

Identificación y Clasificación de Indicadores Locales de Calidad de Suelo

**Edmundo Barrios
Robert Delve
Hector Barreto
Marco Tulio Trejo**

Los autores desean expresar su reconocimiento por las contribuciones de los siguientes autores de la guía que lleva este mismo titulo pero que fue adaptada para el Este de Africa bajo los auspicios de SWNM, TSBF y AHÍ:

Mateete Bekunda
Anthony Esilaba
Jeremiah Mowo
Joseph Agunda
Taye Bekele
John Ojiem
Jean Louis Ratokomanana

TABLA DE CONTENIDOS

SECCION 1

Introducción

- 1.1. Razones para esta Guía
- 1.2. El Suelo y los Estándares de Calidad Ambiental
- 1.3. La Calidad de Suelo como una Herramienta de Diagnostico y Monitoreo
- 1.4. Escalonamiento: de la Parcela a la Escala de Paisaje
- 1.5. Indicadores Locales de Calidad de Suelo
2. Objetivo
3. Estructura de la Guía
4. Preguntas Introdutorias
- 4.1. Información de Retorno
5. Bibliografía

SECCION 2

Indicadores Técnicos de Calidad de Suelo

- 2.1. Introducción
- 2.1.1. Objetivos
- 2.1.2. Estructura de la Sección
- 2.1.3. Preguntas Orientadoras
- 2.2. Importancia del Suelo
- 2.3. Factores y Procesos de Formación de Suelos
- 2.3.1. Factores de Fomación de Suelos
- 2.3.2. Procesos de Fomación de Suelo
- 2.4. Propiedades de los Indicadores de Calidad de Suelo
- 2.4.1. Propiedades Físicas
- 2.4.2. Propiedades Químicas
- 2.4.3. Propiedades Biológicas
- 2.4.4. Propiedades Permanentes y Modificables
- 2.5. Ejercicios
- Ejercicio 2.5.1. Identificación de Factores y Procesos de Fomación de Suelo
- Ejercicio 2.5.2. Factores de Formación
- Ejercicio 2.5.3. Procesos de Formación
- Ejercicio 2.5.1. Información de Retorno
- Ejercicio 2.5.2. Información de Retorno
- Ejercicio 2.5.3. Información de Retorno
- 2.6. Resumen
- 2.7. Bibliografía

SECCION 3

Identificación y Priorización de Indicadores Locales

3.1. Introducción

3.1.1. Indicadores Locales

3.1.2. Objetivos

3.1.3. Estructura de la Sección

3.1.4. Preguntas Introdutorias

3.2. Metodología para Identificar y Priorizar Indicadores Locales

3.2.1. Análisis Grupal

3.2.2. Priorización de Indicadores

3.2.3. Estudios de Caso

3.2.4. Resultados de un Estudio de Caso: Malezas Locales como Indicadores de Calidad de Suelo

Ejercicio 3.3. : Identificación y Priorización de Indicadores Locales de Calidad de Suelo

3.4. Resumen

3.5. Bibliografía

Apéndice 1: Tabla de Chequeo para Realizar Estudios de Caso sobre Conocimiento Local acerca de los Suelos y su Manejo

SECCION 4

4.1. Introducción

4.1.1. Objetivos

4.1.2. Estructura de la Sección

4.1.3. Preguntas Iniciales

4.2. Relaciones entre ITCS e ILCS

Ejercicio 4.3. Clasificación de Indicadores Locales en Términos Técnicos y Diferenciación entre Propiedades

4.4. Resumen

SECCION 5

5.1. Introducción

5.1.1. Objetivos

5.1.2. Estructura de la Sección

5.1.3. Preguntas Iniciales

5.2. Clasificación de las Limitaciones Modificables del Suelo

5.3. Ejercicios para Identificar Limitaciones del Suelo y Diseñar Estrategias Integradas de Manejo

5.3.1. Estudios de Caso

5.4. Resumen

5.5. Bibliografía

5.6. Apéndice: Respuestas a las Preguntas de los Casos

SECCION 6

6.1. Introducción

6.1.1. Objetivos

6.2. Organización de la Feria del Suelo

6.2.1. Antes de la Feria

6.2.2. Durante la Feria

6.2.3. Después de la Feria

6.3. Ejercicios de la Feria del Suelo

6.3.1. Grupo 1. Ejercicios 1 y 2. – Determinación de Textura y Consistencia

6.3.2. Grupo 2: Ejercicios 3, 4 y 5. – Determinación de la Estructura del Suelo y Presencia de Micro y Macro Fauna

6.3.3. Grupo 3: Ejercicios 6 y 7. – Determinación del Color y del Contenido de Materia Orgánica

6.3.4. Grupo 4: Ejercicios 8, 9 y 10: Determinación del pH, Carbonatos y Especies de Plantas Indicadoras.

6.4. Resumen

6.5. Bibliografía

6.6. Apéndices para la Sección 6

6.6.1. Papelógrafos para la Feria del Suelo

6.6.2. Hoja de Trabajo del Agricultor

6.6.3. Respuestas a las Preguntas Introdutorias a la Feria del Suelo

SECCION 1

Introducción

- 1.1 Razones para esta Guía
- 1.2 El Suelo y los Estándares de Calidad Ambiental
- 1.3 La Calidad de Suelo como una Herramienta de Diagnostico y Monitoreo
- 1.4 Escalonamiento: de la Parcela a la Escala de Paisaje
- 1.5 Indicadores Locales de Calidad de Suelo

- 2 Objetivos

- 3 Estructura de la Guía

- 4 Preguntas Introdutorias
- 4.1. Información de Retorno

- 5 Bibliografía

1.1. Razones para esta Guía

Esta guía se dirige al empoderamiento de las comunidades locales para manejar adecuadamente el recurso suelo mediante la toma de mejores decisiones. El método que se presenta aquí constituye una herramienta para captar las demandas locales y las percepciones acerca de los problemas del suelo como método para llevar a cabo actividades de investigación y desarrollo. Un componente importante de esta metodología es el mejoramiento de las comunicaciones entre extensionistas y agricultores por medio de la construcción de un canal efectivo de la comunicación.

El uso sostenible del suelo es un problema importante debido a que las condiciones medioambientales crean ambientes en los cuales es un reto identificar estrategias para mantener e incrementar la productividad agrícola (Defoer and Budelman, 2000). Muchos suelos sufren de baja fertilidad inherente a su formación. A medida que la producción agrícola se intensifica para satisfacer las necesidades crecientes de la población, la presión sobre los recursos naturales como el suelo, el agua y el aire también se incrementa. La degradación del suelo ocurre en algunos lugares a una rata que llega al 65%, como es el caso del suelo agrícola africano; el 31% de la tierra dedicada a pasturas y el 19% de la que se dedica a bosques. Unas 332 millones de hectáreas del continente africano están sometidas a degradación (Bationo et al., 1998).

La degradación de suelos debida a la disminución de nutrientes ilustra el proceso de degradación de identificación tardía del suelo que a operado durante muchos años. Por lo tanto los usuarios del suelo y aquellos responsables por la formulación de políticas, requieren de indicadores para el diagnostico temprano de los procesos de degradación. De esta forma los métodos preventivos para la degradación del suelo deberán ser la norma en lugar de los métodos remediales. Es en este contexto que los indicadores locales derivados de una interacción intuitiva de los cambios en la calidad de suelo como resultado de su manejo y de efectos dimáticos a lo largo del tiempo toma especial importancia (Barrios et al. 1994).

1.2. El Suelo y los Estándares de Calidad Ambiental

El suelo se considera como un recurso viviente y dinámico cuyo estado es vital tanto para la producción agrícola como para el funcionamiento de los ecosistemas. Dado el papel regulador que el suelo ejerce como parte de los ciclos de nutrientes biogeoquímicos, como regulador de la disponibilidad y calidad de agua y por su rol en la filtración y descomposición de agentes contaminantes, el suelo es un recurso natural clave para nuestra supervivencia futura. Es imperativo que manejemos este recurso natural no renovable con

mejores habilidades y visión para evitar una degradación adicional y la pérdida del potencial para la producción agrícola.

La sociedad ya tiene indicadores y niveles críticos para la calidad del agua y del aire. Sin embargo menor atención se ha puesto al suelo como un recurso natural esencial. Por lo tanto la necesidad de indicadores de calidad de suelo (ILCS) ha sido reconocida por los grupos de agricultores extensionistas y comunidad científica y por parte de aquellos responsables por la formulación de políticas.

1.3. La Calidad de Suelo como una Herramienta de Diagnostico y Monitoreo

La calidad del suelo se ha definido de muchas maneras. Aquí utilizamos la definición de Doran y Parkin (1994), según la cual:

“La calidad del suelo es su capacidad para ser funcional dentro de los límites impuestos por el ecosistema y por el uso de la tierra, para preservar la productividad biológica y la calidad ambiental y promover la salud de la planta, el animal y el ser humano”.

La salud del suelo, frecuentemente llamada calidad de suelo se define como:

“La capacidad continua para operar como biosistema vital, dentro de los límites del ecosistema y del uso de la tierra, para mantener la productividad biológica y promover la calidad del contexto atmosférico e hídrico y preservar la salud de las plantas, los animales y los seres humanos” (Doran y Safley, 1997).

Con el fin de establecer una diferencia entre estos dos conceptos se sugiere el uso de la expresión “calidad de suelo” cuando el uso del suelo se especifica (Pankurst et al., 1997). El término “salud del suelo” difiere de “calidad de suelo” porque incluyen una dimensión temporal y el reconocimiento del suelo como un biosistema vital.

Dado que el suelo mantiene un balance entre sus factores físicos, químicos y biológicos los indicadores de calidad de suelo deben estar constituidos por combinaciones de estos factores, especialmente en aquellas situaciones donde algunos parámetros integran los tres factores y sus funciones. Un ejemplo sería la tasa de infiltración de agua de un suelo que está influenciada por la estructura física del suelo (especialmente la textura), la química del suelo (relaciones entre superficies de suelo, especialmente arcillas), y la porosidad del suelo (que puede estar afectada por su actividad biológica, por ejemplo la presencia de lombrices). Los indicadores biológicos o bioindicadores son por naturaleza integrativos ya que reflejan cambios simultáneos en las características físicas, químicas y biológicas del suelo. Esta característica les permite captar pequeños cambios en

la calidad de suelo y por lo tanto tener un gran potencia para el diagnostico temprano.

De acuerdo con Doran y Safley (1997) y Beare et al. (1997), para que los indicadores de calidad de suelo sean útiles para una variedad de usuarios que incluya a los agricultores, a los extensionistas, investigadores y políticos, deberán:

- Ser relativamente fáciles y prácticos para que los agricultores, extensionistas, especialistas e investigadores puedan usarlos en condiciones de campo.
- Ser relativamente precisos y fáciles de interpretar.
- Ser relativamente económicos
- Ser suficientemente sensibles como para reflejar el impacto de las practicas de manejo de suelo y del clima en los cambios de largo plazo; pero no tan sensitivos que puedan ser afectados por los patrones metereológicos de corto plazo.
- Integrar las propiedades y procesos fisicos, químicos y biológicos y servir como insumos básicos para la evaluación de propiedades o funciones del suelo que son más difíciles de medir en forma directa.
- Tener una buena correlación con los procesos del ecosistema, con la productividad de plantas y animales y con la salud del suelo.
- Ser idealmente componentes de las bases de datos que existen sobre el suelo.

La selección de un conjunto de indicadores de calidad de suelo y el desarrollo de su aplicación dentro de un sistema de monitoreo (Sistema de Monitoreo de la Calidad de Suelo, SMCS), puede mostrarse a través de la siguiente figura (modificada a partir de Beare et al., 1997).

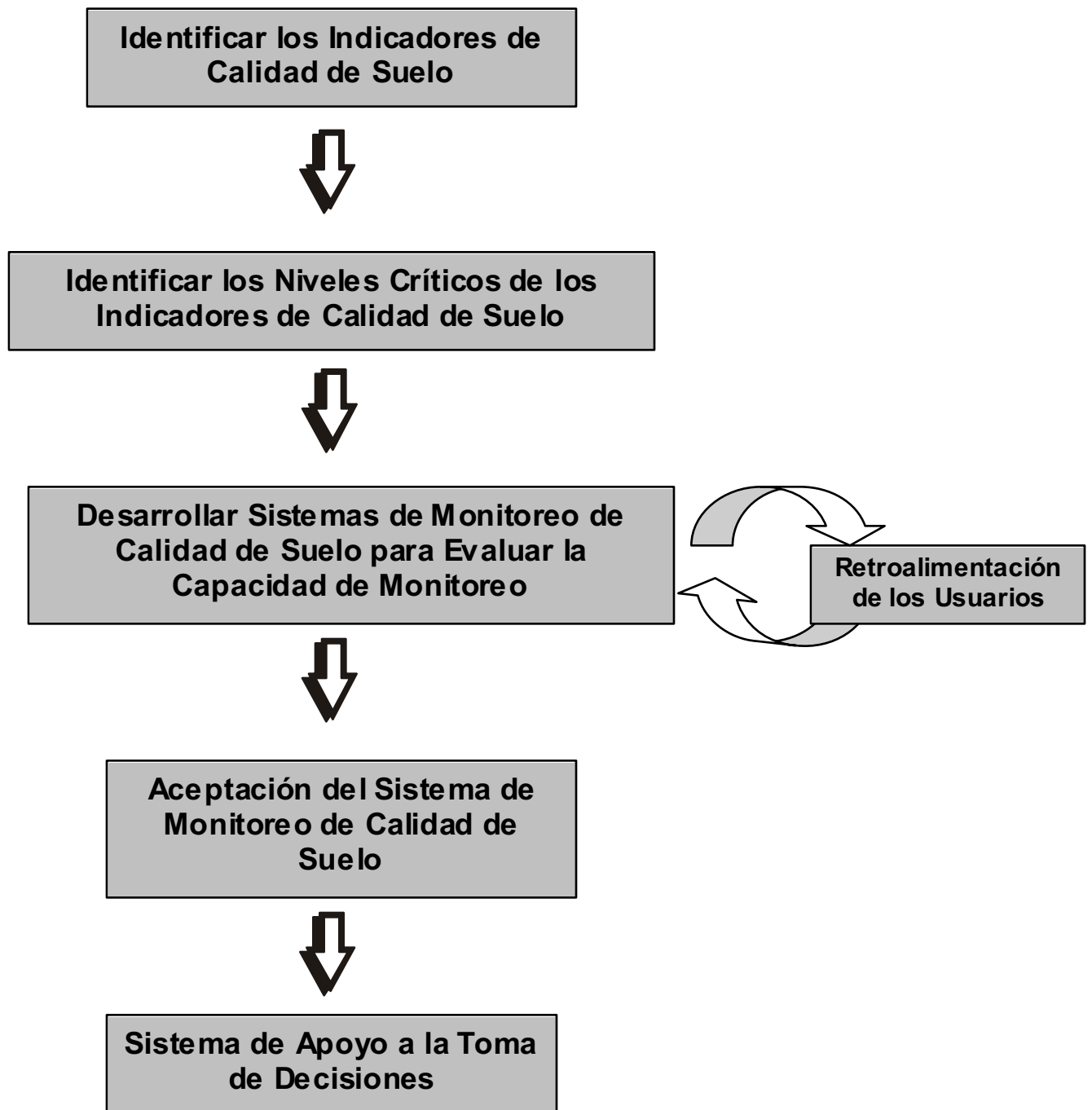


Fig.1 Proceso para el desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de suelos

Los indicadores de calidad de suelo apropiados se identifican a partir de la base de conocimiento local y técnico y por la definición de los niveles críticos. Esta fase es seguida por la definición de orientaciones para establecer un sistema de monitoreo de la calidad de suelo (SMCS), junto con la interpretación de información y la formulación de acuerdos acerca de los indicadores de calidad de suelo apropiados para las condiciones dominantes. La retroalimentación de los usuarios es muy importante a este nivel ya que provee los fundamentos para la aceptación del sistema de monitoreo de calidad de suelo para el diagnóstico y el monitoreo de su calidad. Una vez el sistema de monitoreo de calidad de suelo es aceptado por los usuarios se vuelve parte del sistema de apoyo a la toma de decisiones para el manejo de los recursos naturales.

Esta guía se focaliza principalmente en la primera fase de este proceso, es decir, la identificación de los indicadores de calidad de suelo que puedan ser usados por los agricultores, extensionistas, ONGs, técnicos, investigadores y educadores.

Los indicadores de calidad de suelo ayudaran en la identificación de las principales limitaciones biofísicas del suelo del sistema agrícola bajo estudio. Los indicadores mas sensitivos y robustos seleccionados para las deficiencias identificadas pueden ser incorporados dentro de un sistema de monitoreo de calidad de suelo (SMCS), y deben incluir parámetros tales como la densidad, el pH, la profundidad efectiva de la raíz, el contenido de agua, la temperatura del suelo, el C total y la conductividad eléctrica (Doran y Parkin, 1994).

Ya que nuestro objetivo es desarrollar sistemas de monitoreo de calidad de suelo para los usuarios de la tierra, los indicadores locales de calidad de suelo deben incluirse en el sistema de monitoreo. La combinación de parámetros locales y científicos varia de acuerdo con los objetivos del monitoreo, por ejemplo, si son agricultores, extensionistas o formuladores de políticas. Lo mas seguro es que los indicadores de calidad de suelo integrativos puedan ser mas útiles para los usuarios de la tierra que la medida de por ejemplo la disponibilidad de potasio en el suelo, ya que muchos indicadores utilizados por los agricultores son de tipo integrativo. Por ejemplo el color o la estructura del suelo, los rendimientos o la presencia especifica de especies de malezas. Debe prestarse atención a la inclusión de indicadores que puedan ser usados a medida que se progresa en la escala a la cual se aplican los resultados (por ejemplo de la parcela al campo y a la finca hasta la cuenca, la región y el país). Algunos ejemplos de estos indicadores pueden ser los rendimientos de la cosecha o las tendencias en los rendimientos, la cobertura del suelo, la intensidad en el uso de la tierra y los balances de nutrientes (Pieri et al., 1995). Mas recientemente, Defoer y Budelman (2000) han propuesto el uso de los flujos de recursos y nutrientes a nivel de finca para evaluar la sostenibilidad y variación local del uso de la tierra, aspecto frecuentemente olvidado en estudios a mayores niveles de agregación (por ejemplo región o país).

1.4. Escalonamiento: de la Parcela a la Escala de Paisaje

La necesidad de evitar el sesgo hacia la especificidad de sitio y hacer los resultados y hallazgos locales validos a regiones mas amplias requiere de la realización de actividades de investigación interactivas llevadas a cabo simultáneamente a diferentes escalas espaciales (figura 2). Los estudios a nivel de parcela deberían detectar cambios en la calidad del suelo generados por nuevos sistemas de cultivo y el impacto de la adopción de estos sistemas de cultivo debería ser detectable a la escala de paisaje (Barrios 1998).

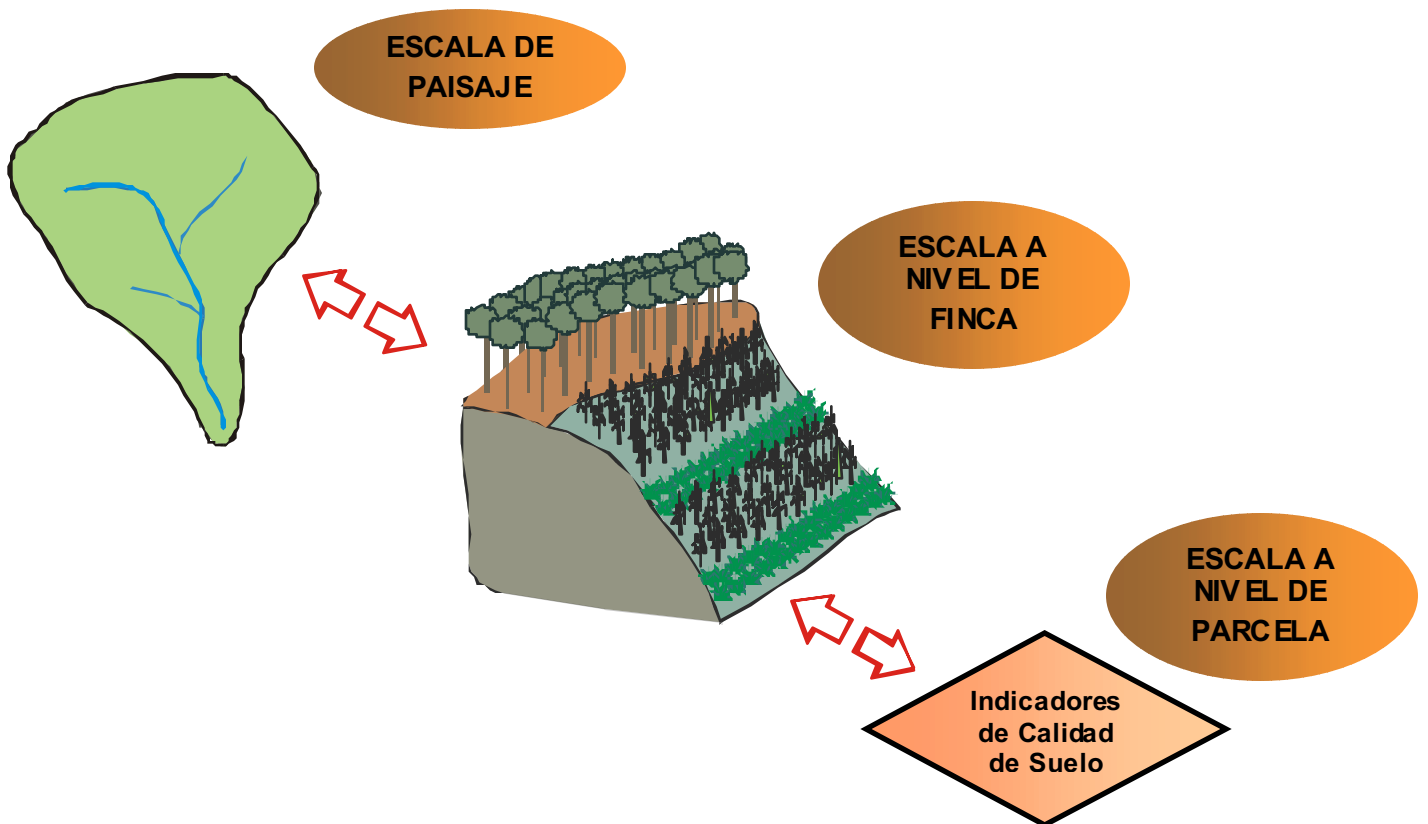


Fig. 2 Relaciones entre procesos que ocurren simultáneamente a diferentes escalas espaciales (Barrios, 1998)

Las cuencas son útiles como unidades de estudio a nivel de paisaje porque tienen claramente definidos sus límites físicos y el impacto en los cambios de uso de la tierra se puede medir en el agua. La calidad de agua (por ejemplo contenido de pesticidas, nitratos, etc) llega a ser una medida integrativa del uso del suelo y de su manejo dentro de los sistemas de cultivo dentro de la cuenca. La naturaleza integrativa de esta medida permite el establecimiento de una línea de base asociada con el uso actual de la tierra en la cuenca. Por lo tanto viene a ser posible la evaluación del impacto de la adopción de nuevos sistemas de cultivo en la cuenca por medio de cambios en parámetros de agua seleccionados en comparación de niveles de base (figura 3).

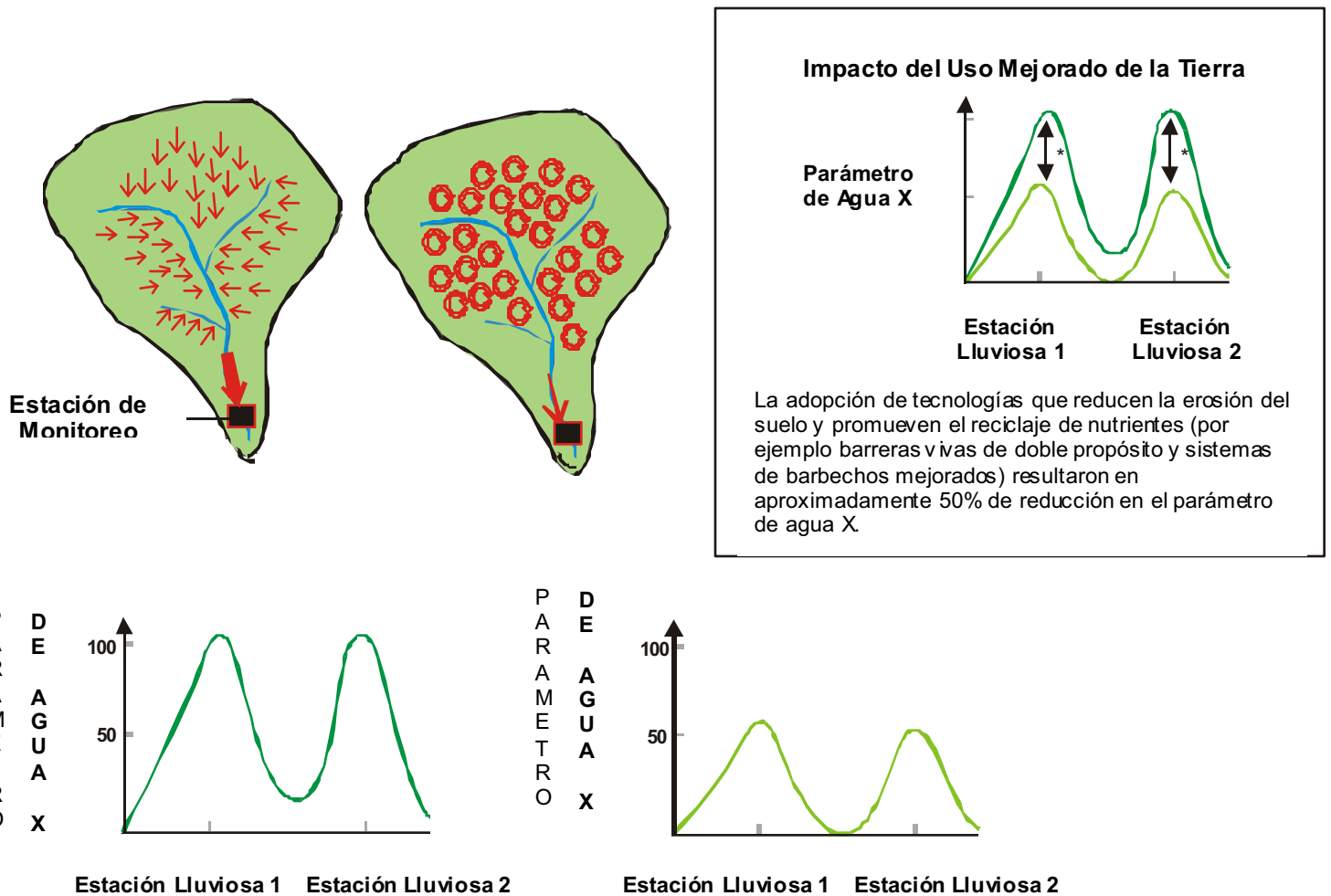


Fig. 3. Detección de la pérdida de nutrientes en una cuenca bajo un manejo convencional y otro mejorado y la medida de su impacto (Barrios 1998)

Esta metodología esta basada en la noción de que los cambios en el suelo generados por sistemas productivos dentro de una cuenca pueden ser captados por indicadores de calidad de suelo pero el impacto de tal uso de la tierra en la cuenca como un todo puede ser detectado a través del monitoreo de la calidad de agua. El reto consiste en establecer correlaciones robustas entre indicadores de calidad de suelo e indicadores de calidad de agua como una forma de evaluar la salud del suelo en la escala de cuenca. Estos conceptos serán discutios en detalle en otro manual de capacitación de esta serie que se refiere a los indicadores locales de calidad de agua.

1.5. Indicadores Locales de Calidad de Suelo

En los países en donde la pobreza rural es dominante el campo contribuye a la producción de alimentos por medio de sistemas agrícolas de baja productividad y baja eficiencia en el uso de nutrientes. Uno de los objetivos principales de los instrumentos metodológicos para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales es la aplicación de métodos participativos para la intensificación sostenible de los sistemas agrícolas por medio de un uso eficiente y conservador de los recursos naturales.

El uso sostenible del suelo es de importancia fundamental para mejorar la calidad de vida de los agricultores. Esto es particularmente relevante para aquellas comunidades localizadas en las laderas donde las ratas de erosión de suelo son altas como consecuencia de la deforestación y la falta de métodos de conservación de suelo adecuados. Este se considera un factor importante que incide en la degradación del suelo arable. A pesar de la gran cantidad de recursos financieros y esfuerzos hechos para preservar los recursos naturales, el manejo inapropiado del suelo continua siendo una preocupación enfatizada en proyectos de desarrollo rural.

Durante la fase de campo de muchos proyectos de desarrollo es común la presentación a los agricultores de diferente practicas sostenibles de manejo de suelo, como un conjunto de soluciones que deben ser implementadas en sus fincas. Pero es solo en pocas ocasiones que las recomendaciones emerjan como consecuencia directa de las percepciones y necesidades de la comunidad acerca del manejo de sus recursos naturales. Dentro de este contexto, el conocimiento de los agricultores acerca del manejo del recurso natural no se considera importante y raramente se integra en los programas de desarrollo.

De acuerdo con la experiencia de los investigadores que desarrollaron esta guía, una de las grandes limitaciones a la participación de los agricultores en el desarrollo de practicas de manejo sustentable, es la comunicación ineficiente entre técnicos y productores. En particular la falta de un lenguaje común y de instrumentos metodológicos que permitan la identificación sistemática del conocimiento del agricultor acerca del suelo y su integración con el conocimiento técnico derivado de las ciencias del suelo. Esta guía es un esfuerzo para

proporcionar medios para lograr una mayor participación de los agricultores en la solución de los problemas relacionados con el manejo de los recursos naturales.

2. OBJETIVOS

Mediante el estudio de esta guía:

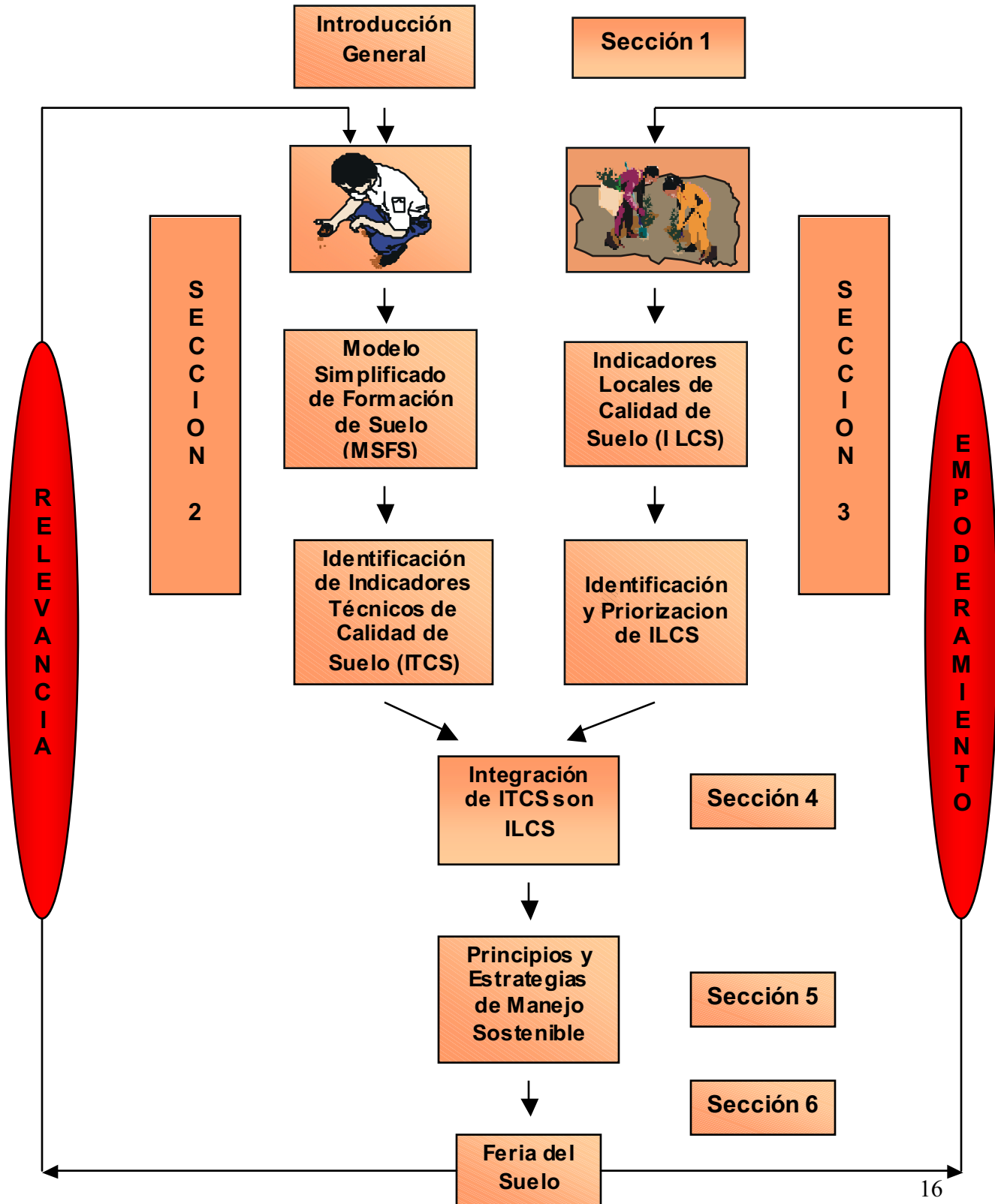
- Usted comprenderá la importancia del conocimiento local en el manejo de los recursos naturales.
- Estará capacitado para usar una metodología participativa útil en la identificación y priorización de indicadores locales de calidad de suelo.
- Podrá integrar indicadores locales con indicadores técnicos de calidad de suelo.

A través de la aplicación de la metodología descrita en esta guía usted podrá utilizar métodos participativos para incluir el conocimiento, la demanda y la relevancia locales en las actividades de investigación y desarrollo para el manejo de los recursos naturales. Adicionalmente usted podrá usar indicadores de calidad de suelo para diagnosticar limitaciones en el suelo, dirigir la selección de estrategias potenciales de manejo de suelo y monitorear el impacto de tales estrategias para solucionar las limitaciones identificadas.

3. ESTRUCTURA DE LA GUIA

El siguiente esquema presenta todos los componentes de la guía y sus interrelaciones

Estructura de la Guía



Esta guía contiene seis secciones: la primera proporciona una introducción general acerca del manejo del recurso suelo y sobre los indicadores de calidad de suelo. LA segunda sección presenta una concepción técnica del suelo a través de un modelo simplificado de formación de suelos (MSFS) e introduce los indicadores técnicos de calidad de suelo (ITCS). LA tercera sección describe la metodología para identificar y priorizar los indicadores locales de calidad de suelo (ILCS). La cuarta sección proporciona una metodología para construir un canal efectivo de comunicación mediante la identificación de equivalencias entre los ITCS y los ILCS, los que permiten una comunicación mejor entre los diferentes actores (extensionistas, productores, investigadores, etc). La quinta sección se refiere a principios de manejo que yacen detrás de estrategias potenciales para solucionar limitaciones en el corto, mediano y largo plazos. La sexta sección esta dedicada a la feria del suelo la cual constituye un ejercicio practico para destacar la complementariedad entre los indicadores técnicos y locales de calidad de suelo.

Un resultado de este proceso metodológico es el de que las actividades de investigación y desarrollo tendrán una relevancia local mayor ya que están referidas a las demandas y percepciones locales haciendo que las soluciones tengan mayores posibilidades de adopción. De otra parte, deberá haber impactos positivos en la base de conocimiento local y el respectivo empoderamiento comunitario debidos a su comprensión mas amplia además de la construcción de un efectivo canal de comunicación.

El método que se resume anteriormente proporciona las herramientas para conducir una clasificación técnico-local del suelo basada en sus propiedades modificables y permanentes la cual tiene la flexibilidad de funcionar a lo largo del continuo parcela/finca/paisaje/cuenca, además de tener el potencial de incorporar a los diferentes grupos de interés y la dimensión de genero. Esta guía proporciona entonces una herramienta valiosa para evaluar el impacto de los cambios en el uso de la tierra a lo largo de diferentes escalas espaciales y con la participación de diferentes actores sociales.

4. PREGUNTAS INTRODUCTORIAS

Orientación para el Usuario

Las siguientes preguntas le ayudaran a enterarse de los principales tópicos de esta guía y explorar lo que usted conoce acerca de estos tópicos.

Responda en forma individual a las preguntas y en seguida consulte la sección de retroalimentación.

Preguntas

1. ¿Que es para usted el suelo?

2. ¿Cuál cree usted que es la importancia del suelo como un recurso natural?
3. ¿Podría mencionar algunas propiedades del suelo e indicar como se pueden utilizar para determinar su calidad?
4. ¿Podría mencionar algunas propiedades del suelo que podrían ser modificadas a través de practicas de manejo?
5. ¿Cuales son algunas de las propiedades no modificables de los suelos?
6. ¿Que métodos conoce para evaluar la calidad de un suelo?

4.1. Información de Retorno

Para la pregunta 1.

El suelo es el producto de la fragmentación de rocas en partículas muy finas combinadas con materiales orgánicos que constituyen un medio adecuado para el crecimiento de las plantas y favorable para la actividad biológica.

Para la pregunta 2.

El suelo constituye la base para la producción de fibra y alimentos en la tierra y limita el impacto de las actividades humanas en el medio ambiente.

Para la pregunta 3.

Los suelos tienen propiedades que los distinguen de las rocas. Tales propiedades pueden dividirse en internas y externas. Las propiedades externas se refieren al paisaje en el cual el suelo se ha formado (por ejemplo la inclinación, el clima los organismos, el tiempo). Las propiedades internas se refieren al perfil del suelo y se dividen en físicas, químicas y biológicas. Algunas propiedades físicas del suelo son la textura, la estructura y el color. Algunas de las propiedades químicas son el pH (acidez o alcalinidad), el contenido de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes requeridos por las plantas. Las propiedades biológicas están relacionadas con la actividad de los organismos del suelo. La calidad del suelo es un concepto relativo que incluye la evaluación de las características externas e internas. Por ejemplo, un suelo de buena calidad en una ladera podría no ser tan bueno cuando se compara con un suelo en la planicie de un valle.

Para la pregunta 4.

Materia orgánica, pH, contenido de nutrientes, presencia de organismos.

Para la pregunta 5.

Inclinación, clima, textura

Para la pregunta 6.

La evaluación de la calidad de suelo comienza con la identificación de las propiedades del suelo que están limitando la producción agrícola u otro uso potencial de la tierra seguida del monitoreo de los beneficios de las practicas de manejo diseñadas para corregir tales limitaciones.

5. BIBLIOGRAFÍA

Barrios E., Herrera R. and Valles J.L. 1994 Tropical floodplain agroforestry systems in mid- Orinoco River basin, Venezuela. *Agroforestry Systems* 28:143-157.

Barrios E. 1998 Looking for Impact Assessment in Natural Resource Management: Moving through scales from soil sample to the watershed. Working Document CIAT.

Bationo A., F. Lompo and S. Koala 1998 Research on nutrient flows and balances in west Africa: state-of-the-art. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 71: 19-35

Beare M.H., Cameron K.C., Williams P.H., and Doscher C., 1997. Soil Quality Monitoring for Sustainable Agriculture. Proc. 50th N.Z. Plant Protection Conf. 520-528. N.Z. Plant Protection Soc.

Defoer T. and Budelman A. Eds. 2000 Managing Soil Fertility in the Tropics. A Resource Guide for Participatory Learning and Action Research. KIT Publishers, The Netherlands.

Doran J.W., and Parkin T.B. 1994. Defining and Assessing Soil Quality. In: "Defining Soil Quality for a Sustainable Environment". p 3-21. Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F. and Stewart B.A. (eds.). Soil Science Society of America Special Publ. 35, Madison, Wisconsin, U.S.A.

Doran J.W., and Safley M., 1997. Defining and Assessing Soil Health and Sustainable Productivity. In: "Biological Indicators of Soil Health". p. 1-28. Pankhurst, C., Doube, B.M. and Gupta, V.V.S.R.(eds.), CAB International, Wallingford, U.K.

Lynam J.K., Nandwa S.M. and Smaling E.M.A. 1998 Nutrient balances as indicators of productivity and sustainability in sub-Saharan African agriculture. Introduction. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 71:1-4.

Nandwa S.W. and Bekunda M.A. 1998 Research on nutrient flows and balances in East and Southern Africa: state of the art. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 71:5-18.

Pankhurst C., Doube B.M., and Gupta V.V.S.R. 1997. Biological Indicators of Soil Health: Synthesis. In:"Biological Indicators of Soil Health".Pp. 419-435. Pankhurst C., Doube B.M., and Gupta V.V.S.R.(eds.), CAB International, Wallingford, U.K.

Pieri C., Dumanski J., Hamblin A., and Young A. 1995. Land Quality Indicators. World Bank Discussion Paper 315, World Bank, Washington, DC.

Stoorvogel J.J. and Smaling E.M.A. 1990 Assessment of soil nutrient depletion in sub-Saharan Africa. 1983-2000. Report 28, Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research (SCC-DLO), Wageningen, The Netherlands.