

Metodologías para evaluar la sostenibilidad del uso del suelo: una revisión sistemática

Methodologies to evaluate sustainability of soil use: a systematic review

Yuly Carolina Clavijo Barreto¹

Resumen

La búsqueda del máximo rendimiento económico y de producción han dejado consecuencias en la sostenibilidad del suelo a largo plazo, el cual es un recurso viviente, dinámico y no renovable. El objetivo de la presente investigación fue identificar las metodologías más empleadas para evaluar la sostenibilidad del uso del suelo. Se realizó una revisión sistemática en bases de datos científicas para el periodo 2006–2016 mediante una búsqueda que incluyera los términos *soil* y *sustainability* en el título. Las bases de datos consultadas fueron Access DL, DOAJ, Redalyc y ScienceDirect. Se obtuvieron 44 artículos, de los cuales 41 mencionan el término *sostenible* o *sostenibilidad* en el cuerpo del texto y 3 lo hacen solo en el título. En los estudios, se determinaron tres métodos de evaluación de la sostenibilidad a partir de indicadores, *software* y técnicas para el análisis del uso del suelo agrícola. Se encontraron estudios que aportan estrategias sostenibles para desarrollar sistemas de manejo del suelo y alcanzar sostenibilidad.

Palabras clave: prácticas de manejo agrícola, sostenibilidad del suelo, estrategias sostenibles, indicadores de sostenibilidad.

Abstract

The search for maximum economic and productive achievement has left consequences for long-term soil sustainability, which is a living, dynamic and non-renewable resource. The objective of this study was to identify the most used methodologies to evaluate land use sustainability. A systematic review was conducted in scientific databases for the period 2006–2016 using the search terms *soil* and *sustainability* in the title. The consulted databases were Access DL, DOAJ, Redalyc, and ScienceDirect. There were obtained 44 articles, 41 of which mention the term *sustainable* or *sustainability* in the body of the text and only 3 in the title. In the studies, three methods to evaluate sustainability were

¹ Ingeniera ambiental, Universidad Central. Integrante del Semillero de Investigación Ambiental. Correo electrónico: yclavijob@ucentral.edu.co.

determined from the indicators, software and techniques for the analysis in agricultural land use. Research studies that provide sustainable strategies to develop soil management systems and achieve sustainability were found.

Keywords: agricultural management practices, soil sustainability, sustainable strategies, sustainability indicators.

1. Introducción

La búsqueda del máximo rendimiento económico y productivo ha dejado consecuencias en la sostenibilidad del suelo a largo plazo (Doran et ál., 1999). Por esta razón, diversos autores han señalado la importancia de evaluar si las actuales prácticas de manejo agrario de la tierra mejoran o amenazan la sostenibilidad del uso de la tierra (Zhen, Zoebisch, Chen y Feng, 2006). Gliessman (2007) señala que las prácticas de manejo agrícola se pueden agrupar en doce categorías: 1) preparación del suelo, 2) conservación del suelo, 3) cultivo, 4) mantenimiento del cultivo, 5) recolección de cultivo, 6) fertilización, 7) variedades y razas, 8) utilización del suelo, 9) recuperación del suelo, 10) control de plagas y arvenses, 11) optimización de la producción y 12) suministro de agua.

En la agricultura moderna, siete prácticas básicas conforman su núcleo central: 1) labranza intensiva, 2) monocultivo, 3) irrigación, 4) uso de fertilizantes inorgánicos, 5) control químico de plagas, 6) manipulación genética de plantas y animales domésticos e 7) industrialización de la producción animal (i. e. granjas fábrica). Aunque dichas prácticas básicas han permitido alcanzar los dos objetivos básicos de la agricultura moderna —la maximización de la producción y de la ganancia económica—, estas han generado consecuencias negativas en la salud

y sostenibilidad del suelo a largo plazo. Por ejemplo, Marín y Feijoo (2007) señalan que la labranza modifica la estructura y composición del suelo. Igualmente, se ha señalado que las bacterias nitrificadoras son sensibles a la aplicación de pesticidas (Zabaloy, Allegri, Tebbe, Schuster y Gómez, 2017).

Por lo anterior, el uso sostenible del suelo se ha convertido en una preocupación cada vez mayor en de diferentes áreas del conocimiento (Hatfield, 2014). No obstante, muchas revisiones se han centrado en pocas variables del suelo para evaluar la sostenibilidad. El objetivo de esta revisión es identificar los indicadores que se han empleado en investigaciones originales para evaluar la sostenibilidad del uso del suelo, con el fin de proporcionar un análisis más holístico de estas herramientas.

2. Materiales y métodos

Se realizó una revisión sistemática de artículos científicos sobre la evaluación de la sostenibilidad del uso del suelo que incluyera en el título los términos *soil* y *sustainability*. La búsqueda se realizó en las bases de datos Access DL, DOAJ, Redalyc y ScienceDirect y se limitó a estudios publicados desde enero de 2006 hasta diciembre de 2016.

Como criterios de inclusión solo se seleccionaron artículos originales publicados

en inglés o español. Se excluyeron por revisión manual aquellos que no trataran sobre suelos y se verificó que no hubiera artículos repetidos.

En cada artículo se localizó su objetivo de investigación, la metodología y el sistema de referencia al cual se asociaba la palabra *sostenibilidad* y se registró esta información en un cuadro. Asimismo, se extrajeron todas las oraciones que contuvieran el término *sostenibilidad* o *sostenible*. Posteriormente, se tabularon los términos y conceptos asociados a estos términos para su posterior clasificación.

3. Resultados y discusión

Se obtuvieron 44 artículos originales, de los cuales 41 mencionan el término *sostenible* o *sostenibilidad* en el cuerpo del texto y 3 lo hacen solo en el título. De estas 41 investigaciones, 18 evalúan la sostenibilidad del uso del suelo y 32 mencionan estrategias sostenibles.

3.1. Indicadores

De los dieciocho artículos recuperados que evalúan la sostenibilidad del uso del suelo, quince emplean indicadores, pero no todos se ocupan de evaluar explícitamente la sostenibilidad de prácticas de manejo. Efectivamente, once artículos evalúan esta sostenibilidad, mientras que los cuatro restantes se ocupan de prácticas agrícolas como la sostenibilidad de retención de carbono orgánico en el suelo, la sostenibilidad del paisaje, los impactos en el suelo y agua de productos químicos provenientes de la actividad industrial y las prácticas de remediación (tabla 1).

Tabla 1. Indicadores empleados para evaluar sostenibilidad de prácticas de manejo del suelo

Tipo de prácticas agrícolas	Indicadores
Control de plagas y arvenses	Materia orgánica del suelo
	Índice de rendimiento sostenible
Preparación del suelo	Carbono orgánico
	Biomasa microbiana
	Índice de rendimiento sostenible
	Nutrientes (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)
	Densidad aparente
	Cobertura vegetal
	Presencia de malezas
	Rendimiento
	Nodulación simbiótica
	Incidencia de plagas y enfermedades
Conservación del suelo	Carbono orgánico
	Biomasa microbiana
	Emisión de gases de efecto invernadero
	Uso de energía y agua
	Uso de fertilizantes
	Manejo de residuos
	Índice de rendimiento sostenible
	Nutrientes (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)
	Densidad aparente
	Cobertura vegetal
Presencia de malezas	
Rendimiento	
Nodulación simbiótica	
Incidencia de plagas y enfermedades	
Suministro de agua	Biomasa microbiana
	Esperanza de vida del suelo
	Tasa de pérdida del suelo
	Carbono
	Nutrientes (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)

Continúa...

... viene

Tipo de prácticas agrícolas	Indicadores
Suministro de agua	Densidad aparente
	Cobertura vegetal
	Presencia de malezas
	Rendimiento
	Nodulación simbiótica
Utilización del suelo	Incidencia de plagas y enfermedades
	Esperanza de vida del suelo
Fertilización	Tasa de erosión del suelo
	Biomasa microbiana
	Índice de rendimiento sostenible
	Carbono
	Nutrientes (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)
	Densidad aparente
	Cobertura vegetal
	Presencia de malezas
	Rendimiento
	Nodulación simbiótica
	Incidencia de plagas y enfermedades
	pH
	Materia orgánica del suelo
	Contenido de N en el suelo
	Contenido de K en el suelo
	Contenido de P en el suelo
Concentración de nitratos en aguas subterráneas	
Concentración de nitratos en la planta	
Variedades y razas	Índice de rendimiento sostenible
Recuperación del suelo	Materia orgánica del suelo
	pH
	Textura del suelo
	Contenido de material grueso
	Nitrógeno potencialmente mineralizable
Fósforo disponible	
-	EFI (destino y transporte de compuestos químicos en el medioambiente)
-	<i>Ceroxylon peruvianum</i>

Fuente: elaboración propia.

En ningún artículo se evalúa la totalidad de las categorías de prácticas de manejo del suelo; los artículos que más lo hacen solo evalúan siete. En efecto, siete autores emplean la fertilización; seis, las conservaciones del suelo, y cinco, las preparaciones del suelo. Tres investigaciones usan suministro de agua y dos, recuperación del suelo y control de plagas y arvenses. Por último, un artículo emplea la utilización del suelo y las variedades y razas.

El número de veces que se usa cada indicador por artículo se presenta en la figura 1. Los indicadores más empleados, en tres artículos cada uno, fueron materia orgánica del suelo, índice de rendimiento sostenible y biomasa microbiana. Después, lo más utilizados fueron carbón orgánico y pH, cada uno en dos artículos.

Los indicadores son utilizados en diferentes categorías de prácticas de manejo agrícola (figura 2). El más empleado es el carbón orgánico (n=7), seguido por el índice de rendimiento sostenible (SYI) en cinco artículos, después la materia orgánica del suelo en tres y, por último, el pH en dos. Asimismo, se observa que ocho indicadores son empleados en cuatro prácticas y quince solo en una. Finalmente, dos no están presentes en ningún tipo de práctica de manejo agrícola.

Diez de estas investigaciones son orientadas a monocultivo, las cuales se combinan con ocho tipos de prácticas agrícolas como control de plagas y arvenses, preparación del suelo, cobertura vegetal, conservación del suelo, suministro de agua, fertilización, variedades y razas. De igual forma, en un artículo se emplea la irrigación para el suministro del agua en el suelo y en cuatro no se utilizan prácticas de agricultura convencional. Finalmente, una investigación usa alternativas de remediación para la recuperación del suelo, una emplea la

conservación del suelo y dos no usan ningún tipo de práctica.

Uno de los aspectos más llamativos de la sostenibilidad en prácticas de manejo agrícola es que hace explícita la implementación de estrategias sostenibles para el desarrollo de un sistema de manejo del suelo. Gliessman (2007) señala que es difícil saber con certeza cuándo una práctica constituye la sostenibilidad, pero es posible demostrar cuándo se aleja de ella. Asimismo, la literatura encontrada muestra que los usos eficientes de sistemas de manejo agrícola ayudan a preservar y mantener una agricultura sostenible. Perales et ál. (2009) afirman que los sistemas de manejo del suelo permiten el uso eficiente del suelo mediante prácticas para la producción agrícola, es decir, permiten revertir las consecuencias negativas del deterioro físico, químico y biológico. Blanco et ál. (2014) establecen que la gestión de manejo de los ecosistemas mantiene la productividad y la calidad del suelo, lo que mejora las consecuencias de las prácticas empleadas. Igualmente, Watt et ál. (2008) señalan que el uso de sistemas de gestión permite recomendar prácticas de manejo agrícola necesarias para mantener la productividad del suelo.

Por otro lado, las implementaciones de sistemas de manejo buscan reducir la alteración del suelo. Sin embargo, los cultivos pueden afectar las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Hungria et ál., 2009). En consecuencia, autores como Shekhawat et ál. (2016) disertan sobre la adopción de sistemas de manejo de conservación (alteración mínima del suelo, abonos verdes y camas de cultivo) como una solución viable y sostenible para aumentar la producción agrícola y mejorar la

salud del suelo. De manera similar, Mahanta et ál. (2013) señalan que la sostenibilidad de los sistemas agrícolas se ve influenciada por prácticas de conservación (agricultura orgánica) para mejorar la calidad del suelo.

Por su parte, Zhen et ál. (2006) indican que la relación entre calidad del suelo y sistemas de gestión busca conocer si los actuales sistemas de gestión del suelo mejoran o amenazan la sostenibilidad del uso de la tierra o si sufragan el daño ambiental y la recuperación del medioambiente. Por otro lado, Nayak et ál. (2012) anotan que el uso de varios sistemas o prácticas de gestión promueve la sostenibilidad agrícola y mitiga el impacto climático.

Desarrollar sistemas de manejo sostenible acarrea la eficiencia en el uso del recurso y la capacidad para mantener un balance favorable. El criterio para disponer indicadores está relacionado con la utilidad en los procesos ecosistémicos y la integración de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Se ha propuesto un conjunto mínimo de datos con propiedades del suelo que den información sobre los indicadores que las conforman (figura 3). De los 29 indicadores, 14 se relacionan con las propiedades del suelo y 15 no forman parte de ningún grupo. Dentro de esta medida se encuentra la biomasa microbiana, que conforma el grupo de propiedades biológicas del suelo. Asimismo, cuatro indicadores conforman las propiedades físicas y, finalmente, nueve son empleados en las propiedades químicas del suelo.

Cabe resaltar que, dentro de las revisiones, las investigaciones encontradas se enfocaron en la sostenibilidad del uso del suelo y no en su calidad.

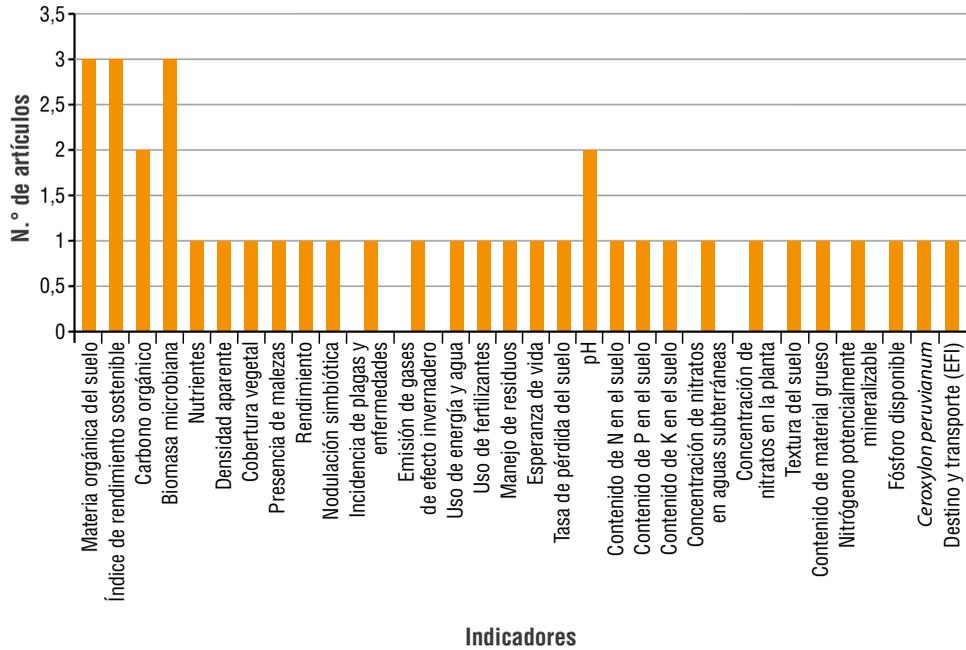


Figura 1. Número de indicadores utilizados por artículo.
Fuente: elaboración propia.

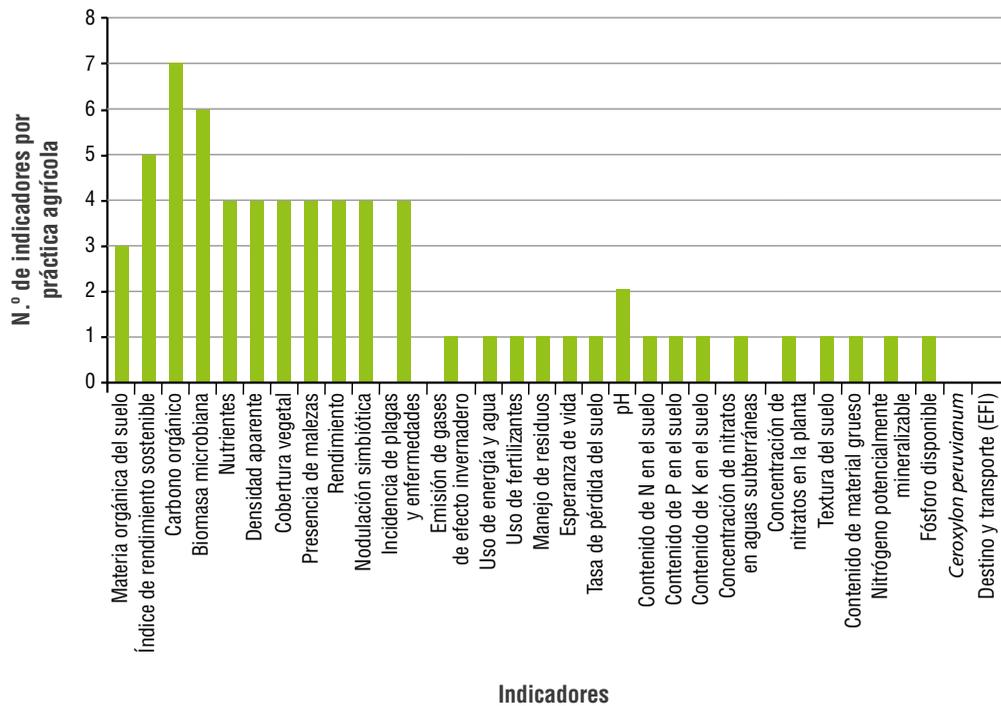


Figura 2. Número de indicadores trabajados en cada tipo de práctica de manejo agrícola.
Fuente: elaboración propia.

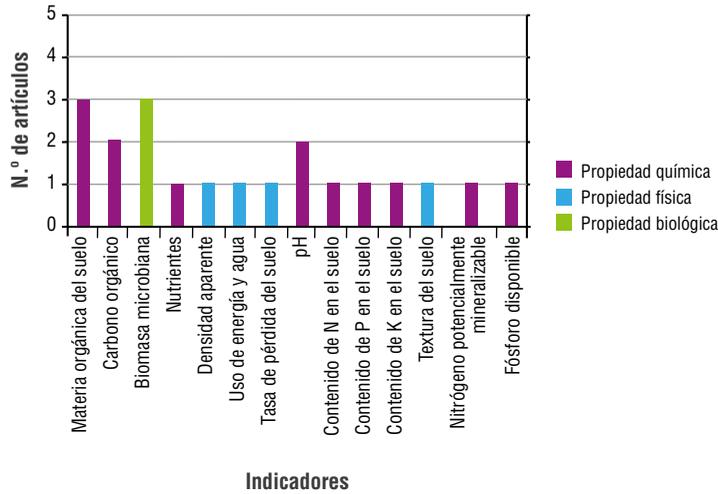


Figura 3. Propiedades del suelo frente a indicadores. Fuente: elaboración propia.

3.2. Estrategias sostenibles

En 32 artículos se mencionan doce estrategias para lograr prácticas sostenibles de manejo del suelo (tabla 2). Por su parte, nueve autores recomiendan el aumento de nutrientes del suelo; siete aconsejan perturbar el suelo lo menos posible; cuatro emplean el mantenimiento de la cobertura vegetal;

cuatro utilizan la rotación de cultivos; cuatro aplican la captura de carbono en el suelo, y cuatro emplean remediación del suelo y mantenimiento de carbono. Las camas de cultivos, el pastoreo sostenible, la reutilización de agua drenaje, el paisaje sustentable y la silvicultura sostenible son sugeridos en un mismo artículo.

Tabla 2. Estrategias de sostenibilidad para prácticas de manejo agrícola

Estrategia	Métodos	Impactos
Perturbar el suelo lo menos posible	<ul style="list-style-type: none"> • Labranza mínima • Labranza cero 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta el rendimiento del cultivo. • Aumenta la producción biológica del suelo. • Mejora la distribución de los residuos y la retención del agua. • Evita la compactación del suelo. • Disminuye la degradación y la erosión del suelo. • Reduce las emisiones de CO₂. • Reduce la pérdida de material orgánico. • Mejora la filtración y el almacenamiento de agua. • Mejora la eficiencia metabólica de la biomasa microbiana. • Aumenta la retención de carbono. • Mantiene la simbiosis micorriza y de sus propágulos.
Mantener la cobertura vegetal del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento del contenido de materia orgánica • Uso de cubiertas tipo Mulch 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la fertilidad del suelo. • Evita la erosión eólica e hídrica. • Reduce la lixiviación. • Controla las malezas. • Impulsa la creación de hábitats de flora y fauna.

Continúa...

... viene

Estrategia	Métodos	Impactos
Aumentar los nutrientes del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de estiércol y compost • Incorporación de residuos de cultivo • Uso óptimo de fertilizantes • Mantenimiento de la diversidad y abundancia microbiana • Uso de fertilizantes orgánicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta los nutrientes del suelo. • Inmoviliza los contaminantes. • Aumenta la actividad biológica. • Mejora la retención de humedad del suelo. • Mejora la calidad del suelo. • Aumenta la materia orgánica del suelo. • Mejora la salud física, química y biológica del suelo. • Aumenta la productividad. • Aumenta el carbón orgánico total. • Reduce el aporte excesivo de nutrientes. • Aumenta la fertilidad del suelo. • Aumenta el crecimiento vegetal.
Remediación de los suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Fitoestabilización 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce la dispersión de contaminantes en el suelo. • Mejora el rendimiento de los cultivos.
Rotación de los cultivos	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de un programa de rotación de cultivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la fertilidad del suelo. • Mejora la calidad del suelo. • Aumenta el contenido de carbón orgánico del suelo. • Reduce las emisiones de GEI.
Capturar carbono orgánico en el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Irrigación óptima. • Aplicación de estiércol verde. • Labranza mínima. • Restauración de tierras baldías. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la estructura del ecosistema del suelo. • Reduce el impacto de cambio climático. • Reduce las emisiones de GEI. • Reduce la acumulación atmosférica de CO₂. • Mejora la calidad del suelo. • Aumenta el secuestro de carbono en el suelo.
Mantener carbono en el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Balance de carbono orgánico en el suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce los GEI.
Camas de cultivo	-	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta el rendimiento. • Reduce el consumo de agua y semillas. • Optimiza el uso de fertilizantes. • Mejora el rendimiento del agua. • Reduce el alojamiento.
Reutilizar agua de drenaje	<ul style="list-style-type: none"> • Irrigación con agua de drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la calidad del suelo salino.
Pastoreo sostenible	<ul style="list-style-type: none"> • Concientización del riesgo ambiental en fenómenos de degradación de tierras y desertificación 	<ul style="list-style-type: none"> • Detiene la erosión del suelo. • Mitiga la degradación del suelo. • Mejora la fertilidad del suelo. • Favorece la vegetación.
Paisaje sustentable	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento de la diversidad biológica del suelo • Mantenimiento de la biodiversidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementa la diversidad de organismos vivos. • Mejora la calidad paisajística.
Silvicultura sostenible	<ul style="list-style-type: none"> • Manejo óptimo de la extracción de la biomasa en el suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evita la disminución de carbono y materia orgánica. • Aumenta la fertilidad del suelo. • Aumenta la producción.

Fuente: elaboración propia. GEI: gases de efecto invernadero.

Las estrategias forman parte de seis categorías de prácticas de manejo agrícola para la conservación del suelo: el mantenimiento de la cobertura vegetal, la captura de carbono orgánico, el pastoreo sostenible, el mantenimiento de carbón orgánico, la silvicultura sostenible y el paisaje sostenible. La menor perturbación del suelo posible y la rotación de cultivos también son empleados en la preparación del suelo. La fertilización usa el aumento de nutrientes del suelo, la recuperación del suelo emplea remediación de suelos, el suministro de agua se realiza mediante reutilización de agua de drenaje y el mantenimiento del cultivo emplea camas de cultivo.

Todas las prácticas de manejo agrícola tienden a favorecer la productividad a corto plazo, lo que compromete la sostenibilidad del suelo en el futuro (Gliessman et ál., 2007). De manera similar, varios autores resaltan las implicaciones de generar una agricultura enfocada solo en la producción sin tener en cuenta sus implicaciones para la sostenibilidad. En este sentido, Shekhawat et ál. (2016) anotan que la preparación inadecuada del suelo, el tráfico excesivo y el monocultivo continuo conducen al deterioro de la fertilidad del suelo. Por su parte, Perales et ál. (2009) señalan que la práctica de labranza intensiva rompe la estructura del suelo, degrada su calidad y aumenta la erosión, lo que reduce su fertilidad. Asimismo, Gliessman et ál (2007) se refieren a las implicaciones del control químico de plagas que emplean grandes cantidades de plaguicidas, ya que propagan problemas para la salud humana y el medioambiente. No obstante, los estudios efectuados en el ámbito de la sostenibilidad permiten desarrollar estrategias sostenibles dirigidas a crear sistemas favorables para el rendimiento de los cultivos y prolongar la sostenibilidad del suelo.

4. Conclusiones

En esta revisión se observó que los indicadores e índices usan criterios para la evaluación del uso del suelo, establecen la utilidad en los procesos ecosistémicos e integran las propiedades físicas, químicas y biológicas al estado del suelo. Dentro de las metodologías para evaluar la sostenibilidad del uso del suelo se destacan los indicadores e índices, una herramienta de medición que proporciona información sobre las propiedades, procesos y características del suelo que abarcan la sostenibilidad a corto y largo plazo. Se encontraron estudios que aportan estrategias sostenibles para el desarrollo de sistemas de manejo del suelo que logren la sostenibilidad.

Referencias

- Blanco, J., Dubois, D., Littlejohn, D., Flanders, D., Robinson, P., Moshofsky, M. y Welham, C. (2014). Soil organic matter: a sustainability indicator for wildfire control and bioenergy production in the urban/forest interface. *Soil Science Society of America Journal*, 78, S105-S117.
- Doran, J., Jones, A., Arshad, M. y Gilley, J. (1999). Determinants of soil quality and health. En R. Ratta (Ed.), *Soil quality and soil erosion* (pp. 39-57). Boca Ratón: CRC Press.
- Gliessman, S. (2007). *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*. Boca Ratón: CRS Press.
- Hatfield, J. (2014). Soil degradation, land use, and sustainability. En D. Songstad, J. Hatfield y D. Tomes (Eds.), *Convergence of food security, energy security and sustainable agriculture (biotechnology in agriculture and forestry)* (pp. 61-74). New York City: Springer.

- Hungria, M., Franchini, J., Brandão-Junior, O., Kaschuk, G. y Souza, R. (2009). Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. *Applied Soil Ecology*, 42(3), 288-296.
- Mahanta, D., Bhattacharyya, R., Gopinath, K., Tuti, M., Jeevanandan, K., Chandrashekhara, C.,... Bhatt, J. (2013). Influence of farmyard manure application and mineral fertilization on yield sustainability, carbon sequestration potential and soil property of gardenpea-french bean cropping system in the Indian Himalayas. *Scientia Horticulturae*, 164, 414-427.
- Marín, E. y Feijoo, A. (2007). Efecto de la labranza sobre macroinvertebrados del suelo en vertisoles de un área de Colombia. *Terra Latinoamericana*, 25(3), 297-310.
- Nayak, A., Gangwar, B., Shukla, A., Mazumdar, S., Kumar, A., Raja, R.,... Mohan, U. (2012). Long-term effect of different integrated nutrient management on soil organic carbon and its fractions and sustainability of rice-wheat system in Indo Gangetic Plains of India. *Field Crops Research*, 127, 129-139.
- Perales, A., Loli, O., Alegre, J. y Camarena, F. (2009). Indicadores de sustentabilidad del manejo de suelos en la producción de arveja (*Pisum sativum L.*). *Ecología Aplicada*, 8(1-2), 47-52.
- Shekhawat, K., Rathore, S., Kandpal, B., Premi, O., Singh, D. y Singh, B. (2016). Crop establishment techniques affect productivity, sustainability, and soil health under mustard-based cropping systems of Indian semi-arid regions. *Soil and Tillage Research*, 158, 137-146.
- Watt, M., Davis, M., Clinton, P., Coker, G., Ross, C., Dando, J.,... Simcock, R. (2008). Identification of key soil indicators influencing plantation productivity and sustainability across a national trial series in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 256(1-2), 180-190.
- Zhen, L., Zoebisch, M., Chen, G. y Feng, Z. (2006). Sustainability of farmers' soil fertility management practices: a case study in the North China Plain. *Journal of Environmental Management*, 79(4), 409-419.
- Zabaloy, M., Allegrini, M., Tebbe, D., Schuster, K. y Gómez, E. (2017). Nitrifying bacteria and archaea withstanding glyphosate in fertilized soil microcosms. *Applied Soil Ecology*, 117-118, 88-95.