

SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS AGRICOLAS***SUSTAINABILITY OF FARMING SYSTEMS***Fabio R. Leiva¹***RESUMEN**

Las actividades agrícolas pueden tener impactos negativos sobre el ambiente, con efectos dentro y fuera de los predios. El presente artículo pretende contribuir al avance de la agricultura sostenible con énfasis en países en vías de desarrollo. Se revisan y analizan los conceptos de sostenibilidad y agricultura sostenible, incluyendo los diferentes puntos de vista en el 'debate sobre sostenibilidad'. El artículo examina los impactos ambientales debidos a las actividades agrícolas, destacando la importancia de fortalecer la investigación, con publicación de resultados, sobre la relación agricultura y medio ambiente. La complejidad de los factores que determinan la sostenibilidad agrícola exige una concepción de sistemas, integradora, participativa y holística. El uso de indicadores tiene un gran potencial en la evaluación de la sostenibilidad de sistemas productivos. La práctica de agricultura sostenible requiere tener en cuenta las condiciones ambientales, sociales y económicas en las cuales se desenvuelve la agricultura.

Palabras claves: Desarrollo sostenible, agricultura sostenible, impacto ambiental, indicadores.

SUMMARY

Farming activities have the potential to affect the farming system itself and the off-farm environment. This paper attempts to contribute to the development of sustainable agriculture with emphasis in developing countries. The concepts of sustainability and sustainable agriculture are reviewed and discussed, including the different viewpoints in the sustainability debate. Environmental impacts due to farming activities are examined emphasising the need of promoting further research and publication of findings on the links between environment and agriculture. The complexity of the factors that determine farming sustainability requires a systematic, holistic, participative and integrated approach. Indicators are likely to contribute to the development of sustainable farming systems. Understanding environmental, social and economic circumstances is required to promote sustainability.

Key words: Sustainability, sustainable agriculture, environmental impact, indicators.

INTRODUCCION

El concepto de desarrollo sostenible nace como respuesta a una mayor conciencia sobre el carácter finito de los recursos naturales, la excesiva dependencia de las actividades económicas de recursos no renovables y el deterioro de la calidad ambiental a nivel local y global. Sin embargo, es necesario que la aplicación de los principios de sostenibilidad responda a las particulari-

* Recibido en Septiembre de 1998.

¹ Profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. Apdo. Aéreo 14490 Santafé de Bogotá, Colombia.

dades del desarrollo socioeconómico; en especial, magnitud de ingresos, capacidad de acceso a la tecnología, nivel de conocimientos e idiosincrasia de la población.

La producción agrícola es una actividad fundamental para la existencia humana. Su interdependencia con el medio ambiente es única, siendo la actividad económica que ocupa el mayor porcentaje del recurso suelo. Por ello es necesario que esa producción se mantenga en el largo plazo, preservando los recursos sobre los cuales se sustenta.

El presente artículo discute diferentes concepciones sobre la sostenibilidad, con énfasis en países en vías de desarrollo, analizando sus implicaciones ambientales, sociales y económicas. Se insiste en la importancia de fortalecer la investigación y generar metodologías para poner en práctica la sostenibilidad agrícola.

EL DEBATE DE LA SOSTENIBILIDAD

El concepto de sostenibilidad ha evolucionado en las dos últimas décadas con el fin de buscar condiciones ambientales, sociales y económicas que persistan en el tiempo (IUCN *et. al.*, 1991). Existen muchas definiciones sobre desarrollo sostenible, muchas de ellas contradictorias entre sí, dando origen a lo que se conoce como el 'debate sobre sostenibilidad'. En un extremo se tiene la visión tecnocéntrica, la cual considera el ambiente como una forma más de capital y plantea el desarrollo sostenible en función de la disponibilidad para efectuar gastos de inversión. Esta inversión se refiere principalmente al capital hecho por el hombre (máquinas, construcciones, infraestructura) y al capital humano (conocimientos), y en menor grado al capital natural (recursos naturales). Un aspecto central en esta visión es el supuesto de que existe una substitución perfecta entre todas las formas de capital (Common y Perrings, 1992).

En el otro extremo, los ecologistas profundos consideran que fenómenos como el efecto invernadero, la disminución de la capa de ozono y la lluvia ácida son señales inequívocas de que los daños ambientales

causados por el hombre han superado los límites permisibles. Esta visión se concentra en el 'efecto escala' de Daly (1991), definido en términos de balances de materia/energía en un sistema económico. Así, plantean que el desarrollo sostenible exige una escala de actividad económica que no deteriore la capacidad de soporte del ambiente en el tiempo, y proponen un 'sistema económico de estado estacionario' ('steady-state economic system') con crecimiento económico e incremento de la población nulos. Un argumento poderoso de esta concepción se basa en las restricciones físicas impuestas al desarrollo por la segunda ley de la termodinámica, la cual establece la inexistencia de un proceso 100% eficiente. En otras palabras, cualquier actividad produce deshechos (contaminantes) que no pueden ser reciclados completamente.

Intermedio entre las dos visiones planteadas, existe un sinnúmero de concepciones, algunas con elementos comunes entre sí. La Tabla 1 presenta, desde una concepción económica, las reglas y los indicadores de sostenibilidad que tendrían diferentes visiones, llamadas por Turner (1993) 'sostenibilidad muy débil' (tecnocéntrica), 'sostenibilidad débil', 'sostenibilidad fuerte' y 'sostenibilidad muy fuerte' (ecologistas profundos). Bajo la concepción tecnocéntrica, la condición para sostenibilidad radica en conservar el inventario ('stock') de capitales, esto es, que la sumatoria del capital hecho por el hombre, el natural y el humano permanezca constante. Consecuente con esta posición, la generación de riqueza puede justificar cierta degradación ambiental, en la medida en que la primera 'compense' la segunda, sobre un supuesto de perfecta substitución entre estos capitales.

Un elemento a destacar en el debate, es el concepto de capital natural crítico, propuesto predominantemente por posiciones ecocéntricas ('verdes'). Para éstas, el desarrollo sostenible debe defender el capital natural, y particularmente el capital natural crítico, o sea aquel que no se puede substituir y debe ser protegido. Bosques naturales y especies en vías de extinción son ejemplos de capital natural crítico.

Tabla 1. Reglas e indicadores de sostenibilidad. (Traducido de Turner, 1993).

	Capital natural no crítico	Capital natural crítico
Sostenibilidad muy débil	$s/y - dk/y > 0$	Substitución perfecta entre todos los K_n y K_m
Sostenibilidad débil	$s/y - dm/y - dn/y > WSI$ $WSI > 0$ $\lambda > h$ $n > Z$	$WSI > 0$ $\lambda > h$ $n > Z$ $\delta n^* \leq 0$
Sostenibilidad fuerte	$\delta n \leq 0$ $WSI > 0$	$WSI > 0$ $\delta n \leq 0$ $\delta n^* \leq 0$ $\delta Kc \leq 0$
Sostenibilidad muy fuerte	Perfecta complementariedad entre todos K_n y K_m Economía del estado estacionario	$WSI > 0$ $\delta n \leq 0$ $\delta n^* \leq 0$ $n \leq 0$ $\delta Kc \leq 0$ $\delta K_e \leq 0$

Abreviaturas: K = totalidad de recursos de capital; s = ahorros; y = ingresos; δm = depreciación de capital hecho por el hombre; dn = depreciación de capital natural; λ = cambio técnico; h = tasa de aumento de la población; n = capital natural; n^* = capital natural crítico (no puede ser substituido); K_c = capital cultural; K_e = capital moral/ético; Z = límite mínimo para asegurar estabilidad del ecosistema (establecido según un estándar mínimo de seguridad); WSI = índice de sostenibilidad

Las visiones ecocéntricas además proponen como criterios de sostenibilidad la conservación y/o el mejoramiento del capital cultural (conocimiento, diversidad cultural, tradiciones) y del capital ético/moral de la sociedad. En este contexto, el principio de equidad (justicia) en defensa de los derechos de los menos favorecidos - los más pobres y débiles - y de las generaciones futuras adquiere una alta relevancia. Los ecologistas profundos y defensores del 'gainismo' (teoría Gaia) van más lejos y plantean además los derechos de todos los seres diferentes a los humanos, incluyendo animales y vegetales, y aún los derechos de los ecosistemas (Lovelock, 1988).

La propuesta de un indicador agregado de sostenibilidad (WSI), que cuantifique los cambios debidos a las actividades de desarrollo, es un aporte importante en miras a establecer umbrales y comparaciones sobre la sostenibilidad de diferentes sistemas.

EL DEBATE EN EL SECTOR AGRICOLA

Las posiciones mencionadas se reflejan en el desarrollo agrícola. Dos visiones extremas se evidencian en los paradigmas de la revolución verde y de la agricultura orgánica (incluye agricultura ecológica, biológica, biodinámica, permacultura).

Revolución verde. La llamada 'Revolución verde' se originó en condiciones de hambruna en Europa, después de la Segunda Guerra Mundial, con el objetivo de conseguir un aumento rápido y continuo de la producción agrícola. Su lema es productividad máxima por unidad de superficie. Esta concepción se basa en el incremento del uso de insumos (agroquímicos y maquinaria agrícola), la especialización y la industrialización de la agricultura. "Modernización", "eficiencia" y "competitividad", en un marco de globalización de la economía, son aspectos centrales de esta concepción (Ospina, 1995).

La revolución verde tiende a disminuir la biodiversidad impulsando la reducción espacial y temporal de especies vegetales en un área determinada, e incluso fomentando la práctica del monocultivo (Suárez, 1996). Este sistema de producción lleva implícito un alto riesgo: la aparición de una plaga difícil de controlar o condiciones adversas de mercado pueden comprometer su sostenibilidad. Un ejemplo es la 'polilla guatemalteca' (*Tecia solanivora* Povalny) en cultivos de papa en Colombia, alcanzando niveles de daño tan altos que algunos agricultores tuvieron que abandonar sus cosechas (SOCOLEN, 1997).

Un aspecto central de la revolución verde es el aumento en el rendimiento de cultivos, concebido sin prestar mayor atención a la calidad ambiental. Algunos de los efectos nocivos de este paradigma incluyen: pérdida de la capacidad productiva de los suelos; contaminación de aguas; excesiva dependencia en insumos externos a la explotación, como fertilizantes y plaguicidas hechos por el hombre; y resistencia de plagas, enfermedades y malezas a los plaguicidas (Conway y Pretty, 1991).

El aumento en el rendimiento de cultivos, sin embargo, cumple funciones sociales, económicas y ambientales en el desarrollo agrícola. Este componente de producción es la base para garantizar la seguridad alimentaria, en el supuesto de que el producto tenga la calidad suficiente (p. ej. ausencia de residuos tóxicos), y es un factor

central de la rentabilidad y por consiguiente de la sostenibilidad económica. De otro lado, un rendimiento adecuado por unidad de superficie contribuye a evitar la incorporación de nuevas tierras a la producción, previniendo efectos nocivos sobre ecosistemas poco aptos para la agricultura.

Agricultura orgánica. Este paradigma cuestiona la 'agricultura moderna' altamente dependiente de insumos externos a la explotación (agroquímicos, maquinaria agrícola) y poco respetuosa por la calidad ambiental. Existen diferencias importantes entre los defensores de la agricultura orgánica. Algunos la conciben como una actividad que suministra básicamente retribuciones espirituales, lejos de poder ser considerada una actividad económica, y opuesta a lo que ellos llaman la 'agricultura de la muerte' basada en el uso de plaguicidas y fertilizantes manufacturados con procesos industriales altamente contaminantes (Mejía, 1997). De otro lado están quienes desarrollan explotaciones comerciales orgánicas atraídos principalmente por aspectos de mercado, como subsidios y mejores precios de los productos orgánicos, tal y como ocurre en algunas regiones en Europa occidental (Nix, 1997).

La agricultura orgánica busca obtener productos de calidad conciliando técnicas actuales con prácticas y conocimientos tradicionales, evitando el uso de fertilizantes y plaguicidas sintéticos y respetando el medio ambiente. Es un manejo agroecológico en el cual se reemplazan insumos externos por insumos internos de la finca, y puede incluir prácticas como rotaciones y asociaciones de cultivos, sistemas mixtos (agroforestales, agroganaderos), fertilizaciones orgánicas (abonamiento con estiércoles, residuos, compost y abonos verdes), y control biológico de plagas. En este sentido la agricultura orgánica puede realizar una contribución importante a la conservación ambiental. Sin embargo, la utilización de fertilizantes orgánicos no está exenta de impactos indeseables. El uso inadecuado de residuos industriales y estiércoles puede contribuir a degradar el suelo, mediante contaminación con

metales pesados y cambios en el pH, y a la contaminación atmosférica y de fuentes de agua (MAFF, 1996).

En el manejo de suelos, la agricultura orgánica se propone disminuir las labores mecánicas de labranza y evitar el volteo del perfil del suelo con el fin de contribuir a la conservación del mismo. No obstante, el rechazo al uso de herbicidas sintéticos puede conducir a incrementar el uso de labores mecánicas para el control de las malas hierbas (Lampkin, 1990).

La agricultura orgánica tiende a incrementar considerablemente el uso de mano de obra, generando posibilidades de empleo rural. Sin embargo, esto puede conllevar aumentos en los costos de producción y resulta un obstáculo en sitios donde la mano de obra rural es escasa.

La efectividad a nivel comercial de algunas prácticas de agricultura orgánica puede ser discutible y con frecuencia los resultados sólo se notan a mediano o largo plazo. Proyectos desarrollados en Colombia, como el 'Manejo integrado de plagas (MIP) en el cultivo del tomate en el Valle del Cauca' (Agudelo y Kaimowitz, 1997), han mostrado la magnitud de los retos institucionales que se deben enfrentar para transferir métodos como el control biológico a la agricultura comercial, y plantean la necesidad de fortalecer la investigación sobre las posibilidades reales de técnicas consideradas 'orgánicas'.

Existen atractivos económicos para los productos orgánicos (biológicos) colombianos en los mercados internacionales y se vislumbran perspectivas positivas en el mercado interno (Corporación Colombia Internacional, comunicación personal). Sin embargo, la sostenibilidad económica de esta producción sigue siendo un aspecto de preocupación. En sistemas orgánicos existen ahorros en agroquímicos sintéticos, pero se tienden a incrementar los costos en bioplaguicidas, fertilizantes biológicos y mano de obra. De otro lado, este manejo tiende a reducir los rendimientos por hectárea de los cultivos, comparado con sistemas convencionales. Así, la rentabilidad descan-

sa en buena parte en mejores precios de los productos orgánicos y en la posibilidad de contar con subsidios.

Agricultura sostenible. Es indudable que la agricultura actual puede tener impactos negativos sobre el ambiente. Sin embargo, es una actividad con una función social básica para el desarrollo económico. La agricultura debe suministrar alimentos a una población creciente; y en países en vías de desarrollo, genera empleo para un porcentaje considerable de la población, incluyendo propietarios y arrendatarios de predios, mano de obra vinculada directamente en labores agrícolas y personal ocupado en la industria de soporte y en las cadenas alimentaria y agroindustrial (FAO, 1995). De otro lado, vista como un negocio, la agricultura debe suministrar beneficios económicos a los productores.

En este contexto, agricultura sostenible se define como una actividad económica orientada a la producción en el largo plazo de alimentos y otros materiales vegetales de calidad de una manera amigable para el ambiente, aceptable socialmente y económicamente viable. La protección ambiental, particularmente de ecosistemas frágiles (capital natural crítico), el respeto por la idiosincrasia, y la mejora de las condiciones socioeconómicas de la población rural, en especial de comunidades menos favorecidas, son aspectos centrales para el desarrollo de agricultura sostenible.

El impulso de agricultura sostenible en las condiciones actuales de Colombia requiere de manera prioritaria determinar, y de ser posible cuantificar, los riesgos y daños ambientales debidos a las actividades agrícolas.

IMPACTO AMBIENTAL

Desde el punto de vista ambiental, tres aspectos merecen especial atención en el desarrollo agrícola sostenible: la existencia de límites ecológicos para el desarrollo económico; la degradación ambiental considerada como un costo externo; y la irreversibilidad de procesos.

Límites ecológicos. El ambiente cumple tres funciones básicas: suministra recursos, recibe deshechos y es fuente de satisfacción sensorial (p. ej. la belleza del paisaje). Estas funciones tienen límites impuestos por la disponibilidad de los recursos naturales y por la capacidad del ambiente para absorber deshechos.

Los recursos naturales son renovables cuando tienen la capacidad de reproducirse a sí mismos, y no renovables cuando no pueden reproducirse a sí mismos. Un aspecto crítico se plantea con los recursos no renovables, dado que su uso conlleva con el tiempo a su extinción. La pérdida del suelo, recurso no renovable en el lapso de una vida humana, merece atención especial debido a que compromete seriamente la sostenibilidad de la producción agrícola. En Colombia se estima que alrededor del 50% del territorio nacional está afectado por procesos de erosión. Esto trae consigo disminuciones importantes de la capacidad productiva del suelo e impacto ambiental considerable debido a sedimentaciones en carreteras, ríos y represas, con el consiguiente riesgo de contaminación por agroquímicos (IDEAM, s.f.).

La utilización o pérdida de recursos renovables a una tasa superior a la de su propia regeneración representa un peligro evidente. La extinción de especies animales y vegetales, acelerada por deforestación y ampliación de la frontera agrícola (von Humboldt, 1997), muestra que los recursos renovables también pueden desaparecer debido a la presión de actividades humanas.

El ambiente tiene una capacidad limitada para absorber contaminantes y degradarlos. Por encima de un cierto nivel de contaminación, el daño ambiental causado puede ser tan alto que llega a comprometer seriamente las funciones de defensa del ecosistema. Un ejemplo resulta el río Bogotá (Colombia), un río 'muerto', que alcanza valores de 0.0 mg L^{-1} de oxígeno disuelto en agua, debido a los altos niveles de contaminación, principalmente de

residuos domésticos e industriales, (IDEAM, s.f.). Su recuperación puede tardar varias décadas con inversiones económicas cuantiosas.

La degradación ambiental como un costo externo. La degradación ambiental representa un tributo económico para la sociedad. Una externalidad ocurre cuando los daños causados por alguien son pagados por terceras personas. En el caso de contaminación, la disminución de la pesca y el tratamiento de aguas son ejemplos de costos para la sociedad que normalmente son absorbidos por los usuarios de esas aguas. Los costos se 'internalizan' cuando la persona responsable paga por el daño que causa. El pago de impuestos ambientales y multas es una forma de internalización que comienza a hacerse efectiva en el sector rural colombiano. En un diario capitalino se informa de una sentencia judicial consistente en multa y detención a un productor por utilizar para fines agrícolas una zona de reserva natural (El Tiempo, agosto 30 de 1998).

Colombia carece de información suficiente y confiable que permita cuantificar el daño potencial y real en aspectos de degradación ambiental debido a las actividades agrícolas. Es necesario desarrollar estudios que cuantifiquen y de ser posible valoren económicamente los impactos ambientales en el sector agrícola.

La irreversibilidad. Un principio de sostenibilidad es prevenir procesos irreversibles y actuar precautelativamente en caso de existir indicios de riesgo de daño ambiental considerable. Esto es, evitar o detener actividades que representen serio riesgo, y buscar alternativas amigables para el ambiente que sean viables económicamente. Para ello se debe actuar con base en la mayor evidencia científica posible sobre el problema. Es importante insistir en la utilización adecuada de los recursos no renovables, particularmente los suelos agrícolas; evitar actividades en los cuales se pongan en peligro la salud humana (Hoyos, 1994) o las especies en vías de extinción; y considerar la capacidad de los agroecosistemas para

resistir procesos de degradación. Los ecosistemas frágiles merecen atención especial.

IMPACTOS DEBIDOS A LAS ACTIVIDADES AGRICOLAS

Algunos de los posibles impactos ambientales debidos a las actividades agrícolas incluyen deforestación; degradación física, química y biológica del suelo; efectos sobre la disponibilidad y la calidad del agua; consumo de energías no renovables tales como combustibles fósiles para la producción y utilización de agroquímicos y para operar máquinas agrícolas; contaminación; presencia de residuos tóxicos en alimentos y productos vegetales; y, efectos directos e indirectos sobre humanos, flora y fauna (Tabla 2).

Los procesos de degradación ambiental y sus interrelaciones resultan bastante complejos. P. ej. la pérdida de materia orgánica del suelo contribuye a degradación estructural, pérdida de nutrientes y disminución de la actividad biológica del suelo, y puede tener efectos ambientales debido a la emisión de compuestos potencialmente contaminantes. La mineralización de la materia orgánica libera dióxido de carbono (CO₂), uno de los principales gases causantes del calentamiento general de la tierra (Watson *et. al.*, 1993), y nitratos. Estos últimos compuestos, son causa de eutroficación en fuentes de agua, proceso en el cual se eleva el número de algas, presentándose déficit de oxígeno y provocando la muerte de peces y otras especies acuáticas. Adicionalmente los nitratos han sido relacionados con enfermedades en niños (enfermedad del 'bebé azul') y con cáncer de estómago cuando se presentan en aguas potables (Addiscott *et. al.*, 1991).

La sostenibilidad ambiental se relaciona estrechamente con la sostenibilidad económica dentro y fuera del predio. La mayoría de los impactos ambientales ilustrados en la Tabla 2 tienen efectos a nivel micro y macroeconómico. P. ej. la degradación de la estructura y la compactación del suelo agrícola, muchas veces causadas por uso inde-

bido de maquinaria, generalmente conllevan a incrementar los costos de producción por disminución de la eficiencia en el uso de insumos como fertilizantes y la propia maquinaria, y a reducir los ingresos, debido a mermas en el rendimiento de las cosechas. A nivel macro, los efectos se relacionan con incrementos en el uso de energía y cambios en parámetros del suelo que controlan las emisiones de gases de invernadero y el movimiento de nitratos y plaguicidas en el suelo (Soane y van Ouwerkerk, 1995).

La complejidad de los procesos e interrelaciones que determinan la sostenibilidad agrícola reclama una concepción integradora del sistema productivo. La concepción de sistemas agrícolas es una perspectiva holística de las circunstancias reales en las que se desarrolla la agricultura, que busca de manera participativa, dinámica y flexible entender los sistemas y proponer cambios cuando se requieran (Spedding, 1988). Así, ésta concepción resulta una herramienta importante para el desarrollo de agricultura sostenible.

EVALUACION DE LA SOSTENIBILIDAD AGRICOLA

La definición planteada en este artículo implica que un sistema agrícola sostenible debe cumplir con criterios ambientales, sociales y económicos. En consecuencia, para el desarrollo de este tipo de agricultura se requiere identificar dichos criterios, evaluarlos y determinar vacíos del conocimiento en los diferentes sistemas productivos.

La evaluación de criterios depende de las características particulares de los sistemas considerados y de las políticas gubernamentales. La magnitud de los problemas y de las consecuencias son criterios centrales para este fin. En particular se debe tener en cuenta:

- Efectos al interior y al exterior de la unidad productiva (predio).
- Efectos a nivel macro, particularmente efectos globales a nivel del planeta, como calentamiento general de la Tierra (efecto invernadero) y lluvia ácida.

Tabla 2. Posibles impactos debidos a las actividades agrícolas

COMPONENTE	CAUSAS	EFFECTOS
AMBIENTAL		
Suelo - Físico		
Daño a la estructura del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Excesivo laboreo • Tránsito de maquinaria agrícola • Salinidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento en el uso de energía • Incremento en riesgo de compactación • Riesgo de encostramiento superficial • Dificultad para la emergencia de plántulas • Disminución de infiltración y movimiento de agua en el suelo • Incremento en riesgo de erosión
Compactación de suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Tránsito de maquinaria agrícola • Uso de equipo pesado en suelos húmedos • Moldeamiento causado por arados de discos, rastras de discos y arados rotatorios (rotovator) • Excesivo laboreo 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento en el uso de energía • Incremento en resistencia del suelo • Disminución de infiltración y movimiento de agua en el suelo • Disminución de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo • Disminución de aireación del suelo • Disminución de la actividad biológica del suelo • Dificultad para el desarrollo de raíces y cultivos • Disminución de la toma de nutrientes por las raíces • Desgaste prematuro de equipos y máquinas agrícolas
Erosión	<ul style="list-style-type: none"> • Deforestación • Remoción de cobertura vegetal del suelo • Cultivos limpios • Excesivo laboreo especialmente en zonas de ladera • Inversión del suelo en el sentido de la pendiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de un recurso no-renovable • Disminución de la profundidad efectiva del suelo • Disminución de la fertilidad del suelo • Sedimentación en ríos y vías • Transporte de agroquímicos a fuentes de agua • Peligro de derrumbes y daños en áreas habitadas
Suelo - Químico		
Disminución de materia orgánica	<ul style="list-style-type: none"> • Deforestación • Remoción de cobertura vegetal del suelo • Toma de nutrientes del suelo por los cultivos • Excesivo laboreo del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de nutrientes del suelo • Disminución de la actividad biológica del suelo • Disminución de la estabilidad estructural del suelo • Incremento en el riesgo de compactación • Disminución de la capacidad del suelo para degradar plaguicidas • Riesgo de contaminación de aguas por nitratos • Riesgo de contaminación atmosférica por producción de CO₂

Tabla 2. Posibles impactos debidos a las actividades agrícolas (continuación)

Cambio en el pH del suelo (salinidad y acidificación)	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva fertilización • Drenaje inadecuado del suelo • Uso de aguas contaminadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la disponibilidad de nutrientes del suelo • Disminución de la actividad biológica del suelo • Cambios en la estructura del suelo • Limitaciones serias al desarrollo de cultivos
Suelo - Biológico		
Disminución de la actividad biológica del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de plaguicidas • Excesivo laboreo del suelo • Compactación • Remoción de cobertura vegetal del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la capacidad del suelo para reciclar nutrientes • Disminución de la capacidad del suelo para degradar plaguicidas • Disminución de la estabilidad estructural del suelo • Disminución de nutrientes del suelo
Agua		
Disponibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de riego inadecuados • Efecto del laboreo sobre escorrentía, drenaje y percolación 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad para el desarrollo de cultivos • Efectos sobre poblaciones y comunidades vecinas
Contaminación por nutrientes del suelo y plaguicidas	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticas inadecuadas de fertilización y/o control químico • Efecto del laboreo sobre escorrentía, drenaje y percolación 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos sobre la salud humana • Efectos sobre la fauna y la flora
Plaguicidas en humanos y organismos benéficos		
Efecto de plaguicidas	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticas inadecuadas de control químico • Manejo, almacenamiento, transporte y aplicación de plaguicidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos sobre la salud humana • Efectos sobre la fauna y la flora
Uso de energía y contaminación del aire/atmósfera		
Contribución a la desaparición de combustibles fósiles	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación y uso de maquinaria agrícola • Fabricación de agroquímicos • Emisiones de motores 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del aire/atmósfera
Emisión de gases de efecto invernadero	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de CO₂, N₂O y CH₄ del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento general de la Tierra

Tabla 2. Posibles impactos debidos a las actividades agrícolas (Continuación).

SOCIAL

Alimento (cantidad y calidad)	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de alimentos • Residuos tóxicos en alimentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos en calidad de vida • Efectos sobre la productividad agrícola
Salud	<ul style="list-style-type: none"> • Accidentes en la finca 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos económicos para productores
Empleo	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo y relación con el uso de maquinaria 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos en la economía del país
Tenencia de la tierra	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño de predios • Tipo e intensidad de sistemas productivos • Rentabilidad • Uso de maquinaria agrícola 	

ECONOMICO

En la finca	<ul style="list-style-type: none"> • Ingresos, costos y rentabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos económicos para productores
Fuera de la finca	<ul style="list-style-type: none"> • Industria de alimentos y de soporte a la agricultura • Costos ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> • Efectos en la economía del país

- Fragilidad del ecosistema que soporta los efectos de la actividad.
- Ocurrencia de procesos irreversibles.
- Efectos sociales, particularmente sobre comunidades menos favorecidas.
- Valoración económica de los impactos.

La utilización de metodologías basadas en el uso de indicadores, ha mostrado que puede jugar un papel relevante en la determinación de criterios de sostenibilidad y en la búsqueda de prácticas amigables con el ambiente. Los indicadores son parámetros confiables que permiten simplificar, cuantificar y comunicar acerca de fenómenos. CIAT - CARDER (1996) propusieron un grupo de

indicadores ambientales para la planificación y la toma de decisiones en el Departamento del Risaralda (Colombia). Una selección de los indicadores propuestos a nivel de predio agrícola es ilustrada en la Tabla 3.

Leiva (1997) desarrolló un grupo de indicadores para evaluar la sostenibilidad de sistemas agrícolas en Bedfordshire (Inglaterra). La metodología resultó apropiada y permitió además evaluar el impacto de diferentes propuestas tecnológicas en dos fincas de producción de cereales. La definición de indicadores ambientales, sociales y económicos, y de ser posible el desarrollo de indicadores agregados que agrupen diferentes factores, está a la orden del día (CIAT, 1993).

Tabla 3. Indicadores de sostenibilidad a nivel de predio

Componente	CIAT - CARDER (1996).	F. Leiva (1987)
Uso de plaguicidas	Uso de plaguicidas (kg. ingrediente activo por ha)	Descarga de plaguicidas en agua (μg ingrediente activo por L)
Uso de fertilizantes	Uso de fertilizantes (t ha^{-1})	Contaminación de aguas con nitratos ($\text{mg de NO}_3\text{-N por L}$)
Energía	na*	Energía utilizada (GJ ha^{-1}) Energía producida (GJ ha^{-1}) Eficiencia de la energía (Energía utilizada / Energía producida)
Contaminación del aire/atmósfera	na*	CO ₂ del combustible diesel (kg. ha^{-1}) N ₂ O del fertilizante (kg. ha^{-1})
Degradación del suelo	Tasa de erosión por Cultivo (t ha^{-1}), % Índice de Degradación de Suelos (%)	% carbono orgánico % materia orgánica % de área compactada por llantas Intensidad de tránsito de maquinaria (ton Km ha^{-1}) (ton h ha^{-1})
Desarrollo y condición del cultivo	Superficie afectada por plagas (ha)	na*
Uso de mano de obra	na*	Número de hombres por 100 ha
Salud, seguridad e incidentes ambientales en el predio	na*	* Número de accidentes Número de incidentes ambientales
Rentabilidad y componentes de rentabilidad	Precio de insumos (\$) Producción de cultivos (t) Rendimiento de cultivos (t ha^{-1}) Superficie cultivada (ha) Precio cultivos (\$)	'Gross Margin' (£ ha^{-1})** 'Net Margin' (£ ha^{-1})***

* no aplica

** Ingresos totales menos costos variables

*** 'Gross Margin' menos costos de mano de obra permanente y maquinaria

IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION

Uno de los elementos más importantes a destacar en el debate sobre sostenibilidad y particularmente sobre el impacto de actividades económicas en el ambiente, se rela-

ciona con las limitaciones del conocimiento. Para la elaboración de este artículo, el autor encontró deficiencias notorias en la información sobre procesos de degradación ambiental en Colombia, expresadas en ausencia de

investigación en aspectos claves de la relación agricultura-ambiente, dispersión e inconsistencias en la información disponible. Es necesario un compromiso decidido por parte de las entidades gubernamentales y privadas en el impulso de investigación que conlleve a identificar de mejor manera y cuantificar procesos de degradación ambiental y su impacto en el desarrollo de agricultura sostenible.

La difusión de resultados, y la creación y consolidación de bases de datos son complementos básicos de la investigación. En particular, se requiere fomentar publicaciones, crear nuevas bases de datos de fácil acceso al público y a la comunidad científica, y fortalecer y mantener actualizadas las bases de datos existentes. Dadas las limitaciones financieras, se hace necesario establecer prioridades para la investigación. En las condiciones actuales de la agricultura nacional se recomienda dar prelación a estudios sobre procesos de degradación de agua y suelos, impacto de controles sanitarios y uso de plaguicidas, y valoración de los daños causado por estos procesos.

Sin embargo, las decisiones no pueden esperar hasta que se conozcan en detalle procesos y fenómenos. Muchas veces se tiene que actuar con cierto grado de incertidumbre. En estas condiciones un análisis de riesgo resulta útil para predecir el daño. Dicho análisis es un estudio sistemático para reunir la información científica disponible sobre los riesgos de una actividad, formar un juicio acerca de éstos y orientar decisiones acerca de tolerar o mitigar esos riesgos, mediante un balance de costos y beneficios (DOE, 1995).

COMENTARIOS FINALES

El presente artículo ha discutido aspectos centrales del desarrollo de agricultura sostenible con énfasis en países en vías de desarrollo. Resulta relevante resaltar los siguientes aspectos:

El desarrollo de agricultura sostenible requiere de una definición clara del concepto que considere las características

ambientales, sociales y económicas dentro de las cuales se enmarca el proceso productivo.

La sostenibilidad ambiental se relaciona estrechamente con la sostenibilidad económica, con efectos sobre el propio predio (agricultor) y fuera de éste (sociedad).

La complejidad de los factores que determinan la sostenibilidad de la producción agrícola demanda una visión sistemática, holística, integradora y participativa.

Se requiere un impulso decidido a la investigación sobre la relación agricultura-ambiente. En las condiciones actuales de Colombia, resulta prioritario impulsar investigación en degradación de agua y suelos, impacto de agroquímicos, y la valoración de sus efectos. La publicación de resultados y el fortalecimiento de bases de datos con acceso al público son complementos básicos de esa investigación.

Las decisiones, sin embargo, muchas veces no pueden esperar a que se conozcan los procesos en detalle. Los análisis de riesgo son herramientas útiles para guiar la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre.

Se están desarrollando metodologías basadas en el uso de indicadores, las cuales tienen un gran potencial para contribuir al desarrollo de agricultura sostenible.

LITERATURA CITADA

ADDISCOTT, T M, WHITMORE, A P Y POWLSON, D S. 1991. Farming, fertiliser and the nitrate problem. CAB International. Wallingford, UK.

AGUDELO, L A Y KAIMOWITZ, D. 1997. Tecnología agrícola sostenible: retos institucionales y metodológicos. IICA - GTZ. San José, Costa Rica.

CIAT. 1993. Measurements and indicators of sustainability. Mimeografiado. Cali, Colombia.

- CIAT - CARDER.** 1996. Desarrollo y uso de indicadores ambientales para la planificación y la toma de decisiones en la Corporación Autónoma Regional del Risaralda. Cali, Colombia.
- COMMON, M Y PERRINGS, C.** 1992. Towards an ecological economics and sustainability. *Ecological Economics* 6:7-34
- CONWAY, G R AND PRETTY, J N.** 1991. Unwelcome harvest. Earthscan. London, UK.
- DALY, H E.** 1991. Towards an environmental macroeconomics. *Land Economics* 67:225-259.
- DOE.** 1995. A guide to risk assessment and risk management for environmental protection. HMSO: London, UK.
- FAO.** 1995. Agricultura: hacia el año 2000. *Revista Nacional de Agricultura*, 910:47-71.
- HOYOS, L S.** 1994. Efectos genéticos de los plaguicidas en trabajadores agrícolas. En: Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. Universidad Nacional, Palmira, Colombia.
- IDEAM,** s.f. Página web www.IDEAM.gov.co.
- IUCN, UNEP Y WWP.** 1991. Caring for the Earth: a strategy for sustainable living. Mitchell Beazley London., UK.
- LAMPKIN, N.** 1990. Organic farming. Farming Press. Ipswich, UK.
- LEIVA, F. R.** 1997. Mechanisation for sustainability in arable farming systems. Tesis de Ph. D. Cranfield University. Inglaterra. No publicada.
- LOVELOCK, J.** 1988. The ages of Gaia: a biography of our living Earth. Oxford University Press. Oxford, UK.
- MEJIA GUTIERREZ,** 1997. Agriculturas para la vida: movimientos alternativos frente a la agricultura química. UNISARC. Santa Rosa de Cabal, Colombia.
- MAFF.** 1993. Code of good agricultural practice for the protection of soil. Ministry of Agriculture Fisheries and Food. Welsh office, UK.
- NIX, J.** 1997. Farm management pocketbook. 27th Ed. Wye College: Ashford, UK.
- OSPINA RESTREPO, J. M.** 1995. La SAC y el agro: retos y perspectivas. *Revista Nacional de Agricultura* 911: 9-21.
- SOANE, B D AND VAN OUWERKERK, C.** 1995. Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. *Soil and Tillage Res*, 35, 5-22.
- SPEDDING, C R W .** 1988. General aspects of modelling and its application in livestock production. In: Horver, S. and Van Arendonk, J.A.M. Modelling of livestock Production Systems. Kluwer CEC., 3-9.
- SOCOLEN,** 1997. Experiencias y avances en el manejo de la polilla guatemalteca de la papa. SOCOLEN. Colombia.
- SUAREZ MONTOYA, A.** 1996. La revolución verde en el café: tanto de largo como de ancho. *Agricultura Tropical* 33(1):9-14.
- TURNER, R K.** 1995. Sustainability principles and practice. En: Turner, R K. Sustainable environmental economics and management. Wiley: Chichester, UK, 3-36.
- VON HUMBOLDT.** 1997. Boletín Humboldt. Mayo-Junio. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Colombia.
- WATSON, R T, RODE, H, OESCHGER, H AND SIEGENTHALER, U.** 1993. Greenhouse gases and aerosols. En: Houghton, J T, Jenkins, G J and Ephramus, J J. Climate change. The IPCC Scientific Assessment Cambridge Univ. Press: Cambridge, UK, 1-40.