

## Indicadores de sostenibilidad para el estudio de pastizales

Sandra Lok

*Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, La Habana  
Correo electrónico: slok@ica.co.cu*

Se realiza el estudio de los principales indicadores de sostenibilidad en los agroecosistemas de pastizales. Se profundiza en los conceptos de sostenibilidad y de sistemas de pastizales. Se abordan algunos elementos que favorecen el uso sostenible de los pastizales y se refiere la importancia de la utilización de indicadores, como medidas de seguimiento y control del funcionamiento de estos sistemas. También se indican los criterios básicos para la selección de los indicadores y se aborda el estado de arte en este tema. Se concluye que la temática relacionada con el estudio y selección de indicadores de sostenibilidad es de gran novedad e interés mundial. Los indicadores utilizados deben ser confiables, fáciles de medir y repetibles en el tiempo. Para que un sistema de pastizal sea sostenible debe lograr el equilibrio dinámico entre sus elementos constituyentes, de modo que se consiga la adecuada productividad, resiliencia, equidad y estabilidad en las dimensiones económica, social y ecológica. Los estudios realizados en pastizales señalan como principales indicadores de la vegetación la composición botánica, cobertura vegetal, presencia de especies invasoras y nativas, producción de biomasa y disponibilidad de biomasa. En el suelo, el contenido de materia orgánica, la biota edáfica (macrofauna, microfauna y mesofauna), la estabilidad de los agregados, la textura, el contenido de humedad y de nutrientes. En el componente animal, la producción total y por animal y la presión de pastoreo son algunos de los indicadores más reiterados en la literatura. Se concluye que la determinación de indicadores debe ser específica para cada tipo de pastizal. Se recomienda continuar el estudio de diversos tipos de pastizales, así como divulgar los resultados obtenidos.

Palabras clave: *indicadores, sostenibilidad, pastizales.*

### INTRODUCCIÓN

En las dos últimas décadas, los términos sostenibilidad y desarrollo sostenible aparecen reiteradamente en los estudios académico-científicos, en los documentos de las principales organizaciones internacionales, en la agenda de los partidos políticos y en todas las propuestas normativas relacionadas con las políticas públicas, sea si se trata de economía en general, sea si se trata de medioambiente, urbanismo, sanidad y educación, por lo que el tema de la sostenibilidad ha sido ampliamente abordado, como un llamado a garantizar la persistencia y sobrevivencia de nuestra especie.

Un sistema que es sostenible en determinadas condiciones socioeconómicas y edafoclimáticas, no necesariamente lo es cuando cambian las condiciones (Astier *et al.* 2002). Por ello, la determinación de los indicadores y de sus valores, como guía para la determinación de la sostenibilidad, se debe realizar sobre la base de estudios particulares, en correspondencia con las peculiaridades de cada agroecosistema.

Los pastizales ocupan algo más de la cuarta parte de la superficie emergida del planeta (Newman 2000). Aproximadamente, 60 % de las tierras agrícolas del mundo se utilizan para pastorear 360 millones de cabezas de ganado, y más de 600 millones de ovejas y cabras. El pastoreo proporciona, aproximadamente, 10 % de la producción mundial de carne de bovino, y cerca del 30 % de la carne de ovino y caprino. Se estima que para 100 millones de personas de las zonas áridas y, probablemente, para un número parecido de otras zonas, la ganadería es la única forma viable para ganarse la vida. Así, entre la denominación general de pastizales se in-

cluyen los ecosistemas sometidos a condiciones ambientales y de manejo muy variadas. Con respecto a estos últimos, no se han realizado suficientes estudios que establezcan las bases ecológicas para su manejo (Rebollo y Gómez-Sal 2003).

Los pastizales constituyen un recurso renovable, por lo que es necesario usarlos de manera sostenible. Están formados por un conjunto de factores complejos e interrelacionados entre sí, de índole ecológica, social, productiva, económica e incluso, éticos. Por esto, en la producción ganadera, basada en pastos y forrajes, el sujeto más importante desde el punto de vista biológico, económico y social, es el resultado de la combinación equilibrada de todos los factores que intervienen en el complejo «suelo-planta-animal-hombre» y que se define como un ecosistema de pastos. En él influyen y se relacionan todos los factores que determinan la producción, utilización y permanencia del pasto. Se diferencia de otro ecosistema por el suelo o el clima donde se explotan, por los insumos que se destinan al suelo o al animal, por el propósito con que se explotan y por la forma en que el hombre los maneja.

El control sistemático de estos agroecosistemas y su evolución es tarea de primer orden para garantizar su sostenibilidad. Por este motivo, es necesario tener como herramientas de trabajo indicadores que, de manera confiable, fácil y eficiente, permitan realizar este seguimiento.

El objetivo de este trabajo fue analizar los principales indicadores de sostenibilidad que se estudian y evalúan en agroecosistemas de pastizales.

## EL CONCEPTO DE SOSTENIBILIDAD

El término sostenibilidad o sustentabilidad es una inadecuada traducción del inglés. Debería llamarse desarrollo continuable o desarrollo perdurable, ya que el desarrollo no se sostiene ni se sustenta en el tiempo; más bien, continúa o puede continuar en el devenir o perdura o puede perdurar en el tiempo.

La primera definición de desarrollo sostenible o desarrollo continuable, registrada internacionalmente, se encuentra en el documento conocido como Informe Brundtland (1987), fruto de los trabajos de la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en Asamblea de las Naciones Unidas en 1983. Esta definición se asumiría en el Principio 3º de la Declaración de Río: «Aquel desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades». De esta manera se oficializa un enfoque donde se hacen compatibles los aspectos ambientales, los económicos y los sociales, desde la perspectiva solidaria intergeneracional.

El concepto de desarrollo sostenible o desarrollo continuable, si bien procede de la preocupación por el medio ambiente, no responde solamente a temas fundamentalmente ambientalistas, sino que trata de superar la visión del medio ambiente como un aspecto unido, de cierta manera, a la actividad humana que hay que preservar. El medio ambiente está relacionado con la actividad humana, y la mejor manera de protegerlo es teniendo en cuenta en todas las decisiones que se adopten.

El concepto de desarrollo sostenible tiene un vector ambiental, uno económico y uno social (Hünemeyer *et al.* 1997) (figura 1). La sostenibilidad ecológica se refiere a las características fundamentales que deben mantener los ecosistemas a través del tiempo, en cuanto a componentes e interacciones, para lograr la supervivencia. La sostenibilidad económica implica la producción con rentabilidad razonable y estable a través del tiempo,

lo que hace atractivo continuar con dicho manejo. Mientras, la sostenibilidad social se relaciona con la organización social, de modo que tenga un grado aceptable de satisfacción de sus necesidades.

El manejo sostenible puede, por lo tanto, tener significados diferentes, según la función principal del recurso o del momento histórico en que se hace una evaluación. El desarrollo agrícola sostenible abarca las tres vertientes. No parece posible optimizar simultáneamente cada uno de los tres componentes de la definición anterior, lo más conveniente es definir ciertos límites aceptables para cada uno de ellos y optimizar primero uno, procurando que la intensidad de los otros dos se ubique en el límite aceptable para ese momento y condición particulares. Con el transcurso del tiempo, los tres objetivos deberían ir acercándose a los óptimos ideales para cada uno de los tres componentes.

La interpretación integrada de estas tres dimensiones supone considerar el sistema económico dentro de los sistemas naturales, y no por encima de ellos, es decir, aplicar la interpretación global, y no unidimensional. Todos los agentes sociales, que tratarán de lograr la sostenibilidad a largo plazo, y el propio sistema natural, establecerán los límites del sistema medioambiental, como por ejemplo el del consumo máximo posible de recursos naturales. Es después cuando aparecen los instrumentos económicos, no como determinantes, sino como un camino para lograr la solución más eficiente. En la búsqueda de un desarrollo sostenible global, a la hora de tomar decisiones, habrá que considerar también la reducción de las diferencias sociales entre seres humanos, para acabar con las actuales desigualdades e inequidades, dentro de cada país y entre países.

La figura 2 muestra el enfoque propuesto por Hünemeyer *et al.* (1997) para la definición de indicadores. Este enfoque hace que los indicadores se consideren dinámicos en el tiempo, por lo que, para cada momento histórico o situación particular, habría que bus-

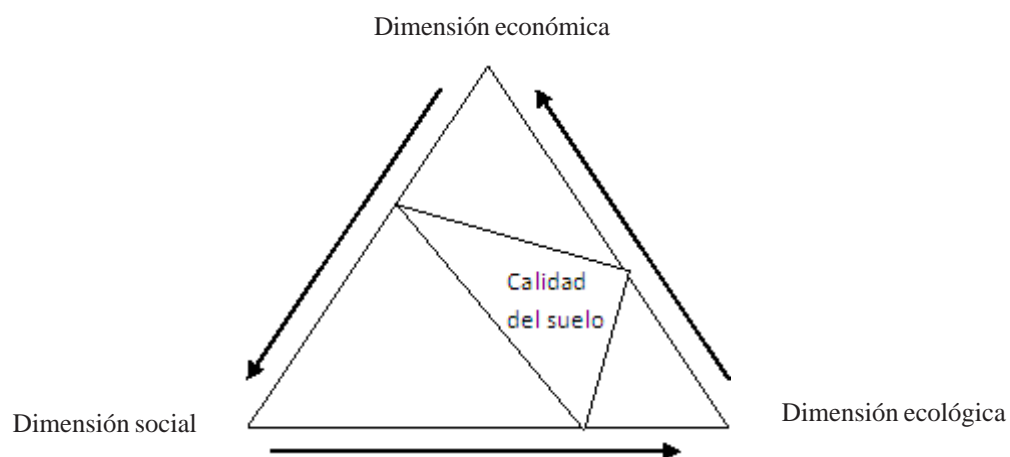


Figura 1. Triángulo Moebius para las tres dimensiones implícitas en el concepto sostenibilidad. (Hünemeyer *et al.* 1997)

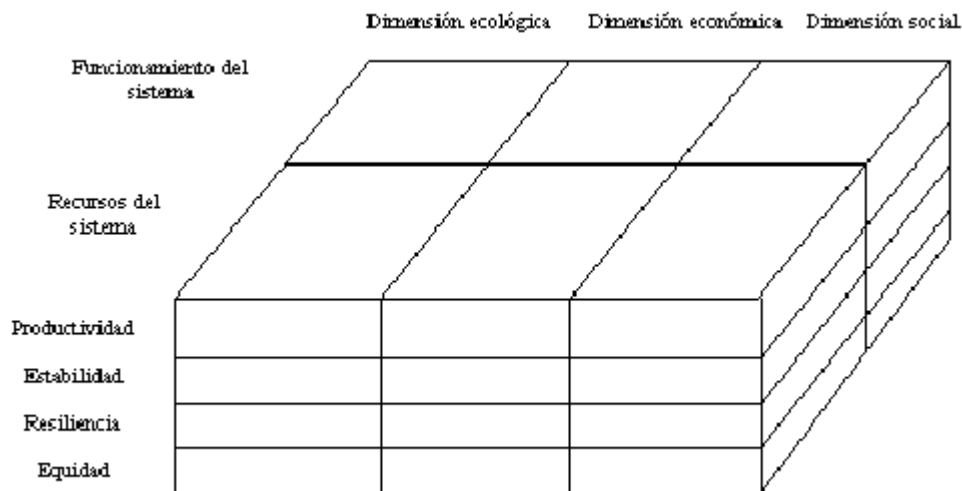


Figura 2. Enfoque propuesto por Hünemeyer *et al.* (1997) para la definición de indicadores

car el equilibrio entre los tres objetivos del desarrollo sostenible. Para que un sistema sea sostenible, la energía que se produce debe ser mayor o, al menos, igual a la que se consumió, lo que indica que posee la productividad adecuada. Así mismo, debe ser estable, es decir, que su productividad se mantenga constante, aún cuando se enfrenten pequeñas distorsiones, causadas por las condiciones climáticas y las fluctuaciones de otras variables ecológicas y económicas. El sistema también debe ser capaz de recuperarse de

las distorsiones causadas por fuerzas externas, lo que indica su capacidad de resiliencia. Además, es necesario que mantenga la equidad, o sea, la distribución equitativa de los beneficios y riesgos generados por el manejo del sistema.

Para algunos científicos, la sostenibilidad constituye un paradigma o imperativo moral y cultural, cuya función es guiar las acciones humanas, en aras de garantizar la conservación de la naturaleza para las futuras generaciones (Fürst 2006 y Pozuela 2006).

### SISTEMAS DE PASTIZALES

Los ecosistemas de pastizales se caracterizan por presentar la vegetación abierta, dominada por especies herbáceas, y cuya producción primaria es aprovechada directamente por los herbívoros (Miller 1990). También pueden estar formados por la unión armónica de especies herbáceas, arbustivas, arbóreas y otras. Esto origina los denominados sistemas silvopastoriles, que suelen estar situados en zonas con productividad relativamente baja, no adecuada para usos agrícolas intensivos (Kaine y Tozer 2005). En estas zonas, el pastoreo es un procedimiento eficaz para recolectar y transformar la producción primaria en productos para uso o consumo humano. A pesar del predominio herbáceo, el componente arbustivo y arbóreo desempeña, con frecuencia, una función clave como protección o recurso trófico, en especial durante la época de escasez de herbáceas (Toval 2003). La composición y productividad de los pastos está regulada por la actividad de los herbívoros. El hecho de que su manejo requiera contar con otro nivel trófico, además del de los productores, supone un grado añadido de complejidad para la ecología aplicada al manejo de los recursos naturales (Quero *et al.* 2007).

Huss *et al.* (1996) y Yado *et al.* (1996) definen como «pastizal» cualquier área que produce pastos para el consumo del ganado. Según estos autores, se reconocen dos clases fundamentales de pastizales, cuya diferencia principal reside en la intensidad de manejo y en

los tratamientos culturales a que son sometidos. Estas dos clases son los pastizales naturales, tierras que asientan pasto nativo o autóctono para el consumo animal, y los pastizales artificiales, tierras de pastoreo con manejo intenso, que usualmente tienen especies forrajeras introducidas y reciben prácticas culturales.

Según Herrero (2005), independientemente del tipo, los pastizales están constituidos por elementos bióticos y abióticos que conforman una unidad indisoluble, de cuya dinámica y armonía depende el funcionamiento adecuado del ecosistema. Entre los componentes abióticos se encuentran las sustancias inorgánicas que intervienen en los ciclos materiales, el régimen climático, el suelo, la topografía y la altitud. Entre los bióticos se ubican las plantas u organismos autótrofos, los consumidores de materia orgánica y los desintegradores como las bacterias, hongos, nemátodos y otros. Todos los componentes poseen funciones específicas e interactúan entre sí, por lo que la estabilidad productiva del pastizal y su persistencia en el tiempo estarán influidas por su equilibrio dinámico en el sistema.

Otros elementos que actúan en los ecosistemas de pastizales, siendo parte indisoluble de ellos, lo constituyen los factores económicos, sociales y culturales, cuya influencia se refleja directamente en el manejo a que son sometidos. Todos estos componentes son interdependientes e interactivos, y funcionan como un

todo único, donde la alteración de alguno de ellos se refleja en los otros y en el funcionamiento armónico del ecosistema.

La heterogeneidad de los factores que influyen en el pastizal, cuando actúan solos y relacionados, la complejidad de los mismos en el sistema de producción, y el uso de los pastos conforman la diversidad de ecosistemas que hay que enfrentar con el conocimiento de causa. Esto conlleva, ante todo, a identi-

car los grandes problemas biológicos y económicos, así como los problemas secundarios que se relacionan con los factores mencionados. Por ello, la determinación de indicadores de sostenibilidad debe orientarse a aquellas variables que posean mayor variabilidad en el comportamiento de estos agroecosistemas, y que puedan indicar oportunamente los cambios en la estabilidad del equilibrio dinámico del complejo suelo-planta-animal-hombre.

### ALGUNOS ELEMENTOS QUE FAVORECEN LA UTILIZACIÓN SOSTENIBLE DE LOS PASTIZALES

Gómez-Sal (2001) y Ribaski (2006) consideran que para el manejo ecológico de los ecosistemas de pastizales es fundamental el mantenimiento de los elementos estabilizadores que reducen el riesgo de sobreexplotación. Entre ellos refieren el uso de los sistemas silvopastoriles en las zonas más frágiles, el mantenimiento de la fertilidad de los suelos mediante el aporte adecuado de materia orgánica, la importancia de la elaboración del compost y de la rotación de cultivos. Mencionan además, la utilización de razas de ganado y de variedades de plantas autóctonas adaptadas a las condiciones locales, así como la atención especial al ciclo del agua y su calidad (cuidado de fuentes, acequias, balsas o charcas ganaderas y pequeñas lagunas) para evitar la contaminación de los cursos de agua superficiales y de los acuíferos subterráneos; además del establecimiento de sistemas ganaderos mixtos.

Generalmente, la dificultad para lograr el uso sostenible de los pastizales aumenta a medida que se explotan con menor productividad primaria (Behnke *et al.* 2000). Frecuentemente, estos pastizales están situados en áreas con pocas o deficientes precipitaciones. Pueden experimentar además, procesos de degradación, que obedecen a la combinación de sobrepastoreo con otras perturbaciones frecuentes en estos medios, como son la sequía y el fuego. En estas condiciones es adecuado no mantener, de manera prolongada, altas densidades de animales y lograr el suministro externo de agua y alimento, si se observan indicios de sobrepastoreo. También es necesario disponer de áreas de reserva forrajera para los períodos de escasez y utilizar una estrategia de pastoreo oportunista, basada en el desplazamiento total o parcial de los animales hacia las áreas de mayor disponibilidad de biomasa vegetal.

### IMPORTANCIA DEL USO DE INDICADORES PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PASTIZALES

Los pastizales no son entidades estáticas, por lo que su uso sostenible requiere conocer en cada momento cuál es su estado y sus tendencias al cambio. Esto se debe llevar a cabo mediante el seguimiento de los indicadores del sistema suelo-planta-animal y de la velocidad de respuesta de cada componente del pastizal ante las modificaciones que se presentan.

El sistema de seguimiento y control debe incluir indicadores relacionados con los animales y sus producciones (tasa de fertilidad, tasa de crecimiento, cantidad y calidad de la producción, estado físico y sanitario); los referidos a la vegetación (cobertura de la vegetación por estratos, abundancia de las especies, producción herbácea, calidad del forraje, proliferación de especies resistentes al pastoreo) y los relacionados con el suelo (seguimiento de los fenómenos erosivos y del contenido de materia orgánica y nutrientes) (Behnke *et al.* 2000 y FAO 2008b).

Esta diversidad de indicadores es esencial porque la velocidad de respuesta o su tasa de cambio, como consecuencia del pastoreo, es diferente en cada sistema de producción, y no existen relaciones claras entre ellos (FAO 2003). Por ejemplo, el cambio en la composición

de especies de plantas es relativamente rápido, el de la producción primaria neta aérea es intermedio y el de la reserva de nutrientes del suelo es lento. Los cambios en la composición de especies no reflejan necesariamente modificaciones en la producción total o puede que no se deban al efecto del pastoreo.

La elección de indicadores de sostenibilidad de ecosistemas, que permitan un análisis íntegro de los mismos, no está exenta de dificultades. Según Scheffer *et al.* (2001), la medición integral no debe basarse en la presencia de alguna especie o en el inventario de especies, sino en los conocimientos del estado sucesional de las mismas en el ecosistema en cuestión. Según Borrelli y Oliva (2004), es necesario saber cuál es el estado «saludable o íntegro» de los ecosistemas, así como el de «enfermedad» para poder caracterizarlos. Según estos autores, la elección de los indicadores requeriría conocer con cierta profundidad el funcionamiento de los ecosistemas. ¿Cuáles son las especies clave, qué hábitat requieren, cuáles son sus umbrales de requerimientos mínimos, entre otros cuestionamientos relacionados con procesos ecológicos esenciales, implican cierto grado de conocimiento acerca del funcionamiento de los

ecosistemas. La selección de indicadores para controlar los sistemas es el primer paso de un largo proceso, que incluye la clasificación, el inventario, el chequeo, las mediciones y el manejo de estos sistemas (Basaure 2010).

La degradación y deterioro de los pastizales son problemas mundiales crecientes que pueden conducir a la desertificación. Ante la urgente necesidad de desarrollar técnicas de cuantificación temprana de estos procesos degradativos, la búsqueda de indicadores vegetales y edáficos es una de las prioridades de la ciencia. Entre los indicadores de la vegetación, la presencia de determinadas plantas o comunidades vegetales puede sugerir procesos degradativos (Tschirley 2010).

Un aspecto esencial en el uso sostenible de los pastizales es el mantenimiento, a largo plazo, de adecuadas cantidades de nutrientes para la vegetación y el suelo. En este sentido, es importante recordar la diferencia en la composición de los elementos químicos de los productores primarios, es decir, de los organismos autótrofos (formados principalmente a partir de C, H y O), con respecto a los herbívoros (que presentan además, una proporción importante de N, P y Ca) (Bie *et al.* 2010). Esto hace que los herbívoros sean importantes acumuladores de N, P y Ca en los ecosistemas de pastizales, con una capacidad reguladora de estos elementos potencialmente elevada, a través de sus producciones y deyecciones.

A pesar de la deficiencia crónica de N en el alimento de los herbívoros, la selección natural no favoreció más la simbiosis entre herbívoros y microorganismos fijadores de N. Debido a esta diferente composición química, los herbívoros presentan una compleja estrategia de pastoreo, dirigida a garantizar el suministro de estos elementos limitantes, especialmente durante el período de crecimiento y lactación. Esta estrategia se basa en la selección del alimento consumido, a partir de complejas decisiones a varias escalas espaciales (Sombroek 2010). Ningún individuo de la población de herbívoros es tan exigente con respecto a la calidad del alimento como una hembra al final del período de gestación y en los momentos más álgidos de la lactación. Este hecho está relacionado, posiblemente, con importantes aspectos del metabolismo animal, mucho más complejo en las hembras que en los machos. Por esto, es de gran importancia controlar los contenidos de nutrientes asimilables en el suelo y los niveles de nutrientes en la vegetación, como indicadores del estado de los pastizales.

El control de la dinámica de la población de las especies presentes en un pastizal puede servir como indicador de su estabilidad, y su evaluación puede basarse en varios indicadores, como son la distribución de la comunidad vegetal y la cantidad de las especies representativas.

Anon (2002) propone un sistema de indicadores que permite el seguimiento de la evolución de los sistemas de pastizales, partiendo de la presencia de especies in-

vasoras, de especies nativas, de cambios del área total dedicada al pastizal, del estado de las comunidades de especies deseables y de los regímenes naturales de fuego, entre otros aspectos. Estos indicadores coinciden con los propuestos por la convención de Montreal (Anon 1995) y persiguen cubrir todas las posibles variaciones que pueden ocurrir en el pastizal y que pueden ser indicativas del posible deterioro o pérdida de su estabilidad productiva.

Dale *et al.* (2000), Flather y Sieg (2000), Soyza *et al.* (2000) y FAO (2008a) coinciden en definir un grupo de indicadores del suelo y de la vegetación que pueden servir para controlar eficazmente los sistemas de pastizales y mostrar su estado de sostenibilidad. En el caso del recurso suelo, se señalan como mejores indicadores la disminución significativa del contenido de materia orgánica o de la relación C:N, los cambios en la estabilidad de los agregados, la actividad microbiológica, la erosión (hídrica o eólica), los cambios significativos en la composición de la biota edáfica natural del pastizal y las modificaciones en las condiciones hídricas. En la vegetación proponen indicadores que controlan la capacidad productiva del pastizal, como la productividad de biomasa, el tipo y carga de ganado, el porcentaje de pasto consumible por el ganado, la presencia y densidad de grupos funcionales de plantas silvestres o nativas y de plantas invasoras y los cambios en la composición botánica.

Costa *et al.* (2002) realizaron estudios botánicos de las zonas evaluadas mediante inventarios florísticos y mediciones de la cobertura de la vegetación y de su estado de vitalidad para buscar indicadores vegetativos y edáficos del proceso de desertificación. Mientras que en el suelo evaluaron el pH, porcentaje de carbonato cálcico equivalente y activo, porcentaje de carbono, nitrógeno y materia orgánica, así como el análisis granulométrico y textural. Estos autores encontraron que puede haber correspondencia entre el grado de deterioro de un suelo y el de la vegetación que soporta, aunque el suelo posee mayor resistencia al cambio que la comunidad vegetal. Aseguran que el riesgo de degradación de un suelo está en función de su propia estructura y composición, pero sobre todo de factores externos, como son la pendiente, pluviosidad, escorrentía y desaparición de la cubierta vegetal. Además, encontraron que todos los suelos tenían alteraciones en sus características, pero aquellos con comunidades vegetales arbóreas poseían mejor estructura.

Senra *et al.* (2004) señalan que existen índices del animal que excepcionalmente se evalúan durante el desarrollo de los sistemas de explotación, que son determinantes para determinar el estado de la masa animal y de sus posibilidades productivas, y que indican su sostenibilidad. Estos son la curva de potencial mínimo relativo para planificar la producción de leche, la condición corporal, la estimación del peso vivo y la ganancia diaria. Estos autores plantean que es indispensable el

seguimiento de la producción individual de vacas en ordeño y la producción total de leche. Recomiendan además, que sea medida sistemáticamente la presión de pastoreo, para controlar la carga y poder tomar las medidas necesarias con respecto a la cantidad y el momento de ofrecer los alimentos durante el año. Otros autores, como Schomaker (2010), han tomado la intensidad de pastoreo como base del manejo, que se expresa en UGM (unidades de ganado mayor) por hectárea, y que solamente indica el peso total de los animales por unidad de área, sin considerar la cantidad de hierba o alimento disponible. Esto puede conducir a graves errores en el manejo del pastizal.

A su vez, Heimlich y Anderson (2001) y FAO (2008b) plantearon que existen factores económicos, políticos, sociales y culturales que influyen en el uso de los pastizales, y que no deben ignorarse al evaluar su estado, pues pueden ser indicadores de las posibilidades del sistema, de ser o no sostenible. Entre estos indicadores destacan las características de la estructura social, la satisfacción de la comunidad, la presencia de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, la diversidad de empleos, la estructura agrícola, la pirámide poblacional y los cambios en la población, el nivel cultural y técnico de la población, el apoyo institucional y gubernamental y los problemas migratorios, entre otros. Esto sucede porque el hombre es un ser social y las condiciones en que se desenvuelve harán que adopte determinada actitud ante cada acción que ejecute. En este sentido, la evolución de los pastizales depende, en

gran medida, del manejo que se realice de los mismos, donde el hombre es el principal componente.

El objetivo de evaluar los pastizales es proveer de información que permita tomar decisiones de manejo, con el propósito de optimizar la producción de bienes y servicios y proteger los recursos naturales. Entre los indicadores que se deben medir resaltan la composición botánica, la biomasa producida por el pastizal, las especies presentes y su frecuencia, abundancia y cobertura, la disponibilidad de pastos, la altura de las especies clave, el estado del suelo, en cuanto a estabilidad estructural, erosión y contenido de materia orgánica, así como la salud y producción animal. La evaluación debe fundamentarse en el conocimiento de la dinámica de los indicadores que caracterizan la evolución del pastizal, como resultado del manejo. Para ello, es indispensable en cada agroecosistema de pastizales realizar investigaciones que abarquen el amplio espectro de medidas, a partir de las que se seleccionan las que mejor caracterizan el estado en que se encuentra el ecosistema, y permiten un seguimiento sistemático del efecto de las tecnologías aplicadas.

De manera general, los pastizales son ecosistemas dinámicos, susceptibles a encontrarse en estado de equilibrio, donde es compatible la explotación y la conservación, o por el contrario, en estados degradados, como consecuencia del exceso o defecto de pastoreo. El uso sostenible de los pastizales requiere del establecimiento de un sistema de indicadores para el seguimiento y control de su estado, a corto, mediano y largo plazo.

## **OTROS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL QUE SE DEBEN MEDIR EN LOS AGROECOSISTEMAS DE PASTIZALES**

Para realizar el análisis profundo de la sostenibilidad ambiental es necesario considerar el conjunto de indicadores que apuntan a dimensiones muy básicas del desarrollo ambiental, y que se refieren al cambio global (en particular al cambio climático, específicamente a las emisiones de gases de efecto invernadero), al uso de recursos como la energía, materiales (y producción de residuos), agua y suelo, unidos a indicadores de calidad ambiental y salud. La biodiversidad es otro indicador

estudiado, debido a la importancia que tiene en la sostenibilidad de los procesos ecológicos fundamentales.

Todos los índices e indicadores pueden estructurarse según los componentes del desarrollo sostenible (y sus interacciones) y según los temas de sostenibilidad rural. Los indicadores (básicos y complementarios) también pueden estructurarse según las categorías (presión, impacto, estado y respuesta).

## **SELECCIÓN DE LOS INDICADORES**

Se debe partir de la identificación del marco conceptual donde serán seleccionados los indicadores, los cuales son cruciales para estructurar la información que se requiere para reconocer patrones de desarrollo, identificar necesidades y prioridades, definir políticas y ejecutar acciones. La ausencia de marcos conceptuales genera datos incompatibles, información difícil de usar y multiplicación de conjuntos de indicadores que son difíciles de ajustar. Por otro lado, el marco escogido debe ser flexible para que exprese el contenido, el nivel y el método del proceso de seguimiento y análisis. De ese

modo, se pueden hallar diferentes necesidades en el mismo marco, utilizando indicadores iguales para todos.

Una vez identificado el marco conceptual práctico para organizar los indicadores, se deben seleccionar los indicadores con los que se hace el seguimiento del desarrollo rural sostenible.

Tener demasiados indicadores con una cantidad excesiva de detalles puede generar confusión en las prioridades, para quienes los elaboran, como para los usuarios. Según Doran y Parkin (1996), Kerridge (1997) y Fürst (2006), los criterios básicos para definir, elegir y

garantizar la operatividad de los indicadores de sostenibilidad son:

- Correlacionar con los procesos del agroecosistema.
- Integrar propiedades y procesos químicos, físicos y biológicos, así como económicos y sociales, cuando el alcance del trabajo lo requiera.
- Resultar de empleo relativamente sencillo en condiciones de campo y ser evaluables por especialistas como por productores.

- Ser sensibles a las modificaciones ambientales.
- Reflejar el estado y la tendencia de un agroecosistema en prácticas de manejo específicas, de modo que permitan cuantificar el grado de deterioro o no y el grado de respuesta ecológica a dicho manejo.
- Repetibles en el tiempo.

**ESTADO DEL ARTE EN EL TEMA DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN PASTIZALES**

En el CIAT de Colombia, EMBRAPA, CATIE y en la Universidad Central de Venezuela se han realizado estudios en la búsqueda de los indicadores idóneos para mostrar la sostenibilidad de los sistemas de pastizales.

En el CIAT se le ha dado el enfoque local y los estudios se encaminaron, principalmente, a indicadores relacionados con la calidad del suelo, ya que argumentan que la sostenibilidad de los sistemas ganaderos depende del mantenimiento de las mejoras de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos.

Las investigaciones realizadas señalan que entre los factores del suelo que pueden influir en la sostenibilidad de los agroecosistemas se incluyen el contenido de materia orgánica y de nutrientes (déficit o toxicidad), procesos de acidificación, salinización y compactación, entre otros. Estos definen la calidad y fertilidad del suelo debido a que todos se interrelacionan en los procesos dinámicos que en él ocurren. Por ello, estas propiedades se pueden utilizar como indicadores de cambios en los sistemas (Singer y Swing 2002 y Amézquita *et al.* 2004).

La tabla 1 muestra el grupo mínimo de indicadores que, según la Soil Science Society of America, son necesarios para determinar la calidad edáfica. Estos coinciden

con lo planteado por Doran y Parkin (1996) y Seybold *et al.* (1997).

De igual manera, Jiménez y Thomas (2003) y Velásquez *et al.* (2004) estudiaron las comunidades de invertebrados de suelos en los llanos de Colombia y determinaron que la macrofauna del suelo constituye un indicador sensible a los cambios en la calidad del suelo.

En otros trabajos de la Unidad de Estudios Biológicos del Estado Guárico en Venezuela se comprobó el efecto del fuego, el pastoreo y la cobertura permanente del suelo en el comportamiento de indicadores físicos, químicos y biológicos (tabla 2). Estos resultados mostraron que el pastizal protegido sin afectaciones de fuego, siempre cubierto de pasto y en pastoreo, tuvo los mejores valores en cuanto a los indicadores evaluados, lo que indica que un adecuado manejo de estas áreas se debe reflejar en la mejora de sus propiedades edáficas.

De acuerdo con estas ideas, no se dispone de un enfoque único para generar un conjunto de indicadores para cada propósito. Los puntos de vista pueden cambiar con el tiempo, conforme se incrementa la concientización de los problemas ambientales y evolucionan los valores sociales.

Tabla 1. Conjunto mínimo de datos físicos, químicos y biológicos necesarios para controlar la condición, calidad y salud del suelo

Indicadores	Función y procesos que regulan
<b>Físicos</b>	
Textura	Retención y transporte de agua y nutrientes
Profundidad de suelo, suelo superficial y raíces	Productividad potencial y erosión
Infiltración y densidad aparente	Productividad, lixiviación y erosividad
Capacidad de retención de agua	Disponibilidad de agua, transporte y erosión
<b>Químicos</b>	
pH	Fertilidad, disponibilidad de nutrientes
Materia orgánica	Actividad biológica y disponibilidad de nutrientes
Conductividad eléctrica	Actividad microbiana y salinización
N, P y K	Fertilidad e indicadores de calidad ambiental
<b>Biológicos</b>	
C y N microbianos	Potencial catalítico microbiano
Fracción ligera de la materia orgánica	Elementos potencialmente mineralizables
Respiración basal	Pérdida de C y actividad microbiana

Adaptado de Doran y Parkin (1996)

Tabla 2. Comparación de valores de indicadores de calidad del suelo obtenidos en un pastizal natural (sometido al fuego y al pastoreo) y un pastizal protegido por 30 años (con pastoreo, sin fuego, siempre cubierto de pasto)

Indicadores	Pastizal natural		Pastizal protegido	
	Media	ES	Media	ES
<b>Físicos</b>				
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.66 <sup>a</sup>	± 0.04	1.54 <sup>b</sup>	± 0.4
Capacidad de campo (%)	4.97 <sup>a</sup>	± 0.49	16.51 <sup>b</sup>	± 0.4
Contenido de humedad (%)	13.35 <sup>a</sup>	± 0.27	14.84 <sup>b</sup>	± 0.18
<b>Químicos</b>				
pH	5.61 <sup>a</sup>	± 0.19	6.29 <sup>b</sup>	± 0.19
Bases cambiables (cmol/kg)	0.57 <sup>a</sup>	± 0.05	0.76 <sup>b</sup>	± 0.03
P (mg P/kg)	1.67 <sup>a</sup>	± 0.06	1.63 <sup>a</sup>	± 0.05
% Carbono	1.15 <sup>a</sup>	± 0.02	1.09 <sup>b</sup>	± 0.01
N (mg N/kg)	458.0 <sup>a</sup>	± 87.0	530.0 <sup>b</sup>	± 137.0
<b>Biológicos</b>				
C microbiano (mg C/kg)	114.0 <sup>a</sup>	±45.0	153.0 <sup>b</sup>	± 13.0

Promedios seguidos de letras diferentes corresponden a diferencias significativas (test Kruskal-Wallis, pP% 0.05).

Tomado de López *et al.* (2005)

Uno de los enfoques ampliamente utilizados por la inmediatez de su comprensión es el de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD). Se trata del sistema presión-estado-respuesta, el cual se basa en una cadena de causalidades, donde se entiende que las actividades humanas originan presiones sobre el ambiente (indicadores de presión). Estas modifican la calidad y cantidad de los recursos naturales (indicadores de estado), en virtud de lo cual se produce una respuesta que tiende a modular la presión (indicadores de respuesta).

En el enfoque presión-estado-respuesta, la OECD (1991, 1993 y 2003), citada por López *et al.* (2005), ha propuesto algunos indicadores ambientales relacionados con la calidad del suelo, como el riesgo de erosión hídrica y eólica, así como de acumulación de C.

En los Estados Unidos de América se constituyó el Soil Quality Institute, organismo encargado de difundir entre los productores agrícolas los principios básicos de los indicadores de calidad del suelo y proponer metodologías simples para realizar mediciones (Soil Quality Institute 1996). También la Unión Europea y Canadá publicaron información valiosa al respecto (Gregorich *et al.* 1994 y Anon 1998). El Internacional Fertilizer Development Center, ha desarrollado una ardua labor en la determinación y divulgación de indicadores para el manejo de la fertilidad de los suelos (Thompson 2000).

En el reciente XVIII Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, el uso de indicadores de sostenibilidad para el manejo eficiente de la fertilidad del suelo fue un tema ampliamente discutido. En la tabla 3 se muestran algunos de los trabajos más complejos y completos en este sentido. Se observa que son los países desarrollados quienes principalmente abordan esta

temática. Se manifestó además, una tendencia al análisis integrado de todas las propiedades edáficas para una mejor comprensión y manejo de este recurso.

En Argentina también se han informado estudios acerca de esta temática. Nazca *et al.* (2006) evaluaron entre los indicadores ambientales la producción ganadera, la cobertura del pasto base, las malezas, el mantillo orgánico, el suelo desnudo, la materia orgánica del suelo, la estimación de CH<sub>4</sub> y el riesgo de utilización de energía fósil. Entre los económicos estudiaron el margen bruto de la actividad, y en los sociales la responsabilidad técnica.

Monzote *et al.* (2005) y Funes-Monzote (2006) plantean que un buen indicador de sostenibilidad en sistemas ganaderos puede ser la eficiencia energética del sistema. Estos autores describen este indicador como el balance entre los gastos energéticos y las producciones obtenidas en cualquiera de los niveles tróficos o energéticos de la naturaleza, y explican que en estos agroecosistemas es importante controlar la eficiencia energética porque entre las especies animales existen algunas más eficientes que otras, desde el punto de vista del aprovechamiento de la energía, en función de la producción. Además, la producción animal desempeña un papel importante, ya que las fuentes proteicas que de ella provienen son parte sustancial de la dieta humana. Otros indicadores que recomiendan son la producción total de leche o carne, producción por animal, porcentaje de natalidad y mortalidad, biodiversidad del sistema y porcentaje de reforestación del área.

Lok (2005) realizó la selección de indicadores de estabilidad en tres diferentes tipos de pastizales, así como la obtención de tablas con rangos de valores de estabili-



Tabla 3. Principales indicadores utilizados para mostrar la calidad del suelo, según los trabajos presentados en 18<sup>th</sup> Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo

Indicadores	Autores	Países
Carbono orgánico total	Bruand <i>et al.</i> (2006)	Francia
Materia orgánica	Lok (2006)	Cuba
Nitrógeno total	Moebius <i>et al.</i> (2006)	EUA
Distribución de agregados	Hajabbsi <i>et al.</i> (2006)	Canadá e Irán
Densidad aparente	Gal <i>et al.</i> (2006)	Alemania y Hungría
Concentraciones de CaCO <sub>3</sub>	Camargo <i>et al.</i> (2006)	Brasil
Calidad del agua	Wu <i>et al.</i> (2007)	China
Capacidad de intercambio catiónico	Preston (2007)	
Saturación de bases		
Estabilidad de microagregados		
Poblaciones de microorganismos (bacterias y hongos)		
Densidad de lombrices		
Acumulación de humus	Dilly (2006)	Colombia
Respiración edáfica		
Secuestro de carbono en el suelo		
Contaminación por nitratos	Drury <i>et al.</i> (2006)	EUA
Nitrógeno residual en el suelo		

dad para cada uno de los indicadores seleccionados (tablas 4 y 5). Este constituyó el primer paso para adentrarse en este tema tan complejo, y solo incluyó en los análisis los indicadores relacionados con el suelo y el pasto. Para completar este trabajo sería necesario incluir indicadores del animal y del manejo a que se someten estos sistemas, así como la validación de los indicadores seleccionados.

Se concluye que la temática relacionada con el estudio y selección de indicadores de sostenibilidad es de

gran novedad e interés mundial. Estos deben ser confiables, fáciles de medir y repetibles en el tiempo. Para que un sistema de pastizal sea sostenible, debe lograr el equilibrio dinámico entre sus elementos constituyentes, de modo que se consiga la adecuada productividad, resiliencia, equidad y estabilidad en las dimensiones económica, social y ecológica.

Los estudios realizados en pastizales señalan como principales indicadores de la vegetación la composición botánica, cobertura vegetal, presencia de especies inva-

Tabla 4. Rangos de valores que indican estabilidad para los indicadores seleccionados en cada pastizal en la vegetación en un intervalo de confianza de 95 % de probabilidad

Pastizales	Componentes	Indicadores	Épocas	Valores	
Silvopastoril	Densidad de guinea	Densidad de guinea (plantas/m <sup>2</sup> )	Poco lluviosa	8.6 - 9.5	
			Lluviosa	7.9 - 9.0	
		Cobertura vegetal (%)	Poco lluviosa	99.4 - 99.6	
		Lluviosa	99.5 - 99.6		
	Disponibilidad de biomasa	Disponibilidad total de biomasa (t MS/ha)	Poco lluviosa	5.4 - 6.3	
			Lluviosa	6.0 - 7.1	
Monocultivo	Composición botánica	Leguminosas (%)	Poco lluviosa	2.6 - 2.7	
			Lluviosa	1.3 - 1.4	
		Malezas (%)	Poco lluviosa	7.4 - 7.5	
	Lluviosa		19.9 - 20.1		
	Cobertura del pastizal	Cobertura vegetal (%)	Poco lluviosa	96.6 - 96.7	
			Lluviosa	98.2 - 98.3	
	Mezcla de leguminosas rastreras	Densidad de leguminosas	Densidad de glycine (plantas/m <sup>2</sup> )	Poco lluviosa	22.2 - 22.8
				Lluviosa	34.2 - 34.6
			Disponibilidad de biomasa (t MS/ha)	Poco lluviosa	2.6 - 3.4
Lluviosa		3.4 - 4.4			
Composición botánica		Leguminosas (%)	Poco lluviosa	83.2 - 83.3	
			Lluviosa	77.2 - 77.3	
		Gramíneas (%)	Poco lluviosa	10.7 - 10.8	
Lluviosa	14.7 - 14.8				

Tabla 5. Rangos de valores que indican estabilidad para los indicadores del suelo seleccionados en cada pastizal en un intervalo de confianza de 95 % de probabilidad

Pastizales	Componentes	Indicadores		Valores
Silvopastoril	Distribución de agregados en húmedo	Agregados 1 a 5 mm (%)		58.7 - 58.9
	Distribución de agregados en seco	Agregados > 10 mm (%)		20.3 - 20.5
	Valor n	Valor n		0.24 - 0.28
	Fitomasa subterránea	De 35 a 42 cm (g 100 cm <sup>-3</sup> )	Poco lluviosa	0.64 - 0.79
			Lluviosa	0.62 - 0.78
	Macrofauna	Individuos (individuos m <sup>-2</sup> )		29.5 - 30.8
Mesofauna	Individuos (individuos m <sup>-2</sup> )		29.6 - 31.8	
Monocultivo	Distribución de agregados en húmedo	Agregados 1 a 5 mm (%)		68.2 - 68.3
	Valor n	Valor n		0.25 - 0.28
	Indicador químico	Materia orgánica		3.8 - 5.7
	Fitomasa subterránea	De 35 a 42 (g 100 cm <sup>-3</sup> )	Poco lluviosa	0.49 - 0.68
			Lluviosa	0.57 - 0.68
Macrofauna	Lombricess (individuos m <sup>-2</sup> )		10.5 - 12.8	
Mezcla de leguminosas rastreras	Índice de plasticidad	IP (%)		37.6 - 37.9
	Distribución de agregados en húmedo	Agregados 1 a 2 mm (%)		34.5 - 34.6
	Resistencia a la penetración	De 20 a 30 cm (Mpa)		0.78 - 1.13
	Fitomasa subterránea	De 35 a 42 cm (g 100 cm <sup>-3</sup> )	Poco lluviosa	0.62 - 0.78
Lluviosa			0.59	

soras y nativas, producción de biomasa y disponibilidad de biomasa. En el suelo, refieren el contenido de materia orgánica, la biota edáfica (macrofauna, microfauna y mesofauna), la estabilidad de los agregados, la textura y el contenido de humedad y de nutrientes. En el componente animal, la producción total y por animal y la pre-

sión de pastoreo son algunos de los indicadores más reiterados en la literatura. Asimismo, la determinación de indicadores debe ser específica para cada tipo de pastizal.

Se recomienda continuar estudiando diversos tipos de pastizales y divulgar los resultados obtenidos.

## REFERENCIAS

- Amézquita, E., Thomas, R.I., Rao, I.M., Molina, D.L. & P. Hoyos. 2004. Use of deep-rooted tropical pastures to build-up an arable layer through improved soil properties of fan Oxisol in the Colombia. *Agric. Ecosyst. Env.* 103: 269
- Anon 1995. Sustaining the world's forest: The Santiago Agreement. Working group on criteria and indicators for the conservation and sustainable management of temperate and boreal forest. *J. Forestry* 93:81
- Anon. 1998. Sistema español de indicadores ambientales: Subáreas de agua y suelo. Ed. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España
- Anon. 2002. Summary and highlights: The state of the nation's ecosystems: Measuring the lands, waters, and living resources of the United States. The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment, Washington, D.C. Disponible: [www.heinzctr.org/ecosystems](http://www.heinzctr.org/ecosystems). Consultado: 11/7/2004
- Astier, C.M., Mass-Moreno, M. & Etchevers, B.J. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605
- Basaure, P. 2010. Manejo sostenible de la fertilidad del suelo. Disponible: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/aup/pdf/organica.pdf>. Consultado: 23/6/2010
- Behnke, Jr., Scoones, I. & Kerven, C. 2000. Range ecology at disequilibrium. Overseas Development Institute and others institutions. London, UK
- Bie, S.W. Baldascini, A. & Tschirley, J.B. 2010. El contexto de los indicadores de la FAO. Indicadores de calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible. Departamento de Desarrollo Sostenible. FAO. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/004/w4745s04.htm>. Consultado: 6/4/2010
- Borrelli, P. & Oliva, G. 2004. Evaluación de pastizales. En: Producción animal sobre pastizales naturales. Disponible en: <http://www.aeet.org/agroecosistemas/038/libros.htm>. Consultado: 23/12/04
- Bruand, A., Balbino, L.C., Volland-Tuduri, N., Cousin, I., Reatto-Braga, A. & Lopes de Oliveira, M.I. 2006. Modelling Bulk Density According to Structure Development: Toward an Indicator of Microstructure Development in Ferralsols. 18<sup>th</sup> World Congress of Soil Sci. Philadelphia, Pennsylvania, CD-ROM USA
- Bruntland, C. H. 1987. Our common future. The World Commission on Environment and Development. Oxford University Press. Oxford. RU. 400 pp.
- Camargo, C., Roloff, G. & Malinovski, J. 2006. Water Quality Originating from Forest Roads in Southern Brazil. . 18<sup>th</sup> World Congress of Soil Science. Philadelphia, Pennsylvania, CD-ROM USA
- Costa, M., Gutiérrez, J.C., Hernando, J., Hernando, I., Martín, M. & Moreno, M. 2002. Indicadores edáficos, vegetales y microbianos (ciliados colpódidos) de procesos de desertificación. *Anales de Biología* 24: 175
- Dale, V.H., Brown, R.A., Haeuber, N.T., Hobbs, N., Huntly, R.J., Naiman, W.E., Riebsame, M.G., Turner, & Valone, T.J. 2000. ESA Report: Ecological principles and guidelines for managing the use of land. *Ecol. Appl.* 10:639

- Dilly, O.M. 2006. Humus Accumulation, Microbiological Indicators and Respired Carbon Dioxide in Soil. 18<sup>th</sup> World Congress of Soil Sci. Philadelphia, Pennsylvania, CD-ROM USA
- Doran, J.W. & Parkin, B.T. 1996. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Sci. Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA
- Drury, C.F., Yang, G., DeJong, B., Yang, X., Huffman, T. & Reid, D.K. 2006. The Canadian Agri-Environmental Indicators for Nitrogen: Residual Soil Nitrogen and the Risk of Water Contamination by Nitrate-N. 18<sup>th</sup> World Congress of Soil Sci. Philadelphia, Pennsylvania, CD-ROM USA
- FAO. 2008a. Evaluación de la degradación del suelo en zonas áridas (LADA, por sus siglas en inglés). Informe presentado al Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) e Información Mundial del Suelo (ISRIC). Disponible: <http://www.fao.org>. Consultado: 23/6/2010
- FAO. 2003. Informe de la Conferencia Internacional sobre la contribución de los criterios e indicadores para la ordenación forestal sostenible, el camino a seguir. Guatemala. 100 pp.
- FAO. 2008b. World development report. Disponible: <http://www.fao.org/ecosistemas/033/investigacion7.htm>. Consultado: 21/12/09
- Flather, C.H. & Sieg, C.H. 2000. Applicability of Montreal Process Criterion 1 – conservation of biological diversity – to rangeland sustainability. *International J. Sustainable Development and World Ecology* 7:81
- Funes-Monzote, F. 2006. Eficiencia energética de los sistemas agrícolas integrados ganadería/agricultura. Disponible: <http://lead.virtualcenter.org/es/ele/conferencia4/articulos/Ponencia3.htm>. Consultado: 7/12/06.
- Fürst, E. 2006. El debate actual sobre indicadores de sostenibilidad. Centro Internacional en Política Económica. En: <http://www.mideplan.go.cr/sinades/PUBLICACIONES/cambioactitud/Articulo%20Pozuela%20Furst.html>. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Consultado: 11/12/06
- Gal, A., Szegi, T., Simon, B., Szeder, B., Micheli, E., Tombacz, E., Zsolnay, A. & Akagi, J. 2006. Indicators of Soil Degradation Processes on a Chernozem Field in Hungary. 18<sup>th</sup> World Congress of Soil Sci. Philadelphia, Pennsylvania, CD-ROM USA
- Gómez-Sal, A. 2001. Aspectos ecológicos de los sistemas agrícolas. Las dimensiones del desarrollo. En *Agroecología y Desarrollo*. Eds. J. Labrador y M.A. Altieri. Mundi Prensa. p. 83
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M. & Ellert, B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian J. Soil Sci.* 74: 367
- Hajabbasi, M.A., Sharifi, M. & Sheklabadi, M. 2006. Changes in soil quality indicators, in adjacent protected forest and deforested lands in central Iran. 18<sup>th</sup> World Congress of Soil Sci. Philadelphia, Pennsylvania, CD-ROM USA
- Heimlich, R.E., and W.D. Anderson. 2001. Development at the urban fringe and beyond: impacts on agriculture and rural land. *Agric, Econ. Rep. No. 803*. USDA Econ. Res. Serv., Washington, D.C.
- Herrero, J. A. 2005. Criterios e indicadores de manejo forestal sostenible, una visión de futuro. Agrinfor.
- Hünemeyer, J.A., De Camino, R. & Müller, S. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica
- Huss, D. H., Bernandon, A., Anderson, D. & Brun, J.M. 1996. Principios de manejo de praderas naturales. FAO. INTA. Chile. 156 pp.
- Jimenez, J.J. & Thomas, R.J. 2003. Las comunidades de invertebrados de suelos en llanos de Colombia. Ed. CIAT. Disponible: [http://isa.ciat.cgiar.org/catalogo/listado\\_es.jsp?pager.offset=5&tema=RECURSOS\\_NATURALES](http://isa.ciat.cgiar.org/catalogo/listado_es.jsp?pager.offset=5&tema=RECURSOS_NATURALES). Consultado: 1/12/2006
- Kaine, G. W. & Tozer, P.R. 2005. Estabilidad, capacidad de recuperación y sostenibilidad basada en sistemas de pastos. *Systems*. Los Sistemas Agrícolas. 83:27
- Kerridge, P.C. 1997. Indicadores económicos y ambientales en sistemas de doble propósito: Principios para su selección. Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito. Consorcio Tropiclleche. Cali. Colombia. p. 165
- Lok, S. 2005. Estudio y selección de indicadores de la estabilidad en el sistema suelo planta de pastizales en explotación. Tesis de Dr. La Habana, Cuba
- Lok, S. 2006. Soil Indicators for Determining the Impact of Management on the Stability of Grasslands in Cattle Exploitation. 18<sup>th</sup> World Congress of Soil Sci. Philadelphia, Pennsylvania, CD-ROM USA.
- López, D., Hernández, R.M. & Brossard, M. 2005. Historia del uso deciente de tierras de sabana en América de Sur. *Estuio de casaos del Orinoco, Venezuela*. *Rev. Interciencia*. 30: 623
- Milchunas, D.G. & Lauenroth, W.K. 1993. Quantitative effects of grazing on vegetation and soil over a global range of environments. *Ecological Monographs* 63: 327
- Miller, G.T. 1990. Resource conservation and management. Wadsworth Publishing Company, USA
- Moebius, B. N., van Es, H. M., Abawi, G, Wolfe, D, Idowu, O. J., Thies, J., Clune, D., Schindelbeck, R., Bilgili, A., Hively, W. & Gugino, B. 2006. Indicators of Soil Health: Rapid Assessment of Soil Quality Using Laboratory Procedures and VNIR Reflectance Spectroscopy. 18<sup>th</sup> World Congress of Soil Sci. Philadelphia, Pennsylvania, CD-ROM USA
- Monzote, M., Muñoz, E. & Funes-Monzote, F. 2005. Integración Ganadería-Agricultura. Disponible: [www.laneta.apc.org/desal/spip/article.php3](http://www.laneta.apc.org/desal/spip/article.php3). Consultado: 7/12/06
- Nazca, J., Toranzos, M. & Banegas, N. R. 2006. Evaluación de la sostenibilidad de dos modelos ganaderos de la llanura deprimida salina de Tucumán, Argentina. *Zootecnia Tropical*. 24:121
- Newman, E. I. 2000. Applied ecology y environmental management. Blackwell Science, London, UK.
- Pozuela, A. 2006. La sostenibilidad ambiental como paradigma moral. Disponible: [www.mideplan.go.cr/sinades/PUBLICACIONES/Articulo%25Pozuelar%25Pozuela.html](http://www.mideplan.go.cr/sinades/PUBLICACIONES/Articulo%25Pozuelar%25Pozuela.html). Consultado: 8/12/06
- Preston, S. 2007. El manejo sostenible de suelos. Servicio Nacional de Información de la Agricultura Sostenible. Disponible: <http://www.attra.ncat.org>. Consultado: 21/12/09
- Quero, A.R., Enríquez, J. & Leonor Miranda. 2007. Evaluación de especies forrajeras en América Tropical, avances y estado actual. *Interciencia*. Vol 32: 008. Pp. 566-571
- Rebollo, S. & Gómez-Sal, A. 2003. Aprovechamiento sostenible de los pastizales. *Ecosistemas*. Disponible: <http://www.aeet.org/ecosistemas/033/investigacion7.htm>. Consultado: 26/11/04

- Ribaski, J. 2006. Sistemas agroflorestais pecuarios: algunas experiencias desarrolladas no Brasil. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción agropecuaria sostenible. Resúmenes. p. 48
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C. & Walker, B. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413: 591
- Schomaker, M. 2010. Desarrollo de indicadores ambientales en el marco de PNUMA. FAO. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/004/w4745s05.htm>. Consultado: 15/5/2010
- Senra, A., Martínez, R. O., Jordán, H. & Reyes, J. 2004. Principios del pastoreo rotacional eficiente sostenible para el subtrópico americano. XV Forum de Ciencia y Técnica. Instituto de Ciencia Animal. 12 pp.
- Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L. & Rogers, H.H. 1997. Quantification of Soil Quality. En: Soil Process and the Carbon Cycle. Eds. Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. y Stewart, B.A. CRC Press, Boca Raton, Florida. p. 387
- Singer, M.J. & Swing, S. 2002. Soil Quality. En: Handbook of Soil Sci. Chapter 11. Ed. Sumner, M. E. CRC Press, Boca Raton, Florida. p. 271
- Soil Quality Institute. 1996. Indicators for Soil Quality Evaluation. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA
- Sombroek, W.M. 2010. Los últimos esfuerzos para desarrollar indicadores. Evaluación de los recursos de la tierra y la Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 44, Número 4, 2010. función de sus indicadores. Disponibles: <http://www.fao.org/docrep/004/w4745s03.htm>. Consultado: 6/4/2010
- Soyza, A.G., Van Zee, J.W., Whitford, A., Neale, N., Tallent, J.E. Eric, W.G. & Havstad, K.M. 2000. Indicators of Great Basin rangeland health. *J. Arid Environ.* 45:289
- Thompson, M. 2000. IFDC Report. International Fertilizer Development Center. 25:2
- Toval, A.H. 2003. Hacia una silvicultura sostenible en el trópico seco: el caso de la Finca Piedra Rala, Nicaragua. *Ecosistemas* 2003/2. Disponible: <http://www.aeet.org/ecosistemas/032/informe2.htm>
- Tschirley, J. 2010. Utilización de indicadores en la agricultura sostenible y desarrollo local. Sustainable Development Departamento (SD). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Dimensions: Environment: policy and integrated managements. Disponible: <http://www.fao.org/sd/EPdirect/EPan0001.htm>. Consultado: 6/4/2010
- Velásquez, E., Ruiz, N. & Lavelle, P. 2004. Soil macrofauna as indicator of soil quality. XIV International Colloquium on Soil Zoology and Ecology. Session 7. Functional groups and valuation as indicators of soil fauna. Abstracts. p. 231
- Wu, Y., Jil, J., Gong, P. & Liao, O. 2007. A mechanism study of reflectance spectroscopy for investigating heavy metals in soil. *Soil Sci.* 71:35
- Yado, R., Salinas, J. & Lerma, E. 1996. Manejo de recursos naturales. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootécnica. 102 pp.

**Recibido: 6 de junio de 2009**