependen de las prácticas de manejo utilizadas, en especial las que determinan las relaciones de humedad (Fig. 5).

Letey (1985) propuso un índice llamado —rango de humedad no limitante|| (RHNL) del suelo, que combina resistencia del suelo, aireación y capacidad de agua utilizable por las plantas en un solo parámetro de calidad física relacionado con la producción de cultivos. Dicho índice sería el rango de contenido de agua del suelo que no impediría el desarrollo de las raíces en unas condiciones en que las suplencias de agua y aire son las requeridas para el desarrollo de las plantas. A mayor RHNL, mayor sería la calidad física del suelo para producción de cultivos. La determinación del índice RHNL a diferentes profundidades en el perfil del suelo, se propone como el más útil para caracterizar las propiedades físicas del suelo en relación a producción de cultivos. En agricultura de riego, se ha demostrado que los problemas potenciales de desarrollo de suelos salinos o sódicos, excepto en casos extremos, depende más del manejo del riego y del drenaje, y del tipo de cultivos, que de índices inherentes de calidad del agua (Pla, 1989;

1997). Lo mismo ocurre con la calificación de suelos como salinos o sódicos utilizando índices fijos de calidad. Es el mejor ejemplo de la importancia de la calidad del manejo, frente al manejo de la calidad.



Figura 5. Esquema que muestra la influencia de las prácticas de uso y manejo en suelos con determinadas condiciones o atributos físicos, sobre las propiedades que determinan el funcionamiento del suelo para determinados fines.

La selección y monitoreo de índices de calidad del suelo deberían estar precedidos de mayores investigaciones para establecer las relaciones entre dichos indicadores y las funciones de los suelos, en especial cuando simultáneamente se presentan efectos conflictivos de determinadas prácticas de manejo sobre diferentes funciones del suelo. En cualquier caso deben hacerse investigaciones con objetivos más amplios e integrales para definir estrategias que promuevan la sostenibilidad de la producción agrícola y la conservación de los recursos naturales, y para buscar y utilizar indicadores que permitan hacer un seguimiento de esa sostenibilidad a nivel de diferentes agroecosistemas (Fig.6).

Se concluye que debería darse más énfasis a la calidad del uso y manejo, para llegar en base a los atributos originales del suelo a una mejora sostenible de las funciones particulares de interés para cada caso. Para ello se recomendaría que los actuales recursos y esfuerzos hechos para el desarrollo de índices de calidad del suelo altamente subjetivos, se dedicaran más bien al desarrollo y uso de información técnica para motivar y educar a los usuarios del recurso suelo en el uso de prácticas de manejo que optimicen los objetivos combinados de alta producción de cultivos, baja degradación ambiental y uso sostenible del recurso suelo, esto debido a que los índices de calidad del suelo no pueden prever la contribución de nuevas tecnologías para mejorar el uso y manejo de las tierras. En cualquier caso el posible uso de índices de calidad requeriría una definición e implementación más técnicas y rigurosas que las actuales.

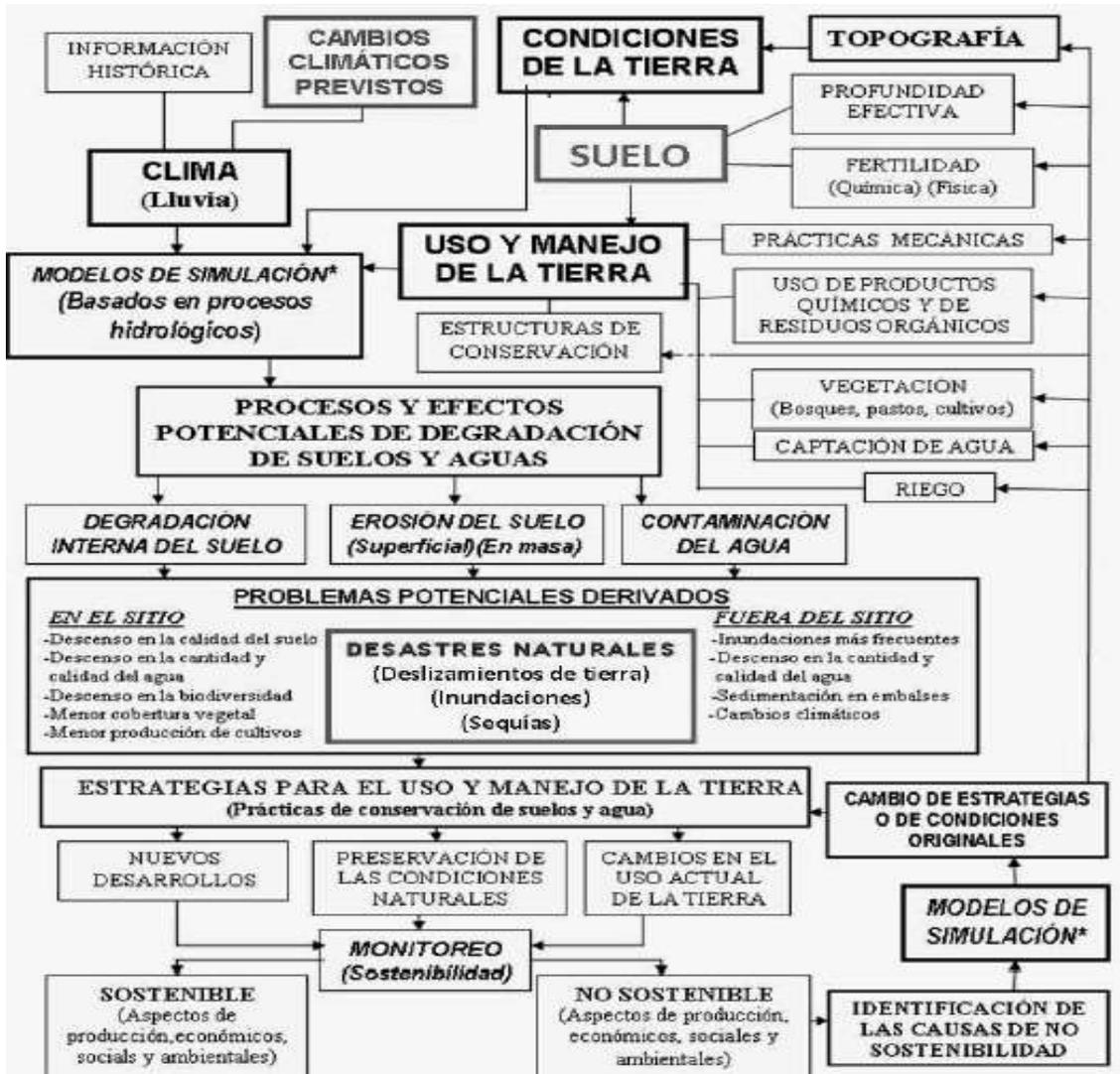


Figura 6. Flujo grama de los diferentes pasos que se sugieren seguir para llegar a establecer las estrategias de uso y manejo de las tierras para un uso sostenible de los recursos suelo y agua (adaptado de Pla, 2006)

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, M. (1971). An Environmental Improvement—Agriculture's Challenge in the Seventies. In "Agriculture's responsibility in establishing soil quality criteria", pp. 66-71. National Academy of Sciences, Washington, D.C. (USA)
- DORAN, J. W., PARKIN, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. SSSA Special Publication 35. En "Defining Soil Quality for a Sustainable Environment". (W. Doran y col. Eds.), pp. 3-21. SSSA, Madison, WI.(USA)
- KARLEN, D. L., MAUSBACH, M. J., DORAN, J. W., CLINE, R. G., HARRIS, R. R. SCHUMAN, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J. 61: pp 4-10.
- KARLEN, D. L., ANDREWS, S. S., DORAN, J. W. (2001). Soil quality: current concepts and applications. Advances in Agronomy. (D. L. Sparks, Ed.), 74: pp. 1-40. Academic Press, San Diego, CA.(USA)
- KARLEN, D. L, C. A. DITZLER, and S.S. ANDREWS. (2003). Soil quality: why and how?. Geoderma 114: 145 – 156
- LARSON, W. E, PIERCE, F. J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. Proceedings of the International Workshop, Chiang Rai, Thailand, 15-21 Sept. 1991. En "Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World". Vol. 2, pp. 175-203, IBSRAM, Bangkok (Thailandia)

- LETEY, J. (1985). Relationship between soil physical properties and crop production. *Adv. Soil Sci.* 1: 227-294.
- LETEY, J., SOJKA, R. E., UPCHURCH, D. R., CASSEL, D. K., OLSON, K., PAYNE, B., PETRIE, S., PRICE, G., REGINATO, R. J., SCOTT, H. D., SMERTHURST, PH., TRIPLETT, G. (2003). Deficiencies in the soil quality concept and its application. *Journal of Soil and Water Conservation.* 58(4):180-187
- PLA, I. (1989). Riego y desarrollo de suelos afectados por sales en condiciones tropicales. *Soil Technology.* 1(1): 13-35
- PLA, I. (1994). Soil degradation and climate-induced risks of crop production in the tropics. Inaugural Conference. *Trans. 15th ISSS Congress.* 1: 163-188. ISSS. Acapulco (México)
- PLA, I. (1997). Evaluación de los procesos de salinización de suelos bajo riego. *Edafología. Revista de la SECS: Edición especial 50 Aniversario.* 241-267. SECS. Granada (España)
- PLA, I. (2006). Hydrological approach for assessing desertification processes in the Mediterranean Region. En (W.G. Kepner et al, Eds) *Desertification in the Mediterranean Region: A security Issue.* pp 579-600. Springer.
- PLA, I. (2010). Sustainable Water Management under Climate Change. En (M. Zlatic, Ed.) *Global Change Challenges for Soil Management. Advances in GeoEcology* 41: 22-36. Catena Verlag GMBH. Reiskirchen (Alemania)
- PLA, I. (2011a). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. I-Propiedades mecánicas. *Suelos Ecuatoriales* 40 (2):75-93
- PLA, I. (2011b). Medición y evaluación de propiedades físicas de los suelos: dificultades y errores más frecuentes. II-Propiedades hidrológicas. *Suelos Ecuatoriales* 40 (2): 94-127
- SINGER, M. J., EWING, S. A. (2000). Soil quality. En "Handbook of Soil Science". (M. Sumner, Ed.). G271—G298. CRC Press, Boca Raton, FL. (USA)
- SINGER, M. J., SOJKA, R. E. (2001). Soil quality. En: *Yearbook of Science 2002.* pp 312-314. McGrawHill, New York, NY. (USA)
- SOJKA, R. E., UPCHURCH, D. R. (1999). Reservations regarding the soil quality concept. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1039 -1054.
- SOJKA R. E., D. R. UPCHURCH y N. E. BORLAUG. (2003). Quality soil management or soil quality management: performance versus semantics. *Advances in Agronomy,* 79: 1-68
- WARKENTIN, B. P., FLETCHER, H. F. (1977). Soil quality for intensive agriculture. En: *Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture.* Society of Science of Soil and Manure, National Institute of Agriculture Science, Tokyo.(Japón)

