

**¿COMO MEDIR LA SOSTENIBILIDAD?  
UNA PROPUESTA PARA EL AREA DE LA  
AGRICULTURA Y DE LOS RECURSOS  
NATURALES**



1

**SABINE MÜLLER**

**SERIE DOCUMENTOS DE DISCUSIÓN SOBRE  
AGRICULTURA SOSTENIBLE Y RECURSOS NATURALES**





Serie Documentos  
de Discusión sobre  
Agricultura Sostenible  
y Recursos Naturales  
No. 1

¿COMO MEDIR LA SOSTENIBILIDAD?  
Una Propuesta para  
el Area de la Agricultura  
y de los Recursos Naturales

*Sabine Müller,  
Instituto Interamericano de Cooperación  
para la Agricultura (IICA)  
Proyecto IICA/GTZ*



© Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) / Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.  
Octubre, 1996.

Derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin autorización escrita del IICA y la GTZ.

Las ideas y los planteamientos contenidos en los artículos firmados son propios de los autores y no representan necesariamente el criterio del IICA y la GTZ.

El Servicio Editorial del IICA fue responsable por la revisión estilística y edición de esta publicación, y la Imprenta del IICA por el diagramado, montaje, fotomecánica e impresión.

Arte de portada: Claudia Eppelin.

Müller, Sabine

¿Cómo medir la sostenibilidad?: una propuesta para el área de la agricultura y de los recursos naturales / Sabine Müller. — San José, C.R. : Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1996.

56 p. ; 23 cm. — (Serie Documentos de Discusión sobre Agricultura Sostenible y Recursos Naturales GTZ-IICA, ISSN 1027-2623 ; no. A1/SC-96-01).

ISBN 92-9039-303 3

1. Sostenibilidad — Metodología. I. GTZ. II. IICA. III. Título. IV. Serie.

AGRIS  
P01

Dewey  
333.72

SERIE DOCUMENTOS DE DISCUSION  
SOBRE AGRICULTURA SOSTENIBLE Y RECURSOS NATURALES

ISSN-1027-2623  
A1/SC-96-01

Octubre, 1996  
San José, Costa Rica

## CONTENIDO

Prólogo .....	v
Agradecimientos .....	vii
Siglas .....	ix
Resumen .....	xi
<b>INTRODUCCION: EL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
<b>SOSTENIBILIDAD: LA NECESIDAD DE CONCEPTOS Y CRITERIOS DE EVALUACION COHERENTES .....</b>	<b>3</b>
Desarrollo Sostenible y Agricultura Sostenible .....	3
Enfoques Recientes para Medir la Sostenibilidad del Desarrollo y la Agricultura .....	8
Operacionalización de la Sostenibilidad por Medio de la Definición de Indicadores .....	12
<b>MARCO METODOLOGICO PARA LA DEFINICION DE INDICADORES EN AGRICULTURA .....</b>	<b>15</b>
Enfoque de Sistemas para Analizar la Sostenibilidad de la Agricultura .....	15
Propiedades de los Agroecosistemas Sostenibles .....	18
Una Matriz para la Selección de Indicadores .....	21
Aspectos Críticos y Limitaciones del Enfoque de Indicadores: La Necesidad de un Sistema de Referencia y Problemas de Agregación .....	23
La necesidad de un sistema de referencia .....	24
Agregación de indicadores .....	25

This One



R6WJ-Z7J-HKJD

¿cómo medir la sostenibilidad?

<b>APLICACION DEL MARCO METODOLOGICO EN ESTA INVESTIGACION</b> .....	29
El Area de Investigación: Condiciones Agroecológicas y Sistemas de Producción Agrícola Prevalcientes .....	29
Generación de Datos .....	30
Indicadores Seleccionados .....	34
<b>COMENTARIOS FINALES</b> .....	41
<b>ANEXO: CRITERIOS PARA LA DEFINICION DE INDICADORES</b> .....	43
<b>OBRAS CITADAS</b> .....	47

## PROLOGO

La sostenibilidad (o "desarrollo sostenible") se ha convertido en el paradigma del desarrollo en los noventas, una palabra para llamar la atención en las declaraciones políticas, un elemento clave en la elaboración de nuevas leyes, en los estatutos de las instituciones, en la investigación agrícola, en las propuestas de proyectos y en la cooperación tanto financiera como técnica.

Sin embargo, hay menos consenso en relación con lo que es realmente la "sostenibilidad", y de cómo se puede medir. En este contexto, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), celebrada en Río en 1992, y el Programa 21, un producto de esa conferencia, recalcaron la importancia de diseñar indicadores con los cuales monitorear el estado de la sostenibilidad.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) ha modificado su estrategia con el fin de responder a los retos del Programa 21 en América Latina y el Caribe, y su Plan de Mediano Plazo 1994-1998 se basa en los conceptos de desarrollo sostenible en la agricultura, el manejo de los recursos naturales y el desarrollo rural.

Dentro de esta estrategia, el IICA y la GTZ han unido esfuerzos en un proyecto dirigido a proveer a la región de las herramientas necesarias para formular políticas y proyectos que promuevan la agricultura sostenible y el manejo sostenible de los recursos naturales. Se ha dado especial énfasis a la cuestión de cómo medir el progreso de la sostenibilidad y cómo diseñar indicadores capaces de proporcionar tal información; para ello se ha diseñado una investigación apropiada con financiamiento adicional del Programa de Apoyo en Ecología Tropical para Mejorar el Instrumental de Cooperación para el Desarrollo (TÖB) de la GTZ. Dado que la sostenibilidad requiere un enfoque multidisciplinario, este proyecto se está llevando a cabo en cooperación con instituciones con capacidades en disciplinas complementarias, tales como el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR).

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

Este documento resume el enfoque metodológico del proyecto y presenta un marco analítico para el diseño de indicadores, el cual fue aplicado en un estudio de caso en Costa Rica. En la siguiente etapa, se analizará la información empírica generada de acuerdo con los indicadores y se presentarán los resultados en un documento posterior.



## AGRADECIMIENTOS

Muchas personas han contribuido a la elaboración de este documento, algunas por medio de las publicaciones citadas en las referencias, otras por medio de discusiones. La autora desea reconocer particularmente las contribuciones de Laura Ramírez, Jorge Núñez, Javier Villegas, Richard Edwards, Edgar Gutiérrez, Ronnie de Camino, Lutz Götde y Anne Hünneimayer. Adicionalmente, esta publicación no habría sido posible sin el continuo apoyo del personal del Proyecto IICA/GTZ; en especial, la autora agradece a Patricia Ramírez por el apoyo secretarial, al Servicio Editorial del IICA por la revisión estilística, y a Pastora Hernández por la coordinación de la publicación.

El trabajo de campo y los análisis de laboratorio fueron posibilitados por el apoyo de las instituciones que cooperaron en el estudio, el CATIE y el ITCR, así como el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Costa Rica, especialmente la Dirección General de Sanidad Vegetal, la Universidad Nacional (UNA), la Universidad de Costa Rica (UCR) y, finalmente, pero no menos importantes, los agricultores de la cuenca del río Reventado.

Se agradece particularmente al Programa de Apoyo en Ecología Tropical para Mejorar el Instrumental de Cooperación para el Desarrollo (TÖB) que hizo posible esta investigación.



## SIGLAS

AIA	Análisis de impacto ambiental
BIFAD	Comité de Desarrollo Alimentario y Agrícola Internacional
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CEPALC	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CGIAR	Grupo Consultivo en Investigación Agrícola Internacional
CNUMAD	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo
DGSV	Dirección General de Sanidad Vegetal
DAS	Desarrollo ambiental sostenible
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
ICRAF	Consejo Internacional para la Investigación Silvoagropecuaria
IFPRI	Instituto Internacioal de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OEA	Organización de Estados Americanos
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SCOPE	Comité Científico sobre Problemas del Ambiente
SENARA	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento
TÖB	Programa de Apoyo en Ecología Tropical para Mejorar el Instrumental de Cooperación para el Desarrollo
UCR	Universidad de Costa Rica
UICN	Unión Mundial para la Naturaleza
UNA	Universidad Nacional
USAID	Agencia para el Desarrollo Internacional del Gobierno de los Estados Unidos de América
OMS	Organización Mundial de la Salud
WCED	World Commission on Environment and Development
WWF	Fondo Mundial de Vida Silvestre



## RESUMEN

El desarrollo sostenible parece haberse convertido en el paradigma del desarrollo de los años noventa, pero existe menor consenso con respecto a lo que se entiende precisamente por "sostenibilidad" y cómo se puede medir. En este contexto la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) de Río en 1992 y Agenda 21, un producto de la conferencia, subrayaron la importancia de la definición de indicadores que puedan ser usados para monitorear el estado del ambiente.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y la Cooperación Alemana para el Desarrollo llevan a cabo un proyecto dirigido a proveer a la región de las herramientas necesarias para formular políticas que promuevan la agricultura sostenible y el manejo sostenible de los recursos naturales. Se ha dado especial énfasis a la cuestión de cómo medir el progreso de la sostenibilidad y de cómo definir indicadores que aporten esa información. Para ello se diseñó una investigación apropiada, con financiamiento adicional del Programa de Apoyo en Ecología Tropical para Mejorar el Instrumental de Cooperación para el Desarrollo (TÖB), un programa regional financiado por la GTZ; la investigación se lleva a cabo con el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR).

El problema al que hay que abocarse es *¿cómo se puede evaluar la sostenibilidad?* Se ha tomado como ejemplo a una cuenca hidrográfica en Costa Rica y se propone un enfoque metodológico para el diseño de indicadores. Los indicadores deben definirse de acuerdo con la situación específica o problema que debe ser analizado, tomando en consideración los diversos niveles de agregación. Con el fin de comparar diversos sistemas, los indicadores correspondientes se deben definir de acuerdo con un proceso lógico y reproducible, en el cual se expliquen y justifiquen los criterios usados para la selección de indicadores.

Se considera que los agroecosistemas son la unidad apropiada para el análisis de la agricultura y la sostenibilidad. Se deben confrontar las

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

tres dimensiones de la sostenibilidad (ecológica, económica y social) así como considerar los posibles *trade-offs*<sup>1</sup> entre ellas. Los agroecosistemas deben describirse de acuerdo con el estado de sus recursos y su desempeño, para lo cual se identifican cuatro propiedades fundamentales de los agroecosistemas sostenibles: productividad, estabilidad, resiliencia y equidad. Estos criterios pueden integrarse a una matriz, con indicadores que habrán sido seleccionados en forma correspondiente.

Este marco se ha aplicado aquí en el estudio de caso de la cuenca del río Reventado en Costa Rica, para la cual se han definido indicadores a nivel de la finca y de la cuenca hidrográfica. Se realizaron varias encuestas de campo con el fin de obtener la información requerida por los indicadores.

---

1 *Trade-offs* es un concepto económico que carece de una traducción aceptable en castellano. El ejemplo más corriente en economía keynesiana corresponde a la elección social entre desempleo e inflación, la llamada Curva de Phillips: si se opta por un bajo nivel de desempleo se obtendrá un alto nivel de inflación y viceversa; ambos objetivos son igualmente importantes, pero no se pueden cumplir a la vez. De allí que de alguna manera se debe elegir entre las múltiples combinaciones de ambos.

## INTRODUCCION: EL PROBLEMA

Durante las últimas dos décadas el debate en torno al desarrollo ha estado sujeto a una profunda transformación en la medida en que procuró incorporar temas ambientales y de equidad. La incidencia de los problemas ambientales mundiales y su mayor visibilidad en los mundos desarrollados y en desarrollo han levantado el perfil de los temas ambientales en la conciencia de la población de ambas partes del planeta. Adicionalmente, el agravamiento de la pobreza que sufre la mayor parte de la población en el mundo en desarrollo pone en evidencia que la mitigación de la pobreza y los problemas de equidad no han sido enfrentados de manera exitosa.

La fórmula encontrada fue "desarrollo sostenible", la cual parece haber ganado un amplio apoyo y está destinada a convertirse en el paradigma del desarrollo de la década del noventa. La cuestión ahora ya no es más: "¿Cómo pueden los países en desarrollo acercarse a los niveles de vida del mundo desarrollado?", sino más bien: "¿Cómo se puede alcanzar el desarrollo sostenible?" (Lélé 1991: 607).

Una primera conceptualización general de desarrollo sostenible fue ampliamente difundida en la Estrategia de Conservación Mundial (UICN 1980). En la actualidad, la literatura del desarrollo sostenible muestra una gran variedad de definiciones y conceptos "de manera tal que casi cualquiera encontrará una que coincida con sus necesidades..." (Goodland y Redcliff 1991: 3).

La definición de desarrollo sostenible que tuvo más amplia aceptación fue aquella elaborada por la Comisión Brundtland: "Satisfacer las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones" (WCED 1987). Sin embargo, aunque polemiza con los actuales niveles de consumo en el mundo desarrollado, la definición de la Comisión Brundtland no da respuesta a lo que tiene que ser sostenido; de tal manera que la popularidad de la definición de la Comisión puede deberse, en parte, al menos, a que es tan amplia que está privada de *significación operativa* (Ruttan 1992:6).

Esto conduce a un segundo problema. El logro de la meta de la sostenibilidad, de cualquier manera que se la defina, debe ser medido de alguna manera: *¿Cómo sabemos que se están realizando progresos hacia los objetivos de la sostenibilidad? ¿Cuándo podemos decir que los sistemas son más o menos sostenibles?* Decidir cuáles acciones y políticas se deben seguir pa-

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

ra alcanzar la sostenibilidad, sólo puede alcanzarse con mediciones o indicadores de sostenibilidad apropiados (Brown *et al.* 1987: 718). Así, si el desarrollo sostenible es el nuevo paradigma de la cooperación para el desarrollo, la sostenibilidad tiene que hacerse operativa en los diversos niveles en que tienen lugar las actividades de desarrollo.

La presente investigación pretende contribuir con esta tarea. Se ha diseñado de acuerdo con las áreas de operación y las prioridades de las instituciones involucradas: el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y la Cooperación Alemana para el Desarrollo.

*¿Cómo se puede evaluar la sostenibilidad?* Este aspecto se analiza en una cuenca en Costa Rica. Se ha hecho un esfuerzo para desarrollar un marco que integre información agroecológica y socioeconómica de manera tal que se pueda estimar la sostenibilidad de la agricultura a nivel de la finca y sus impactos a nivel regional, y se puedan analizar las opciones para su mejoramiento. Se espera que los resultados aporten información empírica acerca de los impactos sobre la sostenibilidad del uso actual de la tierra y de las prácticas culturales en la cuenca, así como experiencia en cuanto a la utilidad del enfoque metodológico que se ha aplicado.

Este documento se divide en cuatro partes: 1. Una introducción en la que se discute el origen de la actividad de investigación. 2. El análisis de diversos conceptos de sostenibilidad y enfoques para analizar la sostenibilidad; especial énfasis se ha dado a los fundamentos teóricos de los indicadores que miden la sostenibilidad de la agricultura. 3. Un resumen del marco analítico usado en la investigación. 4. Una descripción del estudio de caso, procedimientos metodológicos y estado presente del trabajo.



# SOSTENIBILIDAD: LA NECESIDAD DE CONCEPTOS Y CRITERIOS DE EVALUACION COHERENTES

## *Desarrollo Sostenible y Agricultura Sostenible*

Las metas y posibilidades de la agricultura sostenible dependen del modelo de desarrollo de un país, el cual provee el marco dentro del cual el sector se puede desarrollar. Por otra parte, el potencial de producción y la eficiencia de la agricultura tienen un impacto sobre el desarrollo económico como un todo, especialmente ahí donde el sector agrícola es de gran importancia. Así, para los efectos de la presente investigación, el análisis de diversos conceptos se concentró en las definiciones del desarrollo sostenible en general y, más específicamente, de la agricultura sostenible.

### *Desarrollo sostenible*

Las diversas definiciones de desarrollo sostenible se pueden clasificar de acuerdo con los respectivos conceptos que las sustentan<sup>2</sup>. Se pueden distinguir tres grupos:

1. Un grupo significativo de autores equiparan *crecimiento sostenible con desarrollo sostenible*. Los temas económicos y ambientales deben ser tomados en consideración para asegurar que las metas económicas generales y el crecimiento económico puedan ser sostenibles. Dado que se asume que hay sustituibilidad entre el capital producido por el hombre y el natural (por lo menos para gran parte de los recursos naturales), y dado que existe una fuerte creencia en que el progreso técnico podrá compensar la pérdida de recursos, no se observan limitaciones severas para el crecimiento económico continuo. Sin embargo, se enfatiza la necesidad de una valoración apropiada de los recursos, con el fin de lograr una adecuada asignación de los mismos. El ajuste de los precios, considerando los costos ambientales y la contabilidad que tome en cuenta los aspectos ambientales, requiere la capacidad de expresar la mayor parte de las funciones y propiedades

---

2 Lélé (1991: 608) señala que “el desarrollo es un proceso de cambio dirigido y así las definiciones de desarrollo incorporan a) los objetivos de este proceso, y b) los medios de llevar a cabo esos objetivos”.

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

ambientales en términos económicos, razón por la cual se ha desarrollado una metodología completa con este propósito. Los conceptos de la mayoría de los economistas que trabajan en el área de los recursos y el ambiente pueden clasificarse dentro de este grupo (Solow 1992; Dasgupta y Mäler 1991).

2. Un segundo grupo de autores enfatiza la importancia de *la satisfacción de las necesidades tanto de las poblaciones presentes como de las futuras*. Aunque se considera el desarrollo económico como un factor importante para alcanzar este objetivo, las principales condiciones son la equidad intra e intergeneracional. Para asegurar la última, el crecimiento económico tiene que respetar ciertos límites del ambiente con el fin de no agotar las opciones de consumo de las futuras generaciones. Algunos autores ven estos límites como la conservación del acervo de recursos naturales. Otros recalcan que no todos los recursos tienen que ser protegidos y que un cierto potencial de producción debe ser preservado. La mayor parte de las definiciones analizadas en este documento pueden clasificarse en este grupo, por ejemplo, las definiciones de la Comisión Brundtland, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO 1991) y la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN 1989).
3. Un tercer grupo de autores se pregunta por los *cambios fundamentales en el paradigma prevaleciente del desarrollo*. Dado que estos autores cuestionan la posibilidad de crecimiento económico futuro ilimitado, recalcan la importancia del aspecto distributivo (equidad) en relación con la sostenibilidad. Debido a la destrucción ya en extremo avanzada de los recursos naturales, y a causa de la inseguridad y riesgo de sus funciones para sostener la vida, se debe evitar cualquier degradación y destrucción de los recursos naturales. En este grupo aparecen autores como Goodland y Redcliff (1991), Pearce, Barbier y Markandya (1990), Costanza (1991) y el grupo que enfatiza la termodinámica (Boulding 1991; Daly 1977; Daly y Cobb 1989; Victor 1991). Este último grupo aplica las leyes de la termodinámica<sup>3</sup> a la economía, refi-

---

3 "Todos los estados de materia y todas las formas de energía no tienen el mismo potencial de uso. Aunque no destruimos energía-materia en la producción ni en el consumo, sí las transformamos (primera ley de la termodinámica). Específicamente, transformamos materia organizada, estructurada, concentrada, en estados de baja entropía (materias primas) en productos altamente estructurados, y luego, por medio del uso, en estados dispersos, aleatorios, de alta entropía (desechos) (segunda ley de la termodinámica). En la producción de mercancías, la energía se transforma de energía de alta temperatura con potencial para realizar trabajo a energía de baja temperatura cuya capacidad para realizar trabajo se pierde cuando la temperatura alcanza el equilibrio con el ambiente general".

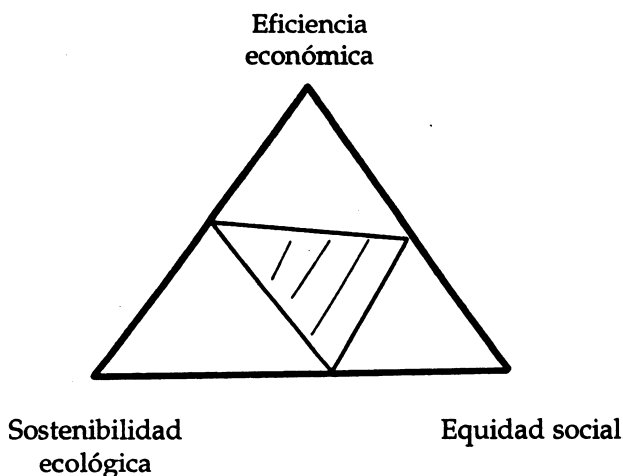
riéndose específicamente a la segunda ley de la termodinámica. Concluyen que el crecimiento basado en el agotamiento de los recursos naturales conduce a la escasez absoluta; esto es, después de un cierto nivel de agotamiento, el capital natural no puede ser sustituido por el capital producido por el hombre, ni se puede incrementar. A partir de estas premisas, la sostenibilidad implica desarrollo a partir de la más eficiente utilización de estos recursos escasos, lo que contrasta con la expansión económica de los últimos 400 años que se ha basado en una utilización creciente de recursos.

Se puede observar que el desarrollo sostenible involucra dimensiones económicas, ecológicas y sociales, las cuales, para los propósitos de la presente investigación, pueden definirse como sigue:

- *Sostenibilidad ecológica*: El ecosistema mantiene sus principales características que son fundamentales para su supervivencia en el largo plazo.
- *Sostenibilidad económica*: El manejo sostenible de los recursos naturales produce una rentabilidad que hace atractiva su continuación.
- *Sostenibilidad social*: Los beneficios y costos de la administración del sistema se distribuyen equitativamente entre los diferentes grupos y generaciones y se obtiene un grado de satisfacción de las necesidades que hace su continuación posible.

A corto plazo, estas tres dimensiones pueden considerarse en cierta medida conflictivas, mientras que a largo plazo se reconocerá la interdependencia entre éstas y la relación se volverá más o menos complementaria. Sin embargo, no será posible lograr la sostenibilidad maximizando las tres metas al mismo tiempo; para alcanzar el desarrollo sostenible, se debe encontrar un equilibrio entre los tres objetivos, tal como se muestra en la Figura 1. Así, el desarrollo sostenible se puede definir como el producto deseado de los *trade-offs* entre eficiencia económica, equidad social y sostenibilidad ecológica.

Tomando esta figura como referencia, si se optimiza un objetivo, los dos restantes se convierten en restricciones. Una restricción debe cuantificarse de alguna forma, en el sentido de que un cierto número de elementos que conforman la restricción debe definirse como el nivel máximo y mínimo tolerable.



*Figura 1. Desarrollo sostenible.*

Sin embargo, uno se pregunta cómo podrían identificarse estos niveles máximos y mínimos. ¿Qué significa “distribución equitativa del ingreso”, “características esenciales del ecosistema” e “ingreso suficiente”? Los objetivos del desarrollo son definidos por el grupo social encargado de determinarlos: la sociedad de un país en relación con los objetivos de esa sociedad; una comunidad en cuanto a los objetivos comunales; un agricultor individual en relación con sus propios objetivos. Los objetivos de un nivel jerárquicamente menor, como por ejemplo los de un agricultor, deben ajustarse para no entrar en conflicto con los objetivos de la comunidad o sociales.

No obstante, una “distribución equitativa del ingreso” no implica necesariamente que todos los costos y beneficios estén distribuidos en forma igualitaria, sino más bien que la persona menos favorecida acceda a un nivel de satisfacción de sus necesidades tal que haga atractivo continuar con el manejo de los recursos. Tampoco “ingreso suficiente” significa que todas las necesidades serán satisfechas, sino una cantidad razonable, dejando la decisión a la sociedad. Hoy las sociedades están definiendo niveles de satisfacción de necesidades, i.e. salarios mínimos, límites de pobreza y estándares de salud, y estos niveles están cambiando como resultado de las preferencias de la sociedad como un todo.

Los *trade-offs* dependen del grado de conflicto entre los tres diferentes objetivos en los diversos horizontes temporales, esto es, a cuánta calidad ambiental, equidad social o eficiencia económica *se tendrá que renunciar* en el corto, mediano y largo plazos; y en las preferencias de la sociedad en relación con estos tres objetivos, esto es, a cuánta calidad ambiental o eficiencia económica *están dispuestos* a renunciar con el propósito de lograr ciertos objetivos sociales y viceversa. Esto es realmente una definición de la tasa de descuento social. Ambas relaciones son dinámicas y cambian en el tiempo.

### *Agricultura sostenible*

Las definiciones de agricultura sostenible, como en el caso del desarrollo sostenible, pueden variar considerablemente. La mayor parte de ellas incluye no sólo aspectos técnicos y ecológicos, sino también reflexiones acerca de por qué la agricultura tiene que ser sostenible (el objetivo), y cómo este objetivo puede ser alcanzado.

1. La mayoría de los autores discuten acerca de la agricultura sostenible en el contexto de la *satisfacción de las necesidades y la suficiencia alimentaria*. Enfatizan el papel que la agricultura debe jugar, especialmente en países en desarrollo donde la brecha entre una población creciente, necesidades reales de alimentos y producción tiene que cerrarse. Una agricultura sostenible es por lo tanto un tipo de agricultura cuya productividad permite llenar las necesidades cambiantes de la población actual y futura manteniendo intacto su potencial productivo (BIFAD/USAID 1988; FAO 1991; GICAI 1990; Young 1989; Repetto 1986; Faini y de Melo 1990 citados en Ruttan 1991; Girt 1990). Por esta razón, los recursos naturales deben ser manejados de una manera racional.
2. Un segundo grupo de autores utiliza un *enfoque de sistemas* y discurre acerca de las *características necesarias de un ecosistema o de un agroecosistema para ser sostenible*. Con respecto al manejo de los sistemas de producción o agroecosistemas, se han enfatizado la resiliencia, estabilidad, productividad y eficiencia como aspectos fundamentales de la sostenibilidad. Adicionalmente, se menciona "equidad" como una importante propiedad de los agroecosistemas sostenibles, y se hace referencia a una distribución uniforme o justa de los productos del sistema (Conway 1983; Conway y Barbier 1988; Fresco 1989; Gutié-

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

rez 1994; Baldares *et al.* 1993). Algunas definiciones se refieren a producción agrícola sostenible dentro de los límites de una "capacidad de carga" del ambiente<sup>4</sup> (Krusemann *et al.* 1993: 13).

Algo que ambos grupos tienen en común es el mantenimiento del *potencial de producción agrícola* como una condición generalmente reconocida para la agricultura sostenible. El significado de este potencial de producción, sin embargo, se ve de diferentes maneras, especialmente en relación con la importancia de la preservación de las especies y de la fauna y flora naturales en el proceso de producción. Adicionalmente, algunos autores argumentan que las necesidades podrían cambiar a lo largo del tiempo, no sólo en cantidad, a medida que la población se incrementa, sino en calidad y composición en la medida en que las futuras poblaciones puedan tener preferencias distintas y encontrarse con diferentes condiciones de vida. Esto implica que tanto las presentes como las futuras generaciones deben tener el mismo nivel de libertad para escoger, lo cual tiene repercusiones sobre el grado en el cual los ecosistemas podrían haber sido cambiados irremisiblemente por la agricultura. La agricultura sostenible por tanto significa la maximización de la producción bajo la restricción de que la base de recursos naturales se mantenga intacta. La definición misma de base de recursos naturales está aún en debate.

### ***Enfoques Recientes para Medir la Sostenibilidad del Desarrollo y la Agricultura***

Los enfoques actuales para la evaluación de la sostenibilidad se pueden clasificar en cuatro grupos:

1. Enfoques que tratan de valorar los costos ambientales en el marco de las *cuentas nacionales*. Existen diversos métodos, desde el registro por satélite de los recursos naturales hasta enfoques más integrados tales como "la contabilidad verde", donde los costos ambientales forman parte del presupuesto de la nación (El Serafy 1992; Bartelmus 1991; Daly y Cobb 1989).

---

4 Esta se puede definir como la cantidad de materia biológica que un sistema puede rendir con una técnica de producción específica a lo largo de un período de tiempo, sin menoscabar su habilidad para continuar produciendo, o el número de organismos que puede soportar sin degradarse.

2. *Análisis de impacto ambiental (AIA)*, especialmente a nivel de proyectos. La mayor parte de los AIA, tales como los procedimientos usados por las instituciones financieras internacionales y las agencias a cargo de llevar a cabo proyectos de desarrollo, usan una matriz de evaluación cualitativa. En un lado de la matriz, se enumeran los factores que podrían producir impactos ambientales negativos, mientras que el otro lado presenta las características ambientales que podrían ser afectadas (Banco Mundial 1991). El evaluador tiene que decidir cuáles factores y efectos son relevantes.
3. *Elaboración de modelos ecológico-económicos*: Si se considera que la economía está inserta en el ambiente y que hay numerosas interacciones entre los sistemas económicos y ecológicos (Jarosch 1990), los actuales modelos económicos de decisión pueden ser combinados con modelos ecológicos en los cuales se simulan diversos procesos ambientales (erosión, nitrificación, etc.).
4. *Indicadores*: Durante las dos últimas décadas, un cierto número de países empezaron a elaborar estadísticas ambientales con el fin de definir indicadores. De acuerdo con Adriaanse (1993), *los indicadores son una herramienta para agregar y simplificar información de naturaleza disímil de una manera útil y ventajosa*. Esto es, un indicador de sostenibilidad es un número o una cualidad que pone de manifiesto el estado o condición de un proceso o fenómeno dados en relación con la sostenibilidad.

Los cuatro enfoques tienen sus justificaciones y satisfacen diversas necesidades de información. Tomando en cuenta la importancia de las *cuentas nacionales* y del PNB como criterios para la toma de decisiones, la consideración de los costos ambientales es fundamental porque el PNB tradicional puede inducir a error.

*La elaboración de modelos económico-ecológicos* ha producido resultados útiles, especialmente en países desarrollados (Jarosch 1990; Dehio 1993), donde los datos y equipo necesarios están disponibles y las restricciones de fondos son menos severas. La mayor parte de los modelos ambientales de mayor envergadura, no obstante, requieren una cantidad considerable de datos que con frecuencia no están disponibles en el caso de los países en desarrollo.

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

Los *análisis de impacto ambiental* tienen que ser una parte integrante de todo diseño de proyecto, incluso si no se pueden cuantificar impactos negativos o positivos. El hecho de que los impactos ambientales sean tomados en cuenta desde el inicio y que, en el caso de los impactos negativos, se identifiquen alternativas, resulta sin duda un paso importante hacia el desarrollo sostenible.

Los *indicadores*, sin embargo, tienen un uso más general. Se pueden definir con diferentes grados de precisión y agregación de acuerdo con el objetivo del análisis y las bases de datos disponibles. El PNB, por ejemplo, puede considerarse un indicador muy agregado, pero los indicadores pueden también definirse a niveles de inferior jerarquía; así, proveen información de una manera más detallada y desagregada, la cual permite la identificación de áreas críticas o "insostenibles" dentro de una economía, e incluso la detección de un ligero progreso en algunos casos, lo que puede desaparecer en un índice agregado o "PNB verde". Los indicadores deben ajustarse a las condiciones específicas de un sistema, para lo cual se pueden diseñar modelos para evaluar las variables y procesos asociados y predecir valores para los indicadores. Los indicadores deben servir como una base para la elaboración de modelos económico-ecológicos y para el análisis de impacto ambiental.

### *Investigación actual sobre indicadores*

La importancia que ha cobrado el enfoque de indicadores se refleja en los numerosos esfuerzos de instituciones a diversos niveles para definir conjuntos de indicadores de acuerdo con sus respectivos propósitos. Los países miembros de la OCDE, por ejemplo, han identificado un cierto número de indicadores en relación con la contaminación del agua y el aire, uso de energía, agricultura y pesca, producción de desechos tóxicos, etc. (OCDE 1991). El *World Resources Institute (WRI)* (Instituto de Recursos Mundiales) publica regularmente estadísticas acerca de la cantidad y calidad de los recursos naturales (WRI 1993). El PNUD publica anualmente estadísticas sobre desarrollo, calculando un "Índice de Desarrollo Humano" confeccionado a partir del gasto público en salud, educación y los restantes sectores sociales (PNUD 1991).

El Banco Mundial está preparando un informe anual sobre el progreso mundial en la búsqueda de un desarrollo ambiental sostenible (DAS). Un marco tentativo está basado en el de la OCDE para indicadores am-



bientales (presión, estado, respuesta), agregando elementos socioeconómicos claves y una agrupación de temas ambientales (O'Connor 1994). Con el fin de abocarse a los temas específicos referidos a la tierra que son de significación nacional y global, y considerando que la base empírica para la toma de decisiones sobre degradación del suelo es débil, el Banco Mundial llevó adelante una Iniciativa para el Indicador de Calidad del Suelo en cooperación con el PNUMA, FAO, PNUD, GICAI y otras instituciones que trabajan actualmente en esta área.

La FAO está desarrollando un *modelo de análisis de política agrícola* llamado K-2 que liga el proceso de política y planificación a las condiciones sociales y recursos naturales de un país, con el fin de permitir a los decisores de política y planificadores diseñar diferentes escenarios de desarrollo sostenible en el sector rural (Tschirley 1993).

El Comité Científico sobre Problemas del Ambiente (SCOPE) ha comenzado un proceso de desarrollo de indicadores en el seno de la comunidad científica y académica. Si bien se empezó con las necesidades de los usuarios de indicadores, cuya evaluación es crucial para el desarrollo de indicadores que puedan cumplir con su papel de herramientas para la toma de decisiones, el énfasis ahora se está desplazando hacia temas científicos y académicos que fundamentan los indicadores de desarrollo sostenible.

La AID ha trabajado en un cierto número de indicadores que deben reflejar los *impactos de las actividades de los proyectos* sobre los recursos naturales (Weber 1990). En un estudio sobre las opciones para una estrategia ambiental en América Latina (WRI/USAID/LAC 1991), se han diferenciado tres tipos de indicadores: i) indicadores que describen la disponibilidad de recursos; ii) indicadores que se refieren a la productividad; e iii) indicadores relacionados con la eficiencia.

Ruitenbeek (1991) define cinco criterios de selección, los cuales incluyen el comportamiento humano como parte de la equidad del ecosistema, y enfatiza que los indicadores no sólo deberían servir para el análisis *a posteriori*, sino también para proyectar el futuro. En este contexto, recalca la incertidumbre que existe en relación con el comportamiento y la reacción del ecosistema, lo cual hace necesaria la determinación de "valores críticos". Torquebiau (1989) y Avila (1989) proponen la selección de indicadores para diversos tipos de recursos, manejo de recursos y rendimiento de los recursos.

## ***Operacionalización de la Sostenibilidad por Medio de la Definición de Indicadores***

Los indicadores deben constituirse en instrumentos para hacer la sostenibilidad más operacional. Sin embargo, es importante tener en mente que no existen indicadores universales, sino más bien que estos deben ser ajustados a las necesidades de información que presuponen las decisiones que estos indicadores deben apoyar. ¿Estamos tratando con un diagnóstico que permita elaborar recomendaciones *ex ante* para proyectos, programas o políticas? ¿O se debe elaborar un sistema de monitoreo? ¿Queremos proyectar la sostenibilidad de un sistema dado en el futuro? o ¿Estamos haciendo un análisis *ex post* para investigar los efectos de cierta intervención?

Si queremos analizar la *situación actual* con el fin de identificar los puntos críticos relacionados con el desarrollo sostenible, necesitaremos con frecuencia información de lo pasado como puntos de referencia, razón por la cual los indicadores tienen que ser seleccionados en forma correspondiente. El análisis *ex post* ligado a la sostenibilidad de políticas, programas y proyectos requiere varias series tiempo (de datos), y un importante criterio para la selección de los indicadores es la disponibilidad de las correspondientes series de tiempo. Si estamos haciendo un análisis *ex ante*, la disponibilidad de datos es también importante, porque se debe pronosticar una tendencia. El pronóstico tiene que estar basado en experiencias y en conocimiento comprobado acerca de las relaciones entre diferentes factores que no siempre deben extraerse de la misma región. Las experiencias de fuera del área de investigación se pueden usar si se han obtenido de un tipo similar de sistema o bajo condiciones similares.

El conjunto de indicadores para el *análisis ex ante* no necesariamente tiene que ser idéntico al conjunto de indicadores usados para el *monitoreo*. En el primer caso, la información disponible es un factor limitante mientras se pueda generar información adicional por medio del monitoreo. Así, el conjunto de indicadores se puede mejorar paso a paso. Sin embargo, para permitir la verificación de los supuestos del análisis *ex ante*, los indicadores *ex ante* tienen que ser definidos lógicamente en relación con los indicadores escogidos para el monitoreo. El Cuadro 1 muestra, mediante tres ejemplos, que el nivel de agregación, los problemas que serán analizados y el tipo de intervención determinan las áreas en las cuales los indicadores deben ser seleccionados.

**Cuadro 1. Ejemplos de cómo determinar las áreas en que se deben seleccionar los indicadores.**

<b>Ejemplo 1</b>	
<b>Nivel jerárquico:</b>	Cuenca
<b>Intervención:</b>	Introducción de un sistema de irrigación por gravedad para pequeños agricultores
<b>Preguntas que deben hacerse:</b>	¿Cuáles son los impactos ecológicos, económicos y sociales del sistema de irrigación a nivel regional? Con base en la experiencia se puede enumerar una serie de factores: los factores ecológicos, tales como la erosión hidrológica, la contaminación del suelo y el agua por el uso intensivo de pesticidas y fertilizantes, y el uso inadecuado del agua; los factores sociales, incluyendo la organización de los agricultores para el manejo y mantenimiento del sistema, cambio de sistemas tradicionales de uso de la tierra; y los factores económicos, tales como las posibilidades de comercializar la producción adicional.
<b>Ejemplo 2</b>	
<b>Nivel jerárquico:</b>	Cuenca
<b>Intervención:</b>	Cambio en el uso de la tierra durante los últimos 20 años, habiéndose pasado del manejo extensivo de ganado a la producción intensiva de vegetales.
<b>Preguntas que deben hacerse:</b>	Análisis <i>ex post</i> de los impactos ecológicos, económicos y sociales del cambio en el uso de la tierra, con los siguientes factores críticos: ecológicos, tales como la erosión, contaminación del suelo y del agua, y biodiversidad; factores sociales, incluyendo cambios en el tamaño de la finca, fuerza laboral, diferenciación social de clase entre los agricultores ("modernos" y "tradicionales"), dependencia de insumos externos, problemas de salud creados por el uso excesivo o imprudente de plaguicidas; económicos, incluido el cambio en los ingresos de la familia, y dependencia de los mercados externos.

**Cuadro 1. Continuación.**

<b>Ejemplo 3</b>	
<b>Nivel jerárquico:</b>	Finca
<b>Intervención:</b>	Introducción de medidas de conservación del suelo a nivel de la finca (pequeños agricultores).
<b>Preguntas que deben hacerse:</b>	Efectos ecológicos, económicos y sociales esperados a causa de las prácticas a nivel de finca, con los siguientes factores críticos: socialmente, la aceptación de las prácticas de conservación por parte de los agricultores, y la conciencia de que la erosión es un problema; factores económicos, incluyendo costos y trabajo necesarios para las prácticas de conservación; factores ecológicos, tales como la efectividad en la protección del suelo y el tratamiento de impactos ecológicos que no habían sido previstos.

A nivel general y mundial, se seleccionan los indicadores de acuerdo con un marco metodológico específico (el modelo estado-presión-respuesta de la OCDE) y se busca un consenso en la sociedad por medio de grupos de trabajo interagenciales e internacionales. Al nivel jerárquico más bajo (i.e. cuenca, comunidad, finca, etc.), no existe tal marco común, sino que los indicadores se definen de acuerdo con la sabiduría común (o los prejuicios comunes), o de acuerdo con la experiencia específica de la persona que los seleccionó; frecuentemente no se da una justificación para la elección de los indicadores, haciendo difícil usarlos como instrumentos de evaluación o herramientas para la toma de decisiones.

De esta manera, se necesita algún tipo de marco metodológico con criterios que aseguren que la selección de indicadores no sea arbitraria o puramente subjetiva; que los criterios para la selección de los indicadores y sus respectivos supuestos sean transparentes; que sean considerados todos los aspectos de alguna significación para la sostenibilidad en un sistema. En la presente investigación, el marco analítico debe funcionar como una ruta lógica para el análisis de la sostenibilidad del uso del suelo en los niveles jerárquicos seleccionados. La ruta orienta el desarrollo de los indicadores, los cuales relacionan la forma de uso del suelo bajo investigación con las condiciones ambientales, económicas y sociales, que a su vez determinan si esa forma de manejo de la tierra es sostenible o si conducirá a la sostenibilidad.

# MARCO METODOLOGICO PARA LA DEFINICION DE INDICADORES<sup>5</sup> EN AGRICULTURA

## *Enfoque de Sistemas para Analizar la Sostenibilidad de la Agricultura*

El enfoque de sistemas es un método analítico apropiado para comprender la complejidad de los temas específicos de la sostenibilidad en la agricultura (Conway 1983; Avila 1989; Torquebieau 1989). La desagregación del sistema en sus componentes, el análisis de su estructura y función, la identificación de interacciones relevantes y la determinación de una jerarquía para entender los ligámenes e interacciones con otros niveles de sistemas constituyen elementos básicos para comprender, intervenir eficazmente y medir los efectos de los cambios inducidos en el sistema.

Por lo tanto, el reto consiste en fijar el esquema jerárquico apropiado que permita comprender los niveles críticos en los cuales los principales instrumentos de desarrollo se aplicarán para acelerar el proceso de desarrollo socioeconómico; se determinarán con ello los componentes críticos y procesos en los cuales los efectos de los cambios esperados puedan influir en la sostenibilidad. Esta jerarquía puede incluir una variedad de ni-

---

5 Considerando que existe confusión en relación con lo que se propone con un indicador y cuál es la diferencia entre un indicador y una variable y un índice, se explica a continuación el significado de los diferentes términos técnicos tal como serán usados en este documento:

- Los indicadores son instrumentos para apoyar la toma de decisiones; esto es, proveen información en relación con el pasado y los posibles impactos futuros de las decisiones.
- Los indicadores pueden consistir en una sola variable, algunas variables o un índice. Un índice se define como la proporción entre los valores de una variable en diferentes momentos (Adriaanse 1993). Un índice puede ser construido también a partir de la razón entre diferentes valores.
- Las variables son elementos de una función.
- Los datos representan la información no procesada en relación con una variable.
- Las estadísticas presentan datos de una manera organizada y los datos son procesados con frecuencia.

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

veles, tantos como se necesiten para captar las principales interrelaciones en los diversos puntos en el proceso objetivo (Dumanski *et al.* 1993).

En el caso de las intervenciones que provienen de programas de desarrollo agrícola regional, la mayor parte de las actividades son llevadas a cabo a nivel de finca y de cuenca hidrográfica. En cambio, los programas de desarrollo agrícola regional generalmente dependen de una unidad de toma de decisiones como punto de entrada para provocar una reacción a una intervención del proceso de desarrollo (Escobar 1994). En la mayor parte de los casos, la unidad de decisión se encuentra a nivel de finca (incluso cuando entidades de mayor nivel en la jerarquía dictan inicialmente una política particular o una regulación). Los impactos de los programas de desarrollo, sin embargo, pueden también ser medidos a nivel sectorial.

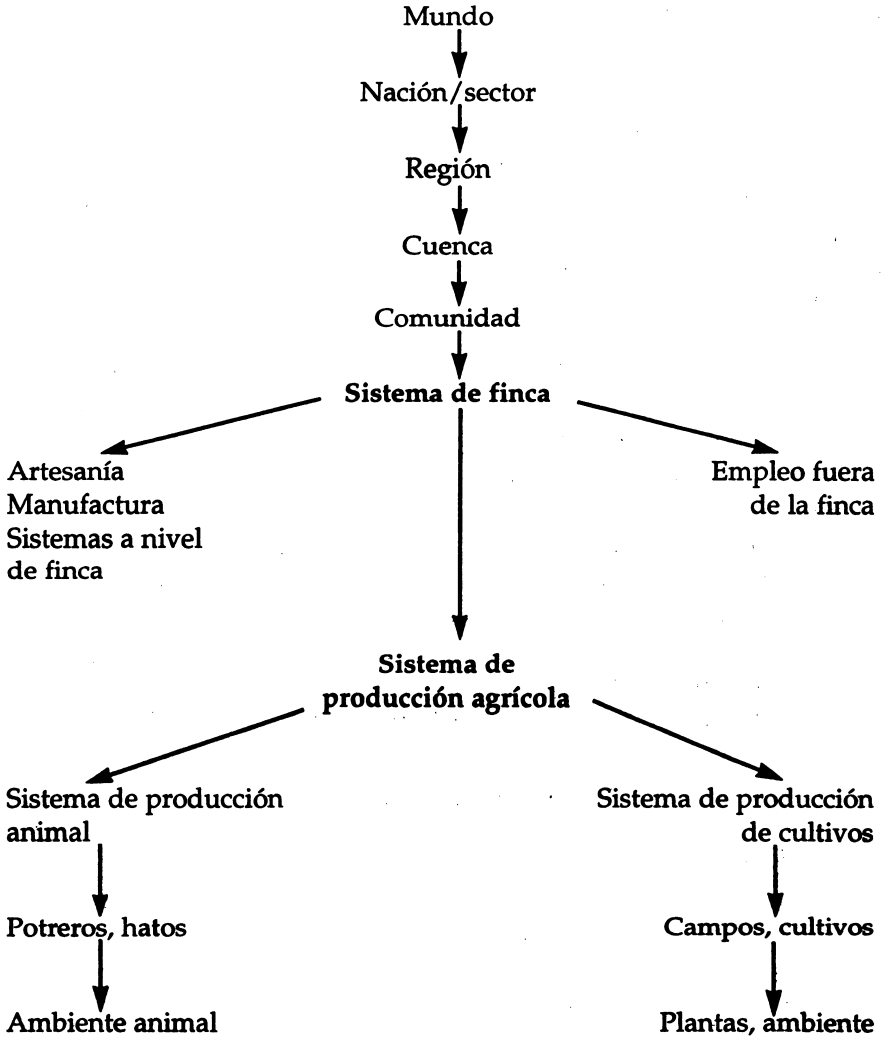
Así, para los fines de la presente investigación, la sostenibilidad de la agricultura es equivalente a "manejo sostenible de agroecosistemas"<sup>6</sup> cuando se consideran las dimensiones económicas, ecológicas y sociales de la sostenibilidad tal como se ha definido en la sección anterior. Los agroecosistemas pueden ser estudiados en los diferentes niveles jerárquicos, como se muestra en la Figura 2.

Los diversos niveles de los agroecosistemas se influyen unos a otros por medio de su contacto. El sistema de la finca, con su producción de plantas y animales, perturba los ecosistemas naturales que lo rodean. Su mecanismo autorregulador será reemplazado parcialmente por intervenciones humanas, tales como la aplicación de fertilizantes y de productos para la protección de las plantas. Esto conduce a un debilitamiento del sistema de defensas que protege al sistema del estrés externo (Conway y Barbier 1988). Los efectos que son el resultado de la actividad agrícola, por ejemplo la contaminación causada por pesticidas, son relevantes para la finca misma y para los sistemas locales y regionales que la ro-

---

6 "Los agroecosistemas son entidades definidas regionalmente, manejadas con el propósito de producir alimentos, fibras y otros productos agrícolas, incluyendo plantas y animales domésticos, elementos bióticos y abióticos de los suelos que los sustentan, redes de drenaje, y áreas adyacentes que dan sustento a la vegetación natural y la fauna silvestre. Los agroecosistemas incluyen explícitamente a la gente, tanto productores como consumidores, entre los elementos esenciales, y por consiguiente tienen dimensiones socioeconómicas y de salud pública, así como dimensiones ambientales". (Waltner-Toews 1993: 3).

dean. Como consecuencia lógica, los indicadores no sólo deben determinarse para el nivel del sistema a ser investigado, sino también para los sistemas circunvecinos que son influenciados.



**Figura 2. La jerarquía de los agroecosistemas.**

Fuente: Figura 3: The hierarchy of agroecosystems, en Conway y Barbier 1988: 657.

## *Propiedades de los Agroecosistemas Sostenibles*

La desagregación de los componentes del sistema y sus interacciones relevantes son aspectos básicos del análisis de sistemas. En el caso de los agroecosistemas, los diversos elementos lo constituyen los recursos ahí invertidos cuyas interacciones se manifiestan por el funcionamiento o desempeño del sistema.

Los recursos incluyen elementos como: agua, suelo, flora, fauna, aire, capital humano, bienes culturales y paisajes con características únicas. En relación con el desempeño del sistema, Avila argumenta que éste debe distinguirse del manejo del sistema (i.e., insumos, energía, uso de la tierra) y de los productos del sistema (i.e. producción, desechos, residuos) (ICRAF 1987).

Así, la sostenibilidad del sistema puede determinarse por medio de indicadores que describen el estado de los diversos componentes, o más específicamente, por la *calidad y cantidad de los distintos recursos* del sistema y/o por medio de indicadores que miden la tasa a la cual ocurren cambios en el estado o el *desempeño* del sistema. Lo último caracteriza la *tasa* de un proceso (v. gr., pérdida de suelos o de nutrientes del suelo por ha por año), mientras que lo primero describe el *estado* de un proceso (v. gr., pH del suelo o materia orgánica).

Adicionalmente, de acuerdo con el modelo propuesto por Gutiérrez (1994) y las definiciones de agricultura sostenible discutidas anteriormente, se han considerado por lo menos cuatro importantes propiedades de los agroecosistemas sostenibles:

1. **Productividad:** La productividad puede ser definida como el *producto por unidad de insumo*. Se refiere a la manera en que los factores o insumos de la producción se combinan para generar productos, i.e. las proporciones de conversión de cada insumo en productos:  $(\frac{\sum_{j=1}^n O_j}{\sum_{i=1}^k I_i})$ . Normalmente, se mide la productividad en unidades físicas, excepto cuando los componentes de los insumos y productos son extremadamente heterogéneos; por consiguiente, deben ser ponderados comúnmente con índices de precios (Schäfer 1987). La productividad está fuertemente relacionada con la eficiencia técnica, la cual se defi-



ne como el máximo nivel obtenible de producto dado un cierto nivel de insumos. Se puede medir como el producto real dividido por el máximo producto, dado un cierto nivel de insumos ( $O_{\text{real}} / O_{\text{máx}} \mid I =$  nivel dado de insumo) o la razón entre el uso del insumo mínimo y el nivel de uso real ( $I_{\text{mín}} / I_{\text{real}} \mid Q =$  nivel dado de producto (Farrel, Pearson y Campbell 1957).

2. **Estabilidad:** *Constancia de la productividad del agroecosistema, mes a mes y año a año, en presencia de las fluctuaciones y ciclos normales en el ambiente que lo rodea debido a variaciones causadas por el clima o la demanda del mercado por productos agrícolas (Conway 1983).* En contraste con la productividad, la que está referida a un nivel, la estabilidad se refiere a la variabilidad de la tendencia. Se puede medir con un coeficiente de variación ajustado de tendencia:

$$\sigma^{2*} = 1/n \sum_{i=1}^n (x_i - x_i^*)^2 \text{ y } v^* = \sigma^*/M$$

donde  $x_i^*$  = valor tendencial de la variable  $x$  y  $\sigma^{2*}$ ,  $\sigma^*$ ,  $v^*$  = variancia ajustada de tendencia, desviación estándar ajustada de tendencia y coeficiente de variación ajustado de tendencia.

3. **Resiliencia:** *Capacidad del agroecosistema de mantener la productividad, en presencia de estrés o de una perturbación importante.* El estrés se define como un fenómeno frecuente, una fuerza a veces continua, relativamente pequeña y predecible que tiene un gran efecto acumulativo. La perturbación o *shock* se define como un evento importante, relativamente de amplia envergadura e impredecible. El estrés puede ser causado por técnicas de manejo inadecuadas, mientras que la perturbación puede ser un efecto más importante, tal como una nueva plaga, una extraña sequía o un incremento súbito en los precios de los insumos (Conway 1983).

La resiliencia se puede medir a través de la observación de la tendencia de largo plazo de la productividad. Si la productividad muestra una tendencia hacia abajo o abruptos decrecimientos sin volver a su nivel original, esto significa que el sistema no es capaz de amortiguar la acción de cualquiera haya sido el factor influyente y mantener la productividad.

¿cómo medir la sostenibilidad?

4. **Equidad:** *Se refiere a la manera en que se comparten los beneficios y costos de los sistemas de producción; se puede definir como la distribución uniforme de la productividad del sistema entre los beneficiarios humanos (Conway y Barbier 1988). La equidad también puede ser analizada en relación con el acceso de los diversos grupos sociales a los recursos del sistema. La equidad puede ser descrita mediante medidas de concentración absoluta, v. gr., el Índice de Herfindahl:*

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{(\sum_{j=1}^n x_j)^2}$$

donde  $X_i$  es el valor del  $i$ -ésimo elemento, o mediciones de concentración relativa tales como el coeficiente de Gini:  $K_G = F_0 / (F_0 + F_U)$  donde  $F_0$  = área entre la diagonal y la curva de Lorenz y  $F_U$  = área máxima entre la diagonal y la curva de Lorenz.

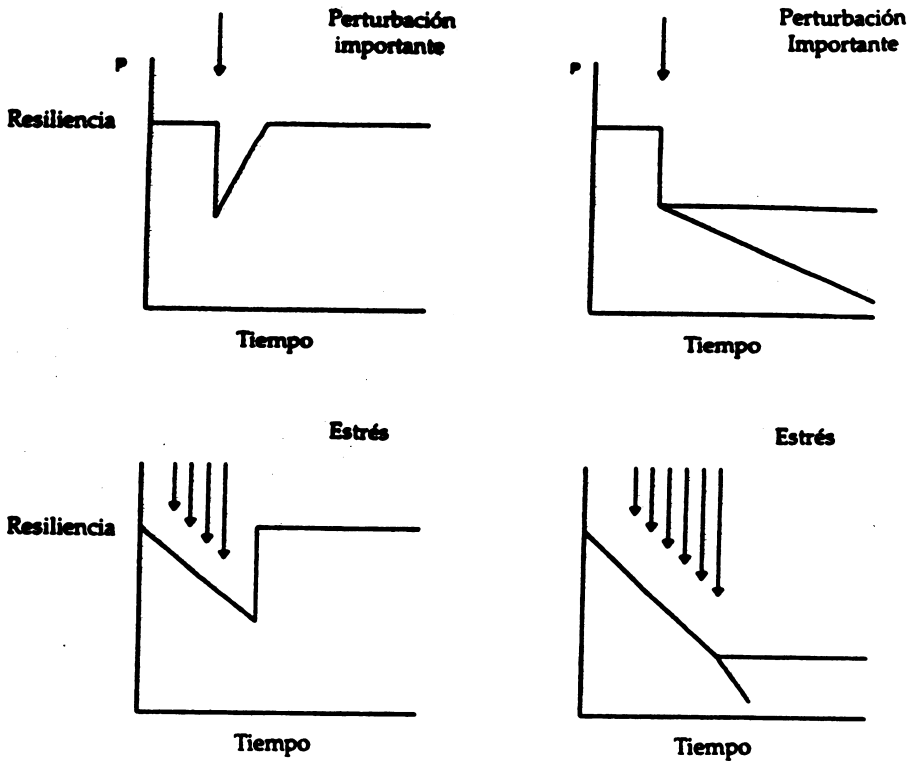


Figura 3. Resiliencia .

## ***Una Matriz para la Selección de Indicadores***

La sostenibilidad tiene tres dimensiones: ecológica, económica y social. La agricultura sostenible ha sido equiparada al manejo sostenible de agroecosistemas. Los agroecosistemas pueden describirse por el estado de sus recursos y su desempeño; y al respecto se han discutido cuatro propiedades fundamentales de los agroecosistemas sostenibles. Estos criterios pueden ser dispuestos en forma de matriz, como se muestra en la Figura 2. Los indicadores pueden ser seleccionados de acuerdo con las características de las diferentes celdas de la matriz: por ejemplo, los indicadores que describen la productividad ecológica/biofísica de los diversos recursos aparecen en una celda, mientras que en la celda siguiente se analiza la productividad desde un punto de vista económico. (El Anexo presenta una explicación más amplia de los contenidos potenciales de cada celda).

Algunas de las celdas, sin embargo, pueden contener los mismos indicadores. Dado que la mayor parte de los procesos e indicadores muestran interacciones, algunos indicadores pueden usarse para estimar los diferentes efectos de los procesos.

En cambio, algunas de las celdas pueden permanecer vacías cuando no se puede encontrar indicadores apropiados para un caso específico. La utilidad de la matriz consiste en que ayuda a incluir todos los aspectos importantes en el análisis y a servir de ruta para el proceso de selección de indicadores.

Los indicadores, entonces, tienen que pasar por un proceso de selección en el cual deben ser evaluados a la luz de una serie de criterios de calidad, especialmente eficacia/costo, su poder explicativo y significación en relación con el problema específico:

- *Los indicadores deben ser fáciles de medir y su definición debe ser eficiente desde un punto de vista de costos.*
- *Los indicadores deben tener correspondencia con el nivel de agregación del sistema bajo consideración.*
- *Debe ser posible repetir las mediciones a lo largo del tiempo.*
- *Los indicadores deben dar una explicación significativa con respecto a la sostenibilidad del sistema observado.*

DIMENSION	Ecológica		Económica		Social	
	Recursos	Desempeño	Recursos	Desempeño	Recursos	Desempeño
PROPIEDAD	ERP1	EDP1	ORP1	ODP1	SRP1	SDP1
	ERPn	EDPn	ORPn	ODPn	SRPn	SDPn
Estabilidad	ERS1	EDS1	ORS1	ODS1	SRS1	SDS1
	ERSn	EDSn	ORSn	ODSn	SRSn	SDSn
Resiliencia	ERR1	EDR1	ORR1	ODR1	SRR1	SDR1
	ERRn	EDRn	ORRn	ODRn	SRRn	SDRn
Equidad	ERE1	EDE1	ORE1	ODE1	SRE1	SDE1
	EREn	EDEn	OREn	ODEn	SREn	SDEn

E = Indicadores ecológicos, O= Indicadores económicos, S= Indicadores sociales  
 P = Productividad, S= Estabilidad, R= Resiliencia, E= Equidad

Figura 4. Matriz para la definición de indicadores de sostenibilidad.

- *Deben adaptarse al problema específico que se quiere analizar y a las necesidades de los usuarios de la información.*
- *Deben ser sensibles a los cambios en el sistema.*
- *Los indicadores individuales siempre deben ser analizados en relación con otros indicadores.*
- *Deben dar información básica, con el fin de permitir la evaluación de los trade-offs entre las diferentes dimensiones de la sostenibilidad.*

### ***Aspectos Críticos y Limitaciones del Enfoque de Indicadores: La Necesidad de un Sistema de Referencia y Problemas de Agregación***

La matriz presentada anteriormente estructura el proceso de selección de indicadores y lo hace más transparente; sin embargo, no garantiza una escogencia totalmente objetiva y deja bastante margen todavía para los juicios de valor.

Los indicadores individuales tienen que ser analizados en relación con otros indicadores. Con el fin de evitar falsas interpretaciones, debería especificarse claramente cuáles indicadores contribuyen con una explicación significativa y cuáles indicadores deben usarse en conjunto con otros. Si, por ejemplo, se mide el desarrollo de la productividad regional del suelo por medio del indicador rendimiento/hectárea, se deben observar series durante un plazo suficientemente largo para separar la variación de los rendimientos causada por las fluctuaciones climáticas anuales; por la misma razón, los cambios en los insumos y en el uso de la tierra, y sus respectivos impactos sobre el rendimiento deben ser tomados en cuenta. El indicador rendimiento promedio/hectárea podría conducir a interpretaciones erróneas en relación con la sostenibilidad si no se incluyen los otros aspectos.

Aspectos cualitativos, tales como diversidad espacial y biodiversidad, importantes para la resiliencia ecológica del sistema, o fertilidad del suelo (importante para la productividad), son a menudo difíciles de tomar en cuenta en forma explícita y de cuantificarse en esta matriz. Sin embargo, tales aspectos son generalmente una mezcla de procesos que

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

pueden ser cuantificados más fácilmente, v.gr. fertilidad del suelo que puede subdividirse en procesos químicos, físicos y biológicos.

Teniendo en cuenta que los indicadores son diferentes según el respectivo sistema, la pregunta podría ser la siguiente: ¿Cómo pueden compararse diferentes sistemas y cómo puede evaluarse el desempeño de un sistema? Dado que no es posible una evaluación sin un sistema de referencia, los indicadores deben ser comparados con valores de referencia. Esto permite determinar el grado en que se ha alcanzado la sostenibilidad, o por lo menos ayuda a encontrar cuál alternativa, dentro de un conjunto de alternativas, se acerca más a una situación sostenible.

### *La necesidad de un sistema de referencia*

De acuerdo con Adriaanse (1993) y la OCDE (1993), existen varias maneras de definir los valores de referencia:

- **Valores históricos**, que representan supuestamente una situación sostenible. El gobierno holandés, por ejemplo, está utilizando el año 1930 como referencia para la calidad del agua del Mar del Norte.
- **Valores meta**, tales como algunos estándares de calidad del agua establecidos por el gobierno. Los valores meta y, en cierta medida, los valores históricos son subjetivos, razón por la cual es necesario establecer para su implementación cierto grado de consenso en la sociedad que va a verse afectada.
- **Valores límite**, o valores críticos de los indicadores. Se puede esperar que una cantidad superior al valor crítico de un indicador tenga impactos negativos significativos. Se supone que los valores límite han sido definidos científicamente y que por lo tanto son menos subjetivos.

Para ciertos indicadores que ya están en uso, los valores límite bien fundamentados pueden ser una medida útil. Estándares ecológicos, tales como los valores extremos para la degradación tolerable de los recursos, pueden deducirse parcialmente de las ciencias naturales. Los valores límite se pueden basar en normas definidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Agri-

cultura y la Alimentación (FAO) y otras organizaciones internacionales y legales, pero para otras características deben adoptarse valores más normativos, especialmente en relación con ciertos indicadores económicos y sociales. Por ejemplo, no se conoce un valor límite para la equidad después del cual empieza la intranquilidad social. Los salarios mínimos que reflejan la satisfacción de necesidades básicas pueden ser considerados como valores límite, los cuales, si se sobrepasan pueden causar problemas de salud. Sin embargo, caen normalmente en la categoría de valores meta, dado que el concepto de necesidades básicas varía de país a país y refleja con mucha frecuencia juicios de valor.

Si no existen valores límite y no se puede llegar a un consenso social en relación con los valores meta, existen dos opciones adicionales que, si bien no permiten ninguna evaluación con respecto a si un sistema es o no sostenible, dan sin embargo una idea aproximada de su posición relativa en relación con el desarrollo pasado y sistemas similares:

- *Tendencias* en el desarrollo del valor de un indicador, tales como tendencias en pérdida de suelos, tendencias en los niveles de ingreso y su distribución, etc.
- *Valores promedio* de sistemas similares, como cuando se compara Costa Rica con los valores promedio de América Central.

La definición de valores de referencia es uno de los puntos más críticos en la discusión de indicadores. Si los indicadores son usados sólo con propósitos de monitoreo, podría no ser necesario, pero cualquier evaluación de una situación dada y la comparación de diferentes alternativas dependen fuertemente de qué tipo de valores de referencia se han seleccionado.

Una de las ventajas comparativas del enfoque de indicadores se funda en el hecho de que describe el sistema de una manera desagregada, lo cual permite la identificación de áreas críticas en relación con la sostenibilidad que pueden ser pasadas por alto en un índice más agregado. Sin embargo, cuando se comparan diferentes alternativas con el fin de determinar cuál es preferible desde un punto de vista de sostenibilidad, es necesaria una cierta agregación.

### ***Agregación de indicadores***

Existen distintas categorías de agregación: por ejemplo, agregación espacial, agregación temporal y agregación sectorial. Sin embargo, cualquiera sea la categoría que se use, debe encontrarse un común denomi-

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

nador para los diversos indicadores, ello con el fin de que podamos agregarlos. Frecuentemente, este común denominador se obtiene dando un valor económico a las variables que componen el indicador. La economía de los recursos y la economía ambiental han desarrollado instrumentos para evaluar desde una perspectiva económica los impactos ecológicos (valor para el usuario, valor de la opción, valor de contingencia, etc.).

Cuando esto no sea posible, los diferentes sistemas se pueden comparar por su distancia con los valores de referencia correspondientes (Adriaanse 1993). Un sistema donde la mayor parte de los indicadores están cerca de alcanzar un valor de referencia (i.e. un valor meta) puede ser considerado más sostenible que un sistema donde los valores de los indicadores son distantes. En el caso de valores límite, los cuales suponemos normalmente que no deben ser sobrepasados, un sistema puede ser valorado como más sostenible cuando los valores de sus indicadores están mucho más alejados o por debajo de los valores límite (si hay valores límite mínimos o máximos, respectivamente). La agregación podría efectuarse de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$SI = 1/100 * \sum_{i=1}^n IV_i * WF_i$$

$$WF_i = 100/TV_i$$

donde:

SI = Índice de sostenibilidad

WF<sub>i</sub> = Factor de ponderación del indicador i

TV<sub>i</sub> = Valores meta del indicador i

Sin embargo, esta fórmula no toma en cuenta que podría variar la importancia que los diversos indicadores tienen en relación con la sostenibilidad; en vez de ello se supone que cada indicador tiene la misma influencia, lo que podría no reflejar la realidad. Esto podría cambiarse ponderando los indicadores de acuerdo con su importancia relativa, lo que sería, sin embargo, un proceso cargado de valoraciones, especialmente con respecto a la importancia relativa de los indicadores ecológicos, económicos y sociales. Para asegurarse que estas ponderaciones reflejen algún conocimiento científico y consenso social, se pueden llevar a cabo encuestas dirigidas a expertos, donde se entrevista a los científicos respectivos en relación con la importancia relativa de los indicadores dentro de



las tres dimensiones (ecológica, económica y social), y donde representantes de la sociedad dan su opinión en torno a la importancia relativa de los indicadores entre las dimensiones. En Alemania, se realizó una encuesta a expertos donde exponentes de las diversas disciplinas opinaron acerca de un catálogo de indicadores propuestos (Nieberg e Isermeyer 1994). Podría ser que no haya un indicador que todos los expertos consideren apropiado, y que la calificación de los indicadores entre expertos varíe considerablemente.

El análisis de utilidad, un enfoque usado especialmente en comercialización pero que ha sido también aplicado a temas tales como el potencial de los escenarios naturales para las diversas formas de uso de la tierra, estructura el proceso de agregación con el fin de hacerlo más transparente y general. El análisis de utilidad toma en consideración el hecho de que puede haber una relación entre los diversos indicadores, con lo cual pueden reforzarse o anularse entre sí. Así, agregar o sumar los indicadores en un índice puede conducir a error. De acuerdo con Bechmann (1978), el proceso de agregación en el análisis de utilidad puede llevarse a cabo de acuerdo con los siguientes pasos:

1. *Evaluación del nivel actual de cada indicador.*
2. *Definición de la contribución de cada indicador a la meta global (en nuestro caso sostenibilidad).*
3. *Identificación de las interrelaciones entre los diversos indicadores.*
4. *Con base en los pasos 1-3, cálculo de la contribución efectiva de cada indicador a la meta.*
5. *Agregación de los valores de los indicadores, ponderándolos de acuerdo con su respectiva contribución a la meta.*

Aunque este enfoque es más amplio, no puede ser considerado sin sesgos dado que los pasos 2-4 requieren un marco normativo. De lo anterior se sigue que cualquier tipo de agregación que se use debe realizarse de manera transparente en la cual se identifiquen claramente los supuestos y juicios de valor y se los considere en forma correspondiente en la interpretación de los resultados.



## APLICACION DEL MARCO METODOLOGICO EN ESTA INVESTIGACION

El marco metodológico discutido anteriormente ha sido implementado para calcular indicadores a nivel regional y local en un estudio de caso de una cuenca hidrográfica costarricense.

### *El Area de Investigación: Condiciones Agroecológicas y Sistemas de Producción Agrícola Prevalcientes*

La cuenca del río Reventado está localizada en Cartago, Costa Rica, y tiene un área de 2 152 ha de suelos volcánicos, riberas con laderas pronunciadas y laderas inestables. El lecho del río principal tiene 12 km de largo; es un típico río de montaña de 1 ó 2 m de ancho y 15 cm de profundidad durante la estación seca, y unos 5 m durante la estación lluviosa. El nacimiento del río se ubica 2 km al sureste del principal cráter del volcán Irazú, a una altura de 3 432 m. La precipitación anual es de 1 700 mm, con una estación seca de diciembre a abril. La temperatura promedio es de 13 C°, la cual varía de acuerdo con la altitud y la estación. El río Reventado es uno de los afluentes del río Reventazón, donde se localiza una planta hidroeléctrica. Se ha reportado alguna sedimentación de la cuenca principal causada por el material de sedimento acarreado por el río, lo que está afectando la capacidad de producción de la planta.

La mayor parte de la zona alta de la cuenca está cubierta con bosques secundarios, con unos pocos sitios con bosque primario en el Parque Nacional Prusia. Las áreas fuera del parque se utilizan como pastos para ganadería extensiva. Las partes media y baja de la cuenca están cultivadas fundamentalmente con cultivos anuales, incluso en laderas empinadas en rangos que van del 5% al 70%. Hay también algunos ganaderos que usan temporalmente algunas áreas como potreros con el fin de recuperar la fertilidad de un suelo agotado.

La mayor parte de los agricultores son propietarios y cultivan un promedio de 3 ha (las fincas van de 0.25 ha a 50 ha) con productos hortícolas (papa, cebolla, zanahoria, repollo, frijoles, etc.). El uso de la tierra es muy intensivo con dos o tres cosechas por año, y una parte significativa de los agricultores utilizan el riego durante la temporada seca. El uso de fertilizantes y plaguicidas es relativamente alto y la casi totalidad de las fincas están parcialmente mecanizadas (se alquilan tractores para arar).

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

La mayoría de los agricultores usan las acequias de ladera (drenaje) como única medida de conservación del suelo, las que reubican conforme a la experiencia de cada cosecha.

Se ha estimado en 8 900 personas la población en los tres distritos de la cuenca. La infraestructura permite acceder a los mercados, y la región entera tiene electricidad y agua potable. La mayor parte de la producción se vende en el Valle Central y en la capital, San José. Solamente unos pocos agricultores exportan a otros países centroamericanos y a los Estados Unidos. A diferencia de otros rubros de alimentación básica como el arroz, el maíz y productos de origen animal, que tienen precios regulados, los precios de los productos hortícolas muestran fuertes fluctuaciones anuales de acuerdo con la oferta y la demanda y la regulación de las importaciones. En el contexto de la liberalización del comercio están desapareciendo las barreras a la importación de productos hortícolas.

Utilizando esta información se han formulado algunas hipótesis con respecto a los factores que pueden afectar la sostenibilidad del uso de la tierra en la cuenca:

- *La calidad de los recursos del suelo y el agua ha sido afectada por el uso actual de la tierra.*
- *La productividad del suelo ha decrecido en áreas con una alta degradación del suelo.*
- *El uso intensivo de la tierra con pocas rotaciones y alto uso de plaguicidas han afectado la resiliencia y estabilidad del sistema, lo cual se manifiesta por medio de la alta presión de las plagas y resistencias.*
- *El alto uso de pesticidas conduce, en algunos casos, a residuos en los productos y a problemas de salud de los trabajadores que aplican los productos químicos.*
- *A nivel regional, el uso inadecuado de la tierra conduce a una carga considerable de sedimento que es llevada al río Reventazón, lo que agrava los problemas de sedimentación en la represa Cachi.*

## **Generación de Datos**

De acuerdo con el enfoque metodológico, los datos deben generarse a tres niveles: a nivel de la parcela, donde se hace una estimación de los

indicadores relacionados con la calidad del suelo, técnica de producción y rendimientos; a nivel de finca, donde se integran la información agregada proveniente del nivel de la parcela y la encuesta socioeconómica; y a nivel de la cuenca, donde se analizan los indicadores relacionados con la calidad del agua y donde se incorporan la información del uso de la tierra y la concerniente a degradación del suelo en un sistema de información geográfica. El proceso de generación de datos consiste en las siguientes etapas:

1. *Diagnóstico de la situación ambiental y socioeconómica en la cuenca sobre la base de información secundaria y de una encuesta previa.*
2. *Formulación de hipótesis en relación con los posibles impactos sobre la sostenibilidad del uso actual de la tierra.*
3. *Identificación de un conjunto preliminar de indicadores a nivel de finca y de cuenca hidrográfica.*
4. *Análisis de los requerimientos de información. Diseño de un procedimiento para la generación de datos primarios y secundarios:*
  - *Análisis de muestras de suelo y agua*
  - *Monitoreo de la tecnología de producción durante un año*
  - *Medición de rendimientos*
  - *Encuesta socioeconómica*
  - *Análisis de cultivos*
  - *Información primaria y secundaria sobre prácticas de uso sostenible de la tierra y sus respectivos costos y beneficios*
  - *Información secundaria relacionada con comercialización, precios, infraestructura, etc.*
5. *Revisión del conjunto de indicadores preliminares y definición del conjunto final de indicadores.*

De acuerdo con las hipótesis elaboradas, la generación de datos físicos se concentró en los recursos del suelo e hídricos (agua superficial), los

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

cuales se supone que han sido afectados por el uso actual de la tierra. El objetivo del análisis del suelo consistió en determinar si las prácticas actuales de uso de la tierra habían alterado el suelo de una manera que disminuye la sostenibilidad de la producción agrícola, y en qué medida. Por tanto, resulta útil comparar los parámetros de calidad del suelo encontrados en las diversas fincas con los valores respectivos de un suelo no alterado del mismo tipo en la misma región.

Debido a la carencia de áreas naturales en la región encuestada, las muestras testigo relacionadas con la calidad del suelo se tomaron de áreas que han estado cubiertas con pastos por un lapso considerable. Esto representa una seria limitación; primero, porque los pastos no pueden ser considerados necesariamente un uso adecuado de la tierra en esta área; segundo, porque la gente cambia con frecuencia de la horticultura a los pastos cuando el suelo está agotado. Así, las muestras de pastos no representan el recurso suelo que no ha sufrido alteraciones.

Dado que durante los últimos 40 años en el área estudiada ha tenido lugar una expansión de la producción de vegetales- en detrimento de la producción ganadera-, se cultiva ahora vegetales en las fincas con diferentes horizontes temporales. Por lo tanto, pruebas del suelo bien seleccionadas pueden dar una indicación acerca de los cambios de mediano y largo plazo en las condiciones del suelo como consecuencia de cambios en el uso de la tierra. Desafortunadamente, la información sobre horizontes temporales de la producción agrícola no parece ser muy confiable debido a cambios en la tenencia de la tierra. No obstante, se analizará si se puede determinar la existencia de una relación entre la extensión del período de uso de la tierra en horticultura y la calidad de los indicadores del suelo.

Teniendo presente que los síntomas de la degradación pueden variar fuertemente de acuerdo con la pendiente, los análisis de suelo y productividad se deben llevar a cabo en muestras que se han escogido de acuerdo con los distintos tipos de pendientes predominantes en la región.

Se han seleccionado la profundidad del suelo, la erosión visible<sup>7</sup> y el porcentaje de materia orgánica como indicadores de la calidad del suelo,

---

7 Se refiere al daño visible del suelo causado por la erosión acelerada. Con el fin de medir el nivel de erosión, es necesario recurrir a la observación de pedestales, raíces desnudas, presencia de surcos, barrancos, deslizamientos de tierra, remoción masiva y acumulación de sedimentos al pie de pendientes y drenajes. Hay cuatro categorías de erosión (de 1= nula a 5= muy severa).

con el fin de detectar cambios causados por prácticas de uso corriente del mismo. Los análisis de fertilidad se han incluido pese a que no se esperaban resultados significativos con respecto a la degradación causada por el uso intensivo del suelo. Por el contrario, en algunos casos, los análisis químicos produjeron valores mayores en las áreas de uso intensivo de la tierra que en las de la muestra de referencia, debido a la alta aplicación de fertilizante. Dado que los fertilizantes se aplican varias veces por año, casi no hay tiempo para que se elimine su influencia, y el efecto acumulativo debe ser tomado en consideración. Los niveles de nutrientes, en cambio, son necesarios para evaluar las prácticas de fertilización de los agricultores, así como también el lavado de fertilizantes.

Con el fin de examinar los posibles impactos de la calidad del suelo en los rendimientos, se midió estos últimos en cada punto de la muestra de suelos. Adicionalmente, debido al alto nivel de aplicación de plaguicidas, se analizaron los residuos de estos plaguicidas en un número limitado de muestras de suelos y rendimientos.

Durante la encuesta (realizada con base en múltiples visitas), que cubrió la parte central de la cuenca, donde se concentra la mayor parte de la producción intensiva, las fincas participantes fueron monitoreadas por un período de dos y -cuando fue necesario- tres temporadas de siembra. Esto permitió un buen control de las prácticas de manejo de la tierra, así como de las aplicaciones de plaguicidas y fertilizantes, que deben ser relacionadas después con medidas del rendimiento e indicadores de calidad del suelo.

La encuesta socioeconómica se llevó a cabo con una muestra un poco más pequeña, dado que las preguntas relacionadas con salud, ingreso, gasto y ahorro requieren un nivel considerable de confianza, el cual no se podía lograr con la muestra completa. La información acerca de precios de insumos y productos, y sobre la calidad y composición de los plaguicidas y fertilizantes, fue recolectada a nivel regional puesto que no había mayores diferencias entre las fincas.

Se realizó un estudio de la calidad del agua superficial a nivel regional. El objetivo del estudio fue relacionar mediciones de parámetros de calidad del agua con el uso de la tierra, prácticas de manejo y condiciones biofísicas.

Con este propósito se seleccionaron nueve puntos de medición sobre el curso del río Reventado y algunos de sus afluentes, y se recogieron

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

muestras de agua durante la estación lluviosa<sup>8</sup>. Adicionalmente, se hará un intento de estimar el valor económico de la degradación de la calidad del agua, en el contexto del problema de sedimentación de la Estación Hidroeléctrica Cachí.

En segundo lugar, se elaboró un mapa básico que contiene las fincas que fueron parte de las encuestas. Esto permitió poner al día los mapas existentes del uso de la tierra en la cuenca hidrográfica. Es también posible incluir la información socioeconómica de las fincas con el fin de analizar su relación con aspectos ambientales tales como capacidad de uso de la tierra<sup>9</sup> y uso de la tierra conflictivo.

### *Indicadores Seleccionados*

No siempre es posible definir indicadores para cada elemento, cada propiedad y las tres dimensiones de la sostenibilidad sin que algunas de las celdas de la matriz de indicadores queden vacías, mientras que en otros casos el mismo indicador podría cumplir con más de una propiedad. Lo importante es que el sistema haya sido revisado de acuerdo con las características de la matriz y que los indicadores, que finalmente fueron seleccionados en concordancia con dichas características, describan la sostenibilidad del sistema como un todo.

#### *Cuadro 2. Indicadores a nivel de cuenca hidrográfica.*

---

**Dimensión:** Ecológica

**Propiedad:** Productividad

**Elemento:** Suelo

**Indicador:** Rendimientos por hectárea de los distintos cultivos (en comparación con los rendimientos a nivel nacional y de otras áreas)

---

8 Las mediciones de parámetros incluyeron temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad, turbiedad, nitratos, fosfatos, amonio, potasio, magnesio, calcio, sólidos totales, sólidos disueltos y en suspensión.

9 La máxima intensidad de uso de la tierra, tomando en cuenta los límites ecológicos (de acuerdo con el enfoque de la FAO).



- Elemento:** Agua  
**Indicador:** Índice de calidad del agua de irrigación del proyecto SENARA  
**Indicador:** Índice de calidad del agua en los diferentes puntos de muestreo  
**Indicador:** Contenido de nitrato, amonio, potasio y fosfato en los diferentes puntos de muestreo  
**Indicador:** Porcentaje de muestras de agua con residuos de plaguicidas
- Elemento:** Manejo/desempeño del sistema  
**Indicador:** Producción regional de cultivos (t)  
**Indicador:** Rendimientos por hectárea de los diversos cultivos (kg/ha)  
**Indicador:** Aplicación de fertilizante kg/ha
- Propiedad:** Estabilidad  
**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema  
**Indicador:** Fluctuación anual de la producción agrícola  
**Indicador:** Fluctuación anual de los rendimientos en los cultivos
- Propiedad:** Resiliencia  
**Elemento:** Suelo  
**Indicador:** Porcentaje de área con rasgos de erosión física de acuerdo con su severidad  
**Indicador:** Mediciones de carga de sedimentos (t)  
**Elemento:** Flora y fauna  
**Indicador:** Área con vegetación natural como porcentaje del área total  
**Indicador:** Área cultivada con baja utilización de plaguicidas como porcentaje del área total  
**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema  
**Indicador:** Relación entre la capacidad de uso y el uso actual de la tierra  
**Indicador:** Porcentaje de tierras que quedan desnudas durante partes de la estación lluviosa  
**Indicador:** Porcentaje de fincas en tierra con alta pendiente con adecuadas medidas de conservación del suelo  
**Indicador:** Aplicación de plaguicidas (kg de componente activo/ha)  
**Indicador:** Número de productos con problemas de infestaciones resistentes a los plaguicidas

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

<b>Propiedad:</b>	Equidad
<b>Elemento:</b>	Tierra
<b>Indicador:</b>	Coficiente de Gini de tenencia de la tierra
<b>Elemento:</b>	Agua
<b>Indicador:</b>	Porcentaje de agricultores con acceso oficial al agua de irrigación (SENARA)
<b>Indicador:</b>	Porcentaje de agricultores que usan agua del río para fines de irrigación

---

### **Dimensión:** *Económica*

<b>Propiedad:</b>	Productividad
<b>Elemento:</b>	Tierra
<b>Indicador:</b>	Precio de la tierra (colones/ha)
<b>Indicador:</b>	Renta de la tierra (colones/año/ha)
<b>Elemento:</b>	Agua
<b>Indicador:</b>	Precio del uso del agua para irrigación (colones/ha/año)
<b>Elemento:</b>	Manejo/desempeño del sistema
<b>Indicador:</b>	Margen de ganancia por hectárea de los diversos cultivos
<b>Indicador:</b>	Gastos promedio de fertilizante (colones/ha)
<b>Indicador:</b>	Salarios de jornaleros (colones/ha)

<b>Propiedad:</b>	Estabilidad
<b>Elemento:</b>	Manejo/desempeño del sistema
<b>Indicador:</b>	Fluctuación de los ingresos provenientes de los cultivos

<b>Propiedad:</b>	Resiliencia
<b>Elemento:</b>	Manejo/desempeño del sistema
<b>Indicador:</b>	Area cultivada con cebolla y papa como porcentaje del área total
<b>Indicador:</b>	Insumos externos (fertilizante y plaguicidas) como porcentaje de los costos de insumos
<b>Indicador:</b>	Capacidad de ahorro e inversión (diferencia promedio entre ingresos y gastos de la finca)

<b>Propiedad:</b>	Equidad
<b>Elemento:</b>	Recursos financieros
<b>Indicador:</b>	Porcentaje de agricultores con acceso al crédito
<b>Elemento:</b>	Recursos humanos
<b>Indicador:</b>	Porcentaje de agricultores que recibieron asistencia técnica

**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema  
**Indicador:** Porcentaje de agricultores que dependen de los intermediarios para la comercialización

---

**Dimensión:** *Social*

**Propiedad:** Productividad  
**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema  
**Indicador:** Ingreso regional de la finca (colonos/año)  
**Indicador:** Salario de los trabajadores agrícolas

**Propiedad:** Estabilidad  
**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema  
**Indicador:** Fluctuaciones en el ingreso de la finca

**Propiedad:** Resiliencia  
**Elemento:** Tierra  
**Indicador:** Porcentaje de agricultores que son propietarios  
**Elemento:** Recursos humanos  
**Indicador:** Porcentaje de agricultores con educación secundaria  
**Indicador:** Porcentaje de hogares establecidos en las fincas cuyos hijos asisten a la educación secundaria  
**Indicador:** Porcentaje de hogares establecidos en las fincas que dedican parte del ingreso para financiar su pensión  
**Elemento:** Recursos financieros y de capital  
**Indicador:** Porcentaje de finqueros con medios de transporte  
**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema  
**Indicador:** Número de casos de intoxicación producidos por plaguicidas por año  
**Indicador:** Gastos de salud por año y por cada miembro del grupo familiar

**Propiedad:** Equidad  
**Elemento:** Recursos financieros y de capital  
**Indicador:** Porcentaje de finqueros que habitan casa propia  
**Indicador:** Porcentaje de hogares establecidos en las fincas que están afiliados al sistema de seguridad social  
**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema  
**Indicador:** Coeficiente de Gini del ingreso de los hogares establecidos en las fincas

---

**Cuadro 3. Indicadores a nivel de finca.**

---

<b>Dimensión:</b>	<b>Ecológica (calidad y cantidad físicas de los recursos)</b>
<b>Propiedad:</b>	Productividad
<b>Elemento:</b>	Tierra
<b>Indicador:</b>	Porcentaje de materia orgánica
<b>Indicador:</b>	Inventario de nutrientes/unidad de área (kg/ha)
<b>Indicador:</b>	Rendimiento/insumo de nutrientes
<b>Elemento:</b>	Manejo/desempeño del sistema
<b>Indicador:</b>	Rendimiento (kg) del insumo de nutrientes (kg)
<b>Indicador:</b>	Aplicación de fertilizantes (kg/ha)
<b>Indicador:</b>	Lavado de fertilizantes (kg de nitrógeno por ha)
<b>Propiedad:</b>	Estabilidad
<b>Elemento:</b>	Tierra
<b>Indicador:</b>	Porcentaje de materia orgánica
<b>Elemento:</b>	Manejo/desempeño del sistema
<b>Indicador:</b>	Fluctuación de rendimientos por hectárea
<b>Indicador:</b>	Área cultivada con papa y área cultivada con cebolla como porcentaje del área cultivada total
<b>Propiedad:</b>	Resiliencia
<b>Elemento:</b>	Tierra
<b>Indicador:</b>	Profundidad del suelo (horizonte A en cm)
<b>Indicador:</b>	Nivel de degradación visible del suelo (de acuerdo con el enfoque de la FAO)
<b>Elemento:</b>	Flora y fauna
<b>Indicador:</b>	Área con cultivos de bajos insumos como porcentaje del área plantada total (frijoles, etc.)
<b>Elemento:</b>	Manejo/desempeño del sistema
<b>Indicador:</b>	Área cultivada con papa y cebolla como porcentaje del área plantada total
<b>Indicador:</b>	Participación del área cultivada con leguminosas como porcentaje del área plantada total
<b>Indicador:</b>	Intensidad del uso de la tierra (número de cosechas en un año)
<b>Indicador:</b>	Cantidad de plaguicidas aplicados (en ingredientes activos, kg/ha)
<b>Indicador:</b>	Porcentaje de pérdidas de cosecha causadas por plagas

**Dimensión:** *Económica*

**Propiedad:** Productividad

**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema

**Indicador:** Productividad total de los factores en la producción de papa y cebolla

**Indicador:** Margen bruto/ha

**Indicador:** Ingreso diario por el trabajo familiar

**Propiedad:** Estabilidad

**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema

**Indicador:** Variación del ingreso proveniente de los cultivos de un año al otro (papa y cebolla)

**Indicador:** Variación del ingreso familiar de un año al otro

**Indicador:** Ingreso proveniente de la cebolla y la papa como porcentaje del ingreso familiar total

**Propiedad:** Resiliencia

**Elemento:** Recursos financieros y de capital

**Indicador:** Acumulación de capital (valor del equipo de la finca, medios de transporte, casas, etc.)

**Indicador:** Deuda en colones/ha de tierra cultivada

**Indicador:** Deuda en colones/miembro adulto de la familia

**Indicador:** Ahorros/colones por año

**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema

**Indicador:** Costo del manejo de plagas

**Indicador:** Valor de la pérdida de producción en colones/ha

**Indicador:** Costos de la protección de plantas en colones/ha

**Indicador:** Participación de los costos de protección de plantas en el costo total de insumos (en porcentaje)

**Indicador:** Costos de fertilización colones/ha

**Indicador:** Participación de los costos de fertilización en el costo total de insumos (porcentaje)

**Indicador:** Valor del lavado de fertilizantes colones/ha

**Indicador:** Ingreso proveniente de la cebolla y la papa como porcentaje del ingreso total de la finca

**Indicador:** Importancia del ingreso generado fuera de la finca (como porcentaje del ingreso familiar total)

**Dimensión:** Social

**Propiedad:** Productividad  
**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema  
**Indicador:** Proporción de los gastos del hogar con respecto al ingreso  
**Indicador:** Frecuencia de necesidad de créditos de consumo  
**Indicador:** Proporción del ingreso por miembro adulto de la familia/  
salario alternativo

**Propiedad:** Estabilidad  
**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema  
**Indicador:** Diferencia entre el nivel de ingreso más bajo y el más alto  
en los últimos 10 años

**Propiedad:** Resiliencia  
**Elemento:** Recursos humanos  
**Indicador:** Nivel de educación del finquero y su esposa  
**Elemento:** Manejo/desempeño del sistema  
**Indicador:** Frecuencia de participación en eventos de capacitación  
**Indicador:** Gastos en educación/año y por miembro familiar  
**Indicador:** Gastos en salud/año y por miembro familiar  
**Indicador:** Provisiones para retiro por edad/año

---

## COMENTARIOS FINALES

La presente investigación, por encontrarse todavía en proceso, no permite extraer conclusiones finales. No obstante, el enfoque de sistemas ha probado ser muy útil en el proceso de definición de indicadores y en la identificación de necesidades de información; resulta especialmente útil cuando los indicadores a nivel de finca tienen que vincularse con los de la cuenca.

Cuando se observan los diversos indicadores y las propiedades del sistema con el cual se relacionan, se nota que la mayor parte de los indicadores tienen que ver con "resiliencia". Se ha tomado una definición amplia de resiliencia, para referirse no sólo a sus aspectos ecológicos, sino también para describir los económicos y sociales. Una economía agobiada por una fuerte deuda externa y con baja capacidad de pago podría colapsar si se enfrenta a una grave perturbación como podría ser una súbita y fuerte reducción de sus exportaciones. Las altas tasas de erosión muestran que el sistema está expuesto a un estrés continuo causado por el uso insostenible de la tierra. El uso inadecuado de la tierra que no respeta las limitaciones ecológicas disminuye la resiliencia del sistema que permite resistir el estrés proveniente de factores tales como la sequía. Finalmente, un sistema a nivel de finca con reservas de capital tiene una mayor resiliencia que uno que no las tiene, y podría ser capaz de sobrevivir a reducciones de precios y otros factores que producen perturbaciones y estrés.

Así, la resiliencia parece ser una propiedad fundamental de la sostenibilidad; de hecho Conway y Barbier (1988) define sostenibilidad como resiliencia. En este documento, su concepto se ha ampliado con la inclusión de productividad, estabilidad y equidad, porque no sólo es importante que *algún* nivel de producción pueda ser sostenible después de perturbaciones y estrés, sino también que el nivel necesario para satisfacer las necesidades de la población pueda ser sostenido, y que los beneficios se distribuyan de tal manera que permitan la satisfacción de esas necesidades.

En la próxima etapa de este trabajo, se examinarán los resultados empíricos del estudio de caso. Especial énfasis se dará al análisis de las relaciones y *trade-offs* entre los diversos indicadores, las propiedades del sistema y las tres dimensiones de la sostenibilidad. Asimismo, se intentará agregar los indicadores en un modelo a nivel de finca, así como determinar valores de referencia que puedan ser comparados con los resultados empíricos obtenidos en la cuenca.





## ANEXO: CRITERIOS PARA LA DEFINICION DE INDICADORES

Características escogidas para llenar las celdas de la matriz de indicadores:

**Productividad ecológica:** Ecológicamente, la productividad es la tasa a la cual la energía irradiada se almacena como fotosíntesis y quimiosíntesis, con el fin de producir materia orgánica. En términos generales, se puede definir como la relación entre los insumos y productos biofísicos.

**Productividad económica:** La productividad puede definirse como la producción por unidad de insumo. Se refiere a la manera en que los factores de producción o insumos se combinan para producir, i.e. las razones de conversión de cada insumo en producto. Normalmente, la productividad se mide en unidades físicas excepto cuando los componentes de los insumos y de la producción son muy heterogéneos. Así, deben ser ponderados, comúnmente con índices de precios (Schäfer 1987). En la matriz se define productividad económica como la relación entre insumos y productos expresados monetariamente (rentabilidad del sistema), como oposición a la productividad ecológica.

**Productividad social:** Para fines de funcionamiento de la matriz, la productividad social se define como la proporción entre el nivel de productividad y de producción (y de la composición de los productos) y las necesidades de la población; por ejemplo, la relación entre el ingreso familiar y la canasta básica de la familia.

**Estabilidad ecológica:** Es la capacidad del sistema de soportar fluctuaciones anuales de factores ambientales (temperatura, precipitación, etc.), de tal manera que mantenga la productividad dentro de cierto rango (Conway y Barbier 1988). Un sistema estable muestra muy poca variación de su productividad alrededor de una tendencia. Si, por ejemplo, el suelo dispone de una buena capacidad de retención de la humedad, gracias al tipo de suelo y a la cobertura vegetal, el sistema tiende a ser más estable en caso de variaciones en la precipitación.

**Estabilidad económica:** Estabilidad económica se puede definir como la capacidad del sistema de compensar las fluctuaciones anuales del ambiente económico (v.gr. precios de los productos o de los insumos), de manera tal que pueda mantener la rentabilidad dentro de cierto rango. Por ejemplo, si el sistema es flexible y puede ajustar el uso de insumos en

## ¿cómo medir la sostenibilidad?

función del cambio de sus precios relativos, tiende a ser más estable en estos casos.

**Estabilidad social:** Es la capacidad del sistema de soportar fluctuaciones anuales de factores del ambiente social (tales como precios de alimentos, ingresos), de manera tal que le permita mantener el bienestar dentro de cierto rango. Por ejemplo, una familia, que dispone de una producción alimentaria que le permite acumular reservas, puede pasar un año con una disminución de la producción sin mayor reducción de su consumo de alimentos.

**Resiliencia ecológica:** Capacidad de soportar perturbaciones (*shocks*) o estrés ecológicos, tales como una sequía prolongada, o conmociones como un ataque de plagas (Conway y Barbier 1988). Un sistema resiliente se recuperará rápidamente y alcanzará los niveles de productividad anteriores.

**Resiliencia económica:** La resiliencia económica, de manera correspondiente, puede ser definida como la capacidad de soportar estrés prolongado, tal como un incremento continuo en los precios de los insumos, o una conmoción, tal como una súbita caída del precio de un producto, y retornar a su rentabilidad original.

**Resiliencia social:** Es la capacidad de enfrentar el estrés económico y ecológico y aún así alcanzar un grado relativamente elevado de satisfacción de las necesidades, sin deteriorar la capacidad de satisfacer las necesidades, ni la habilidad de disfrutar tal satisfacción en el futuro. Esta conmoción puede ser la aparición de una enfermedad infecciosa; si la familia está bien alimentada y adscrita a un sistema de seguridad social, la enfermedad no va a causar mayores problemas, dado que la familia posee ahorros y acceso a una asistencia médica adecuada.

**Equidad ecológica:** La equidad ha sido descrita como la manera en la cual se comparten los beneficios y costos de los sistemas (Conway y Barbier 1988). La equidad puede también analizarse en relación con el acceso de los diversos grupos sociales a los recursos del sistema. Por tanto, la equidad se refiere al acceso a los recursos naturales y a la distribución de los beneficios ecológicos así como de los costos. Por ejemplo, el acceso a agua no contaminada, a un ambiente limpio, a áreas de recreo, o en cambio, la exposición a agentes contaminantes. Muchas veces, la gente pobre suele vivir en áreas de mayor contaminación.

**Equidad económica:** La equidad económica se relaciona con la distribución de la rentabilidad económica y el acceso a bienes económicos y recursos. A título de ejemplo, pueden haber salarios diferenciados de acuerdo con el sexo o los grupos étnicos, o diferenciación con respecto al acceso a oportunidades económicas o al crédito.

**Equidad social:** Aquí la preocupación es la distribución de la satisfacción de necesidades y el acceso a bienes sociales y servicios. Un ejemplo de ello es la distribución equitativa de ingreso entre los diversos estratos sociales.



## OBRAS CITADAS

- ADRIAANSE, A. 1993. Environmental policy performance indicators. A study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnegracht. The Netherlands.
- ALFARO SANCHEZ, M.; PALACIOS ALVAREZ, G.; VAHRSON, W.G. (Eds.). 1991. Taller de erosión de suelos. Memoria. Heredia, C.R., Universidad Nacional.
- ALTIERI, M. A. 1983. Agroecology: The scientific basis of alternative agriculture. Boulder, Colorado, Westview Press.
- AMIGOS DE LA TIERRA - ADT. 1993. Programas de ajuste estructural y el bosque. Ponencia presentada en la Conferencia de Ambientalistas, Londres.
- ARNOLD, S. H. 1989. Sustainable development: A solution to the development puzzle? *Development* 2/3.
- AVILA, M. 1989. Sustainability and agroforestry. In *Viewpoints and issues on agroforestry and sustainability*. Nairobi, Kenya, ICRAF.
- BALDARES, M.; GUTIERREZ, E.; ALVARADO, A.; BRENES, L. 1993. Desarrollo de un sistema de información sobre indicadores de sostenibilidad para los sectores agrícola y de recursos naturales de los países de América Latina y el Caribe. Borrador. Proyecto IICA-GTZ. San José, C. R.
- BANCO MUNDIAL. 1991. ● Environmental assessment sourcebook. Volume I, II, III. The World Bank, Technical Paper no. 140, Washington, D. C.
- BARBIER, E. B. 1987. The concept of sustainable economic development. *Environmental Conservation* 14(2):101-110.
- BARTELMUS, P. 1991. Sustainable development. Goals and interpretations. Meeting on National Accounting and National Resources for Latin America. UNDP Statistical Bureau. Manuscrito. San José, C. R.
- BATIE, S. 1989. Sustainable development: Challenges to the profession of agricultural economics. *American Journal of Agricultural Economics*. p. 1084-1101.

¿cómo medir la sostenibilidad?

- BAYRISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ. 1988. Umwelverträglichkeitsprüfung für Agrarstrukturelle Maßnahmen.
- BECHMANN, A. 1978. Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung. Verlag Paul Haupt Bern und Stuttgart.
- BIFAD (COMITE DE DESARROLLO ALIMENTARIO Y AGRICOLA INTERNACIONAL); USAID (AGENCIA PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL). 1988. Environment and natural resources: Strategies for sustainable agriculture. Washington, D. C. Occasional Paper no. 12.
- BISHOP, R. C. 1978. Endangered species and uncertainty: The economics of a safe minimum standard. American Journal of Agricultural Economics 60:10-18.
- BOULDING, K. 1991. El lugar de los ecosistemas naturales en la economía humana. Taller Internacional de Ecología y Economía (Turrialba, C.R., 1991). Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en América Central. CATIE/UICN.
- BROWN, L. R.; HANSON, M.; LIVERMAN, D.; MEREDITH, R. 1987. Global sustainability: Toward a definition. Environmental Management 11(6):713-719.
- BUITER, W. 1987. The current global economic situation: Outlook and policy options, with special emphasis on fiscal policy issues. Discussion Paper Series no. 210. London, Center for Economic Policy Research.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT - BMZ. 1991. Efectos de los proyectos de cooperación en desarrollo sobre el medio ambiente. La evaluación del impacto ambiental. Bonn, RFA.
- CONWAY, G. R. 1983. Agroecosystem analysis. ICCET Series No. 1. University of London.
- CONWAY, G. R.; BARBIER, E.B. 1988. After the Green Revolution: Sustainable and equitable agricultural development. Futures. p. 651-670.

- COSTANZA, R. (Ed.). 1991. Ecological economics: The science and management of sustainability. New York, Columbia University Press.
- DALY, H. E. 1977. Steady state economics. Washington, D.C., Island Press.
- \_\_\_\_\_ ; COBB, J. 1989. For our common good. Washington, D.C., Island Press.
- \_\_\_\_\_ ; COSTANZA, R. 1992. Natural capital and sustainable development. Conservation Biology 6(1). Washington, D.C., World Bank.
- DASGUPTA, P.; MÄLER, K.-G. 1991. The environment and emerging development issues. Proceedings of the World Bank Annual Conference on Development Economics 1990. Washington, D.C.
- DEHIO, J. 1993. Analyse der Agrar -und Umweltrelevanten Auswirkungen von Auflagen und Steuern im Pflanzenschutzbereich. Studien zur Wirtschafts- und Agrarpolitik, Bd. 9. Verlag M. Wehle, Witterschlick/Bonn.
- DOVERS, S. 1987. Sustainability: Definitions, clarifications and contexts. Environmental Management 11(6):713-719.
- DUMANSKI, J.; PETTAPIECE, W.W.; ACTON, D. F.; CLAUDE, P.P. 1993. Application of agroecological concepts and hierarchy theory in design of databases for spatial and temporal characterisation of land and soil. Geoderma 60:343-358.
- ELLIS, G.; HANSON, B. 1989. Evaluation of appropriate technology in practice. Journal of Contemporary Asia. Suiza.
- EL SERAFY, S. 1992. The proper calculation of income from depletable natural resources. In Environmental Accounting for Sustainable Development. Y. J. Ahmad, S. El Serafy y E. Lutz (Eds.). Washington, D.C. UNEP-World Bank Symposium.
- ESCOBAR, G. 1994. A hierarchical definition for measuring sustainability: A micro-macro approach. Paper presented for the Meeting on Indicators of Sustainability Conference and Workshop. Arlington, Virginia. SANREM CRSP.

¿cómo medir la sostenibilidad?

- FAINI, R.; DE MELO, J. 1990. Adjustment, investment and the real exchange rate in developing countries. *Economic Policy*. p. 495-578.
- FAO (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION). 1991. Sustainable development and management of land and water resources. *In* Conference on Agriculture and the Environment (1991, 'S-Hertogenbosch, The Netherlands). Rome, FAO/Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries of the Netherlands. Background Document no. 1.
- FARREL, R.A.; PEARSON, C.J.; CAMPBELL, L.C. 1957. Relational databases for the design and construction of maintenance decision support systems in agriculture.
- FERREIRA, P. 1991. Estabilidad y sostenibilidad: Una visión comparativa. Manuscrito. Turrialba, C.R., CATIE.
- FRESCO, L.E. 1989. El papel del sector privado en el desarrollo agroindustrial. Seminario de Alto Nivel sobre Políticas para el Desarrollo Agroindustrial (Brasilia, 1989). Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos. IICA. San José, C.R.
- GALLOPIN, G. 1990. La sustentabilidad ambiental del desarrollo y el cambio tecnológico en América Latina y el Caribe. *In* Reunión Técnica de Expertos Gubernamentales: Hacia un desarrollo ambientalmente sustentable. Santiago de Chile, CEPALC.
- GICAI (GRUPO CONSULTIVO EN INVESTIGACION AGRICOLA INTERNACIONAL). 1990. Sustainable agricultural production: Final report of the CGIAR Committee. Document no. MT/90/18.
- GIRT, J. 1990. Institutional approaches toward the sustainable development of agriculture for IICA. San José, C. R., IICA.
- GLIGO, N. 1990. Los factores críticos de la sustentabilidad ambiental del desarrollo agrícola. Comercio Exterior 40(12). México.
- GOODLAND, D.; REDCLIFF, M. (Eds.). 1991. Environment and development in Latin America. The politics of sustainability. Manchester University Press.



- GUTIERREZ, E. 1994. The approximated sustainability index: A tool for evaluating sustainability national performance. Paper presented at the Network Seminar on Sustainable Development Indicators. London.
- HAILU, Z.; RUNGE-METZGER, A. 1993. Sustainability of land use systems. The potential of indigenous measures for the maintenance of soil productivity in Sub-Saharan African agriculture. Tropical Agroecology 7. GTZ, Josef Margraf Scientific Books.
- HENNINGER, N. 1993. Socio-economic impact and sustainability indicators for K2. (Primer borrador). World Resources Institute. Washington, D.C., EE.UU.
- ICRAF (CONSEJO INTERNACIONAL PARA LA INVESTIGACION SILVOAGROPECUARIA). 1989. Viewpoints and issues on agroforestry and sustainability. Nairobi, Kenya.
- JAROSCH, J. 1990. Methodik, Einsatzmöglichkeiten und Anwendung ökologisch-ökonomischer Planungsmodelle. Landwirtschaft und Umwelt, Bd.6, Kiel: Vauk.
- KRUSEMANN, G.; HENGSDIJK, H.; RUBEN, R. 1993. Disentangling the concept of sustainability: Conceptual definitions, analytical framework and operational techniques in sustainable land use. DLV Report no. 2.
- LELE, S. M. 1991. Sustainable development: A critical review. World Development 19(6):607-621.
- LOPEZ CORDOVEZ, L. 1991. Lineamientos conceptuales para el desarrollo rural sostenible y equitativo. Proyecto IICA-GTZ, Programa III, IICA. San José, C. R.
- MARTEN, G. G. 1988. Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystem assessment. Agricultural Systems 26:291-316.
- MEADOWS, D.H. *et al.* 1972. The limits to growth. New York, Universe Books.
- MUNASINGHE, M.; WALLEY, J. 1991. Comment on "The environment and emerging development issues", by Dasgupta and Mäler. Presented at Proceedings of the World Bank Annual Conference on Development Economics (1990). p. 133-141.

¿cómo medir la sostenibilidad?

NIEBERG, H.; ISERMEYER, F. 1994. The use of agri-environmental indicators in agricultural policy: Contribution to the Joint Working Party of the Committee for Agriculture and the Environment. París, OCDE.

NIJKAMP, P. 1990. Regional sustainable development and natural resources use. In Annual Conference on Development Economics. Washington, D.C., The World Bank.

NORGAARD, R. B. 1988. Sustainable development: A co-evolutionary view. *Futures*. p. 606-620.

\_\_\_\_\_. 1990. Economic indicators of resource scarcity: A critical essay. *Journal of Environmental Economics and Management*

OCDE (ORGANIZACION PARA LA COOPERACION Y EL DESARROLLO ECONOMICO). 1991. The state of the environment. París, OCDE 19:19-25.

\_\_\_\_\_. 1993. Seminar Mobilising Investment for Latin America. (Francia, 1989). C.I. Jr. Bradford (Ed.). BID/OCDE. Washington, D.C., Paris.

O'CONNOR, J. 1994. Measuring progress. Conference held at the 19th Session of the IUCN General Assembly.

PEARCE, D., 1989. An economic perspective on sustainable development. *Development*. *Journal of SID* 213:17-20.

\_\_\_\_\_; BARBIER, E.; MARKANDYA, A. 1990. Sustainable development. Economics and the environment in the Third World. Londres, Earthscan Publications Ltd.

PERRINGS, C. 1989. An optimal path to extinction? Poverty and resource degradation in the open agrarian economy. *Journal of Development Economics*. Países Bajos.

PEZZEY, J. 1989. Economic analysis of sustainable growth and sustainable development. The World Bank. Environmental Department. Working Paper no.15.

PNUD (PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO). 1991. Desarrollo humano: Informe 1991. Bogotá, Col., Tercer Mundo.

- RANDALL, A. 1978. Resource economics: An economic approach to natural resource and environmental policy (Second edition). New York, John Wiley and Son.
- REPETTO, R. 1986. National resource accounting for countries with natural resource-base economics. Washington, D.C., World Resources Institute.
- RUITENBEEK, H. J. 1991. Indicators of ecologically sustainable development: Toward new fundamentals. Canadian Environmental Advisory Council. Borrador.
- RUTTAN, V. W. 1991. Sustainable growth in agricultural production: poetry, policy and science. *In* Conference on Agricultural Sustainability, Growth and Poverty Alliviation: Issues and Policies (1991, Feldafing, Alemania). IFPRI/DSE.
- \_\_\_\_\_. 1992. Sustainability and agricultural productivity. Paper prepared for presentation of Inter-American Development Bank Seminar on Sustainable Agriculture in Latin America. Borrador.
- SCHÄFER, A. 1987. Zur Anwendung von Frontier-und Dualitätsansätzen in der Landwirtschaft. Agrarökonomische Studien, Bd. 10. Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel.
- SOLOW, R. 1992. An almost practical step toward sustainability. An invited lecture on the occasion of the Fortieth Anniversary of Resources for the Future. Washington, D.C.
- TORQUEBLAU, E. 1989. Sustainability indicators in a agroforestry: The example of homegardens. *In* Views and issues on agroforestry and sustainability. Nairobi, Kenya, ICRAF.
- TOSI, J. A. 1981. Una clasificación y metodología para la determinación y el levantamiento de mapas de la capacidad de uso mayor de la tierra. San José, C. R., Centro Científico Tropical.
- TRIGO, E. 1991. Hacia una estrategia de desarrollo sostenible para América Latina. IICA, Programa II. San José, C.R.

¿cómo medir la sostenibilidad?

- TROPICAL SCIENCE CENTER; WRI (WORLD RESOURCES INSTITUTE). 1992. Accounts overdue: Natural resource depreciation in Costa Rica. San José, C. R., Washington, D.C.
- TSCHIRLEY, J. B. 1993. Indicators for sustainable agriculture and rural development. Expert Group Meeting on Sustainable Development Indicators UNEP/UNSTAT. Geneva, Suiza.
- UICN (UNION MUNDIAL PARA LA NATURALEZA). 1980. World Conservation Strategy: Living resource conservation for sustainable development. UICN-PNUMA-WWF. Gland, Suiza.
- \_\_\_\_\_; UNEP; WWF (FONDO MUNDIAL DE VIDA SILVESTRE). 1989. Caring for the world: A strategy for sustainability. Segundo borrador. Gland, Switzerland.
- VICTOR, P. A. 1991. Indicators of sustainable development: Some lessons from capital theory. *Ecological Economics* 3(4):191-213. Países Bajos.
- WALTNER-TOEWS, D. 1993. Ecosystem health: A framework for implementing sustainability in agriculture. Paper prepared for presentation to IICA-GTZ Project on Sustainable Agriculture.
- WCED (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT). 1987. Our common future. New York. Oxford University Press.
- WEBER, F.R. 1990. Preliminary indicators for monitoring changes in the natural resource base. Washington, D.C. AID Program Design Evaluation Methodology no. 14.
- WINOGRAD, M. 1992. Environmental indicators for Latin America: Trends and progress toward land-use sustainability (primer borrador). Washington, D.C., OEA/WRI.
- WISCHMEYER, W. H. 1976. Use and misuse of the universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 1:5-9.
- WRI (WORLD RESOURCES INSTITUTE). 1991. World Resources 1990-1991. Washington, D. C.

WRI (WORLD RESOURCES INSTITUTE). 1993. Green guidance for Latin America and the Caribbean. Washington, D.C.

\_\_\_\_\_; USAID (AGENCIA PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL); LAC BUREAU. 1991. Environmental strategy options for Latin America and the Caribbean. Washington, D. C.

YOUNG, A. 1989. Agroforestry and sustainable use of soil resources. In Viewpoints and issues on agroforestry and sustainability. Nairobi, Kenya, ICRAF.



**Esta edición se terminó de imprimir  
en la Sede Central del IICA  
en Coronado, San José, Costa Rica,  
en el mes de octubre de 1996,  
con un tiraje de 1500 ejemplares.**







**This book was printed at  
IICA Headquarters  
in Coronado, San Jose, Costa Rica  
in October 1996  
with a press run of 1500 copies.**



WISCHMEYER, W.H. 1976. Use and misuse of the universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 1:5-9.

WORLD BANK. 1991. Environmental assessment sourcebook. Volume I, II, III. The World Bank, Technical paper no. 140, Washington, D.C.

WRI (WORLD RESOURCES INSTITUTE). 1991. World Resources 1990-1991. Washington, D.C.

\_\_\_\_\_. 1993. Green guidance for Latin America and the Caribbean. Washington, D.C.

\_\_\_\_\_; USAID (UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT) LAC Bureau. 1991. Environmental strategy options for Latin America and the Caribbean. Washington, D.C.

YOUNG, A. 1989. Agroforestry and sustainable use of soil resources. In *Viewpoints and Issues on Agroforestry and Sustainability*. Nairobi, Kenya, ICRAF.

how to measure sustainability

- TORQUEBLAU, E. 1989. Sustainability indicators in agroforestry: The example of homegardens. In Views and issues on agroforestry and sustainability. Nairobi, Kenya, ICRAF.
- TOSI, J.A. 1981. Una clasificación y metodología para la determinación y el levantamiento de mapas de la capacidad de uso mayor de la tierra. San Jose, C.R., Centro Científico Tropical.
- TRIGO, E. 1991. Hacia una estrategia de desarrollo sostenible para América Latina. IICA, Programa II. San Jose, C.R.
- TROPICAL SCIENCE CENTER; WRI (WORLD RESOURCES INSTITUTE). 1992. Accounts overdue: Natural resource depreciation in Costa Rica. San Jose, C.R., Washington, D.C.
- TSCHIRLEY, J.B. 1993. Indicators for sustainable agriculture and rural development. Expert Group Meeting on Sustainable Development Indicators UNEP/UNSTAT. Geneva, Switzerland.
- UNDP (UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME). 1991. Human development report 1991.
- VICTOR, P.A. 1991. Indicators of sustainable development: Some lessons from capital theory. Ecological Economics 3(4):191-213.
- WALTNER-TOEWS, D. 1993. Ecosystem health: A framework for implementing sustainability in agriculture. Paper prepared for presentation for the IICA-GTZ Project on Sustainable Agriculture.
- WCED (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT). 1987. Our common future. New York, Oxford University Press.
- WEBER, F. 1990. Preliminary indicators for monitoring changes in the natural resource base. AID Program Design Evaluation Methodology No. 14. Washington, D.C.
- WINOGRAD, M. 1992. Environmental indicators for Latin America: Trends and progress toward land-use sustainability (First Draft). Washington, D.C., OAS/WRI.

- PEARCE, D.; BARBIER, E.; MARKANDYA, A. 1990. Sustainable development: Economics and the environment in the Third World. London, Earthscan Publication Ltd.
- PERRINGS, C. 1989. An optimal path to extinction? Poverty and resource degradation in the open agrarian economy. Journal of Development Economics. The Netherlands.
- PEZZEY, J. 1989. Economic analysis of sustainable growth and sustainable development. The World Bank. Environmental Department. Working paper no.15.
- RANDALL, A. 1978. Resource economics: An economic approach to natural resource and environmental policy (Second Edition). New York, John Wiley and Son.
- REPETTO, R. 1986. National resource accounting for countries with natural resource-base economies. Washington, D.C., World Resources Institute.
- RUITENBEEK, H. J. 1991. Indicators of ecologically sustainable development: Toward new fundamentals. Canadian Environmental Advisory Council. Draft.
- RUTTAN, V. 1991. Sustainable growth in agricultural production: Poetry, policy and science. In Conference Agricultural Sustainability, Growth and Poverty Alleviation: Issues and Policies (1991, Feldafing, Germany). IFPRI/DSE.
- \_\_\_\_\_. 1992. Sustainability and agricultural productivity. Paper prepared for presentation at the Inter-American Development Bank Seminar on Sustainable Agriculture in Latin America. Draft.
- SCHÄFER, A. 1987. Zur Anwendung von Frontier- und Dualitätsansätzen in der Landwirtschaft. Agrarökonomische Studien, Bd. 10. Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel.
- SOLOW, R. 1992. An almost practical step toward sustainability. An invited lecture on the occasion of the Fortieth Anniversary of Resources for the Future. Washington, D.C.

how to measure sustainability

- MARTEN, G.G. 1988. Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystem assessment. *Agricultural Systems* 26:291-316.
- MEADOWS, D.H. et al. 1972. *The limits to growth*. New York, Universe Books.
- MUNASINGHE, M.; WALLEY, J. 1991. Comments on the environment and emerging development issues by Dasgupta and Mäler. *Proceedings of the World Bank Annual Conference on Development Economics*. p. 133-141.
- NIEBERG, H.; ISERMEYER, F. 1994. The use of agri-environmental indicators in agricultural policy: Contribution to the Joint Working Party of the Committee for Agriculture and the Environment. OECD, Paris.
- NIJKAMP, P. 1990. Regional sustainable development and natural resources use. In *Annual Conference on Development Economics*. Washington, D.C., The World Bank.
- NORGAARD, R.B. 1988. Sustainable development: A co-evolutionary view. *Futures*. p. 606-620.
- \_\_\_\_\_. 1990. Economic indicators of resource scarcity: A critical essay. *Journal of Environmental Economics and Management*.
- O'CONNOR, J. 1994. Measuring progress. Conference held at the 19th Session of the IUCN General Assembly.
- OECD (ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT). 1991. *The state of the environment*. Paris, OECD 19:19-25.
- \_\_\_\_\_. 1993. Seminar Mobilising Investment for Latin America. (Francia, 1989). C.I. Jr. Bradford (Ed.). IDB/OECD. Washington, D.C., Paris.
- PEARCE, D. 1989. An economic perspective on sustainable development. *Development Journal of SID* 213:17-20.

- GUTIERREZ, E. 1994. The approximated sustainability index: A tool for evaluating sustainability of national performance. Paper presented at the Network Seminar on Sustainable Development Indicators. London.
- HAILU, Z.; RUNGE-METZGER, A. 1993. Sustainability of land use systems. The potential of indigenous measures for the maintenance of soil productivity in Sub-Saharan African agriculture. Tropical Agroecology 7. GTZ, Josef Margraf Scientific Books.
- HENNINGER, N. 1993. Socio-economic impact and sustainability indicators for K<sub>2</sub>. (First draft). World Resources Institute. Washington, D.C., USA.
- ICRAF (INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH IN AGROFORESTRY). 1989. Viewpoints and issues on agroforestry and sustainability. Nairobi, Kenya.
- IUCN (WORLD CONSERVATION UNION). 1980. World Conservation Strategy: Living resource conservation for sustainable development. IUCN-UNEP-WWF. Gland, Switzerland.
- \_\_\_\_\_; UNEP; WWF (WORLD WILDLIFE FUND). 1989. Caring for the world: A strategy for sustainability. Second Draft. Gland, Switzerland.
- JAROSCH, J. 1990. Methodik, Einsatzmöglichkeiten und Anwendung ökologisch-ökonomischer Planungsmodelle. Landwirtschaft und Umwelt, Bd.6, Kiel: Vauk.
- KRUSEMANN, G.; HENGSDIJK, H.; RUBEN, R. 1993. Disentangling the concept of sustainability: Conceptual definitions, analytical framework and operational techniques in sustainable land use. DLV Report no. 2.
- LELE, S.M. 1991. Sustainable development: A critical review. World Development 19(6):607-621.
- LOPEZ CORDOVEZ, L. 1991. Lineamientos conceptuales para el desarrollo rural sostenible y equitativo. Proyecto IICA-GTZ, Program III, IICA. San Jose, Costa Rica.



how to measure sustainability

- ESCOBAR, G. 1994. A hierarchical definition for measuring sustainability: A micro-macro approach. Paper prepared for the Meeting on Indicators of Sustainability Conference and Workshop. Arlington, Virginia. SANREM CRSP.
- FAINI, R.; DE MELO, J. 1990. Adjustment, investment and the real exchange rate in developing countries. *Economic Policy*. p. 495-578.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 1991. Sustainable development and management of land and water resources. In Conference on Agriculture and the Environment. (1991, 'S-Hertogenbosch, The Netherlands). Rome, FAO/Ministry of Agriculture, Nature Management and Fisheries of The Netherlands. Background document no. 1.
- FARREL, R.A.; PEARSON, C.J.; CAMPBELL, L.C. 1957. Relational databases for the design and construction of maintenance decision support systems in agriculture.
- FERREIRA, P. 1991. Estabilidad y sostenibilidad: Una visión comparativa. Manuscrito. Turrialba, C.R., CATIE.
- FRESCO, L.E. 1989. El papel del sector privado en el desarrollo agroindustrial. Seminario de Alto Nivel sobre Políticas para el Desarrollo Agroindustrial (Brasilia, 1989). Reports, Results and Recommendations from Technical Events Series. IICA, San José, C.R.
- GALLOPIN, G. 1990. La sustentabilidad ambiental del desarrollo y el cambio tecnológico en América Latina y el Caribe. In Reunión Técnica de Expertos Gubernamentales: Hacia un desarrollo ambientalmente sustentable. Santiago de Chile, ECLAC.
- GIRT, J. 1990. Institutional approaches toward the sustainable development of agriculture for IICA. San Jose, C.R., IICA.
- GLIGO, N. 1990. Los factores críticos de la sustentabilidad ambiental del desarrollo agrícola. *Comercio Exterior* 40(12). Mexico.
- GOODLAND, D.; REDCLIFF, M. (Eds.). 1991. Environment and development in Latin America: The politics of sustainability. Manchester University Press.

- CONWAY, G.R.; BARBIER, E.B. 1988. After the Green Revolution: Sustainable and equitable agricultural development. *Futures*. p. 651-670.
- COSTANZA, R. (Ed.). 1991. Ecological economics: The science and management of sustainability. New York, Columbia University Press.
- DALY, H. E. 1977. Steady state economics. Washington D.C., Island Press.
- \_\_\_\_\_ ; COBB, J. 1989. For our common good. Washington, D.C., Island Press.
- \_\_\_\_\_ ; COSTANZA, R. 1992. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology* 6(1). Washington, D.C., World Bank.
- DASGUPTA, P.; MÄLER, K-G. 1991. The environment and emerging development issues. Proceedings of the World Bank Annual Conference on Development Economics 1990. Washington, D.C.
- DEHIO, J. 1993. Analyse der Agrar - und Umweltrelevanten Auswirkungen von Auflagen und Steuern im Pflanzenschutzbereich. Studien zur Wirtschafts- und Agrarpolitik, Bd. 9. Verlag M. Wehle, Witterschlick/Bonn.
- DOVERS, S. 1987. Sustainability: Definitions, clarifications and contexts. *Environmental Management* 11(6):713-719.
- DUMANSKI, J; PETTAPIECE, W.W.; ACTON, D. F; CLAUDE, P. P. 1993. Application of agroecological concepts and hierarchy theory in design of databases for spatial and temporal characterisation of land and soil. *Geoderma* 60:343-358.
- ELLIS, G.; HANSON, B. 1989. Evaluation of appropriate technology in practice. *Journal of Contemporary Asia*. Switzerland.
- EL SERAFY, S. 1992. The proper calculation of income from depletable natural resources. In *Environmental Accounting for Sustainable Development*. Y.J. Ahmad, S. El Serafy, and E. Lutz (Eds.). Washington, D.C. UNEP-World Bank Symposium.

how to measure sustainability

- BAYRISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ. 1988. Umwelverträglichkeitsprüfung für Agrarstrukturelle Maßnahmen.
- BECHMANN, A. 1978. Nutzwertanalyse, Bewertungstheorie und Planung. Verlag Paul Haupt Bern und Stuttgart.
- BIFAD (BOARD FOR INTERNATIONAL FOOD AND AGRICULTURAL DEVELOPMENT)/USAID (UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT). 1988. Environment and natural resources: Strategies for sustainable agriculture. Washington D.C. Occasional Paper no.12.
- BISHOP, R.C. 1978. Endangered species and uncertainty: The economics of a safe minimum standard. American Journal of Agricultural Economics 60:10-18.
- BOULDING, K. 1991. El lugar de los ecosistemas naturales en la economía humana. Taller Internacional de Ecología y Economía (Turrialba, C.R., 1991). Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en América Central. CATIE/UICN.
- BROWN, L.R.; HANSON, M.; LIVERMAN, D.; MEREDETH, R. 1987. Global sustainability: Toward a definition. Environmental Management 11(6):713-719.
- BUITER, W. 1987. The current global economic situation: Outlook and policy options, with special emphasis on fiscal policy issues. Discussion Paper Series no. 210. London, Center for Economic Policy Research.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFTLICHE ZUSAMMENARBEIT—BMZ. 1991. Efectos de los proyectos de cooperación en desarrollo sobre el medio ambiente. La evaluación del impacto ambiental. Bonn, FRG.
- CGIAR (CONSULTATIVE GROUP FOR INTERNATIONAL AGRICULTURAL DEVELOPMENT). 1990. Sustainable agricultural production: Final report of the CGIAR Committee. Document no. MT/90/18.
- CONWAY, G.R. 1983. Agroecosystem analysis. ICET Series No. 1. University of London.

## REFERENCES

- ADRIAANSE, A. 1993. Environmental policy performance indicators. A study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnegracht. The Netherlands.
- ALFARO SANCHEZ, M.; PALACIOS ALVAREZ, G.; VAHRSON, W.G. (Eds.). 1991. Taller de Erosión de Suelos. Memoria. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional.
- ALTIERI, M.A. 1983. Agroecology: The scientific basis of alternative agriculture. Boulder, Colorado, Westview Press.
- AMIGOS DE LA TIERRA—ADT. 1993. Programas de ajuste estructural y el bosque. Paper presented at the Conference of Environmentalists, London.
- ARNOLD, S.H. 1989. Sustainable development: A solution to the development puzzle? *Development* 2/3.
- AVILA, M. 1989. Sustainability and agroforestry. In *Viewpoints and issues on agroforestry and sustainability*. Nairobi, Kenya, ICRAF.
- BALDARES, M.; GUTIERREZ, E.; ALVARADO, A.; BRENES, L. 1993. Desarrollo de un sistema de información sobre indicadores de sostenibilidad para los sectores agrícola y de recursos naturales de los países de América Latina y el Caribe. Draft. IICA-GTZ Project. San Jose, Costa Rica.
- BARBIER, E.B. 1987. The concept of sustainable economic development. *Environmental Conservation* 14(2):101-110.
- BARTELMUS, P. 1991. Sustainable development. Goals and interpretations. Meeting on National Accounting and National Resources for Latin America. UNDP Statistical Bureau. Manuscript. San Jose, Costa Rica.
- BATIE, S. 1989. Sustainable development: Challenges to the profession of agricultural economics. *American Journal of Agricultural Economics*. p. 1084-1101.

The first of these was the fact that the war had been going on for so long that the public had become weary of it. The second was the fact that the war had been going on for so long that the public had become weary of it.

**Social equity:** This involves the distribution of satisfaction of needs, and access to the goods and services of society. An example is equitable distribution of income among different social strata.

**Social stability:** This is the capacity of the system to buffer annual fluctuation of factors in the social environment (food prices, income levels, and the like), in preserving the level of general welfare within a certain range. For instance, a family that produces enough food to accumulate food reserves can weather a low-production year without greatly reducing its nutritional status.

**Ecological resilience:** The capacity to buffer ecological stress, such as inappropriate farming systems or a prolonged drought, or ecological shocks, like a major pest outbreak (Conway and Barbier 1988). A resilient system will soon recover and regain earlier productivity levels.

**Economic resilience:** Economic resilience can be defined as the capacity to buffer lengthy stress, such as steady increases in input prices, or a shock, such as a sudden drop in product prices, and return to its original profitability.

**Social resilience:** This is the degree to which a system is able to cope with economic and ecological stress and still satisfy needs sufficiently, losing neither its ability to satisfy needs, nor the possibility of enjoying such satisfaction into the future. The shock could be the appearance of an infectious disease; if the family is well nourished and belongs to a social security system, the disease will not cause major problems, since the family has savings and access to adequate medical care.

**Ecological equity:** Equity has been described as the manner in which the benefits and costs of production in the system are shared (Conway and Barbier 1988). Equity can also be assessed in terms of the ability of different social groups to obtain the resources of the system. Thus, ecological equity describes access to natural resources and to the distribution of ecological benefits as well as costs. For instance, access to safe water, a clean environment, and recreational areas, or exposure to contaminants; very often, poor people live in more highly contaminated areas (an ecological cost).

**Economic equity:** Economic equity reflects the distribution of economic profitability and access to economic goods and resources. As an example, wage levels may be differentiated by sex or ethnic group, or access to economic opportunities or credit may be discriminatory.

## APPENDIX: CRITERIA FOR DEFINING INDICATORS

Characteristics considered for filling the squares of the indicator matrix:

**Ecological productivity:** Ecologically, productivity is the rate at which radiant energy is stored by photosynthesis and chemosynthesis, in order to produce organic matter. In more general terms, it can be defined as the relationship between biophysical inputs and biophysical outputs.

**Economic productivity:** Productivity may be defined as the output of product per unit of resource input. It reflects the way production factors or inputs are combined to produce outputs, that is, the conversion ratios of each input into output. Productivity is normally measured in physical units, except when components of inputs and outputs are very heterogeneous. In such cases, they must be weighted, most commonly with price indices (Schäfer 1987). In the matrix, economic productivity is defined as the relationship between monetary inputs and monetary outputs (profitability of the system), as opposed to ecological productivity.

**Social productivity:** For the purpose of the matrix, social productivity has been defined as the ratio between the level of productivity and production (and the product composition) and the needs of the population, as in the relationship between family income and the basic food basket.

**Ecological stability:** This is the capacity of the system to buffer annual fluctuations in environmental factors (temperature, precipitation, etc.), in such a way as to maintain productivity within a certain range (Conway and Barbier 1988). A stable system displays very little productivity variation around a tendency. If, for instance, the soil has good water-holding capacity, due to soil type and plant cover, the system tends to be stable in the face of fluctuating rainfall.

**Economic stability:** Economic stability is the capacity of the system to respond to annual fluctuations in factors of the economic environment (such as product prices or inputs), and still maintain profitability levels, within a certain range. For example, if the system is flexible enough that input use can be adjusted when relative prices slip, it tends to be stable.





## CLOSING REMARKS

The research described is still in progress, and no final conclusions can yet be drawn. However, the systems approach has proven to be very useful in defining indicators and identifying information needs; it may be especially helpful for linking indicators at the farm-household level to indicators at the watershed level.

A review of the list of indicators classified under each system property, reveals that most indicators are related to "resilience." Resilience has been given a broad significance, referring not only to ecological aspects, but also to economic and social features. An economy with a high external debt burden and low capacity to pay for it may break down if faced with a shock such as a sudden, strong contraction in export earnings. High rates of erosion show that the system is exposed to continuing stress caused by unsustainable land use. Inappropriate land use which does not respect ecological limitations hinders the resilience of the system to withstand stress factors such as drought. Finally, a farming system with capital reserves is more highly resilient than one without such reserves, and may be able to survive price declines and other external shocks and stress factors.

Thus, resilience seems to be a fundamental property of sustainability; in fact, Conway and Barbier (1988) define sustainability as resilience. This document merely broadens their concept to include productivity, stability and equity. This is because it is not enough merely to sustain *some* level of production after shock and stress; rather, the system must sustain the level *necessary* to meet the needs of the population. Moreover, its benefits should be distributed in a way that allows these needs to be met.

The next phase of this work will examine the empirical results of the case study. Special emphasis will be placed on an analysis of relationships and trade-offs among the different indicators, the properties of the system and the three dimensions of sustainability. An attempt will then be made to aggregate the indicators in a farm-household model and to determine reference values which may be compared with the empirical results obtained in the watershed.



<b>Indicator:</b>	Savings in <b>colones</b> per year
<b>Element:</b>	Management/performance of the system
<b>Indicator:</b>	Costs of pest management
<b>Indicator:</b>	Value of production loss in ( <b>colones/ha</b> )
<b>Indicator:</b>	Costs of plant protection ( <b>colones/ha</b> )
<b>Indicator:</b>	Share of plant protection costs as percentage of total input costs
<b>Indicator:</b>	Costs of fertilizing ( <b>colones/ha</b> )
<b>Indicator:</b>	Share of fertilizing costs as percentage of total input costs
<b>Indicator:</b>	Value of fertilizer leaching ( <b>colones/ha</b> )
<b>Indicator:</b>	Income from onions and potatoes as percentage of total farm income
<b>Indicator:</b>	Off-farm income (as percentage of total family income)

---

**Dimension:** *Social*

<b>Property:</b>	Productivity
<b>Element:</b>	Management/performance of the system
<b>Indicator:</b>	Ratio of household expenses to income
<b>Indicator:</b>	Frequency of need for consumer credit
<b>Indicator:</b>	Ratio of income per adult family member/alternative wage

<b>Property:</b>	Stability
<b>Element:</b>	Management/performance of the system
<b>Indicator:</b>	Difference between lowest and highest income over the last 10 years

<b>Property:</b>	Resilience
<b>Element:</b>	Human resources
<b>Indicator:</b>	Level of education of farmer and spouse
<b>Element:</b>	Management/performance of the system
<b>Indicator:</b>	Frequency of participation in training events
<b>Indicator:</b>	Expenses for education/year and family member
<b>Indicator:</b>	Health expenses/year and family member
<b>Indicator:</b>	Provisions for age/year

---

how to measure sustainability

**Indicator:** Area of potatoes and area of onions as percentage of total cultivated area

**Property:** Resilience

**Element:** Land

**Indicator:** Depth of topsoil (cm A horizon)

**Indicator:** Degree of visible soil degradation (using FAO approach)

**Element:** Flora and fauna

**Indicator:** Share of area with low-input crops as percentage of total area planted (beans, etc.)

**Element:** Management/performance of the system

**Indicator:** Share of area under onions and potatoes as percentage of total area planted

**Indicator:** Share of area planted to leguminous crops as percentage of total area planted

**Indicator:** Intensity of land use (number of harvests per year)

**Indicator:** Quantity of pesticides applied (kg/ha of active ingredients)

**Indicator:** % crop loss caused by pests

---

**Dimension:** *Economic*

**Property:** Productivity

**Element:** Management/performance of the system

**Indicator:** Total factor productivity in potato and onion production

**Indicator:** Gross margin/ha

**Indicator:** Income per day of family labor

**Property:** Stability

**Element:** Management/performance of the system

**Indicator:** Variation of crop income from year to year (potatoes and onions)

**Indicator:** Variation of family income from year to year

**Indicator:** Incomes from onions and potatoes as percentage of total farm income

**Property:** Resilience

**Element:** Financial/capital resources

**Indicator:** Capital accumulation (value of farm equipment, means of transportation, houses, etc.)

**Indicator:** Debt in **colones**/ha cultivated land

**Indicator:** Debt in **colones**/adult family member

Indicator:	Percentage of farm-households whose children are in secondary school
Indicator:	Percentage of farm-households making provisions for old age
Element:	Financial/capital resources
Indicator:	Percentage of farmers with means of transportation
Element:	Management/performance of the system
Indicator:	Number of pesticide poisoning cases per year
Indicator:	Health expenditures per year and family member
<u>Property:</u>	Equity
Element:	Financial/capital resources
Indicator:	Percentage of farmers living in their own houses
Indicator:	Percentage of farm-households covered by the social security system
Element:	Management/performance of the system
Indicator:	Gini coefficient of farm-household income

---

*Table 3. Indicators at the farm-household level.*

---

**Dimension:** *Ecological (physical quality and quantity of resources)*

<u>Property:</u>	Productivity
Element:	Land
Indicator:	% organic matter
Indicator:	Inventory nutrients/area (kg/ha)
Indicator:	Yield/nutrient input
Element:	Management/performance of the system
Indicator:	Yield/nutrient input (kg/kg)
Indicator:	Fertilizer application (kg/ha)
Indicator:	Fertilizer leaching (kg N per ha)
<u>Property:</u>	Stability
Element:	Land
Indicator:	% organic matter
Element:	Management/performance of the system
Indicator:	Yield fluctuation per ha

## how to measure sustainability

**Property:** Stability  
**Element:** Management/performance of the system  
**Indicator:** Fluctuation of crop income

**Property:** Resilience  
**Element:** Management/performance of the system  
**Indicator:** Area with onions and potatoes as percentage of total cultivated area  
**Indicator:** External inputs (fertilizer and pesticides) as percentage of total input costs  
**Indicator:** Saving and investment capacity (Average difference between income and expenditures on the farm)

**Property:** Equity  
**Element:** Financial resources  
**Indicator:** Percentage of farmers with access to credit  
**Element:** Human resources  
**Indicator:** Percentage of farmers who received technical assistance  
**Element:** Management/performance of the system  
**Indicator:** Percentage of farms which depend on market intermediaries

---

### ***Dimension: Social***

**Property:** Productivity  
**Element:** Management/performance of the system  
**Indicator:** Regional farm-household income (colones/year)  
**Indicator:** Farm worker wages (colones/year)

**Property:** Stability  
**Element:** Management/performance of the system  
**Indicator:** Fluctuations in farm-household income

**Property:** Resilience  
**Element:** Land  
**Indicator:** Percentage of farmers who own their land  
**Element:** Human resources  
**Indicator:** Percentage of farmers with secondary education

<b>Property:</b>	Resilience
<b>Element:</b>	Land
<b>Indicator:</b>	Percentage of area with physical erosion, according to severity
<b>Indicator:</b>	Measures of sediment load (MT)
<b>Element:</b>	Flora and fauna
<b>Indicator:</b>	Area with natural vegetation, as percentage of total area
<b>Indicator:</b>	Area with crops using low pesticide input, as percentage of total cultivated area
<b>Element:</b>	Management/performance of the system
<b>Indicator:</b>	Ratio between land-use capacity and present land use
<b>Indicator:</b>	% of denuded land during parts of the rainy season
<b>Indicator:</b>	% of farms on steep land with adequate land conservation measures
<b>Indicator:</b>	Application of pesticides (kg active ingredients/ha)
<b>Indicator:</b>	Number of products with problems of pesticide-resistant infestations
<hr/>	
<b>Property:</b>	Equity
<b>Element:</b>	Land
<b>Indicator:</b>	Gini coefficient of land tenure
<b>Element:</b>	Water
<b>Indicator:</b>	% of farmers with official access to irrigation water (SENARA)
<b>Indicator:</b>	% of farmers using river water for irrigation

---

**Dimension:** *Economic*

<b>Property:</b>	Productivity
<b>Element:</b>	Land
<b>Indicator:</b>	Land price ( <b>colones/ha</b> )
<b>Indicator:</b>	Land rental ( <b>colones/year/ha</b> )
<b>Element:</b>	Water
<b>Indicator:</b>	Price for the use of irrigation water ( <b>colones/ha/year</b> )
<b>Element:</b>	Management/performance of the system
<b>Indicator:</b>	Average regional gross margin per ha of different crops
<b>Indicator:</b>	Average expenses for fertilizer ( <b>colones/ha</b> )
<b>Indicator:</b>	Salaries for land workers ( <b>colones/ha</b> )



## *Indicators Selected*

Indicators cannot always be defined for every element, every property and all three dimensions of sustainability, without at least some squares of the indicator matrix remaining empty. In other cases, a single indicator may fit more than one property. The important point is that the system has been checked for all the characteristics of the matrix, and that the indicators ultimately selected describe the sustainability of the system as a whole.

*Table 2. Indicators at the watershed level.*

---

<b>Dimension:</b>	<b><i>Ecological</i></b>
<b>Property:</b>	Productivity
<b>Element:</b>	Land
<b>Indicator:</b>	Yields per ha of different crops (in comparison with yields at the national level and in other areas)
<b>Element:</b>	Water
<b>Indicator:</b>	Index of water quality of SENARA project irrigation water
<b>Indicator:</b>	Water quality index at the different sample points
<b>Indicator:</b>	Content of nitrate, ammonia, potassium and phosphate at the different sample points
<b>Indicator:</b>	Percentage of water samples with pesticide residues
<b>Element:</b>	Management/performance of the system
<b>Indicator:</b>	Regional crop production (MT)
<b>Indicator:</b>	Yields per ha of different crops (kg/ha)
<b>Indicator:</b>	Fertilizer application kg/ha
<b>Property:</b>	Stability
<b>Element:</b>	Management/performance of the system
<b>Indicator:</b>	Yearly fluctuation of regional crop production
<b>Indicator:</b>	Yearly fluctuation of regional crop yields

high levels of pesticide use, a limited number of yield and soil samples were analyzed for pesticide residues.

The multi-visit survey covered the middle part of the watershed, where most intensive production is concentrated. The participating farms were monitored over the course of two and, where necessary, three cropping seasons. This permitted effective monitoring of land management practices, as well as pesticide and fertilizer applications, which must later be related to yield measurements and soil quality indicators.

The socioeconomic survey covered a somewhat smaller sample. Since questions regarding health, income, spending and savings require a considerable level of trust, it was impossible to cover the entire sample. Information regarding input and output prices and the quality and composition of pesticides and fertilizers was gathered at the regional level, since there were no major differences from one farm-household to another.

A study of surface water quality was conducted at the regional level. The study's objective was to relate measured water quality parameters to land use, management practices and some biophysical conditions.

For this purpose, nine measuring points were selected along the course of the Río Reventado and some of its affluents, and monthly water samples were taken during the rainy season<sup>7</sup>. A later attempt will be made to estimate the economic value of water-quality degradation, in the context of sedimentation problems at the Cachí Power Station.

Secondly, a basic map was drawn, showing the farms which were covered by the surveys, to facilitate updating of existing land-use maps of the watershed. Additionally, socioeconomic information from the farm-households can be included for use in analyzing their relationship with environmental factors such as land-use capacity<sup>8</sup> and conflicting land use.

---

7 The measured parameters include temperature, dissolved oxygen, pH, conductivity, turbidity, nitrates, phosphates, ammonia, potassium, magnesium, calcium, chlorides, total solids, dissolved and suspended solids.

8 Maximum intensity of land use, taking into account the ecological limits (according to the FAO approach).

## how to measure sustainability

for a considerable time. This represents a severe constraint for several reasons. First, pasture cannot necessarily be considered an appropriate land use for this area. Second, people very often convert horticultural areas into pasture when soil productivity seems to be exhausted. Thus, the pasture samples do not represent the unaltered resource soil.

Over the last forty years, vegetable production in the research area has expanded greatly, to the detriment of cattle production; farms are therefore growing vegetables with different time horizons. For this reason, well-selected soil tests could provide an indication of medium- and long-term changes in soil conditions resulting from the change in land use. Unfortunately, the information on time horizons of horticultural production does not seem to be very reliable due to changes in land tenure. Nevertheless, it will be analyzed if soil quality indicators are found to correlate with the length of time the land has been used for horticulture.

Since degradation symptoms vary strongly with slope, soil and productivity analyses were conducted on samples taken from the different types of slopes predominant in the region.

Depth of topsoil, visible erosion<sup>6</sup>, and percentage of organic matter were selected as indicators of soil quality, in order to detect changes caused by current land use practices. Fertility analysis has been included even when it is expected to yield no significant results regarding degradation caused by intensive land use. By contrast, in some cases, chemical analysis produced higher values in intensive use areas than in the reference sample, due to high fertilizer application. Since fertilizers are applied several times per year, there is almost no occasion when its influence can be overlooked, and the cumulative effect has to be considered. Nutrient levels, however, are necessary to evaluate farmers' fertilizing practices and to estimate fertilizer leaching.

Yield measurements were taken at every soil sample point, for analysis of possible impacts of soil quality on yields. Additionally, because of

---

6 Refers to visible soil damage caused by accelerated erosion. The level of erosion is measured on the basis of field observations of pedestals, denuded roots, the presence of furrows, gullies, landslides, mass removal and the accumulation of sediments at the foot of slopes and in drainages. There are five categories of erosion (from 1=null to 5=very severe).

1. *Diagnosis of the environmental and socioeconomic situation in the watershed, based on secondary information and a pre-survey.*
2. *Formulation of hypotheses regarding the possible impacts of present land use on sustainability.*
3. *Identification of a preliminary set of indicators at the farm and watershed levels.*
4. *Analysis of information requirements. Design of a procedure for primary and secondary data generation:*
  - *Analysis of soil and water samples*
  - *Monitoring of production technology during one year*
  - *Yield measurements*
  - *Socioeconomic survey*
  - *Crop analysis*
  - *Primary and secondary information regarding sustainable land use practices and their respective costs and benefits*
  - *Secondary information regarding marketing, prices, infrastructure, etc.*
5. *Revision of the preliminary indicator set and definition of the final indicator set.*

In accordance with the initial hypothesis, physical data generation concentrated on soil and water resources (surface water), which are presumably affected by present land use. The objective of the soil analysis was to determine whether, and to what degree, present land use practices have altered the soil in a way that diminishes sustainability of agricultural production. Therefore, soil quality parameters found at the different farms had to be compared with the values from unaltered soil of the same type and from the same region.

The survey region lacked natural areas; therefore, reference samples on soil quality had to be taken from areas which have been under pasture

In the three districts of the watershed, population has been estimated at 8,900. Infrastructure permits access to markets, and the whole region has electricity and potable water. Most of the production is sold in the Central Valley and in San Jose, the capital city. Only a few farmers export to other Central American countries and to the United States. Unlike other staple items such as rice, maize and animal products, whose prices are regulated, horticultural products are subject to wide annual price fluctuations, depending on supply and demand factors and to import regulations. As a result of trade liberalization policies, import barriers for horticultural crops are disappearing.

Using this information, some hypotheses have been formulated with regard to factors that may affect sustainability of land use in the watershed:

- *The quality of soil and water resources is affected by current land use.*
- *Soil productivity has decreased in areas with highly degraded soils.*
- *Intensive land use with few rotations and high pesticide use have affected the system's resilience and stability, evident in high pest and disease pressure, and resistances.*
- *High pesticide use leads, in some cases, to residues in crops and health problems for workers applying the chemicals.*
- *At the regional level, inappropriate land use leads to a considerable sediment load transported to the Reventazón river and contributes to sedimentation problems in the Cachí Dam.*

## **Data Generation**

According to the methodological approach, data had to be generated at three levels: the plot level, estimating indicators of soil quality, soil degradation, production techniques and yields; the farm-household level, integrating aggregated information obtained from the plots and data compiled through the socioeconomic survey; and the watershed level, to analyze indicators of water quality and incorporating information on land use and soil degradation into a geographic information system. The data generation process consisted of the following steps:

## **APPLICATION OF THE FRAMEWORK IN THIS RESEARCH**

The methodological framework discussed above has been implemented to define indicators at the regional and local levels in a case study of a Costa Rican watershed.

### ***The Research Area: Agroecological Conditions and Prevalent Farming Systems***

The Río Reventado watershed is located in Cartago, Costa Rica and has an area of 2,152 ha, consisting of volcanic soils, sharply sloping banks and unstable slopes. The main river bed is 12 km long, and is a typical mountain river, one or two meters wide and 15 cm deep during the dry season, and some five meters wide during the rainy season. The source of the river is located two kilometers southeast of the main crater of the Irazú volcano, at an altitude of 3,432 m. Annual precipitation is about 1,700 mm, with a dry season from December to April. Average temperature is 13 degrees C, varying with the altitude and season. The Río Reventado is one of the affluents of the Reventazón river, where a hydroelectric power plant is located. Sedimentation have been reported in the main basin, resulting from the sediment load carried by the river, and is affecting the production capacity of the plant.

Most of the upper part of the watershed is covered with secondary forest, with a few spots of primary forest in "Prusia" national park. Areas outside the park are used for extensive cattle grazing. The middle and lower parts of the watershed are mostly cultivated with annual crops, even on steep slopes ranging range from five to 70 percent. There are also some cattle raisers and farmers temporarily using some areas as paddocks in order to restore depleted soil fertility.

Most of the farmers own their land (farms range from 0.25 ha to 50 ha) and cultivate an average of three hectares with horticultural crops (potato, onions, carrots, cabbage, beans, etc.). Land use is very intensive, with two or three harvests per year, and a significant share of the farmers use irrigation during the dry season. Fertilizer and pesticide use are relatively high, and most of the farms are partly mechanized, renting tractors for plowing. Most farmers alter drainage as the only soil conservation measure.



make it more transparent and comprehensive. Utility analysis takes into account the fact that there may be a relationship among the different indicators, so that they reinforce each other or neutralize each other. Thus, summing them up in an index may be misleading. According to Bechmann (1978), the aggregation process in utility analysis must be carried out using the following steps:

1. *Assess the current level of each indicator.*
2. *Define the contribution of each indicator to the overall goal (in our case, sustainability).*
3. *Identify the interrelationships among the different indicators.*
4. *Based on the results of steps 1 - 3, calculate the effective contribution of each indicator to the goal.*
5. *Aggregate the values of the indicators, weighting them by their respective contribution to the goal.*

Although this approach is more comprehensive, it cannot be considered unbiased since steps 2-4 require a normative framework. Thus, it follows that whatever kind of aggregation is used, it must be carried out transparently, with assumptions and value judgments clearly identified and considered accordingly in the interpretation of the results.



## how to measure sustainability

value (i.e., a target value) may be considered more sustainable than systems in which the values of the indicators are distant. By contrast, threshold values are levels that normally should not be surpassed. Thus, a system may be assessed as more sustainable when the values of its indicators are relatively far beyond a minimum threshold or below a maximum threshold. Aggregation could be carried out according to the following formula:

$$SI = 1/100 * \sum_{i=1}^n IV_i * WF_i$$

$$WF_i = 100/TV_i$$

where:

SI = Sustainability index

WF<sub>i</sub> = Weighting factor of indicator i

TV<sub>i</sub> = Target values of indicator i

This formula does not take into account that the importance which the different indicators have regarding sustainability may vary; instead, it is assumed that every indicator has the same influence, which may not reflect reality. This could be changed by giving weights to the indicators according to their relative importance. This, however, is a value-laden process, especially regarding the relative importance of ecological, economic and social indicators. To make sure these weights reflect scientific knowledge and societal consent, expert surveys could be carried out to interview the respective scientists regarding the relative importance of indicators within the three dimensions (ecological, economic and social). Representatives of society could also give their opinions regarding the relative importance of indicators between the dimensions. In Germany, an expert survey was carried out to discover the opinions of experts of different disciplines, regarding a proposed indicator catalogue (Nieberg and Isermeyer 1994). There could be no indicator which all the experts consider to be appropriate, and the rating of the indicators may vary considerably among experts.

Utility analysis, an approach used especially in the marketing sector, has also been applied to issues such as the potential of landscapes for different forms of land use. It structures the aggregation process in order to

If no threshold values exist and no societal consent can be found regarding target values, there are two additional options. While they are not useful for evaluating whether a system is sustainable, they do give a rough idea of its relative position regarding past development and similar systems:

- *Trends* in the value of an indicator, such as changes in soil loss, income levels, income distribution, and the like.
- *Average values* of similar systems, as when comparing Costa Rica with average values of Central America.

The definition of reference values is one of the most critical points in the discussion of indicators. If indicators are used only for monitoring purposes, reference values may not be necessary, but if a given situation is to be evaluated, or different alternatives are to be compared, a crucial question is what kind of reference values have been selected.

One of the comparative advantages of this approach is the fact that indicators provide a disaggregated description of a system, and thus are useful for identifying critical areas of sustainability that may be overlooked in a more aggregated index. However, a certain degree of aggregation may be necessary to compare different alternatives and discover which one may be more preferable in terms of sustainability.

### ***Aggregation of indicators***

Different categories of aggregation can be used, such as spatial aggregation, temporal aggregation, and sectoral aggregation. However, in the end, the different indicators need to be summed up. This means that, regardless of the category used, a common denominator has to be found. Frequently this common denominator is obtained by giving an economic value to the variables involved in an indicator. Resource economics and environmental economics have developed instruments to evaluate ecological impacts economically (user value, option value, contingency value, etc.).

Where this is not possible, different systems may be compared by their distance from the pertinent reference values (Adriaanse 1993). A system in which most of the indicators are close to achieving a reference

The question is, given that indicators vary from one system to another, how can different systems be compared and how can the performance of a system be evaluated? Since no evaluation is possible without a reference system, indicators have to be compared with reference values, so as to determine the degree to which sustainability has been reached. At the very least, such a tactic will show which of a given set of alternatives is closer to a sustainable situation.

### *The need for a reference system*

According to Adriaanse (1993) and OECD (1993), there are several ways to define reference values:

- **Threshold values**, or critical values of indicators. An amount higher than the critical value of an indicator may be expected to have significant negative impacts. Threshold values should be defined scientifically and be less subjective.
- **Historical values**, which presumably represent a sustainable situation. The Dutch government, for instance, is using the year 1930 as a reference value for water quality in the North Sea.
- **Target values**, such as certain water quality standards set by the government. Target values and, to a certain degree, historical values are subjective, and require some kind of consensus in the affected society in order to be implemented.

For certain indicators already in use, well-founded thresholds can be a helpful measurement. Ecological standards, such as extreme values for tolerable resource degradation, can be partly deduced from natural sciences. Threshold values can be based on norms defined by such institutions as the World Health Organization (WHO), the Food and Agriculture Organization (FAO) or other international and legal entities. For other characteristics, however, more normative values may have to be adopted, especially for certain social and economic indicators. For instance, no one has determined the equity threshold beyond which social unrest may occur. Minimum wages high enough to meet basic needs may be considered threshold values which, if not met, may lead to health problems. Nevertheless, such a measurement normally falls in the category of target values, since the concept of basic needs varies from country to country and, very often, reflects value judgment.

- *They should fit the specific problem to be analyzed and the needs of the users of the information.*
- *They should be sensitive to changes in the system.*
- *Individual indicators must always be analyzed in relation to other indicators.*
- *They should give basic information, so that the trade-offs between the different dimensions of sustainability can be assessed.*

### ***Critical Aspects and Limitations of the Indicator Approach: The Need for a Reference System and Problems of Aggregation***

The matrix presented above structures the process of selecting indicators and makes it more transparent; it does not guarantee a totally objective choice, however, and it leaves a considerable margin for value judgment.

Individual indicators are always analyzed in relation to other indicators. In order to avoid misinterpretation, it should be clearly specified which indicators make a significant explanatory contribution and which indicators must be used in combination with others. If, for instance, the development of soil productivity in a region will be measured using the average yield/hectare indicator, series need to be observed over a sufficiently long term to separate yield variation caused by annual climate fluctuations; for the same reason, changes in input and land use, and their impacts on yield, have to be taken into account. The average yield/hectare indicator alone could lead to misinterpretation regarding sustainability if these other aspects are not included.

Qualitative aspects, such as spatial diversity and biodiversity (important for the ecological resilience of the system) or soil fertility (important for productivity) are often difficult to take into account explicitly and to quantify in this matrix. However, such aspects are usually a mixture of processes that can be quantified more easily. For example, soil fertility can be subdivided into chemical, physical and biological processes.

DIMENSION	Ecological		Economic		Social	
	Resources	Performance	Resources	Performance	Resources	Performance
Productivity	ERP1	EPP1	ORP1	OPP1	SRP1	SPP1
	ERPn	EPPn	ORPn	OPPn	SRPn	SPPn
Stability	ERS1	EPS1	ORS1	OPS1	SRS1	SFS1
	ERSn	EPSn	ORSn	OPSn	SRSn	SFSn
Resilience	ERR1	EPR1	ORR1	OPR1	SRR1	SPR1
	ERRn	EPRn	ORRn	OPRn	SRRn	SPRn
Equity	ERE1	EPE1	ORE1	OPE1	SRE1	SPE1
	EREn	EPEn	OREn	OPEn	SREn	SPEn

E = Ecological indicators, O = Economic indicators, S=Social indicators  
 P=Productivity, S=Stability, R=Resilience, E=Equity

Figure 4. Matrix for defining sustainability indicators.

## *A Matrix for the Selection of Indicators*

Sustainability has three dimensions: ecological, economic and social. Sustainable agriculture has been equated with sustainable management of agroecosystems. Agroecosystems may be described in terms of the state of their resources and performance, and four fundamental properties for sustainable agroecosystems have been discussed. All these criteria can be combined in a matrix, as shown in Figure 4. Indicators can then be selected according to the characteristics of different squares in the matrix. For instance, indicators which describe ecological/biophysical productivity of the different resources appear in one square, while the next square shows productivity from an economic standpoint. (The Appendix gives a more comprehensive explanation of the potential contents of each square.)

Several of the squares, however, may contain the same indicators. Since most processes and indicators interact in some way, multiple indicators can be used to approximate different effects of processes.

Some of the squares may remain empty in specific cases when no appropriate indicators can be found. The usefulness of the matrix lies in its ability to include all important aspects in the analysis, and serve as a pathway for the process of selecting indicators.

Indicators, then, pass through a selection process in which they are measured against a series of quality criteria, especially cost-effectiveness, their explanatory power and their significance to a specific problem:

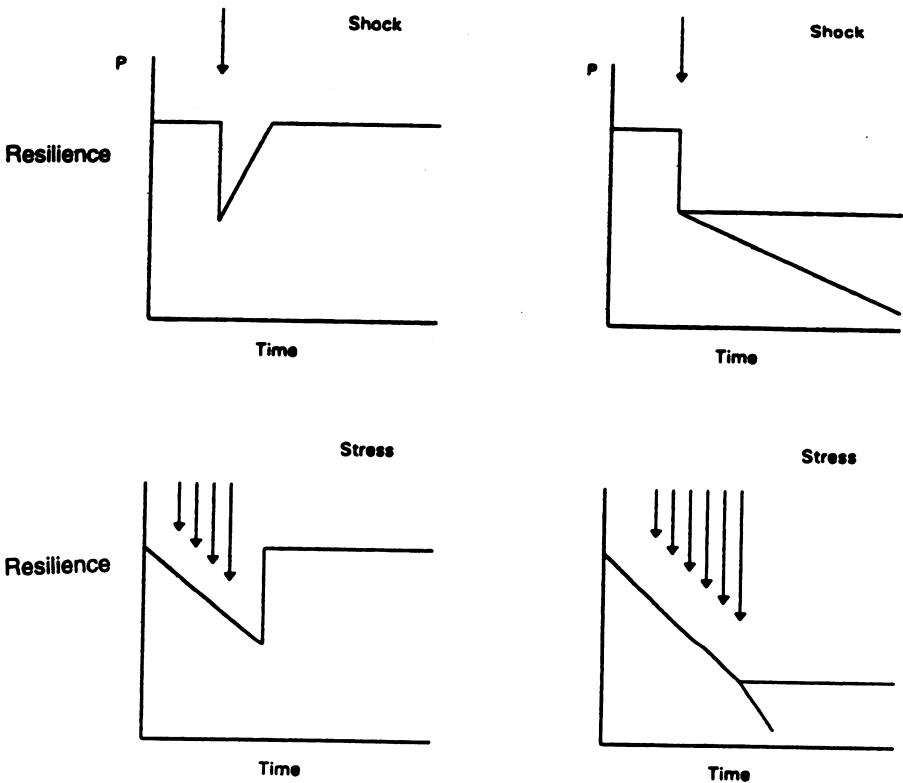
- *Indicators should be relatively easy to measure and cost-effective to define.*
- *Indicators should correspond to the aggregation level of the system under consideration.*
- *Indicators should be developed in such a way that they also allow the local population to participate in defining them.*
- *It must be possible to repeat the measurements over time.*
- *Indicators should give a significant explanation of the sustainability of the observed system.*

how to measure sustainability

described in terms of measures of absolute concentration. One example is the Herfindahl Measure:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{(\sum_{j=1}^n x_j)^2}$$

where  $X_i$  is the value of the  $i$ -th element. It could also be gauged with measures of relative concentration like the Gini coefficient:  $K_G = F_0 / (F_0 + F_u)$ , where  $F_0$  = area between the diagonal and the Lorenz curve and  $F_u$  = maximum area between the diagonal and the Lorenz curve.



*Figure 3. Resilience.*

level of inputs ( $O_{act} / O_{max} \mid I = \text{given input level}$ ; Ellis 1989) or the ratio between minimum input use and actual input use ( $I_{min} / I_{act} \mid Q = \text{given output level}$ ; Farrel, Pearson and Campbell 1957).

2. **Stability:** *Constancy of productivity of the agroecosystem, month-to-month and year-to-year, in the face of normal fluctuations and cycles in the surrounding environment due to such variations as weather or market demand for agricultural products (Conway 1983). In contrast to productivity, which refers to a level, stability refers to the variability of the trend. It can be measured by a trend-adjusted coefficient of variation:*

$$\sigma^{2*} = 1/n \sum_{i=1}^n (x_i - x_i^*)^2 \text{ and } v^* = \sigma^*/M$$

where  $x_i^*$  = trend value of the variable  $x$  and  $s^{2*}$ ,  $s^*$ ,  $n^*$  = trend-adjusted variance, trend-adjusted standard deviation, and trend-adjusted variation coefficient.

3. **Resilience:** *The ability of the agroecosystem to maintain productivity, in the face of stress or shock. Stress is defined as a frequent, sometimes continuous, relatively small, predictable force having a large cumulative effect. Shock is defined as a major, relatively large, unpredictable event. Stress may be caused by flawed management techniques, whereas a shock could be a major event, such as a new pest, a rare drought, or a sudden massive increase in input prices (Conway 1983).*

Resilience may be measured by observing the long-term productivity trend. If productivity goes into a slide or displays abrupt decreases without returning to the original level, the system is not capable of buffering whatever the influencing factor was in order to maintain productivity.

4. **Equity:** *The manner in which the benefits and costs of production in the system are shared. Equity may be defined as the even distribution of the system's productivity among human beneficiaries (Conway and Barbier 1988). It can also be analyzed in terms of the access of different social groups to the resources of the system. Equity can be*



## *Properties of Sustainable Agroecosystems*

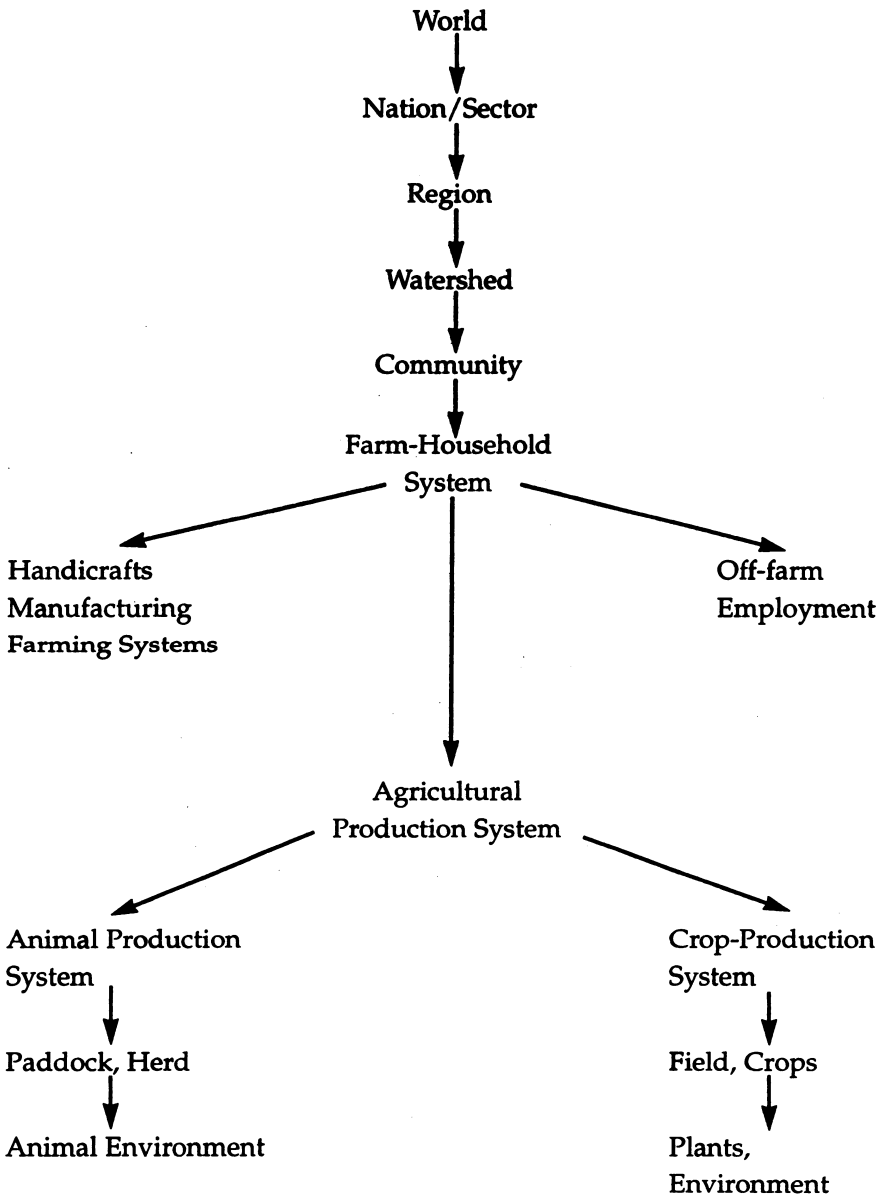
The disaggregation of system components and their relevant interactions are basic aspects of systems analysis. The different elements of an agroecosystem are the resources involved, and their interactions are demonstrated by the functioning or performance of the system.

Resources include such elements as water, soil, flora, fauna, air, human capital, financial resources, cultural goods, and unique landscapes. The performance of the system, in the view of Avila, should be distinguished from the management of the system (inputs, energy, land use) and the products of the system (production, waste, residues) (ICRAF 1989).

Thus, sustainability of a system may be determined by indicators describing the state of its different components, or more specifically, by the *quality and quantity of the different resources* of the system and/or by indicators which measure the rate at which changes occur in the state or *performance* of the system. The latter characterize the *rate* of a process (e.g., soil loss or nutrient loss per ha per year), whereas the former describe the *state* of a process (e.g., soil pH or organic matter).

Furthermore, according to the model proposed by Gutiérrez (1994) and the definitions of sustainable agriculture discussed above, at least four important properties for sustainable agroecosystems have to be considered:

1. **Productivity:** Productivity may be defined as *the output of product per unit of resource input*. It tells how production factors or inputs are combined to produce outputs, that is, the ratios of conversion of each input into output:  $(\frac{\sum_{j=1}^n O_j}{\sum_{i=1}^k I_i})$ . Normally productivity is measured in physical units, except when components of inputs and outputs are extremely heterogeneous. Consequently, they must be weighted, most commonly with price indices (Schäfer 1987). Productivity is strongly related to technical efficiency, which is defined as the maximum attainable level of output at a given level of inputs. It can be measured as actual output divided by maximum output at a given



*Figure 2. The hierarchy of agroecosystems.*

Source: Figure 3: The hierarchy of agroecosystems in Conway and Barbier (1988:657).

In the case of interventions stemming from regional agricultural development programs, most of the activities are carried out at the farm and watershed levels. These regional agricultural development programs usually depend on a decision-making unit as an entry point to provoke a reaction to an intervention from the development process (Escobar 1994). In most cases, the decision unit resides in the farm system (even when a particular policy or regulation is initially dictated by entities higher in the hierarchy). Impacts of the development programs, however, may also be measured at the sectoral level.

Thus, for the present research activity, sustainability of agriculture is equivalent to "sustainable management of agroecosystems<sup>5</sup>, which includes the economic, ecological and social dimensions of sustainability as defined in the previous section. Agroecosystems can be studied at different hierarchical levels, as shown in Figure 2.

Agroecosystems at different levels influence each other by contact. The agricultural farm and household system, with its plant and animal production, disturbs surrounding natural ecosystems, whose self-regulatory mechanism will be partly replaced through human interventions, such as the application of fertilizer and products for plant protection. This leads to a weakening of the defense system against stress from outside the system (Conway and Barbier 1988). The effects of agricultural activity, such as contamination by pesticides, are relevant to the farm itself and to the local and regional systems surrounding it. As a logical consequence, indicators should be determined, not only for the level of the system to be investigated, but also for the surrounding systems that are being influenced.

---

5 "Agroecosystems are regionally defined entities, managed for the purpose of producing food, fibre and other agricultural products, comprising domesticated plants and animals, biotic and abiotic elements of the underlying soils, drainage networks, and adjacent areas that support natural vegetation and wildlife. Agroecosystems explicitly include people, both as producers and consumers, among the essential elements, and hence have socio-economic and public health, as well as environmental, dimensions" (Waltner-Toews 1993:3).

# METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR THE DEFINITION OF INDICATORS<sup>4</sup> IN AGRICULTURE

## *Systems Approach for Analyzing Sustainability of Agriculture*

An appropriate analytical method to understand the complexity of particular sustainability issues in agriculture is the systems approach (Conway 1983; Avila 1989; Torquebieau 1989). The disaggregation of the system into components, the analysis of its structure and function, the identification of relevant interactions and the determination of a hierarchy to understand links and interactions with other systems levels are the basic steps for comprehending, intervening effectively, and measuring effects of induced changes in the system.

Therefore, the challenge is to determine the appropriate hierarchical scheme that will capture the critical levels at which major development instruments will be applied to accelerate the socioeconomic process, determining in which critical components and processes the effects of anticipated changes may influence sustainability. This hierarchy may include as many levels as needed to capture major interrelations, components and effects attributable to interventions at different points in the objective process (Dumanski *et al.* 1993).

---

4 Considering that there is sometimes confusion regarding what is intended by an indicator and what is the difference between an indicator and a variable or an index, the meanings of the different technical terms as they will be used in this paper are explained as follows:

- Indicators are an instrument to support decision making; that is, they provide information regarding the past and possible future impacts of decisions.
- Indicators can consist of a single variable, several variables or an index. An index has been defined as the ratio between the values of a variable at different moments (Adriaanse 1993). An index can also be constructed by the ratio between different variables.
- Variables are elements of a function.
- Data represent the unprocessed information regarding a variable.
- Statistics present data in an organized way, often with the data processed.

*Table 1. Continuation.*

<b>Example 3</b>	
<b>Hierarchical level:</b>	Farm
<b>Intervention:</b>	Introduction of soil conservation measures at the farm level (small farmers).
<b>Questions to be asked:</b>	Expected ecological, economic and social effects of conservation practices at the farm level, with the following critical factors: social, including acceptance of conservation practices by farmers, and awareness of erosion as a problem; economic, including costs and labor inputs necessary for the conservation practices; ecological, such as effectiveness of soil protection, and dealing with unanticipated ecological impacts.

**Table1. Examples showing how to determine the areas in which indicators are to be selected.**

<b>Example 1</b>	
<b>Hierarchical level:</b>	Watershed
<b>Intervention:</b>	Introduction of a gravity irrigation system for small farmers.
<b>Questions to be asked:</b>	What are the expected ecological, economic and social impacts of the irrigation system at the regional level? From experience, a number of critical factors can be named: ecological factors, such as hydrological erosion, soil and water pollution by intensive use of pesticides and fertilizers, and inefficient use of water; social factors, including a farmer organization for managing and maintaining the system, and a change of traditional land use systems; and economic factors, such as market outlets for additional production.
<b>Example 2</b>	
<b>Hierarchical level:</b>	Watershed
<b>Intervention:</b>	Change in land use over the past 20 years, from extensive cattle management to intensive production of vegetables.
<b>Questions to be asked:</b>	Ex-post analysis of the ecological, economic and social impacts of the change in land use, with the following critical factors: ecological, such as erosion, soil and water contamination, and biodiversity; social, including changes in farm size, labor force, social differentiation between farmer classes ("modern" and "traditional"), dependence on external inputs, health problems created by excessive or imprudent use of pesticides; economic, including change in family income, and dependence on external markets.

The indicator set for *ex-ante analysis* may not be identical to the set of indicators used for *monitoring*. The first case is limited to available information, while monitoring actually generates additional information so that the set of indicators can be improved step-by-step. However, *ex-ante* indicators need to be defined logically in relation to indicators chosen for monitoring, so that the assumptions made in *ex-ante analysis* can be verified. Table 1 presents three examples showing how to determine the areas in which indicators are to be selected, based on the aggregation level, the problems to be analyzed, and the kind of intervention involved.

Indicators are also selected at the global and international level, using a specific methodological framework (the OECD pressure-state-response model), and a certain societal consent is being sought by inter-agency and international working groups. At lower hierarchical levels (watershed, community, farm, etc.), no such common framework exists, but indicators are often defined according to common knowledge (or common prejudices), or according to the specific experience of the person who selected them; when no justification is given for the choice made, it is difficult to use the indicators as tools for evaluation or for decision-making.

Thus, indicators need to be selected on the basis of some kind of methodological framework. This will keep the selection process free of criteria that are strictly arbitrary and subjective, based on assumptions that are not fully transparent, or that fail to consider all the aspects of a system that are of significance to sustainability. In the present research, the analytical framework should function as a logical pathway for the analysis of sustainability of land use at selected hierarchical levels. The pathway guides the development of indicators which connect the form of land use under investigation with the environmental, economic and social conditions. Thus, they determine whether that form of land management is sustainable or will lead to sustainability.

1991) distinguishes three types of indicators: i) indicators describing resource availability; ii) indicators of productivity; iii) indicators of efficiency.

Ruitenbeek (1991) identifies five criteria for selection, and considers human behavior as an element of ecosystem equity. He emphasizes that indicators should serve not only for ex-post analysis, but also for projections into the future. Within this context, he emphasizes the prevailing uncertainty about how the ecosystem behaves and reacts, and concludes that the solution is to define "critical values." Torquebiau (1989) and Avila (1989) propose that indicators be selected for different types of resources, resource management and resource yield.

### ***Making Sustainability Operational Through the Definition of Indicators***

Thus, indicators can be useful instruments for making sustainability more operational. An essential premise is that indicators can never be universal, but rather must be adjusted to the information needs of the decisions they are intended to support. Do we need to develop a diagnosis as a basis for ex-ante recommendations on projects, programs or policies? Do we need to prepare a monitoring system? Do we need to project the sustainability of a given system for the future? Are we doing ex-post analysis to measure the impact of a certain intervention?

When we analyze *the current situation* to identify critical ingredients of sustainable development, we often need information from the past as reference points, and indicators have to be selected accordingly. *Ex-post* analysis of the sustainability of policies, programs and projects requires several time series of data, and an important criterion for selecting indicators is the availability of pertinent time series. Data availability is also important for *ex-ante* analysis, which forecasts trends based on experiences and proven knowledge about the relationships among different factors. Information on past experiences may well be found in other regions; experiences from outside the research area may be valid sources if they occurred in a similar type of system or under similar conditions.



### *Current indicator research*

The indicator approach has become increasingly accepted, with numerous institutions at different levels working to define indicator sets for different purposes. The member countries of OECD, for instance, have identified a number of indicators of air and water pollution, energy use, agriculture and fishing, production of toxic waste, and the like (OECD 1991). The World Resources Institute regularly publishes statistics on quantity and quality of natural resources (WRI 1993). UNDP annually publishes development statistics, calculating a "Human Development Index" made up of public expenditures for health, education and other social sectors (UNDP 1991).

The World Bank is preparing an annual report on global progress toward environmentally sustainable development (ESD). A tentative framework is based on the OECD set of environmental indicators (pressure, state, response), adding key socioeconomic indicators and clustering environmental issues (O'Connor 1994). The World Bank also undertook a project to address specific land-related issues of national and global significance. Concerned about the weak empirical basis for decision-making on land degradation, it has launched a Land Quality Indicator Initiative in cooperation with UNEP, FAO, UNDP, the CGIAR and other institutions active in this area.

FAO is developing an *agricultural policy analysis model* called K-2 that relates the policy and planning processes to a country's social conditions and natural resources. It will allow policy-makers and planners to develop different scenarios of sustainable development in the rural sector (Tschirley 1993).

The Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) has begun to develop indicators of sustainable development within the international scientific and academic community. It starts by assessing the needs of potential users of the indicators, which is crucial if indicators are to play their intended role as information tools for decision making. The focus is shifting to the scientific and academic issues underlying sustainable development indicators.

USAID has worked on a number of indicators that will reflect the *impacts of project activities* on natural resources (Weber 1990). A study on possible environmental strategies for Latin America (WRI/USAID/LAC

4. *Indicators*: Over the last two decades, a number of countries have begun to compile environmental statistics as a basis for defining indicators. Adriaanse (1993), explains indicators as *a tool for aggregating and simplifying information of a diverse nature into a useful and more advantageous form*. Thus, a sustainability indicator would be a number or a quality that reveals something about the sustainability of the current stage or condition of a given process or phenomenon.

All four approaches are based on sound rationale and meet different information needs. For example, it is critically important for environmental costs to be reflected in the *national accounts* and GDP, because traditional GDP figures, although potentially misleading, are often used as a basis for decision making.

*Economic-ecological modeling* has produced useful results, especially in developed countries (Jarosch 1990; Dehio 1993), where the necessary data and equipment are available and fund restrictions are less severe. The more comprehensive environmental models generally require a large quantity of data, which are often unavailable in developing countries.

*Environmental impact analysis* should be an integral part of every project design, even if positive or negative impacts are not quantified. A major step has been taken toward sustainable development if environmental impacts are considered from the very beginning and alternatives are found whenever negative impacts are identified.

*Indicators* are of more general use. They can be defined with different degrees of precision and aggregation, depending on the objective of analysis and available data bases. For instance, while the GDP is a highly aggregated indicator, others can be defined at lower hierarchical levels. This means that the information they provide is more detailed and disaggregated, and therefore useful for identifying critical or "unsustainable" areas within an economy and detecting any progress, albeit slight. Such small variations may vanish in an aggregated index or "green GDP." Indicators can be adjusted to the specific conditions of a system, and models can be designed to evaluate associated variables and processes and predict values of the indicators. Indicators can also serve as a basis for ecological-economic modeling and environmental impact analysis.

needs may change over time, not only in quantity, as population increases, but also in quality and composition as future populations may have different preferences and encounter different living conditions. This implies that present and future generations should have the same degree of freedom of choice, which has repercussions for determining whether ecosystems have been irreversibly changed by agriculture. Sustainable agriculture then means maximizing production under the restriction that the natural resource base be kept intact. The definition of this resource base itself is still in debate.

### ***Recent Approaches for Measuring Sustainability of Development and Agriculture***

Current approaches to gauging sustainability can be classified into four groups:

1. **Assessing environmental costs in the framework of *national accounts*:** There are different methods, from satellite records of natural resources to more integrated approaches such as "green accounting," which posts environmental costs as an integral part of a nation's budget (El Serafy 1992; Bartelmus 1991; Daly and Cobb 1989).
2. ***Environmental impact analyses (EIA)*:** This approach is often used at the project level. Most EIAs, such as procedures used by national and international funding institutions and by agencies in charge of development projects, use a qualitative evaluation matrix. One side of the matrix lists factors which could produce negative environmental impacts, while the other side indicates which environmental feature might be affected (World Bank 1991). The evaluator has to decide which of the factors and effects are relevant.
3. ***Ecological-economic modeling*:** The approach is based on the idea that the economy is embedded in the environment, and that the economic and ecological systems interact in many ways (Jarosch 1990). Current economic decision models can therefore be combined with ecological models that simulate different environmental processes (erosion, nitrification, etc.).

## *Sustainable agriculture*

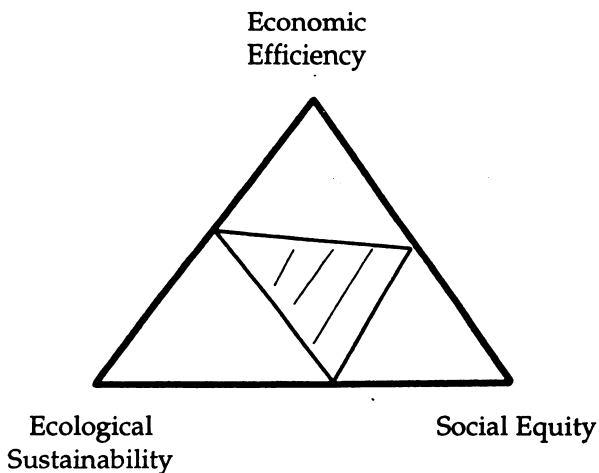
The definitions of sustainable agriculture, like those of sustainable development, vary considerably. Most include not only technical and ecological concerns, but also views of why agriculture should be sustainable (the objective), and how this goal may be reached.

1. Most authors place sustainable agriculture in the context of the *satisfaction of needs and food security*. They emphasize the role agriculture must play, especially in developing countries that need to narrow the gap between a growing population with real food needs, and actual food production. Sustainable agriculture therefore achieves high enough productivity to meet the changing needs of current and future populations, while preserving its production potential (BIFAD/USAID 1988; FAO 1991; CGIAR 1990; Young 1989; Repetto 1986 and Faini and de Melo 1990 as cited in Ruttan 1991; Girt 1990). This is why natural resources have to be managed rationally.
2. A second group of authors uses a *systems approach*, focusing attention on the *characteristics that make an ecosystem or agroecosystem sustainable*. Sustainability is seen as the resilience, stability, productivity and efficiency with which production systems or agroecosystems are managed. "Equity," another important property of sustainable agroecosystems, means that products of the system are distributed evenly or fairly (Conway 1983; Conway and Barbier 1988; Fresco 1989; Gutiérrez 1994; Baldares *et al.* 1993). Several definitions place sustainable agricultural production within the limits of an environmental "carrying capacity"<sup>3</sup> (Kruseman *et al.* 1993:13)

Both groups generally recognize that maintaining *agricultural production potential* is a condition for sustainable agriculture. They do not agree, however, on the exact meaning of the concept of "production potential," especially as regards the importance of conserving species and natural flora and fauna in the production process. Several authors argue that

---

3 This can be defined as the amount of biological matter a system can yield over a given period of time, using a specific production technique, without impairing its ability to continue producing, or the number of organisms it can support without being degraded.



*Figure 1. Sustainable development.*

hierarchical levels, for instance on each farm, have to be brought into line so as not to conflict with community or societal goals.

However, "fair income distribution" does not necessarily mean that all benefits and costs are equitably distributed; instead, even the less well-off find that enough of their needs are met to make continued use of the current resource management system attractive. Nor does "sufficient income" mean that all needs are always met; a reasonable amount is met, however, and it is up to society to make the choice. Today's societies are defining levels of satisfaction of needs in the form of minimum wages, limits of poverty or health standards, and these levels change according to the level of development and the preferences of society as a whole.

The trade-offs depend on the degree of conflict among the three goals over different time horizons. How much environmental quality, social equity or economic efficiency would society *be obliged* to give up over the short, medium and long term? What are society's preferences regarding the three goals? How much environmental quality or economic efficiency are people *willing* to sacrifice in order to gain certain social goals? What social goals would they forego to obtain environmental quality or economic efficiency? This is really a definition of the social discount rate. Both relationships are dynamic and may change over time.

produces the most efficient use of these scarce resources, contrasting with the economic expansion of the last 400 years, based as it was on ever-growing use of resources.

Sustainable development invokes economic, ecological and social dimensions which, for the purpose of the present research, can be defined as follows:

- *Ecological sustainability*: the environment preserves the main features essential for its long-term survival.
- *Economic sustainability*: natural resources are managed according to a regime which provides enough income to make its continued use attractive.
- *Social sustainability*: the system is managed in such a way that benefits and costs are distributed equitably among different groups and generations, and enough needs are met to make continued use of the system possible.

Although these three dimensions tend to be conflicting goals over the short run, their interdependence becomes clear over the long term, and their relationship becomes more or less complementary. However, sustainability cannot be achieved by maximizing all three goals at the same time; instead, a balance needs to be found among the three, as shown in Figure 1. Thus, sustainable development can be defined as the desired outcome of trade-offs between economic efficiency, social equity and ecological sustainability.

Using this illustration as a reference, whenever one objective is maximized, then the other two become constraints. A constraint needs to be quantified in some way. That is, maximum and minimum levels of the elements comprising the constraint need to be defined as the tolerable threshold.

How can these maximum or minimum levels be identified? What is meant by "fair income distribution," "essential characteristics of the ecosystem" and "sufficient income?" Development goals are defined by a particular social group: in every country, society sets its own goals for development, each community sets local community goals, and individual farmers determine farm-level development goals. Goals at lower

## how to measure sustainability

2. A second group of authors stresses the importance of *meeting the needs of both present and future populations*. Economic growth is considered an important factor for achieving this goal, but the major conditions are intra- and inter-generational equity. To ensure the latter, economic growth has to respect certain limits of the environment so as not to deplete consumption possibilities for future generations. According to some authors, respecting these limits means conserving the actual stock of natural resources. Others assert that the point is not to protect every resource, but to sustain a certain production potential. Most of the definitions discussed in this paper fall into this group, including those of the Brundtland Commission, the Food and Agriculture Organization (FAO 1991), and the World Conservation Union (IUCN 1989).
  
3. A third group of authors calls for *fundamental change in the prevailing development paradigm*. These authors question the possibility of unlimited future economic growth, pointing out the link between distribution (equity) and sustainability. Resources which perform important life-supporting functions are already in an extremely advanced state of destruction; this poses issues of insecurity and risk and suggests that any additional degradation and destruction of natural resources should be avoided. This group claims authors such as Goodland and Redcliff (1991), Pearce, Barbier and Markandya (1990), Costanza (1991), and the group which emphasizes thermodynamics (Boulding 1991; Daly 1977; Daly and Cobb 1989; Victor 1991). The last group applies principles of thermodynamics<sup>2</sup> to economics, especially the second law of thermodynamics. They conclude that growth based on depletion of natural resources leads to absolute scarcity. This means that, after a certain level of depletion, natural capital can no longer be increased or replaced with man-made capital. Under these premises, sustainability means development that

---

2 "All states of matter and all forms of energy do not have equal potential for use. Though we neither create nor destroy matter-energy in production and consumption, we do transform it (first law of thermodynamics). Specifically, we transform matter from organized, structured, concentrated, low-entropy states (raw materials) into still more highly structured commodities, and then, through use, into dispersed, randomized, high-entropy states (waste) (second law of thermodynamics). In the production of commodities, energy is transformed from high-temperature energy with a potential to do work into a low-temperature energy whose capacity to do work is lost, when the temperature reaches equilibrium with the general environment."

# SUSTAINABILITY: THE NEED FOR CONSISTENT CONCEPTS AND CRITERIA OF EVALUATION

## *Sustainable Development and Sustainable Agriculture*

The goals and possibilities for sustainable agriculture depend on a country's development model, which provides the framework within which the sector can develop. At the same time, the production potential and efficiency of agriculture have an impact on overall economic development, especially in developing countries where the agricultural sector holds great importance. The present research focused its analysis of different concepts on definitions of sustainable development in general, and more specifically, sustainable agriculture.

### *Sustainable development*

The different definitions of sustainable development can be classified according to their underlying development concepts<sup>1</sup>. They fall into three groups:

1. A significant group of authors *equates sustainable growth with sustainable development*. Both economic and environmental issues have to be considered to assure that overall goals for economic growth can be sustained. This view foresees no severe constraints on continuous economic growth because it assumes that man-made capital and natural capital are fully interchangeable (at least for many of the natural resources), and believes strongly that technical progress will offset resource loss. However, it does emphasize the need to assess the value of resources accurately, in order to achieve efficient allocation of natural resources. Prices need to be adjusted to allow for environmental costs and environmental accounting, which means that most environmental functions and properties need to be expressed in economic terms; a complete methodology has been developed for this purpose. The position of most resource and environmental economists can be classified within this group (Solow 1992; Dasgupta and Mäler 1991).

---

1 Lélé (1991: 608) points out that "...development is a process of directed change, and definitions of development thus embody both (a) the objectives of this process, and (b) the means of achieving these objectives."



## how to measure sustainability

eration, sustainability has to be made operational at the different levels where development activities take place.

The present research is an attempt to contribute to this task. It has been designed according to the areas of action and the priorities of the institutions involved: the Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA), the Tropical Agriculture Research and Training Center (CATIE), and the GTZ.

*How can sustainability of agriculture be assessed?* This question is being analyzed in a watershed in Costa Rica. The idea is to develop a framework integrating agroecological and socioeconomic information so as to gauge the sustainability of agriculture at the farm-household level, estimate its impacts at the regional level, and analyze options for improving it. The results are expected to contribute empirical information on the impact that current land use and agricultural practices in the watershed have on sustainability, and to shed light on the usefulness of the methodological approach being applied.

The document is divided into four chapters: 1. This introduction, which discusses the origin of the research activity; 2. An analysis of different concepts of sustainability and approaches for analyzing sustainability, with special emphasis on the theoretical foundations for defining indicators to measure sustainability in agriculture; 3. An outline of the analytical framework used in the research activity; and 4. A description of the case study, methodological procedures, and the present state of the work.

## INTRODUCTION: THE PROBLEM

During the last two decades, the development debate has undergone profound transformation, seeking ways to accommodate environmental and equity issues. The heavy impact of world's environmental problems and their greater visibility in developed and developing countries alike, have raised the profile of environmental issues in the consciousness of the population in both parts of the world. Additionally, heightened poverty levels among the majority of the population in the developing world have made it clear that poverty alleviation and equity problems have not yet been successfully addressed.

"Sustainable development" is the resulting formula. It appears to have gained broad-based support and is poised to become the development paradigm of the 1990s. No longer do people ask, "How can developing countries attain the standard of living of the developed world?" Instead, we ask, "How can sustainable development be achieved?" (Lélé 1991:607).

The broad concept of sustainable development was widely published for the first time in the World Conservation Strategy (IUCN 1980). Today's sustainable development literature offers such a great variety of definitions and concepts that ".... almost anybody will find one that coincides with his needs....."(Goodland and Redcliff 1991:3).

The most widely accepted definition of sustainable development was put forth by the Brundtland Commission: "Satisfying the needs of present generations without compromising the satisfaction of the needs of future generations" (WCED 1987). Although this definition challenges current levels of consumption in the developed world, it gives no answer regarding *what is to be sustained*. The popularity of the Brundtland Commission definition may therefore be due, at least in part, to the fact that it is so broad as to be nearly devoid of *operational significance* (Ruttan 1992:6).

This leads to a second problem. Attainment of the goal of sustainability, however it is defined, needs to be measured in some way. *How do we know if progress is being made toward sustainability objectives? How can we tell whether systems are more (or less) sustainable?* Correct decisions on actions and policies likely to bring about sustainability require appropriate measures or indicators of sustainability (Brown et al. 1987:718). Thus, if sustainable development is the new paradigm for development coop-

how to measure sustainability

fied: productivity, stability, resilience and equity. These criteria can be arranged in a matrix, with indicators selected accordingly.

This framework is currently being applied in a case study of the Río Reventado watershed in Costa Rica, with indicators defined by farm-household and for the overall watershed. Several field surveys have been carried out to obtain the information specified by the indicators.

## ABSTRACT

Sustainable development stands as the development paradigm of the 1990s, but there is little consensus on what "sustainability" really means and how to measure it. This is why Agenda 21, a product of the 1992 UNCED conference in Rio, highlighted the importance of defining indicators with which to monitor the condition of the environment.

The Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA) and German Cooperation for Development are carrying out a project to provide the region with the tools it will need for designing policies that will promote sustainable agriculture and the sustainable management of natural resources. Special attention has focused on finding ways to measure progress in sustainability and defining indicators that will provide such information. Appropriate research has been designed, with additional funding from the Flanking Program for Tropical Ecology (TÖB), a regional program of GTZ. Research is being carried out in cooperation with the Tropical Agriculture Research and Training Center (CATIE) and the Technological Institute of Costa Rica (ITCR).

The question this study seeks to answer is: *How can agricultural sustainability be assessed?* A Costa Rican watershed was selected as a model area in which to propose a methodological approach for defining indicators. Indicators must be defined according to the specific system or situation to be analyzed, taking into account the different levels of aggregation. If different systems are to be compared, the pertinent indicators need to be defined according to a logical and replicable process, with the criteria for the selection of indicators explained and justified.

Agroecosystems are considered the appropriate unit for analyzing agriculture and sustainability. All three dimensions of sustainability (ecological, economic, and social) must be addressed, and possible trade-offs among them taken into account. Agroecosystems can be described in terms of the condition of the resources and how they perform. Four fundamental properties of sustainable agroecosystems have been identified: productivity, stability, resilience and equity. These criteria can be



## ACRONYMS

BIFAD	Board for International Food and Agricultural Development
CATIE	Tropical Agriculture Research and Training Center
CGIAR	Consultative Group for International Agricultural Research
DSV	Department of Plant Protection
ECLAC	Economic Commission for Latin America and the Caribbean
EIA	Environmental Impact Analysis
ESD	Environmentally Sustainable Development
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IICA	Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture
ICRAF	International Council for Research in Agroforestry
IFPRI	International Food Policy Research Institute
ITCR	Technological Institute of Costa Rica
IUCN	World Conservation Union
OAS	Organization of American States
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
SCOPE	Scientific Committee on Problems of the Environment
SENARA	National Groundwater, Irrigation and Drainage Service
TÖB	Flanking Program for Tropical Ecology
UCR	University of Costa Rica
UNA	National University of Costa Rica
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
UNEP	United Nations Environment Programme
UNDP	United Nations Development Programme
USAID	United States Agency for International Development
WCED	World Commission on Environment and Development
WHO	World Health Organization
WWF	World Wildlife Fund

Digitized by Google

## ACKNOWLEDGMENTS

Many people have contributed to this paper, some through the publications cited as references, others through discussions. The author would particularly like to acknowledge contributions from Laura Ramírez, Jorge Núñez, Javier Villegas, Richard Edwards, Edgar Gutiérrez, Ronnie de Camino, Lutz Gödde and Anne Hünemeyer. This publication would not have been possible without the constant support of the IICA-GTZ Project staff; the author is especially grateful to Patricia Ramírez and IICA's Editorial Service for editorial support, as well as to Pastora Hernández for the coordination of the publication.

Field work and laboratory analysis would not have been possible without the support of the collaborating institutions: CATIE, ITCR, the Ministry of Agriculture (MAG), especially the Department of Plant Protection (DSV), the National University of Costa Rica (UNA), the University of Costa Rica (UCR), and last but not least, the farmers of the Río Reventado watershed.

Special thanks also go to the Flanking Program for Tropical Ecology (TÖB), which made the research possible.



## how to measure sustainability

This paper summarizes the methodological approach used by the project and introduces an analytical framework for defining indicators, already tested in a case study in Costa Rica. The next phase calls for a second paper to analyze empirical information generated by the indicators, and to set forth the results.

## FOREWORD

Sustainability (or "sustainable development") has become the development paradigm of the 1990s. It is a catchword in political declarations and a cardinal point in the drafting of new laws, institutional by-laws, agricultural research, project proposals, and financial and technical cooperation.

There is little consensus regarding what "sustainability" really means and how it can be measured. This is why Agenda 21, a product of the 1992 UNCED conference in Rio, highlighted the importance of defining indicators with which to monitor the condition of the environment.

The Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA) has reordered its strategies in response to the challenges that Agenda 21 poses for Latin America and the Caribbean. Its Medium-Term Plan focuses on sustainable development as a critical ingredient for agriculture, natural resources management and rural development.

In the framework of its newly-defined strategies, IICA and the GTZ have joined forces in a project to provide the region with the tools it will need for designing policies and projects that will promote sustainable agriculture and the sustainable management of natural resources. Special attention has focused on finding ways to measure progress in sustainability and defining indicators that will provide such information. Appropriate research has been designed, with additional funding from the Flanking Program for Tropical Ecology (TÖB), a regional program of GTZ. By its very nature, sustainability requires a multidisciplinary approach; thus, this project has been carried out in cooperation with institutions specialized in complementary disciplines, such as the Tropical Agriculture Research and Training Center (CATIE) and the Technological Institute of Costa Rica (ITCR).

<b>APPLICATION OF THE FRAMEWORK IN THIS RESEARCH</b> .....	29
The Research Area: Agroecological Conditions and Prevalent Farming Systems .....	29
Data Generation .....	30
Indicators Selected .....	34
<b>CLOSING REMARKS</b> .....	41
<b>APPENDIX: CRITERIA FOR DEFINING INDICATORS</b> .....	43
<b>REFERENCES</b> .....	47

## CONTENTS

Foreword .....	v
Acknowledgments .....	vii
Acronyms .....	ix
Abstract .....	xi
<b>INTRODUCTION: THE PROBLEM .....</b>	<b>1</b>
<b>SUSTAINABILITY: THE NEED FOR CONSISTENT CONCEPTS AND CRITERIA OF EVALUATION .....</b>	<b>3</b>
Sustainable Development and Sustainable Agriculture .....	3
Recent Approaches for Measuring Sustainability of Development and Agriculture .....	8
Making Sustainability Operational through the Definition of Indicators .....	11
<b>METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR THE DEFINITION OF INDICATORS IN AGRICULTURE .....</b>	<b>15</b>
Systems Approach for Analyzing Sustainability of Agriculture .....	15
Properties of Sustainable Agroecosystems .....	18
A Matrix for the Selection of Indicators .....	21
Critical Aspects and Limitations of the Indicator Approach: The Need for a Reference System and Problems of Aggregation .....	23
The need for a reference system .....	24
Aggregation of indicators .....	25

© Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA) / Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.  
October, 1996.

All rights reserved. Reproduction of this book, in whole or in part, is prohibited without the express authorization of IICA and GTZ.

The ideas and interpretations expressed in signed articles must be attributed to the authors, and do not necessarily reflect those of IICA and/or GTZ.

IICA's Editorial Service was responsible for the stylistic revision and edition of this publication, and IICA's Print Shop for its lay-out and printing.

Cover art by Claudia Eppelin.

Müller, Sabine

How to measure sustainability: an approach for agriculture and natural resources. / Sabine Müller. — San Jose, C.R. : Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH : Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture (IICA), 1996.

56 p. ; 23 cm. — (Discussion Paper Series on Sustainable Agriculture and Natural Resources GTZ-IICA, ISSN 1027-2623; no. A1/SC-96-01).

ISBN 92-9039-303 3

1. Sostenibilidad - Metodología. I. GTZ. II. IICA. III. Título. IV. Serie.

AGRIS  
P01

Dewey  
333.72

DISCUSSION PAPER SERIES ON  
SUSTAINABLE AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES

ISSN-1027-2623  
AI/SC-96-01

October, 1996  
San Jose, Costa Rica



Discussion Papers Series  
on Sustainable Agriculture  
and Natural Resources  
No. 1

HOW TO MEASURE SUSTAINABILITY:  
An Approach for Agriculture  
and Natural Resources

*Sabine Müller*  
*Inter-American Institute for Cooperation*  
*on Agriculture (IICA)*  
*IICA/GTZ Project*



**HOW TO MEASURE SUSTAINABILITY:  
AN APPROACH FOR AGRICULTURE  
AND NATURAL RESOURCES**



1

**SABINE MÜLLER**

**DISCUSSION PAPERS SERIES ON SUSTAINABLE  
AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES**