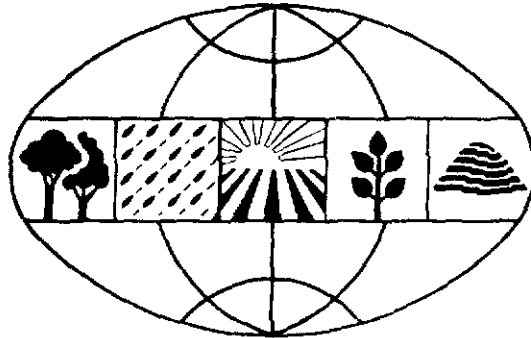




GERENCIA GENERAL
SUBGERENCIA DE INVESTIGACION Y TRANSFERENCIA
DIVISION DE PROYECTOS ESPECIALES AGRICOLAS
SECCION DE RECURSOS NATURALES

*Manejo Integrado de
Recursos Naturales
en Ecosistemas Tropicales
para una Agricultura Sostenible*

*Seminario Internacional
MEMORIAS*



Santafé de Bogotá, D.C., abril de 1993

ANALIZADO

CREDITOS

COORDINADOR GENERAL:

JAIME NAVAS ALVARADO
Recursos Naturales, ICA- Tibaitatá
A.A. 151123, El Dorado
Tel: 2324693 - 2814942 -2813400
FAX: 2854351 - 2673013
Santafé de Bogotá, D.C., Colombia

COMITE ORGANIZADOR:

GABRIEL MONTES LLAMAS, Gerente General, ICA
PABLO BURITICA CESPEDES, Subgerente de
Investigación, ICA
JAIME NAVAS ALVARADO, Director Nacional
Recursos Naturales, ICA
EDGAR AMEZQUITA COLLAZOS, Recursos
Naturales, ICA
FERNANDO MUNEVAR MARTINEZ, Recursos
Naturales, ICA
HERNANDO GUTIERREZ DE LA ROCHE, Director
Oficina Educación y Capacitación, ICA
ANTONIO FORERO SAAVEDRA, Recursos Naturales,
ICA
JORGE ARDILA VASQUEZ, IICA

COORDINADORES REGIONALES

ALVARO GARCIA OCAMPO
Centro de Investigación ICA, Palmira
Apartado Aéreo 233
Tel: 28161/66

CLAUDIO ACOSTA SOLANO
Centro de investigación, ICA, Turipaná-Montería
Apartado Aéreo 206
Tel: 746793 - 850366

HERNAN VILLAR SUAREZ
Calle 22 No. 14-30, Valledupar
Apartado Aéreo 496
Tel: 712419/21

RODRIGO MUÑOZ ARAQUE
Centro de investigación ICA, Tulio Ospina-Medellin (Ant.)
Apartado Aéreo 51764
Tel: 4612000 - 4612007

DANIEL GUTIERREZ PERDOMO
Cra. 5 No. 16-60, Ibagué
Apartado Aéreo 527
Tel: 611775-610991

HERNANDO MENDEZ ALDANA
Avenida Quebradaseca No. 31-39-Bucaramanga (Sant.)
Apartado Aéreo 1017
Tel: 55185/89

LUIS FERNANDO SANCHEZ SANCHEZ
Centro de investigación ICA, La Libertad-Villavicencio (Meta)
Apartado Aéreo 2011
Tel: 33818

RAFAEL ESTRADA ROBLEDO
Cra. 30 No. 65-15, Manizales
Tel: 860393-860552

BERNARDO GARCIA REALPE
Calle 17 No. 22-73, Pasto
Apartado Aéreo 819
Tel: 33183

CARLOS ESCOBAR ACEVEDO
Cra. 7 Calle 20 y 21 Florencia -(Caquetá)
Apartado Aéreo 245
Tel: 3325

SEDE DEL EVENTO:

Hotel Bogotá Royal
Salón Gran Colombia
Avenida 100 No. 8 A 01
Tel: 2189911
Santafé de Bogotá, D.C.,

**MANEJO INTEGRADO DE LOS RECURSOS NATURALES EN ECOSISTEMAS TROPICALES
PARA UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE. 1992.** Santafé de Bogotá D.C. 1993. Memorias. MUNEVAR
M., F. Santafé de Bogotá D.C. (Colombia). ICA. Instituto Colombiano Agropecuario. 176 pp.

Tiraje: 1000 Ejemplares

Edición :Fernando Munevar Martínez Ing. Agr. Ph.D. Ismael Ruiz V. Sociólogo; Fernando Pardo E. I.A., M.A.

Diagramación: Arte: MELaser Ltda Impresión: GRAFIIMPRESOS LTDA .

Año de Publicación: Abril de 1993.

PERSONAL EJECUTIVO

JUAN MANUEL RAMIREZ PEREZ

Gerente General

WILLIAM L. VASQUEZ MIRANDA

Secretario General

JAIME NAVAS ALVARADO

Subgerente de Investigación y Transferencia

PERSONAL EJECUTIVO

RICARDO CANDELO CARDENAS

Subgerente de Transferencia de Tecnología Agropecuaria

JAIRO HERNANDO ARIAS PUERTA

Subgerente de Protección a la Producción Agropecuaria

RUBEN JARAMILLO GIRALDO

Subgerente de Planeación

JOSE RAFAEL SANCHEZ PRADA

Subgerente Administrativo Financiero

OFICINAS ASESORAS

JORGE FORERO AÑEZ

Promoción Tecnológica y Recursos Propios

LAURA RUGELES CHACON

Educación y Capacitación

HUMBERTO QUINTERO ARISTIZABAL

Oficina Jurídica

MARIA INES PANTOJA

Información y Prensa

ASESORES DE GERENCIA

BERNARDO RIVERA

MOISES BROCHERO

RICARDO TORRES

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

JOSE ANTONIO OCAMPO GAVIRIA

Ministro de Agricultura

SANTIAGO PERRY RUBIO

Viceministro de Agricultura

ARMANDO MONTENEGRO TRUJILLO

Jefe Departamento Nacional de Planeación (DNP)

CARLOS FELIPE JARAMILLO JIMENEZ

Jefe Unidad de Estudios Agrarios (DNP)

CLEMENTE FORERO PINEDA

Director de Colciencias y Miembro del Consejo Nacional de
Ciencia y Tecnología Agropecuaria

CESAR DE HART VENGOECHEA

Presidente de la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC)

JORGE VISBAL MARTELO

Presidente de la Federación Nacional de Ganaderos (FEDEGAN)

WILLIAM JAIMES TORRES

Representante Asociación Nacional de Usuarios Campesinos (ANUC)

REPRESENTANTES DEL SEÑOR PRESIDENTE DE LA REPUBLICA

EDUARDO ALDANA VALDES

Principal

JULIAN A. BUITRAGO ARBELAEZ

Suplente

PRESENTACION

Los recursos naturales constituyen la base fundamental para el desarrollo de una nación. Colombia es un país rico en recursos naturales por su cantidad y diversidad. Sin embargo, su utilización en el proceso de desarrollo, especialmente el agropecuario, ha causado impactos negativos en sus grandes componentes: suelo, agua y biota. Para que estos elementos puedan aprovecharse en el proceso productivo de una manera sostenida, es necesario darles un manejo apropiado de acuerdo con sus características, potencialidades y limitaciones. Esta situación es común a todos los países de la franja tropical y Colombia es un caso bien representativo dada la diversidad de sus ecosistemas.

El interés nacional motivó el fortalecimiento del desarrollo tecnológico en el ámbito de los recursos naturales, tanto en el ICA como en otras entidades involucradas en ese tópico. Para darle una mejor orientación a estas investigaciones, es conveniente aprovechar el importante acopiò de conocimientos existentes en el medio internacional.

Las anteriores consideraciones determinaron la necesidad de realizar este seminario internacional con el propósito de analizar la problemática de los recursos naturales en el trópico, conocer experiencias a nivel internacional y nacional, y formular recomendaciones viables a los estamentos involucrados en el uso de los recursos naturales, especialmente en lo concerniente a los procesos de generación y transferencia de tecnología y a los lineamientos de políticas sobre la materia.

Los siguientes fueron los objetivos centrales del certamen.

- Discutir la problemática, características y potencialidades de los distintos ecosistemas tropicales;
- Mejorar la percepción en los niveles directivos del país sobre las necesidades de investigación en recursos naturales para la producción agropecuaria sostenible y enriquecer los criterios requeridos para la formulación de políticas coherentes con la problemática y manejo de los ecosistemas;
- Analizar el estado del conocimiento a nivel internacional y nacional sobre el adecuado manejo de los recursos naturales en los ecosistemas tropicales y,
- Producir recomendaciones para la estructuración y fortalecimiento de programas de investigación en recursos naturales para la producción agropecuaria.

El contenido del Seminario se relacionó con los grandes ecosistemas existentes en Colombia, a saber: a) El trópico andino; b) el trópico seco, árido y semiárido; c) el trópico húmedo; d) sabanas tropicales y e) selvas tropicales.

Destacados científicos internacionales y nacionales dictaron conferencias sobre temas importantes relativos a la problemática de estos ecosistemas, complementadas con sus correspondientes debates sobre aspectos de carácter introductorio general.

Este Seminario debe considerarse como un evento inicial referido al tema del manejo sostenido de los recursos naturales para los ecosistemas tropicales. Por tanto, se debe complementar con otros encuentros específicos para los distintos ecosistemas, con el fin de profundizar más en su problemática, así como en los lineamientos, políticas y estrategias para buscar soluciones de carácter integral. Queremos convocar a la comunidad científica internacional a desarrollar seminarios semejantes en distintos países del mundo con el propósito de aunar esfuerzos que permitan hallar soluciones conjuntas a los problemas de ecosistemas similares a los nuestros. Finalmente, un agradecimiento especial dirigimos a todas las personas que de una u otra forma hicieron posible la realización de este evento, en especial a los conferencistas, nacionales y extranjeros, cuyas interesantes disertaciones permitieron dar cumplimiento exitoso a los objetivos del Seminario.

JUAN MANUEL RAMIREZ PEPEZ
Gerente General ICA

JAIME NAVAS ALVARADO
Subgerente de Investigación ICA

CONTENIDO

<i>Com. Econ</i>	Hacia una Estrategia para un Desarrollo Agropecuario Sostenido.1 Eduardo J. Trigo.	1
<i>Univ. Zulia</i>	Erosión en Suelos de Ladera del Trópico Andino y Centroamericano21 Idelfonso Pla Sentis.	21
<i>U. de C. 200</i>	Manejo Integrado de Suelos de Ladera para una Agricultura Sostenible en el Ecosistema Andino Cafetero de Colombia.....K 37 ✓ Alvaro Gómez Aristizábal.	K 37 ✓
<i>U. de C. 200</i>	Alternativas de Manejo para Suelos en el Trópico Arido y Semiárido.....55 S.A.El Swaify.	55
<i>MAO</i>	Investigaciones de ICRISAT en Agricultura Sostenible y su Importancia para la Investigación Agronómica Latinoamericana.....65 S.M. Virmani; J. Moncada de la Fuente.	65
<i>1000</i>	Sistemas de Producción Apropriados para Medianos y Pequeños Agricultores de la Zona Andina.....K 75 ✓ José Hiriam Tobón	K 75 ✓
<i>1000</i>	El Recurso Agua en la Agricultura Colombiana.....K 85 ✓ Antonio Forero Saavedra	K 85 ✓
<i>1000</i>	Propuesta de reducción de la Deforestación: Un Imperativo para la Sostenibilidad Mundial en el Siglo XXI.....97 Pedro A. Sánchez.	97
<i>Brasil</i>	Sabanas Neotropicales: Perspectivas para Sistemas Integrados de Producción Agropecuaria, Ecológica y Económicamente Sostenibles.....103 James M. Spain.	103
<i>1000</i>	Sistemas Integrados Sostenibles en Sabanas y Areas Degradadas de Bosques.....K 123 ✓ José M. Toledo.	K 123 ✓
<i>1000</i>	Los Recursos Genéticos de los Trópicos.....133 D.C. Giacometti.	133
<i>Brasil</i>	Manejo de los Recursos Naturales de los Trópicos y sus Consecuencias, Contradicciones y Perspectivas del Uso en Agricultura Sostenible.....149 Luis Fernando Ferreira Da Silva.	149
<i>U. de C.</i>	El Papel de la Biotecnología en el Uso Sostenible del Trópico.....K 161 ✓ William Rocca; A.M. Thro.	K 161 ✓
<i>R</i>	Recursos Naturales para la Producción Agropecuaria: Caso Colombia.K 167 ✓ Jaime Navas Alvarado.	K 167 ✓

HACIA UNA ESTRATEGIA PARA UN DESARROLLO AGROPECUARIO SOSTENIDO

Eduardo J. Trigo¹⁻²

Comentarios

RESUMEN

La sostenibilidad de la producción agropecuaria en el largo plazo constituye el mayor desafío de la agenda internacional en la década de los años noventa. Este documento intenta una reflexión sobre las distintas dimensiones involucradas en el tránsito hacia una agricultura sostenible desde una perspectiva latinoamericana. Comienza con una breve discusión sobre el concepto de sostenibilidad. Después examina la magnitud de los problemas que limitan la sostenibilidad de la agricultura: deforestación, contaminación y desbalances ecológicos creados por la mala utilización de agroquímicos, degradación de los suelos y la pérdida de diversidad genética.

Las opciones para los países de América Latina y el Caribe (ALC) en cuanto al desarrollo sostenible de la agricultura son distintas que para los países desarrollados. Latinoamérica no se puede dar el lujo de restringir el crecimiento del sector agropecuario en aras de la conservación de los recursos naturales, y necesita con urgencia reducir la pobreza, que en buena medida es el origen de la sobreexplotación de los recursos.

Los mercados actuales tienen debilidades que hacen poco probable el desarrollo sostenible sin ciertas intervenciones estatales. Sin embargo, no se trata de abandonar el mercado y volver al viejo estilo de intervención estatal. Un primer paso sería cambiar las políticas existentes que estimulan patrones no sostenibles de desarrollo, para después tomar medidas que corrijan algunas de las debilidades del mercado.

Aspectos claves para avanzar hacia el desarrollo sostenible incluyen la necesidad de:

- a) revalorizar la importancia del futuro y limitar el "cortoplacismo",
- b) tener una visión sistémica de los problemas;
- c) crear un marco de políticas coherentes, que promueva la conservación de los recursos;
- d) mejorar la articulación institucional internalizando las externalidades;
- e) generar indicadores que provean información relevante para la toma de decisiones;
- f) desarrollar un nuevo patrón tecnológico, menos nocivo para el medio ambiente;
- g) cambiar el perfil de recursos humanos; y
- h) trabajar a nivel local, nacional y multinacional.

No cabe duda de que el compromiso básico debe ser asumido por cada país en forma individual. Sin embargo, en el corto plazo resulta prioritario promover el análisis, debate y movilización social requerido

¹ Director del Programa de Generación y Transferencia de Tecnología, IICA. Apartado 552200 Coronado, Costa Rica.

² El autor quiere agradecer los comentarios y contribuciones realizadas al desarrollo de este documento por parte de Enrique Alarcón, David Kaimowitz, Roberto Flores, Eduardo Lindarte, Gonzalo Estefanell, Carlos Benito y otros colegas de la Sede Central del IICA.

para lograr el compromiso político mínimo necesario para iniciar el proceso de cambio que se busca. Esta es un área en la cual la cooperación técnica internacional puede aportar de manera significativa, facilitando el trabajo prospectivo, el intercambio de experiencias y el desarrollo de perspectivas comunes respecto a los temas de trabajo a nivel regional y subregional.

SUMMARY

TOWARDS A STRATEGY FOR A SUSTAINABLE AGRICULTURAL DEVELOPMENT.

To ensure the sustainability of agricultural production is the most important challenge on the international agenda for the 1990. The present document outlines the different dimensions involved in moving toward sustainable agriculture, from a Latin American perspective. Beginning with a brief analysis of the concept of sustainability, the document then examines the magnitude of the problems to be overcome in achieving sustainable agriculture: deforestation, pollution and ecological imbalance caused by the misuse of agrochemicals, soil degradation and the loss of genetic diversity.

The options available to the countries of Latin America and the Caribbean (LAC) for the sustainable development of agriculture are different from those open to the developed countries. The LAC countries cannot afford to restrict the growth of the agricultural sector in order to conserve natural resources. Also, they face the urgent need to reduce poverty, which, to a great degree, is the cause of the over-exploitation of resources.

Because of failures in the current market system, sustainable development will be difficult to achieve without a certain amount of government intervention. However, it is not a question of abandoning the market and returning to the old style of State intervention. A first step would be to change existing policies that foster unsustainable development patterns, and then to take measures aimed at correcting the failure of the market.

In moving toward sustainable development, it will be necessary to:

- a) reaffirm the importance of the future and limit the use of a short-term approach;
- b) take a systems approach to problems;
- c) formulate a consistent policy frame-work that promotes resource conservation;
- d) improve interinstitutional coordination by internalizing the externalities;
- e) develop indicators to provide pertinent information for decision making;
- f) develop a new technological pattern which is less harmful to the environment;
- g) change the human resource profile; and
- h) work at the local, national and multinational levels.

The basic commitment must, of course, be made by each individual country. Nonetheless, in the short term, it will be necessary to study and discuss the issue, mobilize broad-based support and to achieve the minimal political commitment needed to begin bringing about the changes being sought. This is an area in which international technical cooperation can make a major contribution by facilitating planning, the exchange of experiences and the development of common viewpoints regarding work to be undertaken at the regional and subregional levels.

La conservación del medio ambiente, un manejo más benigno de los recursos naturales y la sostenibilidad de la producción agropecuaria en el largo plazo, constituyen desafíos críticos de la agenda internacional en la década de 1990.

Esta no es una preocupación nueva de la humanidad. En realidad el tema ha estado presente como preocupación política de los gobiernos desde tiempos inmemoriales, como lo indica el hecho de que ya en la Antigua Atenas el tema de la erosión de los suelos fue planteado como una amenaza para su supervivencia. En la actualidad, sin embargo, las dimensiones y proporcionalidades involucradas, así como la mayor y mejor comprensión del funcionamiento de las interrelaciones ambientales y ecosistemas, le confieren al tema de la conservación de los recursos naturales una urgencia muy diferente.

Hoy la mayor parte del planeta está siendo ocupada y en muchas regiones la presión de la población ya ha sobrepasado los límites de lo sostenible; sin embargo, las proyecciones de población indican que la población casi se duplicará para el año 2020. Por otro lado, tenemos ejemplos concretos de procesos de deterioro ambiental y las consecuencias de la sobreutilización de recursos y alteración de los equi-

libros ecológicos naturales. Los casos del Sahel en Africa, las pérdidas de bosques como consecuencia de la lluvia ácida y los procesos de desertificación que afectan a muchas áreas del mundo, así como los problemas de productividad derivados del mal manejo de suelos o de la sobreutilización de agroquímicos, son ejemplos cada vez más concretos de las dimensiones de esta problemática. Los efectos del mal manejo de los recursos no son hoy eventualidades sino, muy por el contrario, datos de la realidad cotidiana.

Paralelamente, también, tenemos información cada vez más detallada sobre la naturaleza de los problemas, que a la vez que nos permite anticipar los efectos probables de las acciones específicas, hace posible, también, diseñar cursos de acción alternativos y estrategias de intervención incluso para revertir procesos. Todo esto ha llevado a que el tema de sostenibilidad y el adecuado manejo de los recursos cobre cada vez más importancia y urgencia y pase a ser uno de los temas centrales de las agendas políticas a nivel nacional e internacional.

Este documento intenta una reflexión sobre las distintas dimensiones involucradas en el tránsito hacia una agricultura sostenible tratando de resaltar

DESARROLLO SOSTENIDO...

... es el manejo y conservación de la base de recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de tal manera que asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes futuras.

FAO (citado)

...debe incorporar el manejo racional de los recursos dedicados a la producción agropecuaria, a fin de satisfacer las necesidades cambiantes de la sociedad, manteniendo o fortaleciendo la base actual de recursos, evitando la degradación del ambiente.

CGIAR (citado)

... se refiere al uso de recursos tanto biofísicos como económicos para obtener productos cuyo valor presente socioeconómico y ambiental representa más que el valor de los insumos incorporados cuidando al mismo tiempo la productividad futura del ambiente biofísico.

R.Hart (citado)

...es el que busca satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para alcanzar sus propias necesidades.

Comisión Brundtlan, Our Common Future (citado)

... es equivalente al progreso económico sujeto a la constancia de las reservas de recursos naturales.

D. Pearce (citado)

...es la persistencia en el tiempo de ciertas características necesarias y deseables del sistema socio-político y su medio ambiente natural.

J. Robinson, et al. (citado)

un punto de vista construido desde una perspectiva latinoamericana -o si se quiere en términos más generales, de los países en vías de desarrollo- no como opuesta a la de otras regiones del mundo, pero sí que refleje adecuadamente los imperativos de desarrollo de la Región. En este sentido, en la segunda sección se hace un breve resumen de los conceptos de sostenibilidad que se están usando a los distintos niveles y organizaciones. En la tercera se presentan brevemente algunos datos de la realidad latinoamericana, para en la cuarta avanzar sobre las dimensiones específicas de una perspectiva propia desde nuestra Región. La quinta sección se ocupa de las posibilidades y limitaciones que existen para una estrategia de desarrollo agropecuario sostenible. La sexta y última sección intenta algunas reflexiones en cuanto a acciones específicas, particularmente en lo referido a la investigación y desarrollo de tecnología.

EL CONCEPTO DE DESARROLLO AGROPECUARIO SOSTENIDO

Definir el término "sostenibilidad" es en la práctica tan difícil como definir el concepto de "desarrollo". En este sentido, la falta de una definición precisa y objetiva de la cual se puedan derivar implicaciones operacionales claras es una de las primeras dificultades a resolver en el esfuerzo por definir una estrategia de acción para el desarrollo sostenido. De hecho, el concepto de sostenibilidad implica un enfoque o perspectiva, un criterio general respecto a las relaciones básicas de la organización social, antes que un conjunto concreto y específico de acciones a ser emprendidas, ya sea por individuos u organizaciones públicas y privadas dentro de una sociedad en particular.

Dentro de este marco, al hablar de desarrollo sostenido es necesario reconciliar aspectos económicos y sociales con las dimensiones biofísicas referidas a los recursos naturales y la propia capacidad de los distintos ecosistemas de responder a las demandas a las que los someten las sociedades humanas.

Los esfuerzos para lograr definiciones de alcance operacional son variados (ver recuadro) pero todos apuntan a reflejar la creciente preocupación con las proporciones entre los "stocks" de recursos naturales y los crecientes niveles per cápita de uso -o mal uso- de los mismos, y consecuentemente la necesidad de incorporar más plenamente el manejo o

gerencia de los recursos naturales dentro de los procesos decisorios que afectan el crecimiento y desarrollo de las economías. A este respecto, los conceptos propuestos por la Comisión Brundland vinculando satisfacción de necesidades con la continuidad generacional entre presente y futuro parece, a nuestro juicio, el planteo más útil para la discusión del tema y la búsqueda de estrategias de acción para lograr la sostenibilidad del desarrollo.

LAS DIMENSIONES DEL PROBLEMA REGIONAL

A nivel agregado la situación regional en cuanto a disponibilidad de recursos permite una visión relativamente optimista. Con apenas el 8.1% de la población mundial, la región cuenta con el 23% de las tierras potencialmente cultivables, el 12% de las cultivadas, el 17% de las tierras en pastizal, el 23% de los bosques, el 46% de las selvas tropicales y el 31% de las aguas dulces de escorrentía posibles de utilizar de manera estable.

Constituye, así mismo, una de las mayores fuentes de diversidad genética del planeta, con cerca del 35% del total de la diversidad en los 20 cultivos alimenticios e industriales más importantes, de la que sólo una pequeñísima proporción está siendo utilizada, particularmente en las áreas tropicales donde se estima que en una hectárea de bosque amazónico, por ejemplo, hay más especies vegetales que en todo el territorio europeo, y cuenta con alrededor del 3% de las reservas mundiales de petróleo y el 19% del potencial de energía hidroeléctrica.

Esta visión agregada, sin embargo, esconde grandes diferencias entre países y tendencias que, lejos de ser alentadoras resaltan la necesidad de inmediatos y profundos cambios en el comportamiento de los actores agropecuarios de la región. En un número de países la relación población-recursos es extremadamente desfavorable y existen serias dudas que hacia el año 2000 sean capaces de sostener sus poblaciones con base en su producción agrícola. Si bien a nivel global la disponibilidad de tierras cultivables no es una limitante, en algunas regiones como México, América Central y el Caribe, hoy ya se está utilizando una muy alta proporción de las tierras con potencialidad agrícola. Por otra parte, las tasas de deforestación son extremadamente altas y crecientes en los últimos períodos, estimándose que

en el último quinquenio ha alcanzado a 50.000 km² al año, es decir, un territorio equivalente al total del área de Costa Rica o la República Dominicana; desde 1960 en adelante la tala de bosques se estima ha alcanzado a unos 2 millones de km² (una superficie mayor al territorio mexicano), la mayoría de ellos en los últimos años. Según algunos estimados cada año se transforman unos 4.4 millones de hectáreas de ecosistemas naturales, de los cuales el 78% proviene de áreas tropicales; entre 1980 y 1985 se calcula se han perdido unos 17.5 millones de hectáreas en los bosques húmedos tropicales y subtropicales, 2 millones en las montañas y cerca de 8 millones de las áreas secas tropicales y subtropicales. Estos procesos, independientemente de lo que representan en términos de un pobre o mal uso de un recurso de alta productividad, están poniendo en peligro la viabilidad de largo plazo de un número importante de cuencas de importancia estratégica para la seguridad alimentaria de algunos países. Así mismo, el efecto sobre la diversidad genética es de grandes magnitudes. Según algunos estimados, en cada hectárea de bosque tropical pueden coexistir entre 1000 y 2000 especies vegetales, de las cuales alrededor de 250 son árboles. Dada la escasa información que se tiene sobre la diversidad genética en estos ecosistemas, se comprenderá que la destrucción de pequeñas áreas de bosque tropical puede significar la desaparición tanto de especies vegetales como animales, cuyo potencial beneficio para la humanidad desconocemos.

En paralelo, los procesos de desertificación están avanzando de manera importante, particularmente en los ecosistemas de secano donde en un 70% ya se observan procesos degradatorios; la erosión en los ecosistemas montañosos de la Zona Andina y América Central se calcula entre un 40 y 60% de las tierras potencialmente cultivables. Un pobre manejo de los sistemas de irrigación ha disminuido significativamente su productividad por procesos de sedimentación y desencadenamiento de problemas de salinización y alcalinización de los suelos en muchas áreas. Finalmente, la aplicación masiva y creciente de fertilizantes y plaguicidas está contaminando gran parte de las fuentes de agua y creando problemas a nivel de los propios cultivos que, en muchos casos, presentan niveles de residuos tóxicos que están por encima de los máximos admitidos para el consumo humano.

Este panorama es el resultado de un largo pro-

ceso de desarticulaciones tanto a nivel de las políticas como de los marcos institucionales para la agricultura que sentaron las bases para el deterioro ecológico que hoy se observa. Las políticas de sustitución de importaciones y los esquemas de subsidios al crecimiento industrial, que han sido fuertemente discriminatorias en contra de la producción agrícola en general y los productos tradicionales en particular, las altas tasas de crecimiento de la población y la "explosión" urbana de los últimos 15-20 años, los esquemas poco igualitarios en cuanto al acceso y la tenencia de la tierra, conjuntamente con políticas y programas de colonización y desarrollo rural generalmente diseñados sin ninguna consideración a las dimensiones ambientales, son algunos de los componentes del casi insostenible patrón de desarrollo que ha prevalecido en la Región hasta esta década. Los bajos precios de los productos agrícolas y los esquemas de tenencia precaria desincentivan las prácticas conservacionistas, y de hecho, hacen en muchos casos a la "agricultura de minería de recursos", la opción más rentable, lo cual se agrava aún más por la creciente presión física sobre los recursos más pobres que resultan de una población en constante y desordenado aumento. Las consecuencias de estos procesos se ven hoy aún más agravadas por el impacto de la crisis de los años 80, la cual trae consigo presiones adicionales para la sobreexplotación del capital ecológico. El deterioro de los términos de intercambio y las presiones exportadoras derivadas de los crecientes servicios de la deuda externa, conjuntamente con los incrementos de las tasas de interés resultantes de la reestructuración de los flujos financieros de y hacia la región y el ajuste de las economías refuerza aún más las visiones cortoplacistas y dificulta el diseño e implementación de nuevos enfoques para un desarrollo más sostenible.

En este marco resulta claro que el patrón productivo predominante sólo puede ser mantenido a riesgo de la destrucción definitiva de importantes segmentos de nuestro capital ecológico -bosques, suelos, especies, aguas, aire- y, por lo tanto, a riesgo de la propia posibilidad de existencia de las generaciones futuras. Esto hace imperioso encontrar estrategias productivas que sean capaces de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de atender sus propias necesidades; el desafío es cómo hacerlo dentro del marco del imperativo de crecimiento que enfrentan las economías del mundo en desarrollo y de América Latina y el Caribe en particular.

AGRICULTURA, POBREZA, CRECIMIENTO Y SOSTENIBILIDAD

El cambio hacia estilos de desarrollo y estrategias de producción más sostenibles en el largo plazo demandará inevitablemente una reestructuración de los patrones de consumo e incluso la realización de sacrificios de producción y productividad presentes en aras de oportunidades futuras. La naturaleza de las opciones a considerar y la propia posibilidad de moverse hacia dichas nuevas estrategias está fuertemente condicionada por la situación de cada economía y por el propio papel que desempeña la agricultura en las mismas.

En el mundo desarrollado, el gran avance de sus economías y los altos niveles de producción alcanzados hace económica y políticamente posible reestructurar las estrategias de producción agropecuaria vigentes en la dirección de esquemas más benignos en cuanto al uso de los recursos naturales y sus impactos sobre el medio ambiente; más aún, en algunos casos la realización de sacrificios de producción en aras de objetivos de tipo conservacionista, resulta económicamente beneficioso como resultado de los altos subsidios a la producción existentes.

Los avances de la ciencia, por su parte, han permitido también desarrollar una mayor y mejor comprensión de la ecología global del planeta y de las interrelaciones existentes entre los distintos subsistemas, así como de los efectos de ciertos tipos de comportamientos tanto sobre la salud humana como sobre el equilibrio del medio ambiente. Esto ha dado lugar al desarrollo de importantes corrientes de opinión, y en algunos casos, movimientos políticos extremadamente militantes, favorables al desarrollo e implementación de políticas y acciones específicas orientadas a la adopción de medidas de corte conservacionista y esquemas de producción equilibrados en cuanto a su impacto sobre el medio ambiente y los recursos naturales.

En este sentido y desde el punto de vista de los países de América Latina y el Caribe, el contraste principal está en lo que se refiere al rol que desempeña la agricultura en la sociedad y como sector económico. En los países desarrollados la agricultura es un sector minoritario, tanto en lo que hace a población como en lo referido a su participación en

el total de la actividad económica. Así, los ajustes requeridos para asegurar y mantener la base de recursos naturales tendrán un impacto limitado. Por otra parte la propia disponibilidad global de recursos de estas economías hace posible que los efectos negativos que estas nuevas estrategias pudieran tener sobre sectores específicos puedan ser adecuadamente compensados.

En este contexto, aun alternativas extremas como la reorientación del uso de la tierra hacia actividades recreativas y de otro tipo y la realización de sacrificios productivos y de disponibilidad de productos específicos pueden ser parte de las opciones a considerar; y de hecho esta realidad está claramente reflejada tanto en el desarrollo de las corrientes de opinión mencionadas arriba, como en los cambios en los patrones de consumo en favor de los productos de una agricultura más "natural", basada en un menor o mínimo uso de insumos químicos.

En los países en vías de desarrollo, por el contrario, la agricultura es uno de los principales sectores de actividad económica y, en muchos casos, el asiento de la mayoría de la población; por lo tanto, las opciones y posibilidades son enteramente diferentes. Más aún, en muchos casos las altas tasas de crecimiento de la población asociadas a esquemas de tenencia de la tierra poco igualitarios han llevado a que una gran proporción de los segmentos más pobres de la población se encuentran en el sector rural ocupando tierras marginales como parte de un círculo vicioso de sobreexplotación, degradación de los recursos y pobreza.

En América Latina y el Caribe, esto es particularmente cierto, y si bien uno de los factores diferenciadores de la región, vis a vis las otras áreas del mundo en desarrollo, es la riqueza y diversidad de los recursos naturales y su innegable potencial agropecuario; no es menos cierto tampoco que la existencia de una inmensa masa de campesinos pobres, forzados a sobre-explotar sus tierras para sobrevivir, es una de las realidades de la Región que se ve, también, agravada por el hecho de que esas situaciones de pobreza coexisten con otros esquemas productivos como la ganadería extensiva y las empresas madereras o la agricultura comercial intensiva, como el algodón, que tiene igualmente un marcado impacto negativo sobre el uso y perdurabilidad de los recursos.

Este contraste resalta la naturaleza del desafío a enfrentar. Con una mayoría de sus recursos humanos y económicos en la agricultura y con importantes ventajas comparativas en un buen número de productos agropecuarios, cualquier estrategia de desarrollo debe estar basada en el aprovechamiento productivo de los recursos naturales. El desafío es cómo hacerlo dentro de un marco de equidad que incorpore al proceso de crecimiento a los sectores campesinos, hoy marginados, y que permita conservar e incrementar la disponibilidad y productividad del capital ecológico de la región y asegurar viabilidad del bienestar de las futuras generaciones.

TEMAS PARA UNA ESTRATEGIA DE MODERNIZACIÓN AGRÍCOLA CON EQUIDAD Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES

La situación actual en cuanto al uso de los recursos naturales no puede ser interpretada simplemente como un efecto indeseado de los esquemas vigentes de organización social. Por el contrario, el deterioro ambiental y la degradación de los recursos naturales son, en gran medida, consecuencias inevitables de comportamientos racionales dentro del modelo de desarrollo prevaleciente. El privilegio casi absoluto del crecimiento económico como elemento central del paradigma predominante y del mercado y la manipulación de las variables económicas como los instrumentos principales, y en algunos casos únicos, para la orientación del comportamiento de los actores sociales, ha llevado a ignorar aspectos biofísicos y morales básicos y a un modelo de desarrollo que es fundamentalmente inequitativo, tanto por los patrones de consumo que promueve, como en lo que hace a la distribución de los costos y los beneficios del crecimiento.

Hasta el presente, muchos de los efectos indeseados si bien estaban presentes, eran de magnitudes manejables. La aceleración del crecimiento económico y de la población, así como la ampliación de las brechas en las últimas décadas, ha puesto de manifiesto las debilidades básicas del modelo y la creciente dificultad, o quizás la imposibilidad de resolver los desequilibrios existentes dentro de los parámetros de comportamiento establecidos. En este sentido, el desarrollo de una nueva estrategia en donde se recompongan dinámicamente los equili-

brios básicos entre el hombre y el medio ambiente, requiere de un esfuerzo integral orientado a modificar ciertos aspectos básicos del comportamiento social así como del patrón tecnológico en el que se apoyan las actividades productivas que sustentan la supervivencia de las sociedades humanas. En los párrafos siguientes se analizan, en forma general, algunos de estos aspectos, tomando una perspectiva desde América Latina y el Caribe y la agricultura, sin desconocer que a pesar de que los países de la región comparten un importante conjunto de rasgos comunes, más allá de éstos hay diferencias también importantes en lo que se refiere a la geografía de la población, la pobreza y la seguridad alimentaria, así como al papel que ciertos medios ambientes específicos juegan dentro de la ecología global, que deben ser tomados en cuenta a la hora de considerar alternativas de acción concretas.

La revaloración del futuro como punto de partida para un nuevo paradigma

Los esquemas prevalecientes de organización social y producción son de hecho en un sentido más amplio, la propia forma en que el hombre plantea su relación con el medio ambiente- y están basados en el concepto de que el capital ecológico (diversidad genética, suelos, bosques, pesquerías, aguas, aire) y el capital creado por el hombre son sustitutos, y por lo tanto, al menos en teoría es posible definir patrones de producción de manera relativamente independiente a la disponibilidad de recursos naturales, ya que con el tiempo el hombre podría restituir aquellos que fueran destruidos en los procesos productivos específicos.

Esta perspectiva conjuntamente con la relativa ineficiencia del mercado como instrumento para la asignación intertemporal de recursos -de hecho los que toman las decisiones son los consumidores presentes y la propia naturaleza de bienes "públicos" de la mayoría de los productos o servicios de capital ecológico- establecen un patrón de comportamiento en el que se privilegia el consumo presente sobre el futuro, nuevamente no como un comportamiento "perverso" sino como respuesta "natural" a los criterios básicos que dan origen a lo que socialmente se establece como comportamiento "normal".

La creciente preocupación que hoy existe con el tema de la sostenibilidad, o puesto de otra manera, la preocupación acerca de la imposibilidad de mantener

en el tiempo los patrones de consumo actuales, se origina en buena medida en la disponibilidad de amplia evidencia que el capital ecológico y el desarrollo por el hombre, no son continuamente sustituibles, es decir, no en todos los casos es posible reponer con alternativas creadas por el hombre, el capital ecológico consumido en la producción de bienes y servicios, ya que el problema, entonces, no es de precios. El caso de los recursos genéticos es, quizás, el que mejor ejemplifica esta problemática.

Las economías de mercado tienden a tratar a los servicios (flujos) del capital ecológico como bienes libres, lo que lleva a su sobre explotación y eventualmente a su destrucción total. En un mundo con incertidumbre y conocimiento imperfecto, esto significa que, en muchos casos, ni siquiera se conoce el precio (costo) que efectivamente se está pagando por las decisiones de consumo presentes: de hecho se ignora el futuro como alternativa productiva o cuando más, se lo descuenta a una tasa de interés extremadamente alta.

El énfasis en el crecimiento económico presente como patrón básico del modelo de desarrollo, está en la raíz de la problemática de la sostenibilidad del desarrollo, especialmente, a medida que la humanidad como conjunto se aproxima al momento de "ocupación plena" de nuestro hábitat global. Estos son los conceptos que es necesario modificar si es que pretendemos movernos en la dirección de un desarrollo sostenible y más equitativo, dentro y entre generaciones.

No se trata, sin embargo, de sustituir la actual predominancia del mercado como instrumento básico por un concepto alternativo que coloque a los recursos naturales y el medio ambiente "más allá del sistema de precios", lo cual llevado a su extremo significaría que no podría existir vida humana más allá de la estricta supervivencia, si es necesario encontrar un nuevo sistema de precios que refleje correctamente las características de los bienes o servicios del capital ecológico y la escasez relativa en toda su dimensión y permita la toma de decisiones informadas acerca de cómo utilizar la base de recursos naturales de que disponemos, asumiendo que inevitablemente alguna proporción de ella será irremediablemente destruida como parte del proceso productivo. El punto central es que la decisión de qué conservar y qué destruir sea tomada con plena información acerca de las alternativas de producción futu-

ra que se están eliminando del cuadro de posibilidades y consecuentemente, la naturaleza y magnitud de las transferencias intergeneracionales que se están realizando.

Moverse en esta dirección significa encontrar también un nuevo patrón que reemplace el criterio de crecimiento como base para el análisis de consistencia de las políticas y acciones específicas en función de objetivos de equidad y conservación de recursos. Puesto de otra manera, se trata de reemplazar la actual "ética" del crecimiento por una que incorpore, además, las dimensiones de equidad y conservación. Esta es una prioridad absoluta para el desarrollo de una estrategia de modernización con equidad y conservación, ya que sólo la existencia de este criterio global permitirá fundamentar las coaliciones políticas y los acuerdos explícitos e implícitos de largo alcance entre el Estado y los actores sociales, en torno a las secuencias de políticas e innovaciones institucionales y tecnológicas que serán necesarias para implementarla.

Estos conceptos generales cobran en América Latina una dimensión particular, como consecuencia en parte de algunas de sus características propias, pero también, y quizás esto es lo más importante, como resultado del contexto económico, político y social en que se desenvuelven las economías de la Región durante el último cuarto de siglo.

La inestabilidad que ha caracterizado a la Región, tanto en lo político como en lo económico, es quizás una de las limitantes de mayor importancia para la producción del desarrollo sostenido.

En lo económico la crisis macroeconómica de la Región ha fomentado una serie de desbalances financieros, que dan lugar a fuertes fluctuaciones de corto plazo en los precios relativos, lo cual abre espacio para el arbitraje y hace potencialmente más rentables las actividades especulativas de corto plazo en detrimento de esfuerzos productivos o conservacionistas con una maduración más larga.

Esta misma situación de fluctuaciones muy rápidas en los precios relativos y niveles de ingreso, dificulta mucho cualquier pronóstico acerca de las condiciones económicas del futuro. Al ser menos predecible el futuro, se vuelve más riesgoso invertir en él y suponiendo que los que inviertan son adversos a aceptar riesgos, tenderán a descontar el valor

previsto de ingresos futuros a tasas aún mayores que las del mercado.

A nivel de las tasas de interés propiamente dichas la crisis de la deuda ha actuado, así mismo, en la dirección de un creciente y permanente incentivo del consumo presente sobre el futuro. Al mismo tiempo, la fuga masiva de capital y desde un punto de vista más general, la movilidad del mismo hace que la rentabilidad futura del capital dependa menos de la explotación eficiente de los recursos naturales en un lugar en particular. Por ejemplo, el comportamiento de una compañía maderera será muy diferente si después de acabar con un bosque puede pasar a otro, o si piensa que sus ganancias futuras dependerán exclusivamente de la producción del bosque donde trabaja actualmente. El deterioro de la capacidad de ahorro que ha sufrido la población de la Región es también un factor determinante de la prevalencia de una visión de corto plazo en cuanto al uso de los recursos. La imagen más difundida de este fenómeno es la del campesino pobre cultivando tierras de ladera, que él mismo sabe que está destruyendo, pero que son su única forma de supervivencia inmediata.

Desde otra perspectiva, no son sólo los empresarios y consumidores individuales los que tienen una baja valorización del futuro. El mismo fenómeno se da, aunque por razones algo distintas, entre los estamentos políticos de la Región. En parte, esto se debe a las exigencias de las democracias en países con miseria muy diseminada. Dentro de este contexto los políticos se sienten forzados a darle respuesta a la población a corto plazo sin otros recursos a los que recurrir que los recursos naturales que conforman el capital social. Visto de otra forma, en lo político la "tasa de descuento" que se aplica al uso de los recursos es también muy alta, lo que lleva nuevamente a privilegiar el consumo presente sobre cualquier alternativa futura. Por otra parte, la misma debilidad del sector público agravada ahora por la crisis fiscal ha socavado su capacidad de reflexión, y por lo tanto, de previsión de los problemas futuros. Las universidades, tradicionales centros de reflexión en la sociedad, han sido fuertemente debilitadas por las crisis. Los organismos públicos de planificación han perdido mucho de su mejor gente, y la planificación como tal ha caído en desgracia en el mundo político. Todos estos rasgos, desgraciadamente propios de la realidad latinoamericana profundizan y dramatizan el efecto de los criterios de tipo general a los cuales se

hizo referencia al principio de esta sección.

La necesidad de una visión sistémica y de reconocer la interdependencia a todos los niveles

Los problemas del desarrollo sostenido no pueden ser entendidos y, consecuentemente, resueltos, si sus distintas dimensiones son tomadas de manera aislada. Por su propia naturaleza, los distintos componentes de lo que hemos llamado el capital ecológico son, aunque con identidades y dinámicas propias, partes de un todo interconectado e interdependiente. Los argumentos de la política, la economía y la ecología están estrechamente interrelacionados a todos los niveles -local, regional, nacional y global- en un complejo de causas y efectos en donde es difícil, si no imposible, diferenciar con nitidez y precisión los alcances y límites de cada una. La multidimensionalidad -sistemas biofísicos, políticos, económicos y sociales- y la interdependencia son los conceptos básicos a utilizar en el análisis de problemas y el diseño de alternativas de solución a los mismos.

Un ejemplo de cómo interactúan la economía y el medio ambiente es el ciclo termodinámico a través del cual materiales y energía son utilizados en el proceso productivo para producir bienes económicos que tienen un valor en el mercado y desperdicios (contaminación) que no implican un costo para quien los produce, pero sí para la sociedad (de este ejemplo resulta también que la degradación del medio ambiente es, en el fondo, resultado de una "falencia del mercado" como instrumento para la asignación de recursos y administración de los mismos cuando su disponibilidad es baja).

Por su parte, la sobre explotación de los suelos y la destrucción de las reservas forestales son problemas de neto corte productivo y con claras dimensiones biofísicas, pero sus orígenes, y consecuentemente las soluciones, difícilmente se encuentran a este nivel. Por el contrario, en la mayoría de los casos, estos problemas son el reflejo de esquemas de incentivos o de la presión de poblaciones en creciente aumento que se ven permanentemente empujadas a sobrevivir en áreas marginales para la producción agrícola. El círculo de las interrelaciones se cierra si aceptamos que, en la mayoría de los casos, la única estrategia viable para el control de la población es la eliminación de la pobreza. De la misma manera, la deforestación y la extinción de especies animales y vegetales que usualmente la

acompaña, continuará mientras no se resuelva el problema de la deuda de los países del tercer mundo que empuja hacia arriba las tasas de interés y determina una lógica irrefutable en apoyo de estrategias de "minería de recursos" como las únicas viables en el corto plazo. A otro nivel es claro que en muchas situaciones las soluciones no pueden alcanzarse, o por lo menos, no se alcanzan de la manera más eficiente, con acciones de tipo directo en relación con el origen o ubicación del problema. Es típico el caso de sobrepoblación en áreas marginales, donde la necesidad de asegurar la disponibilidad de alimentos lleva a la instalación de un círculo vicioso de pobreza y deterioro de los recursos, y donde la solución no se encuentra en la búsqueda de nuevas tecnologías para las zonas más ricas y en el desarrollo de alternativas que permitan el acceso de toda la población a los alimentos requeridos y a las oportunidades de desarrollo.

El reconocer la naturaleza sistémica de la problemática y el carácter interdependiente de los componentes no significan que la acción directa a nivel de la manifestación del problema específico no sea el ingrediente indispensable de cualquier estrategia. La conservación de los recursos y el desarrollo sostenido dependerán en última instancia de la iniciativa a este nivel y del compromiso de todos los actores directos para un accionar cooperativo e integrado que tome en consideración todos los factores sociales, ecológicos, económicos y tecnológicos involucrados. El compromiso a nivel local, sin embargo, debe complementarse con acciones a los restantes niveles en lo que hace a las políticas y marcos institucionales para asegurar que los esfuerzos y sacrificios que se realizan a nivel local se traduzcan en beneficios para el conjunto social y no se transformen en transferencias hacia los otros niveles o sectores.

Por otra parte, la naturaleza sistémica del problema de la sostenibilidad de la producción y la conservación de los recursos naturales, plantea una realidad que afecta a todos los habitantes del planeta y debe ser encarada como un desafío común y prioritario, tanto para los países en desarrollo como para los desarrollados. Sin dejar de reconocer la gran diversidad que existe en uno y otro caso en lo que hace a la cantidad y tipo de recursos naturales y sus situaciones y perspectivas económicas poblacionales, las preocupaciones desde ambas perspectivas son convergentes. El hecho de compartir el planeta y ser, cada vez más, parte de una misma economía global, determina interrelaciones básicas en cuanto a cómo

se utilizan los recursos básicos y compromisos compartidos en cuanto a las acciones a implementar. En este sentido, es claro que los beneficios de la conservación de los recursos son de naturaleza global; por lo tanto, es necesario encontrar mecanismos que permitan compartir también los costos de dichas acciones en un marco de equidad y desarrollo.

Un marco de políticas coherente, que promueva la conservación de recursos.

El desafío del desarrollo sostenible radica en última instancia en la eliminación de las incoherencias existentes en los marcos de políticas. Estos son el resultado de largos procesos de agregación de decisiones, usualmente en respuesta a problemas e intereses parciales y con una lógica definida en función de objetivos de crecimiento económico y no de conservación de recursos y equidad intergeneracional. El desarrollo sostenible no trata de eliminar el crecimiento como uno de los criterios del modelo de desarrollo, sino de calificarlo básicamente en la dimensión temporal, y es en este sentido que los marcos institucionales y de políticas en vigencia actualmente resultan inapropiados y en muchos casos incoherentes. Esto es resultado de la fragmentación de los marcos institucionales, y del hecho que los criterios de equidad y conservación de recursos sólo en muy contados casos son utilizados en el chequeo de consistencia de las políticas y acciones a implementar, aun en áreas específicas de relación directa con la situación y uso de los recursos naturales. El campo de las políticas económicas es un rico reservorio de ejemplos sobre estas incoherencias, ya que en éste la relación entre políticas y el comportamiento de los actores sociales es más directa y transparente que en ningún otro caso.

Las políticas de subsidios a los fertilizantes y agroquímicos en general, han sido sin duda uno de los factores principales en el avance de la contaminación ambiental y la degradación de los recursos en muchas situaciones específicas. Los casos del tomate en la República Dominicana y del algodón en Nicaragua y otros países representan ejemplos extremos de estas situaciones. Otro ejemplo de subsidios con resultados marcadamente negativos sobre la sostenibilidad de la producción son las políticas de precios del agua. Los artificialmente bajos cánones de riego han llevado en muchos casos a la pérdida de productividad de los suelos y a la reducción de la vida útil de las obras de infraestructura como conse-

cuencia de la imposibilidad de autofinanciar las inversiones en mantenimiento.

Del lado del productor, las políticas de precios bajos a la agricultura, como apoyo a otros sectores han llevado a deprimir, si no a eliminar, los incentivos a la inversión en infraestructura y mejoras a nivel local y de fincas y eventualmente a la declinación de la productividad de los recursos.

Estos comentarios no deben ser tomados como una posición genérica acerca de las políticas de subsidios. En el fondo los problemas de conservación de los recursos y sostenibilidad resultan de divergencias entre costos y beneficios sociales y privados, y en las economías de mercados los subsidios y los impuestos son instrumentos poderosos para corregir estas divergencias y promover o desincentivar ciertas actividades. El punto es cómo incorporar estos criterios en el análisis y definición de las políticas.

A nivel macro, aspectos tales como las políticas de comercio internacional y las que afectan el nivel de la tasa de interés juegan, también, un papel sustantivo. Es necesario promover mercados de capitales más transparentes y accesibles, principalmente para los sectores campesinos, de manera que se amplíe el horizonte de planeamiento, jerarquizar los problemas de sostenibilidad en los esquemas de decisión de las unidades de producción, y de esta manera promover un uso en el tiempo de los recursos, más en línea con los óptimos sociales.

Las políticas de apertura comercial deben ser analizadas cuidadosamente, ya que si no son complementadas con esquemas que aseguren la "internalización de las externalidades" de ciertas actividades, se corren graves riesgos en cuanto a los efectos de la búsqueda de competitividad sobre los recursos naturales y el medio ambiente. El mercado es un instrumento extremadamente poderoso para orientar la actividad económica y promover el crecimiento, pero mientras no se incorporen reformas que aseguren que los precios efectivamente reflejen las limitantes relativas de largo plazo deberán ser complementados por esquemas regulatorios que compensen las externalidades negativas que se presentan y que no se caiga en el espejismo de un crecimiento basado en la "minería" de los recursos y no en la creación de competitividad real. El caso reciente de la pesquería y la actividad forestal en Chile es un buen ejemplo de este tipo de problemas.

Un marco institucional que refleje los objetivos y necesidades del desarrollo sostenido.

En las secciones anteriores se han resaltado los problemas e inconsistencias en los marcos de políticas que es necesario cambiar para alcanzar un desarrollo sostenible. Detrás de estas políticas están las instituciones y sistemas institucionales dentro de los cuales las mismas se conciben, diseñan e implementan. El cambiar la orientación de los marcos de políticas en la dirección de esquemas que promuevan un comportamiento de los actores sociales, consistente con el desarrollo sostenido y la conservación de los recursos naturales, requiere también la modificación de los sistemas institucionales. Es necesario cambiar la lógica y la propia forma en que se toman las decisiones a todos los niveles; de lo contrario, difícilmente se lograrán los impactos deseados sobre la forma en que la sociedad usa los recursos a su disposición para alcanzar los objetivos de desarrollo que se plantea a sí misma.

La reforma institucional es un componente central para el desarrollo sostenido. Es claro que la situación actual de deterioro de los recursos no resulta de la perversidad de los actores sociales individuales, sino del fracaso del mercado en proveer las señales adecuadas para el correcto accionar de los agentes económicos, y la ineffectividad del Estado para diseñar e implementar intervenciones que corrijan las falencias del mercado en este campo. En este sentido el mercado como tal es un mecanismo ineficiente por su dificultad para manejar relaciones intertemporales y por el propio hecho de que muchos de los servicios del capital ecológico son considerados como bienes libres. Por otra parte, existe un marcado contraste entre la naturaleza interdependiente de los temas que nos preocupan y la naturaleza fragmentaria de las instituciones con que hoy contamos para hacer frente al desafío del desarrollo sostenible. En la mayoría de los casos las interrelaciones existentes entre el medio ambiente y la situación de los recursos naturales y la toma de decisiones en el campo económico, no están reflejadas en los sistemas institucionales vigentes, y solo excepcionalmente la definición de las políticas macroeconómicas, comerciales e incluso sectoriales, se hace tomando en consideración el impacto que las mismas podrían tener sobre el medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. En respuesta a esto, hacen falta innovaciones institucionales que permitan "inter-

nalizar las externalidades” y de hecho crear “mercados” para los recursos que hoy son considerados como bienes libres. Así mismo, y aun cuando es aventurado pensar que sea factible integrar operativamente dentro de una misma organización las distintas dimensiones de políticas que hacen a la sostenibilidad del desarrollo, es necesario, como mínimo establecer mecanismos que aseguren que las decisiones de política económica global y sectorial se tomen con plena información de sus impactos sobre el medio ambiente y los recursos naturales, y de los costos y beneficios sociales involucrados.

En otro orden de cosas, aspectos tales como los esquemas de tenencia de la tierra juegan un papel significativo en la conservación de los recursos naturales. Arreglos institucionales que limitan el acceso a la propiedad de la tierra desincentivan las inversiones en la conservación y mejoramiento de la capacidad productiva y tienen, en última instancia, un efecto negativo sobre la sostenibilidad de la producción.

Las necesidades de reformas institucionales van, sin embargo, más allá del campo económico. El desarrollo sostenido debe ser concebido como una responsabilidad social global y como tal involucra a todos los espacios y sectores de la sociedad. La alternativa de la intervención estatal como el principal, y en muchos casos excluyente, instrumento para la protección del medio ambiente y los recursos naturales se ha probado inefectiva, tanto para la corrección de las imperfecciones en los mecanismos de mercados como para la implementación de acciones directas. Por lo tanto, se requiere del desarrollo de nuevos esquemas de organización social a nivel local y regional, formas de vinculación entre el sector público y el privado que aseguren una mayor y mas directa participación de los actores directos en las decisiones relacionadas con el medio ambiente y los recursos naturales. No se trata por supuesto de eliminar la participación del Estado, la cual constituye en muchas áreas, un elemento indispensable, pero sí de encontrar nuevos esquemas que permitan que ésta sea efectiva.

A nivel operativo el desarrollo de mecanismos de coordinación interinstitucional para el manejo de recursos comunes (manejo de cuencas, etc.) y la reorganización (y reorientación) de las instituciones responsables de ciertos servicios, como los de crédito, extensión, educación y sanidad aparecen como componentes esenciales de una estrategia de acción

para el desarrollo sostenido. En el caso del crédito, en la mayoría de los países en desarrollo el acceso al mismo por parte de amplios sectores del campesinado, está severamente limitado y por lo tanto, la tasa de interés efectiva se ve incrementada significativamente, lo cual introduce un marcado sesgo cortoplacista en la producción y el manejo de los recursos naturales. Esto debe ser corregido por medio de arreglos institucionales mas amplios que “democratizen” el crédito y así promuevan la sostenibilidad. Igualmente, los sistemas de transferencia de tecnología deben ser reformados para promover el uso de tecnologías como las de manejo integrado de plagas y otras orientadas a un manejo más eficiente de los recursos y no al incremento de la productividad a través de un mayor uso de insumos.

Estos esfuerzos en el campo institucional deben verse en el marco de los actuales procesos de ajuste político y económico que están en curso de implementación en la mayoría de los países de la Región. En algunos de ellos la creciente democratización política de la década de los años ochenta esta sentando las bases imprescindibles. Las instituciones que posibiliten una mayor participación en las decisiones acerca del uso de los recursos no son posibles fuera de un contexto democrático. Sin embargo, el marcado deterioro de las instituciones públicas al que ya hemos hecho referencia, que se ha producido en los últimos años y la creciente difusión de la idea de “achicar el Estado” como parte del proceso de modernización administrativa, es una tendencia de signo negativo si la misma no se implementa con plena conciencia de cuáles son las funciones que el Estado debe desempeñar en la promoción de un desarrollo sostenible. Como ya apuntamos, buena parte de las situaciones de desarrollo “insostenible” se asignan en la naturaleza de bienes públicos que tienen muchos de los servicios del capital ecológico y las diferencias que existen entre los costos privados y sociales en las acciones que afectan a los recursos naturales y el medio ambiente. En estos aspectos la intervención del Estado constituye un elemento esencial, sin el cual dificilmente pueden resolverse los problemas existentes. Esquemas regulatorios de distinto tipo, incluyendo la planificación en cuanto al uso de los recursos y la provisión de subsidios y compensaciones o la creación de impuestos a determinados comportamientos, son instrumentos inevitables para corregir las falencias de los mecanismos de mercado y forzar que las decisiones privadas se tomen con base en esquemas en donde quien reciba los benefi-

cios sea quien debe hacer frente a la totalidad de los costos. Esto en muchos casos requerirá de un Estado más fuerte y efectivo que el actual, capaz de diseñar políticas multidimensionales e implementarlas. Los procesos de "modernización del Estado o del aparato público" que se están promoviendo como parte de los programas de ajuste económico representan una oportunidad única para movernos en la dirección adecuada, siempre y cuando lo que predomine en las decisiones sea el análisis de la funcionalidad de las instituciones públicas para proveer los bienes y servicios propios de su papel en una estrategia de modernización con equidad y conservación de los recursos y no los criterios fiscalistas de lograr el balance de las cuentas macroeconómicas.

Indicadores que provean información relevante para la toma de decisiones.

El desarrollo de una nueva perspectiva en la que se revalorice el futuro y se reconozca a la sostenibilidad como uno de los atributos esenciales del modelo de desarrollo, requiere de una base de información que, por una parte, permita un mejor entendimiento de las interrelaciones básicas tanto a nivel de los sistemas biofísicos, como de las que existen entre estos y los sistemas socioeconómicos y políticos, y por otra, aporte los datos precisos acerca de los aspectos específicos que conforman la situación de los recursos naturales y el medio ambiente en un momento dado.

Como apuntáramos en una sección anterior, en gran medida la perspectiva de desarrollo prevalente hasta ahora, descansa en la concepción de que es posible en todos los casos reemplazar el capital ecológico, o sus servicios, con "capital" creado por el hombre. Revertir esta percepción requiere algo más que el listado anecdótico de casos en los que eso no es posible o se da solo imperfectamente. Hace falta profundizar en la comprensión de las características básicas de los elementos componentes del medio ambiente y la propia dinámica con que aguas, suelos, clima y recursos genéticos interactúan entre sí y dentro de los distintos esquemas de organización productiva que utilizan las sociedades humanas para su explotación. Es esta mayor y mejor comprensión de los fenómenos -y peligros- involucrados, la que eventualmente generará el cambio de actitudes que se requiere. Esta es un área de investigación de relativamente reciente desarrollo y que también resulta prioritaria como fuente originaria de la información

que hace falta a nivel operativo para la toma de decisiones en cuanto al uso de los recursos naturales.

Paralelamente a lo anterior es necesario desarrollar una convención en cuanto a los indicadores a utilizar en relación con el medio ambiente y los recursos naturales. El conjunto de indicadores que hoy se utilizan es parcial y como tal, en muchos casos, puede dar lugar a interpretaciones y políticas erróneas. Un buen ejemplo de esta situación es el análisis que se hace del efecto contaminante de las actividades agropecuarias. En la mayoría de los casos los indicadores se construyen con base en los niveles de utilización de insumos químicos y sus efectos residuales sobre productos, suelos, aguas y aire. Muy infrecuentemente se incluye en estos indicadores los residuos o desperdicios resultantes de los procesos biológicos involucrados. Los casos de la producción de cerdos y de la caficultura, entre muchos otros, son buenos ejemplos de esto. De igual manera la crudeza de otros indicadores, como los vinculados al manejo de las reservas forestales (forestación-deforestación), donde en raras ocasiones se incluye información acerca del tipo de bosques y de especies específicas, resulta de información poco útil para un adecuado seguimiento y la toma de las decisiones correspondientes.

Directamente relacionado con el tema de los indicadores está lo referido a los sistemas de contabilidad social que actualmente se utilizan. En términos generales, éstos son incompletos en relación con la valorización de las variables relacionadas con el medio ambiente y los recursos naturales y, por lo tanto, los impactos que las distintas actividades productivas tienen sobre los mismos no se ven correctamente reflejados en las cuentas sociales, lo cual distorsiona las decisiones de inversión, y aún peor las sesga en favor de aquellas que tienen el impacto más negativo sobre el medio ambiente y los recursos naturales. Desde otro punto de vista, es necesario también promover un mayor equilibrio en cuanto al objeto del cual se recoge información. Por diversas razones existe mucha mayor información en cuanto a las zonas templadas que en relación con los trópicos. Dado que las consecuencias de los problemas de sostenibilidad en el cinturón tropical son de mayor impacto para el medio ambiente global, el desarrollo de indicadores y la recolección de información relevante a estas regiones es un área de alta prioridad.

La necesidad de un nuevo patrón tecnológico.

Independientemente de lo que se haga en cuanto al cambio de valores, instituciones y políticas, la modernización con equidad y conservación de los recursos sólo será posible si se desarrolla un nuevo patrón tecnológico más benigno en cuanto a su impacto sobre el medio ambiente y los recursos naturales que el actualmente vigente.

La tecnología moderna ha permitido aumentar, de manera importante, los márgenes de seguridad entre la producción y la subsistencia. En los sistemas tradicionales la conservación de los recursos es un requerimiento básico para el mantenimiento de los niveles de producción. La tecnología moderna, de la cual el concepto de la "revolución verde" representa su exponente más elaborado, a través de un uso intensivo de energía por unidad de producto (agroquímico, fertilizantes, maquinaria, etc.) ha relativizado la importancia de las tecnologías de manejo de recursos como estrategia productiva. Este enfoque hoy está en crisis, tanto por la creciente preocupación que existe por el alto costo ecológico que tiene el uso intensivo de insumos energéticos, como por el hecho de que los altos precios de los combustibles y otros productos derivados de los hidrocarburos, lo hacen, en muchos casos inviable desde el punto de vista económico. En este contexto está clara la naturaleza del desafío tecnológico a enfrentar en la agricultura. La variable de ajuste no puede ser producción ni productividad; es evidente que frente a una población creciente y en el marco de también crecientes demandas sobre la agricultura como factor de reactivación del conjunto de las economías en la mayoría de los países de la región, los objetivos de largo plazo no pueden aceptar sacrificios productivos de importancia y deben conjugar la conservación de los recursos y el medio ambiente con un mayor nivel de actividad y crecimiento económico. Esto sólo se puede lograr con una profunda transformación tecnológica.

Para hacer frente a este desafío se requerirá un renovado esfuerzo de investigación. Independientemente de que hoy se cuenta con un importante "stock" de tecnologías apropiadas desde el punto de vista económico, social y ecológico para un número importante de los ecosistemas de la región, una gran parte de las actividades de investigación y extensión han estado enfocadas principalmente hacia productos

y especies específicas, ignorando las interrelaciones que existen entre ellas y los restantes elementos del ecosistema y que tienen un impacto definitorio sobre el comportamiento y decisiones de los productores agropecuarios en cuanto a la adopción de nuevas tecnologías.

En este sentido, varias áreas aparecen como de inmediata importancia. La primera es de carácter general y, en cierta medida, debe ser vista como enmarcando todos los esfuerzos de investigación y se refiere al desarrollo de un mejor conocimiento acerca de la naturaleza y funcionamiento de los distintos ecosistemas y de indicadores y bases de información que permitan un mejor análisis del impacto potencial de distintas alternativas y el seguimiento de la evolución de los mismos una vez que éstas entren en implementación. En esta área los avances en el campo de la microelectrónica y la informática (modelos de simulación, teledetección, sistemas expertos, manejo de bases de datos, etc) abren una amplia gama de oportunidades en cuanto al desarrollo de esquemas de manejo de recursos más realistas y eficientes.

La segunda se refiere al aprovechamiento de los recursos genéticos de la Región. Ya hemos enfatizado la importancia de la diversidad biológica de la Región y el hecho de que sólo una mínima proporción de la misma se está utilizando. El desarrollo de una nueva estrategia de producción agropecuaria sostenible requiere un esfuerzo importante en el campo de los recursos genéticos. Por una parte, es necesario completar los inventarios y evaluaciones de los que la Región efectivamente dispone; por la otra, se debe reevaluar el potencial de los recursos originarios de la Región bien adaptados y por consiguientes eficientes para esquemas de producción sostenible, en la perspectiva de sustituir la utilización de cultivos introducidos, muchos de los cuales hoy presentan dificultades por su extremada dependencia del uso de agroquímicos. Asegurar un acceso adecuado a los alimentos para toda la población, es probablemente uno de los componentes más efectivos de cualquier estrategia de desarrollo sostenible y la Región dispone de una base genética de suficiente amplitud como para que esto no sea una dificultad mayor. Sin embargo, en la actualidad la mayor proporción de los alimentos que se producen y consumen provienen de especies introducidas; en parte esto es resultado de que la investigación y tecnologías acumuladas en las

especies de clima templado es mucho mayor, pero también, la situación responde al hecho que no se han desarrollado esfuerzos adecuados para aprovechar el potencial de las especies autóctonas. Un aspecto adicional que enfatiza prioridad de contar con nuevas políticas y esfuerzos definidos en el campo de los recursos genéticos es la importancia que estos cobran con el advenimiento de la biotecnología. Una tercera área de prioridad es la relacionada con las tecnologías de manejo en general -fincas, sistemas, cultivos, recursos-. Como apuntamos arriba, el grueso de los esfuerzos hasta ahora ha estado en los cultivos específicos y en el uso de insumos, por lo que las nuevas tecnologías deberán hacer más énfasis en la integración -cultivos, pastos, forestales, animales- y en la optimización de usos más que en la búsqueda de techos de productividad por cultivo, típica de la revolución verde. Algunas de las áreas que sin duda cobrarán creciente importancia son las de manejo y conservación de suelos, uso de abonos orgánicos, sistemas de labranza mínima, manejo integrado de plagas, sistemas agrosilvopastoriles y reciclaje de residuos. A un nivel más agregado, aspectos tales como los estudios de zonificación agroecológica, y los esquemas de manejo de cuencas y microcuencas, también deberán recibir mayor atención.

Una cuarta área se refiere a la biotecnología. Los avances en este campo, particularmente en lo que se refiere al desarrollo de nuevas formas, ecológicamente más benignas, de establecer la relación productiva entre el hombre y el medio ambiente ofrecen importantes oportunidades. En este sentido, al mejoramiento genético de las especies, como a la elaboración de biocidas, se abre también la oportunidad de la recuperación de recursos genéticos, y también a la regeneración de aguas y suelos a través del tratamiento de contaminantes o limitantes naturales, por medios biotecnológicos. No obstante, es necesario considerar que siendo ésta un área en rápido desarrollo, es urgente el establecimiento de estrategias definidas y agresivas, y compartidas por todos los actores sociales y países, para asegurar la incorporación de la región a este nuevo patrón tecnológico.

Para atender estas prioridades la infraestructura institucional de generación y transferencia de tecnología deberá ser reforzada y consolidada, tanto en lo que se refiere a sus recursos humanos y presupuestarios, los que han sufrido un marcado deteri-

oro, en gran medida como consecuencia de la crisis, como en su concepción organizativa propiamente dicha. En este sentido, es necesario incorporar esquemas organizativos que, por una parte, aseguren la adecuada integración de la investigación agrícola con la ganadera, forestal y recursos naturales en general, y por otra una mayor y más ágil vinculación entre las instituciones públicas, el sector privado, las universidades, las ONG y otras instituciones, de manera de lograr una mayor movilización de recursos y hacer más efectivo el funcionamiento del sistema de generación de innovaciones tecnológicas para el agro. Un aspecto importante a considerar en cuanto a las reformas institucionales en este campo, y particularmente en lo referido al papel del sector público, es la naturaleza de los beneficios de las "tecnologías sostenibles". Estos tienen una dimensión social más que privada -excepto en la rentabilidad a nivel de finca- y por lo tanto, el sector privado difícilmente estará interesado en asumir la responsabilidad por su desarrollo. Esto no quiere decir que la creación de estas tecnologías debe ser responsabilidad exclusiva del sector público, pero sí que éste tiene la responsabilidad de asegurar que este tipo de tecnologías se desarrolle y esté efectivamente disponible a nivel de los productores. En las últimas dos décadas, los sistemas de transferencia de tecnología han evolucionado marcadamente en la dirección de sistemas de asistencia técnica, generalmente de carácter privado, orientados a la transferencia de conocimientos incorporados en los insumos o bien directamente asociados al uso de los mismos, y trabajando principalmente con el productor individual. De hecho los sistemas tradicionales de extensión, dedicados al desarrollo de las capacidades de manejo de la explotación y los cultivos por parte de los productores y al desarrollo social y productivo de la comunidad en general, han disminuido marcadamente en importancia, cuando no, han desaparecido completamente. Estas tendencias representan un problema de importancia a resolver desde el punto de vista de la promoción de una agricultura sostenible basada en un mejor manejo de los recursos naturales.

Como hemos indicado arriba, moverse en la dirección de una agricultura con estas características requerirá de un mayor énfasis en tecnologías dirigidas a lograr un mejor manejo de los recursos y de la explotación en su conjunto (tecnologías agronómicas, modelos de manejo de fincas, manejo integrado de plagas), así como comportamientos de tipo grupal

en donde el fenómeno de adopción no se da a nivel del agricultor individual sino del conjunto de productores de un área o cuenca determinada; en tecnologías como manejo integrado de plagas o cuencas. Para que el impacto potencial de las nuevas estrategias se materialice, el cambio tiene que producirse a nivel del conjunto de los agricultores en la Región o cuenca de que se trate. Este tipo de tecnologías requiere de mecanismos de transferencia orientados a la educación y capacitación y al trabajo con grupos, y de carácter público, en lugar de los esquemas de asistencia técnica de tipo individual que tienden a prevalecer en la actualidad. Asegurar el desarrollo de este tipo de mecanismos implica una reje-rarquización de los antiguos sistemas de extensión agrícola, lo que no será tarea fácil dentro de las actuales corrientes de reducción del papel del sector público en este tipo de actividades.

ALGUNOS COMENTARIOS FINALES: OPORTUNIDADES Y LIMITANTES

De la discusión presentada en las secciones anteriores surge con claridad que la búsqueda de un sendero de desarrollo sostenible debe ser vista como un esfuerzo integrado e integrador de todos los sectores de la sociedad nacional e internacional. De nada servirá, por ejemplo, el desarrollo de nuevas tecnologías que enfatizan un uso más eficiente de los recursos si las mismas se continúan aplicando en un contexto económico que promueva la "minería de recursos", o que limite el acceso de los sectores marginados a los recursos y oportunidades (educación, salud, etc.) que les permita mejorar sus condiciones como agentes productivos, y en consecuencia su calidad de vida y participación activa en el quehacer económico y social. Si no se realizan cambios en este sentido, se continuará empujando a estos sectores, a tener que sobrevivir con la sobreexplotación de los ecosistemas más frágiles que, por otra parte, en la mayoría de los casos, son los únicos a los que tienen "libre" acceso. No es posible separar el problema de la sostenibilidad del desarrollo de la crisis económica y política que vive América Latina. Los desbalances financieros, la incertidumbre, la inestabilidad política y el empobrecimiento de las poblaciones, conforman un marco general que atenta directamente contra la posibilidad de desarrollar modelos económicos sostenibles para el futuro.

Desafortunadamente, la solución a estos problemas no significará automáticamente la instalación de comportamientos compatibles con un desarrollo sostenible. Las experiencias de los países hoy desarrollados son ejemplos claros de que no cualquier sendero de desarrollo es sostenible o compatible con la conservación de la base de recursos naturales. Por lo tanto, es necesario que la búsqueda de los nuevos senderos de crecimiento a que se encuentran abocados la mayoría de los países de la Región, se desarrolle dentro de un marco global que considere explícitamente los criterios de equidad y conservación de los recursos, a la par de los de modernización y crecimiento económico. Solo así se evitara repetir los errores del pasado. Para que esto sea posible es necesario comenzar por una toma de conciencia a nivel de la Región en su conjunto, de la importancia y gravedad de estos temas, así como de las distintas dimensiones asociadas con la modernización con equidad y conservación de los recursos naturales y la naturaleza de las alternativas en cuanto a las acciones concretas a emprender. Esta es un área en que la cooperación técnica internacional puede aportar, de manera importante, a través de facilitar el intercambio de experiencias y la armonización de perspectivas respecto de las áreas de trabajo común a nivel regional y subregional y también, sirviendo como foco para la constante discusión de los temas que vayan surgiendo y el monitoreo y seguimiento de las situaciones y acciones específicas.

A nivel operativo se trata de promover ajustes institucionales y de políticas, la creación de esquemas de regulación apropiados y la reorientación de la generación y transferencia de tecnología. Los programas de ajuste y modernización proveen un marco apropiado para iniciar estos esfuerzos, y hay que asegurarse que esta oportunidad no se desperdicie. Sin embargo, a nivel de políticas e instituciones así como la implementación de regulaciones, hay que anticipar grandes rezagos; las restricciones de recursos -incluidos los humanos- hacen que en muchos casos los debemos considerar realmente como opciones de largo plazo (esto es particularmente cierto en los esquemas que contemplen pagos de incentivos y compensaciones económicas, muy utilizados en el mundo desarrollado). En este marco concentrar esfuerzos iniciales en la investigación y transferencia de tecnología parece una alternativa viable y efectiva. Las altas tasas de retorno a las inversiones en estas actividades resaltan la importancia de utilizarlas con-

juntamente con los ajustes institucionales y de políticas para modificar y mejorar el comportamiento de los mecanismos del mercado.

Las nuevas oportunidades que surgen de los avances en el campo de la biotecnología, conjuntamente con las interacciones potenciales que ésta tiene con los otros componentes del nuevo paradig-

ma tecnológico como la micro-electrónica refuerzan esta visión. Sin embargo, el acceso a estas opciones no es automático y por lo tanto, es prioritario que los países de la Región individualmente y en conjunto, desarrollen políticas, estrategias y programas específicos de manera de asegurar que ese potencial se pueda aprovechar en toda su plenitud.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ACTION PLAN FOR THE ENVIRONMENT IN LATIN AMERICA AND CARIBBEAN. 1990 (Final version of first dra). United Nations Environment Programme. First Meeting of High-Level Government Designated Experts to Review the Draft Action Plan for the Environment in Latin America and the Caribbean. Santiago. Chile.
2. ANDERSON, K. Does agricultural growth in poor countries harm agricultural - exporting rich countries? International agricultural research systems. Department of Agricultural Economics and Business Management. University of New England. Armidale. N.S.W. Australia. Anderson. J.R. and Dillon. J.L. (ed).
3. ARNOLD. S.H. 1989. Sustainable development: a solution to the development puzzle? Sustainable development: from theory to practice. Development. Journal of the Society for International Development 2/3.
4. BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. 1989. Segunda consulta sobre el medio ambiente. Comité del Medio Ambiente. Anales de la segunda reunión con entidades públicas y organizaciones no gubernamentales vinculadas con la protección ambiental y la conservación de recursos naturales en América Latina y el Caribe. Washington, D.C.
5. BARNET. M.J.; MORSE. C. 1963. Scarcity and growth. The economics of natural resource availability. Resources for the Future. Baltimore and London.
6. LOS PRINCIPALES PROBLEMAS AMBIENTALES DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE. 1990. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Primera reunión de expertos de alto nivel designados por los gobiernos para revisar el borrador del plan de acción para el medio ambiente en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
7. COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL) Y PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA). 1990. Crisis económica y medio ambiente en América Latina y el Caribe. In: Reunión Técnica de expertos gubernamentales "Hacia un desarrollo ambientalmente sustentable". Santiago, Chile.
8. COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). 1990. Elementos para una política ambiental eficaz. In: Reunión técnica de expertos gubernamentales "Hacia un desarrollo ambientalmente sustentable". Santiago, Chile.
9. COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL) Y PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA). 1990. América Latina y el Caribe. El Reto Ambiental del Desarrollo. Santiago de Chile.
10. CONSULTATIVE GROUP ON INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH (CGIAR). 1990. A possible expansion of the CGIAR. Technical Advisory Committee.
11. CONWAY, G.R.; BARBIER, E. B. 1988. After the green revolution. Sustainable and equitable agricultural develop-

12. DOVERS, S. 1989. Sustainability: definitions, clarifications and contexts. Sustainable development: from theory to practice. *Development. Journal of the Society for International Development*: 2/3.
13. ECONOMICS AND THE DEBATE ABOUT PRESERYATION OF SPECIES, CROP VARIETIES AND GENETIC DIVERSITY. 1990. *Ecological Economics*, 2: 77-90.
14. GALLOPIN, G. 1989. Sustainable development in Latin America: constraints and challenges. Sustainable development: from theory to practice. *Development Journal of the Society for International Development* 2/3.
15. GALLOPIN, G. 1990. La sostenibilidad ambiental del desarrollo y el cambio tecnológico con América Latina y el Caribe. CEPAL. In: Reunión técnica de expertos gubernamentales "Hacia un desarrollo ambientalmente sustentable", Santiago, Chile.
16. GIRT, J. 1990. The sustainable development of agricultures in Latin America and the Caribbean: Strategic recommendations. Report prepared for the Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
17. GONZALEZ, E. 1990. La dimensión ambiental de las políticas económicas en América Latina y el Caribe. CEPAL. In: Reunión técnica de expertos gubernamentales "Hacia un desarrollo ambientalmente sustentable", Santiago, Chile.
18. HART, R.; SANDS, M. 1990. Sustainable land use systems research and development. Working draft. Paper to be presented at the USDA/ICAR/RRC Workshop in New Delhi, India.
19. H.R.H. PRINCE CLAUS OF THE NETHERLANDS. 1989. Biotechnology: potential benefits, possible dangers. Sustainable development: from theory to practice. *Development. Journal of the Society for International Development*: 2/3.
20. IFPRI POLICY BRIEFS. 1990. Technology policy for sustainable agricultural growth.
21. OUR OWN AGENDA. 1990. Latin American and Caribbean Commission on Development and Environment. Inter-american Development Bank and United Nations Development Programme.
22. INTERNATIONAL CHAMBER OF COMMERCE. 1989. ICC: The business approach to sustainable development. Sustainable development: from theory to practice. *Development. Journal of the Society for International Development*: 2/3.
23. INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (IIED). 1990. RRA Notes. Sustainable Agriculture Programme. Number 9.
24. LYMAN, J.K.; HERDT, R.W. 1989. Sense and sustainability : sustainability as an objective in international agricultural research. *Agricultural Economics. Special Issue. International Agricultural Research Systems. Vol 3 N°4*.
25. MERRIL-SANDS, D.; KAIMOWITZ, D. 1989. The Technology Triangle. Linking farmers, technology transfer agents, and agricultural researchers. ISNAR.
26. MUNN, R.E. 1989. Towards sustainable development an environmental perspective. Sustainable development: from theory to practice. *Development. Journal of the society international development*: 2/3.
27. MYRICK, A. 1979. The benefits of environmental improvement. Theory and practice. *Resources for the Future*. Baltimore and London.
28. NACIONES UNIDAS. 1990. La sustentabilidad ambiental del desarrollo y el cambio tecnológico en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. Reunión técnica de expertos gubernamentales "Hacia un desarrollo ambientalmente sustentable". Santiago, Chile.
29. NACIONES UNIDAS. 1990. La dimensión ambiental de las políticas económicas en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. Reunión técnica de expertos gubernamentales "Hacia un desarrollo ambientalmente sustentable". Santiago, Chile.

30. NACIONES UNIDAS. 1990. Estrategia internacional del desarrollo: algunas consideraciones desde la óptica de América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL. Vigésimo tercer período de sesiones. Caracas, Venezuela.
31. NATIONAL ENVIRONMENTAL POLICY PLAN. TO CHOOSE OR TO LOSE. Second Chamber, session 1988-1989 N° 1-2.
32. NIJKAMP, P.; SOETEMAN, F. 1988. Land use, economy and ecology. Needs and prospects for coevolutionary development. Futures. 20, Number 6.
33. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION (FAO) 1990. desarrollo rural sostenible en ecosistemas frágiles en América Latina y el Caribe. 21 Conferencia Regional para América Latina y del Caribe. Santiago, Chile.
34. PEARCE, D. 1989. An economic perspective on sustainable development. Sustainable development: from theory to practice. Development. Journal of the Society for International Development. 2/3.
35. PIÑEIRO, M.E. 1989. Los desafíos tecnológicos para la reactivación de la agricultura en la década de 1990. In: Memorias del seminario para la investigación y la extensión agropecuarias en América Latina y el Caribe. Ascochinga, Córdoba, Argentina.
36. POMAREDA, C. 1990. Public policy and institutional challenges in the achievement of sustainable agriculture. Paper presented at the international conference on "The ecological economics of sustainability: Making local and short-term goals consistent with global and longterm goals.
37. PORTNEY, P.R. 1990. Public policies for environmental protection. Resources for the future. Washington, D.C.
38. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. 1990. Cuestiones ambientales prioritarias en evolución. Informe del Director Ejecutivo. Consejo de Administración. Segundo período extraordinario de sesiones. Nairobi.
39. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. 1990. Primera reunión de expertos de alto nivel designados por los gobiernos para revisar el borrador del plan de acción para el medio ambiente en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
40. PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. 1990. Los principales problemas ambientales de América Latina y el Caribe. In: Primera reunión de expertos de alto nivel designados por los gobiernos para revisar el borrador del Plan de Acción para el medio ambiente en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
41. REDCLIFT, M. 1988. Sustainable development and the market. A framework for analysis. Futures. 20, Number 6.
42. ROBINSON J. et al. 1990. Defining a sustainable society: Values, principles and definitions: Alternatives 17: 44.

EROSION EN SUELOS DE LADERA DEL TROPICO ANDINO Y CENTROAMERICANO

Ildefonso Pla Sentis ¹

RESUMEN

La limitación más extensiva para el uso agrícola de las tierras en las subregiones con clima tropical de los Andes y Centroamérica es el problema actual y potencial de erosión hídrica. A ello contribuyen las grandes extensiones de tierras con altas y moderadas pendientes en dichas subregiones, así como las aceleradas deforestaciones, el uso y los cambios de uso a que han estado sometidas en las últimas décadas por problemas sociales y económicos comunes a la mayoría de todos los países que la componen. Se plantea, que aparte de los problemas más conocidos de erosión derivados principalmente de la escorrentía superficial del agua de lluvia que no logra infiltrarse, y que son los más comunes en tierras con pendientes moderadas, hay evidencias de que en las últimas dos décadas se han incrementado las pérdidas o desplazamientos de suelo por deslizamientos o movimientos en masa, en este caso favorecidos por altas infiltraciones de agua en el suelo superficial, y en tierras de pendientes muy pronunciadas, no sólo con cultivos, sino también con pastos naturales sobrepastoreados. En este trabajo, además de presentar un análisis de los principales factores físicos y socioeconómicos que determinan el desarrollo de los diferentes procesos erosivos, se plantean las deficiencias en el reconocimiento y evaluación de dichos procesos, lo cual representa uno de los principales obstáculos para orientar el uso y prácticas de manejo más adecuadas para cada caso. Derivado de ello se proponen algunos pasos a seguir para corregir esta situación, entre ellos el uso de un modelo sencillo con base hidrológica, que permite prever e integrar las causas y procesos de erosión, y sus posibles efectos sobre la productividad. Finalmente se señalan algunas políticas, estrategias y medidas que deberían aplicarse en los diferentes países para enfrentar el problema, señalándose las posibles dificultades de orden político, social y económico para llevarlas a cabo.

SUMMARY

SOIL EROSION IN THE ANDEAN AND CENTRAL AMERICAN TROPICS.

The most extensive limitation for the agricultural use of the land in the tropical Andean region and Central America, is the present and potential problems of water erosion. The main factors leading to that increasingly accelerated erosion are the large areas of steep lands, and the intensive deforestation and changes in the use and management patterns of those lands during the last 30-40 years, mainly due to socio-economic pressures. It is stated that, besides the better known water erosion processes and problems derived from surface runoff of the non-infiltrated rainfall, which are more common on moderate

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela.

slopes, an increase in the problems of sliding erosion, leading sometimes to catastrophic mass movements has been observed recently. This process, more common in very steep slopes, is triggered by high infiltration rates of rainfall water from large and continuous storms. This paper presents an analysis of the main physical and socioeconomic factors leading to the different erosive processes, followed by a discussion of the present failures in the survey and evaluation of such processes, which are required for the orientation and selection of the best land use and management practices in each situation. Some steps to correct these failures are proposed, among them the use of a simple hydrology based model, which is able to integrate actual and predicted erosion problems with the potential effects on productivity. Finally, some policies, strategies, and actions at country level are recommended, to fight against the erosion problem, calling the attention about the present social and economic difficulties to undertake them.

Para los fines de este trabajo consideraremos dentro del "Trópico Andino" aquellos países incluidos en la subregión "Andina" por la FAO (7) a saber: Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. El análisis de la problemática de la erosión en tierras agrícolas se hace conjuntamente con la subregión de Centro-América (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá), por presentar esta última situaciones muy parecidas a las de la Subregión Andina propiamente dicha.

Es común a las subregiones Andina y Centro-Americana el que una considerable extensión de sus tierras presenten pendientes muy pronunciadas, en las cuales la mayor limitación física para su uso agrícola es la severa erosión del suelo. Hoy en día, dichos problemas de erosión no se limitan solamente a esas pendientes más pronunciadas sino que se han extendido a nuevas áreas agrícolas con pendientes muchos más suaves.

Los problemas de deterioro masivo por erosión de las tierras agrícolas de ladera, existentes desde hace ya siglos, se han acentuado en las últimas dos o tres décadas. Este deterioro acelerado ha provocado y está provocando fuertes daños adicionales a bienes y personas en áreas más planas en los valles, aguas abajo de las tierras erosionadas, relacionados con problemas de sedimentación en campos de cultivo y reservorios de agua, inundaciones, deslizamientos, etc.. Todo ello ha tenido fuertes repercusiones socio-económicas y ambientales en la mayoría de los países de las dos subregiones (13, 16). Asociado con esto, y en parte derivado de ello, se ha ido produciendo un progresivo empobrecimiento de la población rural en esas áreas, haciendo cada vez más difícil para los agricultores mantener un nivel de vida ade-

cuado, y aún producir los alimentos requeridos para la supervivencia de ellos y de sus familias. En la mayoría de esos países esto ha llevado a una masiva y acelerada emigración de la población rural hacia los centros urbanos, donde se han generado a su vez problemas sociales muy graves.

Como causa directa principal de estos problemas acelerados de erosión, se destaca en la mayoría de los países la intensificación en el uso de las tierras de ladera, generalmente con nuevos cultivos, prácticas y sistemas desarrollados para tierras menos escarpadas. Estos han sustituido a cultivos, prácticas y sistemas tradicionales, que además de controlar o reducir la erosión, permitían una producción más sostenida, aunque generalmente con rendimientos unitarios más bajos. La intensificación en el uso de dichas tierras de ladera, generalmente asociada a crecientes deforestaciones y fragmentación de las propiedades, se ha debido en parte al crecimiento vegetativo de la población que habita esas áreas, así como al desplazamiento, que por presiones poblacionales o socio-económicas, han sufrido en muchos países los pequeños productores desde tierras mas planas, acaparadas por productores latifundistas mas poderosos, hacia tierras con mayores pendientes.

En este trabajo se presenta un análisis general de la situación actual del problema de erosión en las subregiones Andina y Centroamericana, incluyendo sus posibles causas de orden físico y socioeconómico, y se detallan algunos de los principales procesos que la causan en diferentes condiciones representativas de clima, suelo y pendientes. Se plantean además las dificultades y errores cometidos y que aún se cometen, en la evaluación tanto de los procesos como de los efectos de la erosión, señalándose los principios y alternativas para corregir dichas fallas.

Finalmente se esbozan algunas medidas, y las dificultades para su aplicación, con el fin de buscarle una solución general al problema.

SITUACION ACTUAL Y SUS CAUSAS

Se ha dicho con frecuencia que Latinoamérica tiene grandes reservas de tierras para la futura expansión de la producción agrícola (5). Sin embargo, la experiencia reciente ha indicado que su desarrollo está muy limitado por problemas potenciales que dificultan el mantenimiento de su productividad (16). Al mismo tiempo, como resultado del rápido crecimiento de la población en las últimas décadas, la presión para un uso más continuo e intenso de las tierras ya cultivadas, o para la extensión de cultivos a nuevas tierras, se ha incrementado. En algunas ocasiones, estas presiones han sido para satisfacer las necesidades crecientes de la población, pero en otras, especialmente en los últimos diez a quince años, las presiones se han debido también a necesidades de generar nuevos recursos económicos a través de la exportación de productos agrícolas o ganaderos.

Hay áreas y países en Latinoamérica, especialmente en las zonas montañosas de las Subregiones Andina y Centroamericana, donde las presiones socioeconómicas y poblacionales no permiten prever,

bajo las actuales condiciones de uso y manejo de las tierras agrícolas, que se puedan satisfacer en un futuro próximo ni siquiera las necesidades alimenticias de sus crecientes poblaciones (6). Por otro lado, muchas de las áreas ya en explotación agrícola en los países andinos y centroamericanos, y en especial las de posible expansión futura, presentan una combinación de limitaciones climáticas, de suelos y fisiográficas que afectan el potencial de sus tierras para producción agrícola. Por ello, para lograr un desarrollo y manejo racional de dichas tierras, el cual permita satisfacer los requerimientos actuales y futuros de la población, es indispensable conocer y entender sus potenciales y limitaciones a nivel subregional, nacional y local.

En la Figura 1 aparecen las áreas relativas de tierras afectadas por diferentes limitaciones en Latinoamérica, y en las Subregiones Andina y Centroamericana (7,13). Se destaca la poca extensión relativa de tierras "sin limitaciones" en Latinoamérica y en especial en la Subregión Andina, y las grandes áreas (30 y 40% respectivamente) con pendientes pronunciadas (>30%) y medias (8-30%) en las dos Subregiones Andina y Centroamericana. Estas áreas de pendientes pronunciadas corresponden generalmente con ambientes agroclimáticos semiáridos (longitud del período de crecimiento (LPC) de 3-6 meses) sub-húmedos (LPC 6-9 meses) y húmedos (67%; LPC >9 meses) en la Subregión Andina, y con ambientes húmedos (89%)

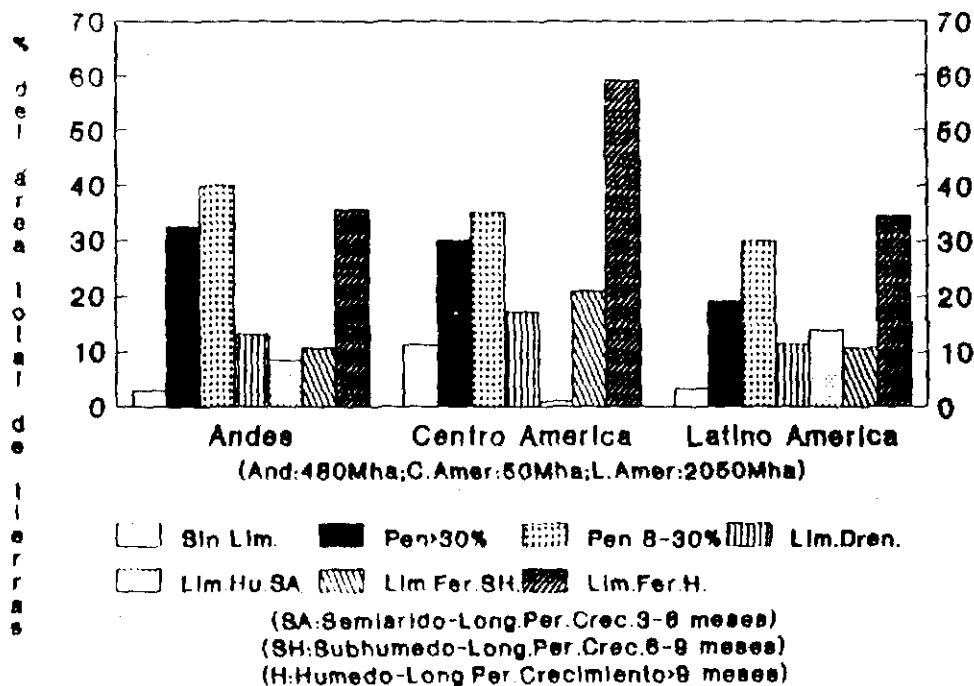


FIGURA 1 - Ambientes agrícolas y Limitaciones
 (Lim: Limitaciones; Pen: Pendiente)
 (Dren: Drenaje; Hu: Humedad; Fer: Fertilidad)

en la subregión Centroamericana.

La disponibilidad de agua, clima moderado, salubridad, y suelos en general bastante ricos, han permitido en el pasado una ocupación humana relativamente densa y estable en estas tierras de los Andes y Centroamérica con pendientes pronunciadas. Sin embargo, el rápido crecimiento de la población en esas áreas ha provocado una presión cada vez mayor sobre los recursos naturales, y en especial sobre las tierras agrícolas. Como respuesta a dicha presión, se ha intensificado más allá de su capacidad el uso de dichas tierras, con deforestaciones aceleradas, sobrepastoreo, y agricultura con tecnología a veces proveniente de zonas planas, lo cual conduce generalmente a fuertes pérdidas de agua por escorrentía, erosión, deslizamiento de tierra, etc.. La inestabilidad creciente de dichos ecosistemas de altas pendientes con el consecuente deterioro de las condiciones de vida, ha incrementado la emigración de su población, ya sea a las ciudades, o a zonas más bajas con clima generalmente húmedo y tierras muy frágiles, contribuyendo a acelerar su proceso de deforestación y degradación en general. Es precisamente en los países de esas subregiones, donde las tierras de alta pendiente representan una fracción importante de su extensión de tierras agrícolas, donde también generalmente se presenta una mayor desigualdad en la distribución de la propiedad de las tierras (22), con un predominio de minifundios en las áreas con mayores pendientes,

y grandes fincas en las áreas más planas, Figura 2. Con ello se da la paradoja de que mientras en las áreas con minifundios, ocupando las tierras más frágiles en altas pendientes, se presentan condiciones de uso excesivo de las tierras, en muchos latifundios en tierras planas más estables se mantiene una utilización muy por debajo de su capacidad. Las pequeñas propiedades en tierras con altas pendientes se caracterizan generalmente por una agricultura de subsistencia, con bajos niveles de insumos, baja inversión de capital y trabajo manual o con tracción animal. Por el contrario, las fincas agrícolas medianas a grandes, generalmente en zonas con menores pendientes, se caracterizan por producciones comerciales, en la mayoría de los casos con altos niveles de insumos, moderadas a altas inversiones de capital y fuerte mecanización.

En las limitadas zonas con ambientes agroclimáticos fríos de la Subregión Andina la actividad agrícola se ve limitada por las temperaturas y baja profundidad de los suelos, y las áreas con pastos están generalmente sometidas a sobrepastoreo, con lo que la erosión es también un problema común.

En la Figura 3 se puede apreciar que a pesar de la relativamente baja densidad de población en la Subregión Andina (18 hab/km²), se presenta una muy baja disponibilidad de tierras bajo cultivos

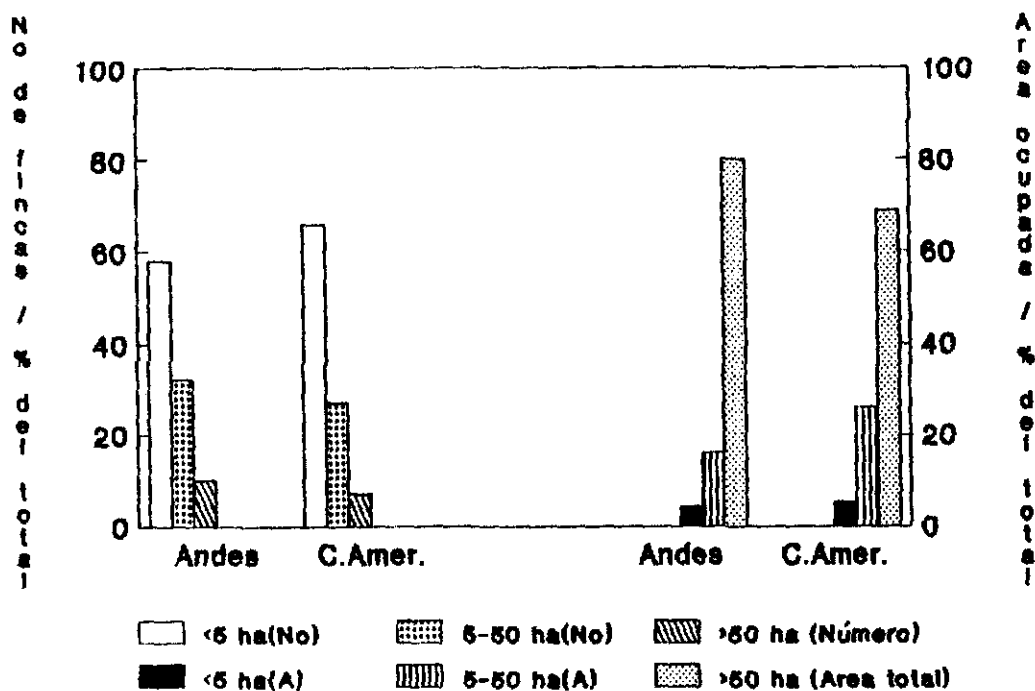


FIGURA 2 - Distribución de las tierras (Número de fincas y área total ocupada) (Fincas de <5, 5-50, y >50 hectáreas)

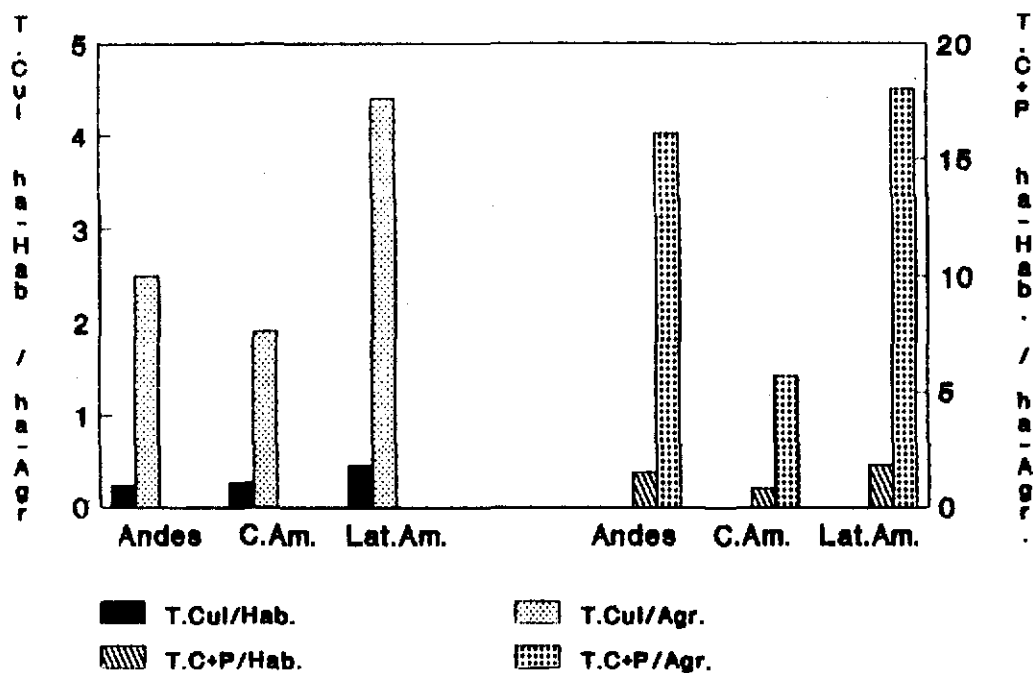


FIGURA 3 - Tierras bajo cultivo y población
 (Hab: Habitante; Agr: Agricultor; T: Tierra)
 (Cul/C: Cultivos (An+Per); P: Pastos Nat.)

-anuales y perennes- por habitante (0,23 ha/hab), similar al de las zonas más pobladas del Lejano Oriente. Dicha relación se incrementa casi siete veces (1,5ha/hab) cuando incluimos las tierras explotadas con pastos naturales, generalmente en latifundios. Esto es un reflejo de lo dicho anteriormente sobre las presiones en la explotación agrícola de algunas tierras en áreas con mayores pendientes, mientras grandes extensiones de otras tierras permanecen explotadas por debajo de su capacidad con pastos naturales. En el mismo gráfico también se observa cómo esas relaciones se incrementan más de diez veces cuando sólo consideramos la población directamente involucrada en actividades agrícolas, la cual en la Subregión Andina se reduce a un 10% del total. Eso es una consecuencia de las grandes migraciones de las últimas décadas hacia los centros urbanos, donde ya en la mayoría de los países andinos se concentra más de un 75% de la población total. Situaciones parecidas se presentan en Centroamérica con ciertas diferencias por la mayor densidad (52 hab/km²), mayor población rural (40%), mayor población dedicada a la agricultura (15%), y menor proporción de las tierras ocupadas con pastos naturales. El promedio para toda Latinoamérica, aunque muestra tendencias similares, indica que variaciones más extremas se presentan en las Subregiones Andina y Centroamericana.

El uso actual de las tierras y su tendencia a cam-

biar durante las últimas décadas (Figura 4) reflejan lo ya señalado en cuanto a la baja proporción de tierras utilizadas para cultivos anuales y perennes, y en cuanto a las grandes extensiones ocupadas por pastos naturales. También se destaca la permanencia de más de un 60%. (Andes), y de casi un 50% (Centroamérica) de tierras cubiertas de bosque, generalmente en zonas con clima tropical húmedo. Sin embargo, se observa la tendencia a una rápida disminución de estas tierras cubiertas con bosque en toda Latinoamérica (10 millones de hectáreas deforestadas al año) pero en forma más marcada en la Subregión Andina, y aun más en Centroamérica. Sólo en la Subregión Andina se estima que la deforestación anual alcanza a más de 5 millones de hectáreas con una reposición de menos de un 10%. En el mismo gráfico se puede observar que asociado a la disminución de las áreas con bosques aparece un incremento de las áreas con cultivos anuales y en menor proporción con cultivos perennes, en la Subregión Andina, mientras que en Centroamérica dicho incremento es más marcado en áreas con pastos y cultivos perennes. Sin embargo, es necesario aclarar que una considerable proporción de las nuevas tierras incorporadas a cultivos anuales en la Subregión Andina pasa en poco tiempo a ser utilizada con pastos naturales, o simplemente abandonada, al sufrir procesos acelerados de degradación química y física, especialmente por erosión y dejar de ser tierras productivas.

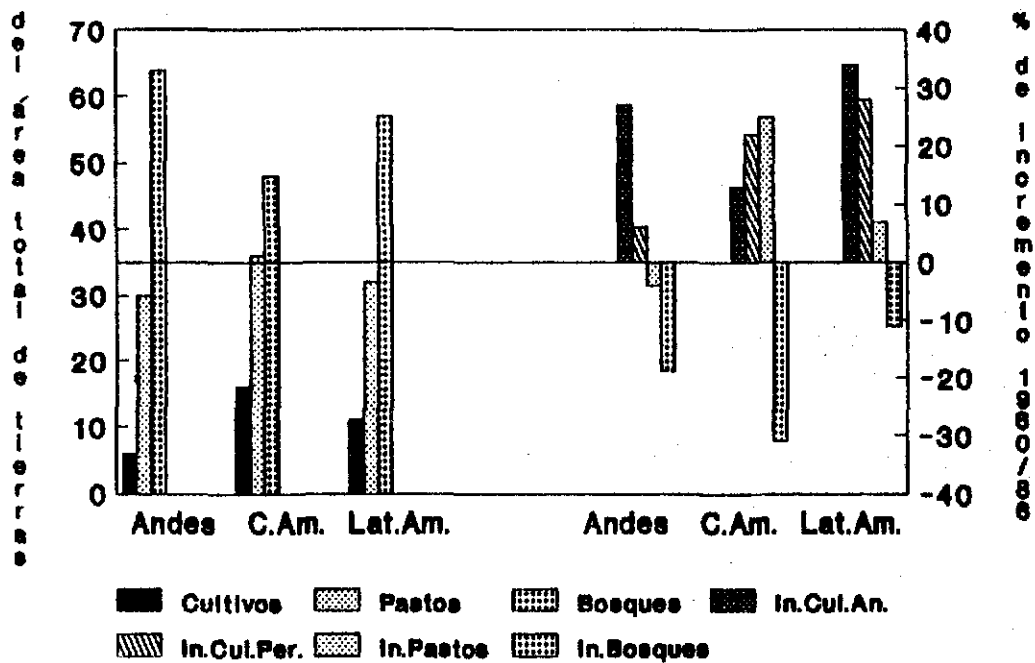


FIGURA 4 - Uso actual y cambio en uso de la tierra
(Andes, Centro-América, Latino-América)
(Cul: Cultivos; An: Anuales; Per:Perennes)

En general, todos estos cambios en el uso de las tierras, derivados de presiones de población, sociales y económicos, con ligeras diferencias en cada una de las subregiones, tienden, con muy escasas excepciones, a acelerar los procesos de degradación de suelos por erosión hídrica. La gravedad de esto en relación a la producción y provisión de alimentos para la creciente población, se aprecia más si tomamos en cuenta que más de un 60% de los incrementos en dicha producción en la Subregión Andina, y más del 40% en Centroamérica, se deben a incrementos del área bajo cultivo, y sólo el resto a mayores rendimientos. Además, la incorporación y mantenimiento en las últimas décadas, de nuevas áreas con cultivos anuales para producción de alimentos, ha estado en general por debajo de los incrementos en las demandas y necesidades de alimentos para la población.

Los suelos volcánicos muy porosos (Andosoles), y los suelos tropicales arcillosos bien agregados (Ultisoles y Oxisoles), presentes en muchas zonas montañosas de altas pendientes y clima húmedo de los Andes y Centroamérica, son considerados por su bajo índice de erodabilidad (Ecuación Universal de Pérdida de Suelos - USLE) como bastante resistentes a la erosión. Sin embargo, hay fuertes evidencias de que su creciente deforestación y uso para cultivos

agrícolas anuales que exigen una mayor y más frecuente roturación del suelo superficial, están conduciendo a procesos significativos de erosión por movimientos en masa y deslizamientos. Esto es particularmente cierto en el desarrollo agrícola y cambio de uso de grandes áreas de tierras con suelos derivados de cenizas volcánicas en las regiones montañosas húmedas y subhúmedas al norte de la Subregión Andina y en Centroamérica. Las excelentes condiciones físicas de los suelos, junto con el clima que predomina en esas áreas han permitido el uso creciente para cultivos intensivos y anuales de tierras en pendientes muy pronunciadas, que en el pasado estuvieron ocupadas por bosques, cultivos perennes y pastos.

Hasta ahora dichos procesos han sido considerados sólo como accidentales y poco frecuentes, sin una relevante contribución a los problemas de erosión acelerada, ya que sólo aparecían asociados con eventos extremos de lluvia, con largos períodos de retorno. Ultimamente su ocurrencia se ha hecho más frecuente en áreas cada vez más extensas de tierras de altas pendientes, con clima sub-húmedo a húmedo, y con suelos poco "erodables" (según USLE), pero susceptibles a deslizamientos cuando están recién deforestados, sobrepastoreados, o utilizados para cultivos anuales intensivos. Aunque dichos deslizamientos se presenten con poca frecuen-

cia por requerir de eventos más extremos de lluvia, sus efectos en cuanto a contribución de sedimentos pueden sobrepasar los de procesos continuos de erosión superficial por salpique y escurrimiento. Además, por presentarse en forma más repentina y concentrada, los peligros potenciales de daños tanto a personas como bienes, "in situ" o aguas abajo, son mayores, pudiendo alcanzar algunos carácter catastrófico.

En conclusión, la alta erodabilidad potencial de muchas tierras en las Subregiones Andina y Centro-Americana de Latinoamérica, es derivada de combinaciones favorables de erosividad del clima, erodabilidad del suelo y pendientes pronunciadas. Ella se traduce actualmente en acelerados problemas de pérdida de suelo en muchas de sus zonas y problemas derivados de inundaciones, sedimentaciones, etc, debido a procesos acelerados de deforestación, y cambios en el uso y manejo de las tierras agrícolas, como consecuencia de los factores socio-económicos prevaecientes (16).

CAUSAS Y EVALUACION DE LOS PROCESOS DE EROSION Y SUS EFECTOS

La degradación de suelos agrícolas por erosión hídrica en las tierras de las laderas andinas y centroamericanas es primariamente el resultado de un uso y manejo de dichas tierras en formas incompatibles con su capacidad, debido en parte a ignorancia, pero más probablemente a presiones económicas sociales y políticas, que obligan al agricultor a usar la tierra en la forma en que lo hace (21).

Desde un punto de vista estrictamente físico, la erosión del suelo es una combinación de la erosividad del clima, de la erodabilidad del suelo y de la topografía. Dicha combinación lleva a pronosticar grandes peligros de pérdidas de suelo por erosión en gran parte de las tierras de ladera del Trópico Andino y Centroamericano. Se ha publicado y especulado mucho acerca de la magnitud de los problemas regionales y nacionales de erosión de suelos, llevando a apreciaciones, según el tipo de evaluación realizado (9,11), que hacen oscilar 1/10 (100-1000 Mg/km² año) la producción promedio de sedimentos en tierras de los Andes y Centroamérica. La realidad es que siguen siendo muy escasos los datos cuantitativos y confiables sobre la verdadera magnitud del proble-

ma. La mayor parte de la información disponible se basa en reconocimientos generales a pequeñas escalas, o en resultados de experimentos aislados sin continuidad en el tiempo ni representación geográfica, y peor aún, en extrapolaciones basadas en resultados o modelos empíricos desarrollados en regiones agroecológicas muy diferentes. Esta información, aunque tiene alguna utilidad para llamar la atención y alertar sobre la gravedad del problema, es de poco valor para desarrollar e implementar estrategias para prevenir o controlar la erosión.

Se ha progresado bastante en el entendimiento de los mecanismos y procesos de separación y transporte del suelo en la erosión por deslizamientos o movimientos en masa. Sin embargo, hay solamente estimaciones muy generales de las áreas actual o potencialmente afectadas, de las tasas y riesgos de los procesos de erosión, y de las correspondientes pérdidas de productividad. Por un lado, la erosión del suelo ocurre a tasas muy variables en diferentes partes del paisaje, y aún de un campo de cultivo, por lo que se hace prácticamente imposible hacer mediciones directas en un número de puntos que sean representativos de un país o área. Además de esa dificultad para medir erosión, la variabilidad climática exige que se obtengan datos de diez o más años para que los valores medidos se acerquen a los valores promedios. Por lo tanto se requiere seguir realizando estudios, y desarrollando y probando metodologías, tanto a nivel de campo como de laboratorio, que nos permitan por un lado evaluar en forma práctica y económica los problemas actuales, y por el otro predecir la vulnerabilidad a la erosión hídrica de suelos bajo diferentes condiciones de clima, topografía y prácticas de manejo.

El análisis de la dinámica de los procesos de erosión de los suelos y su efecto sobre la productividad de los cultivos puede ser llevado a cabo en parcelas o áreas experimentales, pero para propósitos de diagnóstico, la disponibilidad de datos específicos sobre características semipermanentes del suelo puede ser usada, a través de modelos estadísticos, para inferir las propiedades físicas del suelo más relevantes para el proceso de erosión hídrica. En cualquier caso, hay que tener claro que cada parcela, independientemente de su tamaño, es solo una muestra del clima y condiciones de la tierra en un sitio particular. Resultados concluyentes de estudios en parcelas con lluvias naturales requiere de muchos años (mínimo 10-20) para obtener una muestra repre-

sentativa de las lluvias que incluya las diferentes combinaciones entre tormentas críticas y condiciones de los diferentes tratamientos. No hay que olvidar que gran parte de la erosión ocurre con tormentas "catastróficas" que pueden presentarse cada 5, 10, ó 25 años. Por todo ello, muchos estudios indispensables de erosión nunca se harían si tuvieran que esperar tanto tiempo por los resultados. Los simuladores de lluvia pasan entonces a ser un componente útil y esencial para realizar dichas investigaciones tanto a nivel de campo como de laboratorio, ya que permiten obtener resultados en forma rápida, eficiente, controlada, y más adaptable que con las lluvias naturales. Aunque dichos simuladores de lluvia no reproducen exactamente las lluvias naturales, nos dan valores relativos de gran utilidad para comparar suelos y tratamientos. No hay simuladores de lluvia, "perfectos", y por ello la escogencia de un equipo y técnicas apropiadas para cada necesidad, y el uso racional de la información obtenida, dependerá más que todo de la claridad del investigador en cuanto a sus limitaciones y fines perseguidos.

Extrapolaciones, basadas en datos limitados, y a regiones con diferentes condiciones agroecológicas a los sitios en los cuales se llevaron a cabo los experimentos, así como el uso de ecuaciones empíricas desarrolladas en otros lugares, pueden conducir a grandes errores en la estimación de la erodabilidad de los suelos. Los valores obtenidos pueden oscilar entre 1/5 y 5 veces en relación con los valores reales. Se han desarrollado y siguen desarrollándose muchos modelos, algunos basados en regresiones estadísticas, como la llamada "Ecuación Universal de Pérdida de Suelo" (USLE), y otras basadas en procesos, para predecir la erosión y pérdida de productividad en campos agrícolas o en cuencas. Los modelos estadísticos tratan de predecir pérdidas de suelo o productividad en términos absolutos y relativos, con base en un número limitado de características y cualidades de las tierras que interactúan en forma aditiva o multiplicativa. A veces se adaptan localmente agregándoles factores de calibración basados en coeficientes de correlación con la limitada, y muchas veces poco confiable, información local. Aún con esto, el uso indiscriminado de modelos en regiones diferentes a aquellas donde se desarrollaron, puede conducir a grandes errores y malas interpretaciones (4).

Aparte de los métodos locales basados en la pendiente y observaciones de la erosión actual, los cuales tratan de evaluar la proporción del área afecta-

da, e incluso las pérdidas de suelo en Mg/ha, se destaca el uso generalizado e indiscriminado que se ha hecho de la USLE para pronosticar los problemas de erosión de suelo en las Subregiones Andina y Centroamericana. Sin embargo cada vez se incrementan más las dudas sobre el valor predictivo de la USLE, que no es sino una ecuación empírica en uso desde 1960, y basada en el análisis estadístico de muchos datos obtenidos en parcelas de erosión con lluvias naturales y simuladas en el Centro y Este de USA. El carácter empírico de esta ecuación, desarrollada para predecir erosión por escorrentía, limita su precisión cuando se trata de extrapolar a condiciones favorables a aquellas en que se obtuvo la base de datos para su formulación. Los errores cometidos serán aún mucho mayores si se usa irracionalmente, como se ha tratado de hacer en algunos casos, para predecir erosión derivada de procesos de deslizamiento. Además, las condiciones específicas de cada sitio muchas veces superan las relaciones teóricas que podrían esperarse que existan entre pendiente y erosión. Hay que tener en cuenta que un simple análisis basado en correlaciones estadísticas no aporta nueva información sobre los peligros de erosión, ni sobre cambios en la productividad o efectos de medidas de conservación y que con datos básicos no apropiados, incompletos y erróneos no pueden hacerse buenas evaluaciones, ya sean cualitativas o cuantitativas, que sirvan de base para justificar sistemas y aplicar prácticas de conservación de suelos. En cualquier caso debe tenerse en cuenta que es más importante entender por qué ocurre la erosión en cada sitio particular, donde ocurre en el paisaje, y el por qué de su variabilidad y discontinuidad que tratar de predecir unas tasas extremadamente variables e inciertas de pérdidas de suelo a través de modelos empíricos,

Para la situación de las Subregiones Andina y Centroamericana, donde existen en general pocos datos de erosión medidos directamente, se recomendaría el desarrollo y uso de ecuaciones y modelos sencillos con base hidrológica, que integren características del suelo observables o medibles en forma sencilla y que trabajen con base en probabilidades y efectos de tormentas críticas, con períodos de retorno de 5-10 años, utilizando datos climáticos de 20 o más años. El alto costo y tiempo requerido para obtener datos confiables, y la alta variabilidad de las tasas de erosión en diferentes posiciones del paisaje, y aún de un mismo campo de cultivo, no hace recomendable el uso generalizado de parcelas permanentes de

erosión con lluvias naturales, debiendo preferirse para los estudios básicos que generen los valores de los parámetros requeridos por los modelos, el uso de simuladores de lluvia y otros equipos sencillos (14) que permitan hacer mediciones rápidas en muchos sitios. Con dichos modelos se pueden evaluar cualidades como el régimen hídrico del suelo, y sus interacciones con las medidas de conservación, con la suplencia de humedad a los cultivos en sus diferentes ciclos, con las características de las lluvias, con la suplencia y pérdida de agua de la zona radicular, y con los excesos de agua que producen escorrentía o deslizamientos, lo cual permite a su vez que se integren las evaluaciones de clima, suelos, erosión y efectos sobre la productividad (12, 13, 14).

En las Figuras 5 a 8 se presentan ejemplos de evaluación y predicción de procesos de erosión hídrica por escorrentía y deslizamiento, en dos zonas con

tierras en ladera en Venezuela, utilizando un modelo de base hidrológica (15). Las relaciones hídricas que se presentan en el caso de Pregonero, durante la precipitación extraordinaria de 100 mm en dos horas con un periodo de recurrencia de diez años, y la cual sigue a un periodo húmedo que mantiene al suelo cerca de "capacidad de campo", muestran cómo al mantenerse una alta infiltración superficial en (A), y una baja conductividad en el suelo (B) a 30 cm de profundidad, se alcanzan en el suelo (A), y a los 15 minutos de iniciada la tormenta, el límite líquido, y a los 60 minutos, la completa saturación, lo cual puede provocar en esa tierra con 70% de pendiente un fuerte deslizamiento de tierras a partir de ese momento. Este se concentra a partir de los 90 minutos de iniciada la tormenta, pudiendo llegar a producir desplazamientos o pérdidas de suelo por el orden de los 4000 Mg/ha. Cuando esto se compara con el gráfico de la Figura 6 correspondiente a la

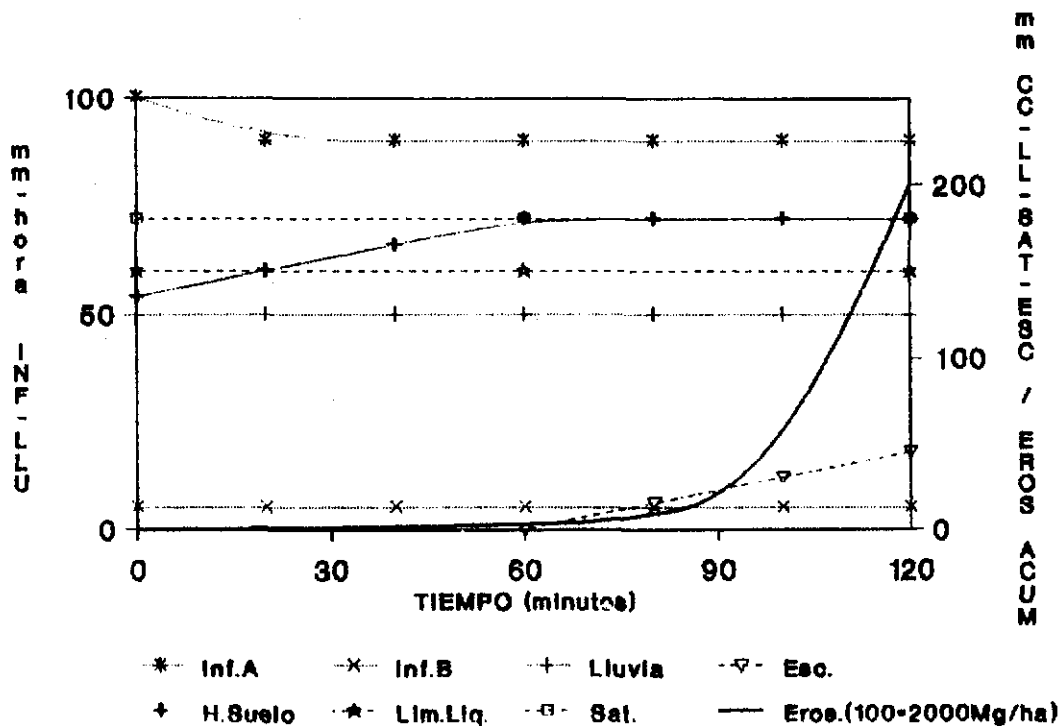


FIGURA 5 - Erosion por deslizamiento (pregonero)
(Ultisol Arc. A:30cm B:>30cm. 70% Pend.)
(Tormenta:2 horas. 50mm/h. Recur:10 años)

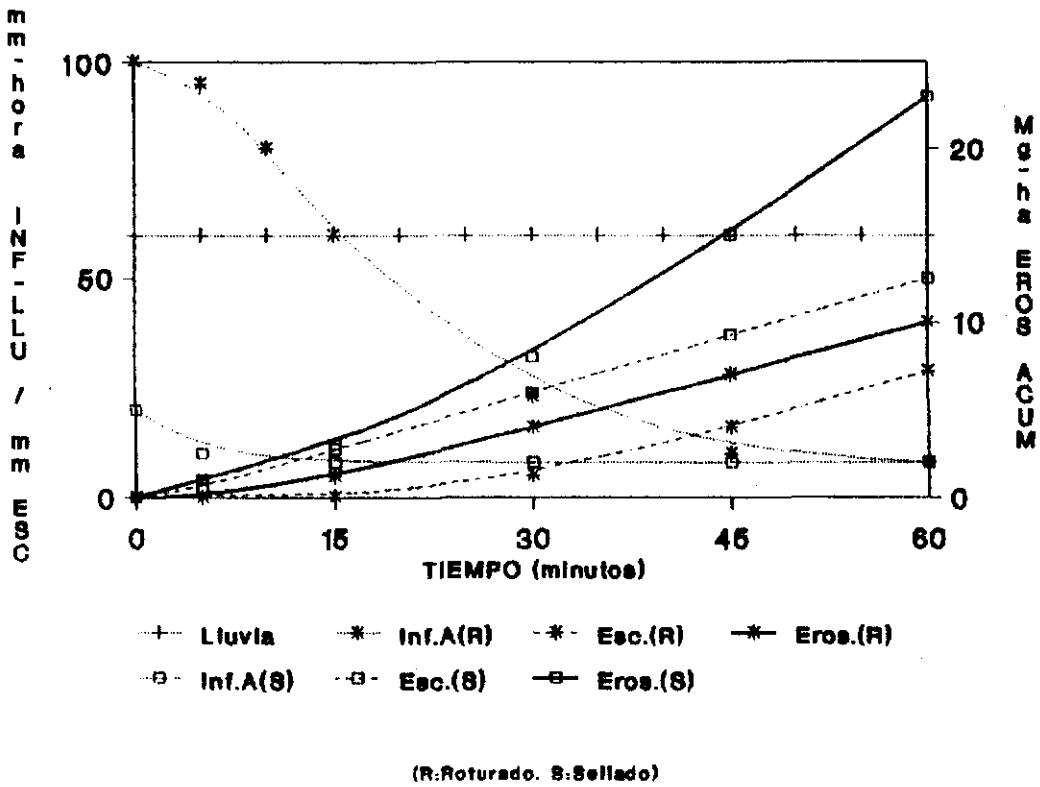


FIGURA 6 - Erosión por escurrimiento (Chaguaramas)
 (Alfisol F.Ar. A:20cm 10% Pend.)
 (Tormenta:1 hora. 80mm/h. Recur:anual)

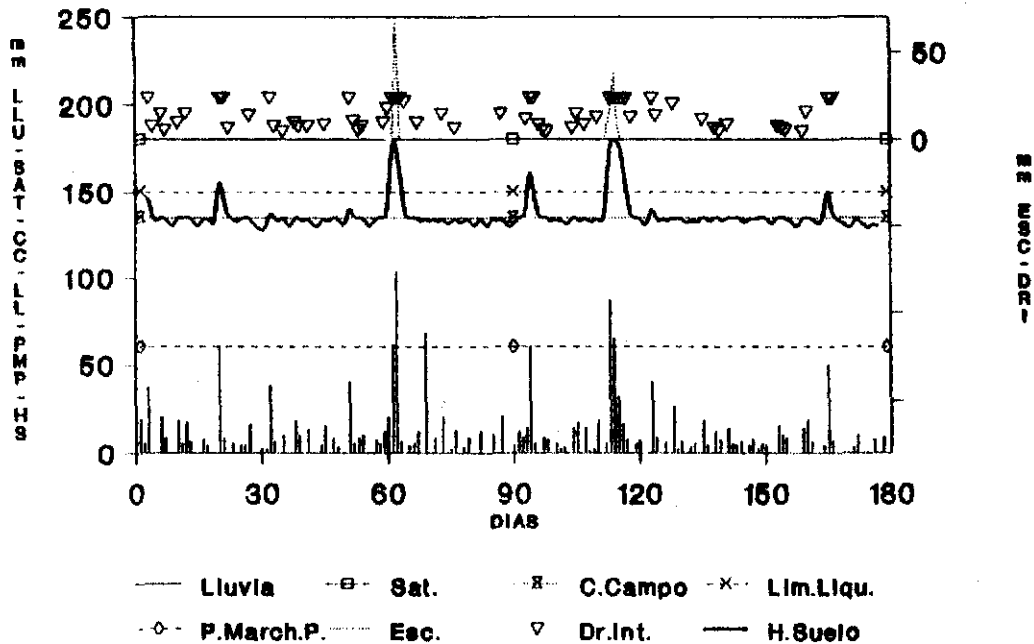


FIGURA 7 - Régimen hídrico del suelo (Pregonero)
 1 May.-28 Oct. (Pastos 30 cm Prof. Raíces)
 (Ultisol Arc. 30-100% Pend. Año Húmedo)

erosión por escurrimiento en Chaguaramas, con 10% de pendiente, durante una fuerte tormenta de 60 mm en una hora con una recurrencia anual, se puede notar el efecto del sellado superficial, el cual reduce la infiltración superficial de agua a un valor mínimo a los 60 minutos cuando el suelo estaba originalmente roturado, o a los 15 minutos cuando ya se había perdido el efecto de la roturación en una tormenta anterior. Los efectos de esta reducción se manifiestan en escorrentías y pérdidas potenciales de suelo por erosión del orden de 10 y 23 Mg/ha respectivamente, que aunque mucho menores que las producidas de una vez por deslizamiento, son más generalizadas y uniformes en la superficie del terreno (hasta que se formen surquillos y cárcavas), y no tan localizadas. Además, esta erosión puede repetirse todos los años, e incluso varias veces al año, y no sólo con una probabilidad de recurrencia de diez años como en el caso del deslizamiento en Pregonero.

La Figura 4 presenta las variaciones esperadas en el régimen hídrico del suelo hasta la profundidad donde se desarrollan las raíces de las plantas (30 cm., con pastos naturales en Pregonero, y 20 cm. con maíz para grano en Chaguaramas), en los períodos más lluviosos de un año más húmedo que el promedio (con intervalo de recurrencia de 10 años) en las tierras de muy alta pen-

diente (30-100%) de Pregonero, y de un año y medio en las tierras moderadas pendientes (5-15%) de Chaguaramas. En el caso de Pregonero se puede observar que el suelo (Ultisol, arcilloso, con 30 cm. superficiales sueltos sobre arcilla consolidada) se mantiene gran parte del tiempo con una humedad cercana a capacidad de campo, y en varias ocasiones alcanza el límite líquido. Los períodos más críticos aparecen con las lluvias continuas a principios de Julio y fines de Agosto, cuando el suelo superficial llega a saturarse con agua por varios días seguidos, provocando incluso cierta escorrentía debida a exceso de agua y no a baja tasa de infiltración. Esto, sumado al estado de fluidez alcanzado por el suelo ya antes de saturarse, y al posible flujo lateral por encima de la capa consolidada de arcilla a los 30 cm del exceso de agua disponible para drenaje interno (Dr. Int.), proveería las condiciones más favorables para la erosión por deslizamiento o movimientos en masa de ese suelo, especialmente en esas pendientes tan pronunciadas.

El gráfico correspondiente a Chaguaramas (Figura 8), con un Alfisol franco-arenoso, muestra un régimen hídrico con fuerte escurrimiento en varias fechas, pero especialmente a mediados de junio y en la primera quincena de septiembre. Estos escurrimientos de agua y en

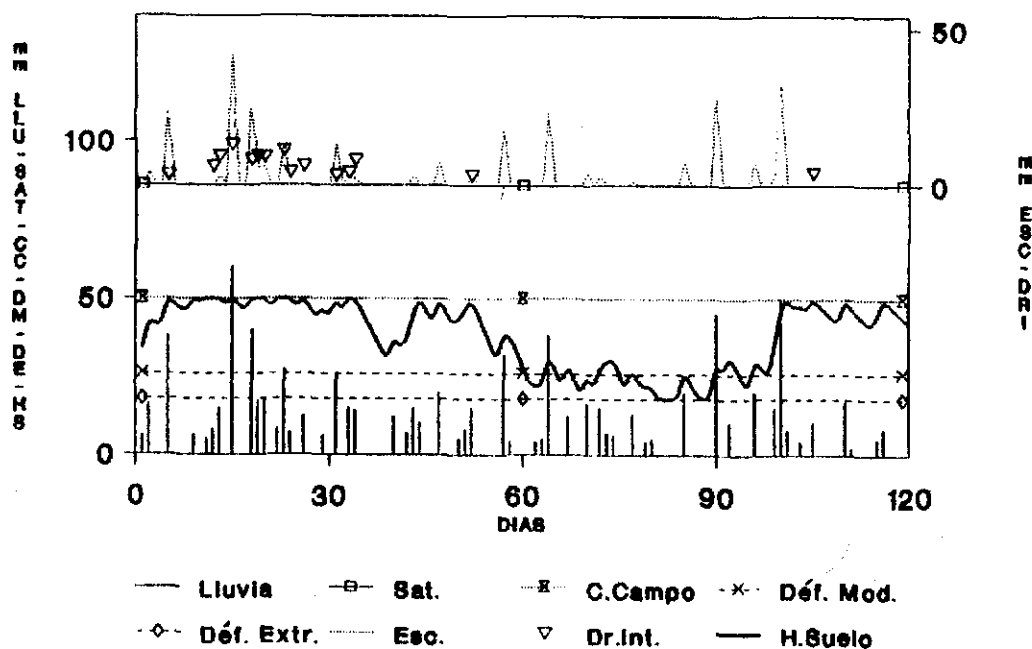


FIGURA 8 - Régimen hídrico del suelo (Chaguaramas)
1 Jun.-28 Sep. (Maíz 20 cm Prof. Raíces)
(Alfisol F.Are. 5-15% Pend. Año Medio)

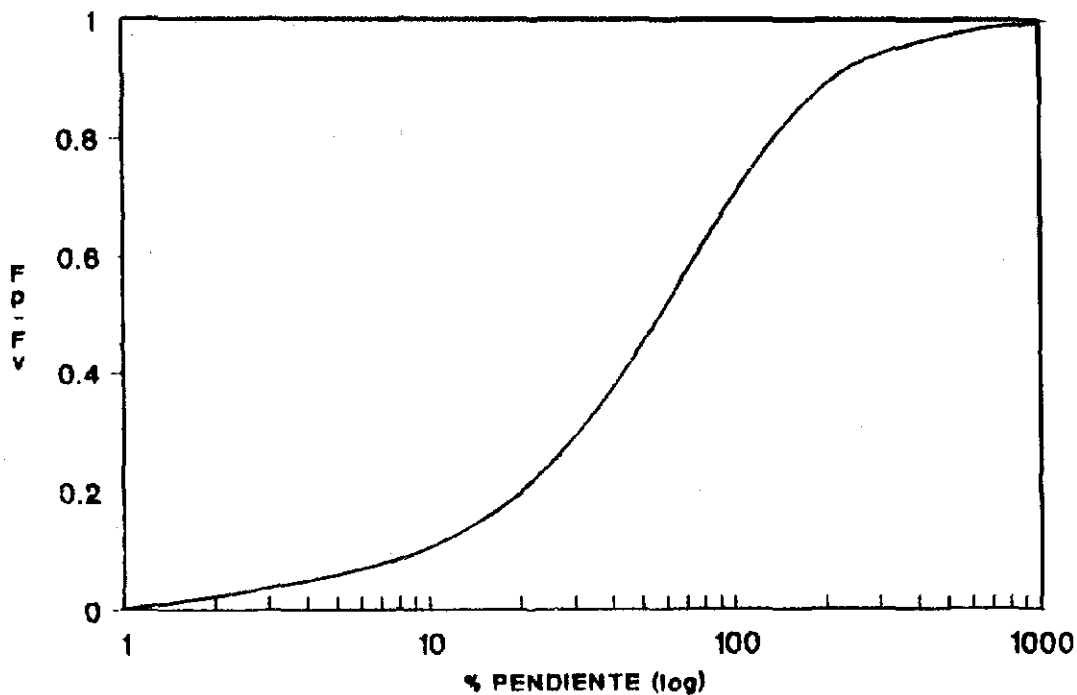


FIGURA 9 -Fuerza de deslizamiento (Fp) Vs pendiente
 (En relación a la masa de suelo húmedo)
 (Fv:Fuerza vertical (peso)=Masa suelo*g)

especial los ocurridos a mediados de junio, cuando el suelo esta generalmente recién roturado y desnudo, o con un cultivo de maíz en sus inicios que aun no cubre gran parte del suelo, pueden causar fuertes pérdidas en esos suelos por erosión superficial. Adicionalmente, las pérdidas señaladas anteriormente de agua de lluvia por escorrentía, asociadas a irregularidades en las lluvias del mes de agosto y a la baja profundización radicular y baja capacidad de retención de agua en ese suelo ya degradado, aparecen provocando déficits hídricos, de moderados (Déf. Mod.) a extremos (Def. Extre.), que coincidiendo con la etapa de floración y llenado de grano pueden llegar a causar grandes descensos en los rendimientos finales.

Los ejemplos presentados ilustran muy bien cómo el tipo de modelos con base hidrológica, integra muy bien la evaluación de los factores críticos, tanto para la erosión como para la productividad.

Los procesos de erosión por deslizamiento o movimientos en masa, que hasta ahora no han sido considerados y estudiados con suficiente precisión e intensidad, parecen tener actualmente una gran incidencia relativa en la erosión y producción de sedimentos en muchas de las tierras agrícolas y ganaderas con pendientes muy pronunciadas, especialmente en zonas con clima húmedo y sub-húmedo del Trópico Andino. Dicha incidencia se ha acentua-

do en las últimas décadas con el incremento del uso de dichas tierras para cultivos intensivos y estacionales, con el mayor uso de operaciones de laboreo mecanizado, y con la sustitución de grandes extensiones de bosques naturales por pasturas naturales generalmente sobrepastoradas. Al contrario de la erosión por escurrimiento, la cual requiere para su prevención y control de prácticas de manejo y obras físicas que incrementen la infiltración "in situ" del agua de lluvia en el suelo, la erosión por deslizamiento generalmente aumenta al existir condiciones que favorezcan dicha infiltración (3). De ahí que los estudios para su pronóstico, y las medidas preventivas, tengan que enfocarse en forma diferente en cada caso.

La erosión por deslizamiento se incrementa en relación con la erosión laminar, en surquillos o cárcavas, cuando pasamos de pendientes del 15-20%, cuando se presenta (Figura 9) un fuerte incremento en la relación entre el componente de la fuerza de deslizamiento en el sentido de la pendiente del plano potencial de deslizamiento (Fp) y el peso de la masa de suelo húmedo (fuerza en sentido vertical Fv). Por todo lo anterior, los problemas de erosión por deslizamientos se desarrollan especialmente en suelos caracterizados por tener microagregados muy estables y poco coherentes entre sí como Andosoles, Oxisoles y Ultisoles arcillosos.

El desarrollo de una consistencia muy suelta en el suelo superficial, con una infiltración muy alta, y la presencia a poca profundidad, con una infiltración abrupta, de capas consolidadas, compactadas o más ricas en arcilla, que restringen la percolación del agua y el desarrollo radicular, todo lo cual es común en estos suelos, puede provocar, cuando hay una infiltración masiva de agua de lluvias fuertes y continuas, altas presiones de agua en los poros del suelo superficial, y flujo concentrado de agua subterránea paralelo a la pendiente, sobre la capa consolidada, que a su vez provoca erosión subsuperficial, y subsidencias y deslizamientos del suelo superficial.

En los suelos susceptibles a erosión por deslizamientos, y en especial en los Andosoles, el límite líquido es menor que el contenido natural de agua del suelo aún hasta 24 horas después de saturación (1), período en que el suelo se mantiene en condiciones en que es mínima la cohesión y fuerza de fricción interna entre los microagregados. Además, muchos Andosoles tienen una alta capacidad de absorción de agua, a veces hasta dos veces su masa seca, por lo que su peso (fuerza vertical F_v) y con ello la fuerza deslizamiento (F_p) en el sentido de la pendiente (Figura 9) se incrementa en períodos en que el suelo está cerca de saturación. Esto explica que los deslizamientos en Andosoles se presentan en pendientes menores (20% o menos) que en otros suelos.

En algunos casos, la causa indirecta de los deslizamientos son trabajos o prácticas de conservación (como terrazas y camellones) para controlar o reducir las pérdidas de agua por escorrentía, y que al concentrar su infiltración en algunas partes del terreno proveen condiciones favorables para deslizamientos locales, especialmente si existen capas a poca profundidad que restringen la percolación. También pueden dar origen a deslizamientos las actividades de construcción de vías de comunicación, instalación de líneas de transmisión eléctrica, desarrollo de cárcavas por escurrimiento y de grietas por sequía extrema, y cualquier otro factor o fenómeno que provoque cortes o fisuras en el terreno, así como pequeños temblores y terremotos.

Las áreas con pastos naturales, cuyos sistemas radiculares aunque bien desarrollados son generalmente poco profundos, y especialmente si están sobrepastoreadas, suelen ser tan susceptibles a los deslizamientos como los campos laboreados en for-

ma continua para cultivos anuales. Ello a pesar de que las tasas de infiltración de agua de lluvia en dichas tierras con pastos pueden ser varias veces menores a las que se mantienen bajo el bosque natural. En este último caso, la protección del suelo superficial que previene su desecamiento y desarrollo de fisuras, así como el efecto de anclaje del suelo superficial por el profundo sistema radicular de los árboles que se extiende hasta dentro de la capa consolidada subyacente, reduce a un mínimo la erosión por deslizamientos. El cambio de sistemas de cultivos perennes como café, desde uno bajo sombra a uno completamente expuesto, en terrenos de muy altas pendientes, también ha contribuido a incrementar en muchos casos la erosión por deslizamientos.

Es evidente que cualquier evaluación de tierras de ladera para uso agrícola debe incluir la variable predicción de erosión, ya que éste será el primer factor a considerar para mantener su productividad. Si dicha predicción de erosión se hace con modelos basados en información adecuada y confiable, la evaluación de tierras proveerá una manera sistemática de predecir los resultados que se esperarían de cambios en el manejo, así como de examinar las opciones y de ayudar a la selección de las mejores alternativas para alcanzar los objetivos que satisfagan a los usuarios. Sin embargo, las predicciones de resultados potenciales y la selección sistemática de las soluciones óptimas sólo podrán ser efectivas si se hace uso de ellas. Es de esperar que los agricultores pobres de áreas montañosas de los Andes y Centroamérica, con bajas productividades, sean probablemente los menos capaces de adoptar nuevos métodos de manejo, o de invertir capital o trabajo en medidas de conservación.

Por lo tanto, la evaluación de tierras debe adaptarse a las condiciones sociales y económicas de las tierras montañosas (19). El análisis productivo debe ser complementado con un análisis socioeconómico para decidir si lo que es técnicamente factible es también económicamente atractivo y socialmente aceptable. Para ello, frecuentemente será necesario adoptar la solución más práctica para la población local, aunque no sea la mejor para el control de la erosión.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los programas y prácticas de conservación de suelos en las Subregiones Andina y Centroamericana deben dirigirse en general a mejorar el manejo del

agua, tanto para prevenir erosión por escurrimiento o deslizamiento, como para garantizar una producción agrícola más segura y sostenida. Todo ello se logra con un manejo adecuado de la tierra, basado en un conocimiento a nivel apropiado de los recursos naturales tierra y clima en cada sitio, acompañado de obras físicas cuando sea absolutamente necesario.

Para el control de la erosión en tierras de ladera se ha desarrollado una gran variedad de técnicas y prácticas que van desde el simple cultivo en contorno hasta sistemas de manejo y obras de ingeniería que requieren conocimientos especializados para su implementación y mantenimiento. Con ellas se busca generalmente proteger la superficie del suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, promoviendo que la mayor parte del agua infiltre y se almacene "in situ", y que la que no infiltre drene a baja velocidad sin provocar erosión (20). Sin embargo, para combatir los deslizamientos y movimientos en masa el objetivo debe ser promover el drenaje superficial del agua a través de máxima escorrentía y mínima infiltración, con sistemas que a su vez no provoquen erosión (3). Las alternativas a seleccionar se reducen a medida que se incrementa la pendiente, pero en cualquier caso, para precisar las más apropiadas deben implementarse más estudios e investigaciones a nivel de laboratorio y campo que lleven a un mejor conocimiento de los recursos tierra y clima, y de sus interacciones en el proceso de erosión bajo diferentes grados y tipos de pendiente, y diferentes sistemas de manejo.

En muchas ocasiones, los trabajos y prácticas de conservación de suelos, aún siendo seleccionados con base en los principios anteriores, no llevan a la solución definitiva del problema. Ello ocurre cuando los factores que conducen a la erosión de suelos en tierras de muy altas pendientes tienen sus raíces fuera de la agricultura (presiones de población, exceso de cabezas de ganado, etc), o las causas se originan en problemas políticos y sociales (propiedad y tenencia de las tierras, etc.). A veces, las mejores soluciones para el uso inapropiado de la tierra no son agronómicas, sino que pasan por resolver problemas de precios de productos agrícolas, de mercadeo, de comunicaciones, etc.. En muchas de las tierras de ladera de los Andes y Centroamérica, ya densamente explotadas, la única solución para detener los procesos actuales de erosión sería mudar parte de los usuarios de las tierras con mayores pendientes, y reducir la intensidad de uso de la tierra con sistemas

más compatibles con su capacidad. Muchas veces, por razones sociales y económicas esto no es posible. Además, hay que tener en cuenta que para los agricultores de subsistencia que generalmente ocupan esas tierras, su principal preocupación es producir cultivos anuales para cubrir las necesidades alimenticias inmediatas de su familia, por lo que no estarán interesados en cambios de uso que no le garanticen eso. Para estos casos es preferible buscar soluciones, que aunque no resuelvan completamente el problema, tengan posibilidad de ser aplicadas (20), y con ello reduzcan la intensidad de los procesos actuales de erosión, mientras se alcancen las condiciones sociales y económicas que permitan aplicar soluciones definitivas.

En conclusión, para los ambientes de montaña y altas pendientes de las Subregiones Andina y Centroamericana, donde exista presión por el uso de las tierras, el objetivo general de los planes de manejo y conservación de tierras debería ser asegurar un uso sostenido y manejo integrado de dichos ambientes para estabilizar las poblaciones locales (2), elevar sus condiciones de vida, y prevenir daños ambientales y en especial degradación de tierras por erosión.

En el pasado, algunas medidas tradicionales de conservación de suelos, como construcción de terrazas de banco, en algunas de esas áreas, fueron efectivas para eliminar los peligros de erosión y para mantener o mejorar los rendimientos. Sin embargo, prácticamente ninguno de esos sistemas de uso y manejo de la tierra ha sido capaz de soportar los recientes y fuertes incrementos de la población y cambios socioeconómicos. Tratar de repetir actualmente dichos sistemas de manejo resulta generalmente demasiado costoso, y con solo algunas excepciones (2, 8, 17), los pocos programas emprendidos en ese sentido no se han mantenido efectivos con el tiempo.

Aparte de la necesidad de investigaciones continuas de los aspectos ecológicos, sociales, económicos y culturales del uso de las tierras en los agroecosistemas de altas pendientes de los Andes y Centroamérica, se requiere proveer adecuada asistencia técnica y económica, preferiblemente a través de proyectos regionales de manejo de cuencas. El objetivo debe ser buscar una diversificación de economías en las áreas más pobladas, y el desarrollo de sistemas agrícolas y agroforestales, reforesta-

ciones y manejo de las áreas protegidas (16). En particular, cuando el problema se derive fundamentalmente de la sobrepoblación de un área específica, deberían desarrollarse programas basados en la planificación del uso de la tierra a nivel de comunidades, para combatir tanto la erosión como la pobreza (18), aumentando la productividad y proveyendo empleo local en actividades diferentes, pero complementarias, a las de producción agrícola.

A nivel de cada país, o incluso de cada zona, deberían desarrollarse e implementarse políticas y

programas, con recursos suficientes y garantías de continuidad en el tiempo, ajustadas a las condiciones sociales y económicas de cada uno de ellos, y con especificidades para áreas con diferentes características agroecológicas. Para garantizar su aplicación dichos programas deben ser diseñados con la participación de los usuarios, tomando en cuenta sus necesidades y posibilidades. Sin embargo, todo ello dependerá de la habilidad y posibilidad que tengan los científicos y técnicos para lograr transmitir el mensaje, derivado de los resultados de sus estudios e investigaciones, a los encargados de formular y ejecutar políticas y a los propios agricultores.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BARBER, R.G. 1982. The magnitude and sources of soil erosion in some humid and semiarid parts of Kenya, and the significance of soil loss tolerance values in soil conservation in Kenya. *In*: Thomas y Senga (ed) "Proc. 2nd National Workshop on the Soil and Water Conservation in Kenya". University of Nairobi (Kenya). pp. 20-46.
2. CHANG, L. 1987. Desarrollo de un programa de conservación de suelos en los Andes peruanos. *In*: Pla, I. (ed) "Soil conservation and Productivity". UCV, Caracas (Venezuela). I:222-235.
3. DE PLOEY, J.; IMESON, A.C. 1986. Soil erosion, slope, and landscape. *Trans XIII Congr. Int. Soc. Soil Sci. Hamburgo (Alemania)*. V:455-480.
4. DRIESSEN, P.M. 1984. Erosion hazards and conservation needs as a function of land characteristics and land qualities. *In*: Siderius (ed) "Land evaluation for land-use planning and conservation in sloping areas". ILRI Publ. 40. Wageningen (Holanda). pp. 32-39.
5. FAO. 1984. Tierras, alimentos y población. Colección FAO. Desarrollo económico y social N° 30. FAO, Roma.
6. FAO. 1987. Agriculture: Toward 2000. FAO, Roma.
7. FAO. 1988. Potentialis for agricultural and rural development in Latin America and the Caribbean. FAO, Roma.
8. GOMEZ, A. 1989. Políticas y acciones en conservación de suelos en Colombia. *In*: "Memorias de la consulta internacional para elaborar el plan nacional de conservación de suelos". MAG-FAO. San José (Costa Rica).
9. LAL, A. 1988. Soil erosion by wind and water. Problems and prospects. *In*: al, R. (ed) "Soil Erosion Research Methods". Soil and Water Conserv. Soc. Ankeny (USA). pp 1-6.
10. LARSSON, M 1986. Landslides in the mountain areas of Kenya. Comparative studies of different slopes within the Nyandarua Range. *In*: Thomas et al. (ed) "Soil and Water Conservation in Kenya". University of Nairobi (Kenya). pp. 123-136.
11. MILLIMAN, J.D.; MEADE, R.H. 1983. Worldwide delivery of river sediment to the Ocean. *J. Geol.* 91:16.

12. PLA, I. 1988. Soil moisture constraints for dryland corn and sorghum production in Venezuela. *In*: Unger *et al.* (ed) "Challenges in Dryland Agriculture. A global perspective". Amarillo/Bushland (USA). pp. 140-144.
13. PLA, I. 1989. Socioeconomic constraints to soil conservation in Venezuela. *In*: Rimwanichs (ed) "Land conservation for future generations". Dept. Land Dev. Bangkok (Tailandia). pp. 1161-1167.
14. PLA, I. 1989. Desarrollo de índices y modelos para el diagnóstico y prevención de la degradación de suelos agrícolas en Venezuela. Publ. Banco Consolidado. Caracas (Venezuela).
15. PLA, I. 1989. Modelo para detectar y cuantificar factores críticos que determinan el régimen hídrico en suelos con agricultura de secano en Venezuela. X Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maturín (Venezuela). (en prensa).
16. PLA, I. 1989. Soil conservation constraints for sustained agricultural productivity in tropical Latin-America. Proc. 6th Int. Soil Conserv. Conference. Addis-Abeba (Etiopía). (en prensa).
17. PLA, I. 1990. La degradación de suelos y el desarrollo agrícola de Venezuela. *Agronomía Tropical*. (Venezuela) 40 (1-3): 7-27.
18. POSNER, J.L.; McPHERSON, M.F. 1981. The steep slope areas of tropical America: Current situation and prospects for the year 2000. The Rockefeller Foundation. Nueva York (USA).
19. PUANELL, M.F. 1984. Application of the FAO framework for land evaluation for conservation and land-use planning in sloping areas; potentials and constraints. *In*: Siderius (ed) "Land evaluation for land-use planning and conservation in sloping areas". ILRI Publ. 40. Wageningen (Holanda). pp. 17-31.
20. SANDERS, D.W. 1984. Sloping land: soil erosion problems and soil conservation requirements. ILAI Publ. 40. Wageningen (Holanda). pp. 40-48.
21. SUAREZ DE CASTRO, F. 1982. World soils policy and its application in Latin-America. Trans. 12th Int. Cong. Soil Sci. Nueva Delhi (India). 4:114-134.
22. WRI-IIED-UNEP. 1988. World resources 1988-89. An assesment of the resource base that supports the global economy. Nueva York (USA).

23742

MANEJO INTEGRADO DE SUELOS DE LADERA PARA UNA AGRICULTURA SOSTENIBLE EN EL ECOSISTEMA ANDINO CAFETERO DE COLOMBIA

Alvaro Gómez Aristizábal ¹

Co. [illegible]

RESUMEN

La Región Andina de Colombia comprende 30.914.925 hectáreas (27.1 % del país) y en ella está localizado aproximadamente el 75 % de la población nacional. El 75 % de las tierras del país corresponden a las clases agrológicas VI, VII y VIII y en las cordilleras andinas las tierras de dichas clases representan el 89 % del área. Restringir el uso de dichos suelos sólo a bosques, pastos y reservas forestales es imposible por la gran cantidad de habitantes que residen y derivan el sustento de ellos. Es un reto técnico buscar alternativas y sistemas de clasificación de las tierras de ladera, para darle a estos suelos un manejo que permita una producción sostenible de alimentos y materias primas, con niveles tolerables de pérdidas de suelo por erosión.

El café constituye el producto exportable más importante de Colombia, ya que de él se derivan del 32 al 34 % de las divisas internacionales y la subsistencia de un gran número de colombianos se deriva de este cultivo, el cual está sembrado en 1.009.579 ha. en las laderas andinas. Se estima que 3.5 millones de colombianos dependen económicamente del café.

Desde 1927 cuando se fundó la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, se ha orientado el desarrollo integral de las áreas rurales para lograr el bienestar y la elevación del nivel de vida de las comunidades cafeteras, buscando mantener el equilibrio entre los aspectos técnicos, económicos, sociales y ecológicos, considerando el manejo de los recursos naturales: Suelos, aguas y bosques como parte integral del desarrollo. En el Centro de Investigaciones del Café se han estudiado los diferentes sistemas de producción del cultivo, desde el punto de vista de los peligros que ofrece para el suelo su establecimiento y manejo. Esto ha permitido diseñar sistemas integrales de uso, manejo y conservación con los menores riesgos de erosión. Se ha elaborado una escala de grado de erosión, en función de las pérdidas anuales de suelo superficial, que orienta la selección de los sistemas de producción y el manejo de los suelos, y la necesidad de complementarlos con prácticas de conservación.

Se han encontrado diferentes prácticas como prioritarias para apoyar un programa integrado de manejo y conservación de suelos en ladera, para una agricultura sostenible en la zona cafetera. En el cuerpo del trabajo se mencionan 16 de estas prácticas:

de [illegible]

¹ Ing. Agrónomo MS. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Calle 73 No. 8-13, Santafé de Bogotá, Colombia, S.A.

SUMMARY

INTEGRATED SOIL MANAGEMENT FOR A SUSTAINABLE AGRICULTURE IN THE COFFEE-GROWING AREA OF COLOMBIA.

Coffee is produced in 1.000.579 ha. located in the Andean hillslopes where 75 % of the Colombian people are settled.

Since 1927 the National Federation of Coffee Growers, has promoted a sustainable agricultural development in cropping lands, mostly located in Andean hillslopes.

In the National Center of Coffee Research (CENICAFE) research has been done for soil conservation practices.

This paper presents 16 practices, proven and developed, in order to minimize soil erosion for land conservation.

El desarrollo sostenible es la propuesta actual para buscar un nuevo enfoque hacia el bienestar de la sociedad humana, dentro de una perspectiva ambiental. De ahí que la tarea más importante de la humanidad en los años venideros será el diseñar un Desarrollo Sostenible que asegure el crecimiento económico equitativo, manteniendo la base natural de la tierra en niveles sostenibles para la generación actual y las que vendrán en el futuro, y promover cada vez más una cultura de participación, de producción creativa y de servicio a las comunidades del país. Esta inquietud la comparte el sector cafetero de Colombia, y por eso propuso la creación del Fondo de Protección y Recuperación del Medio Ambiente en zona cafetera y de influencia cafetera y tiene como política desde la creación de la Federación Nacional de Cafeteros, la conservación de los recursos naturales renovables.

LA ZONA ANDINA COLOMBIANA

Colombia tiene 114.174.800 ha. con gran variedad de climas y suelos, lo cual conforma siete regiones naturales: Caribe con 10.128.200 ha. que representa el 8.87% del país; Pacífica, 6.443.400 ha. (5.64%); Andina, 30.914.925 ha. (27.1%); Valles Interandinos, 3.710.075 ha. (3.25%); Orinoquía, 23.096.725 ha. (20.23%); Amazonía, 39.875.334 ha. (34.90%), e Insular 6.141 ha. (0.01%) (Cortés, 1982).

La Zona Andina está constituida por tres cordilleras que la recorren de sur a norte: La Oriental con 130.000 km², la Central con 110.000 km² y la Occidental con 76.000 km². Además, por los sistemas montañosos de la Sierra Nevada de Santa Marta con 17.000 km² y de la Macarena con 4.440

km² (Cortés, 1982). De los 30 millones de habitantes que se estima tiene Colombia, aproximadamente el 75% de la población se encuentra localizada en la Zona Andina. Este porcentaje alto de población se localiza en las regiones de ladera y pequeños valles intramontañosos, debido a factores de orden histórico, socioeconómico y climático y a la productividad alta de los suelos, desarrollados la mayoría a partir de cenizas volcánicas, los cuales se presentan en grandes áreas de las Cordilleras Central y Occidental y en algunos sectores de la Oriental (Gómez, 1989).

SUELOS DE LA ZONA ANDINA

Según Cortés (1982), las Cordilleras Andinas de Colombia son muy variables en condiciones ecológicas, en materiales geológicos y en formas de la tierra. Se encuentra una gama grande de suelos que va desde ricos en materia orgánica en las montañas altas, hasta los suelos erosionados y pobres en humus de altitudes inferiores; hay dos grupos extremos de suelos, uno arcilloso derivado de lutitas y varios materiales, y otro arenoso formado a partir de areniscas cuarcíticas. Entre estos dos grupos extremos, se presenta una gama de clases de familias texturales.

En las áreas escarpadas y al pie de las pendientes fuertes se encuentran suelos muy poco evolucionados, mientras que en los climas más cálidos y en relieves más suaves, los hay con mayor grado de desarrollo. En regiones secas, en cualquier piso térmico, con materiales geológicos calcáreos y básicos, se presentan suelos altamente saturados con bases, con déficit de agua para las plantas durante estaciones prolongadas del año. En áreas de clima húmedo y prehúmedo hay suelos lavados, muy pobres en

nutrimentos. El 32.43% de los suelos de la Cordillera Andina están en clima cálido, el 33.70% en clima medio, el 22.65% en frío y el 10.13% en páramo. Las Cordilleras Occidental y Central en gran parte del área tienen régimen húmedo, muy poca área con régimen seco; en contraste con la Cordillera Oriental que tiene grandes áreas con régimen seco y el resto húmedo, factores importantes para el uso, manejo y conservación de los suelos y la erosión de éstos (Cortés, 1982).

El Patrón de distribución de los suelos y sus características más importantes dependen del clima, relieve y material parental. Cortés (1982), divide los suelos de la Zona Andina en suelos en las formas de cordillera, en las colinas y en los altiplanos así:

Suelos de las formas de cordillera:

Clima cálido seco: Ustropepts, Ustorthents, Dystropepts.

Clima cálido muy húmedo: Dystropepts, Humitropepts, Troporthents.

Clima cálido húmedo: Eutropepts, Hapludolls.

Clima medio seco: Ustropepts, Ustorthents, Hapludolls.

Clima medio húmedo: Eutropepts, Troporthents.

Clima medio muy húmedo: Dystrandeps, Dystropepts, Humitropepts, Troporthents, Eutropepts.

Clima frío seco: Haplustalfs, Ustropepts, Ustorthents.

Clima frío húmedo y muy húmedo: Dystrandeps, Placandeps, Dystropepts, ándicos, Humitropepts.

Suelos de las colinas

Clima cálido seco: Ustorthents, Ustropepts.

Clima húmedo y muy húmedo: Eutropepts, Dystropepts, Troporthents, Tropodults.

Suelos de los altiplanos

Clima frío seco: Haplustalfs, Ustropepts.

Clima frío húmedo: Dystrandeps, Placandeps, Eutrandeps, Dystropepts, Humitropepts.

CLASES AGROLOGICAS DE LA ZONA ANDINA

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi efectuó un estudio de los suelos colombianos con base en las ocho clases agrológicas, definidas por el Departamento de Agricultura de E.E.U.U. y modificadas por el mismo Instituto, las cuales determinan sus aptitudes y potencialidades de uso; según esta clasificación, el 75% del territorio colombiano estudiado (52.774.039 hectáreas) estaría entre las Clases VI, VII y VIII. En las Cordilleras Andinas este porcentaje es del 89%, los cuales debieran ser utilizados con pastizales, bosques, áreas de recreación (parques nacionales) y reservas forestales, siendo limitantes, según este sistema, para cualquier otro tipo de cultivo productivo (Gómez, 1979).

Restringir, según Gómez (1989), el uso de estos suelos sólo a bosques, pastos y reservas forestales es imposible por la gran cantidad de habitantes que residen y derivan el sustento de ellos. Por lo cual es un reto técnico, buscar alternativas y sistemas de clasificación para las tierras de ladera, para darle a estos suelos un uso y manejo apropiados, de tal manera que permita una producción sostenible de alimentos y materias primas, con niveles tolerables de pérdidas de suelo por erosión, mediante una buena conservación.

Es decir, la conservación del suelo en la zona Andina debe ser inherente o parte principal de la explotación racional de los sistemas de producción, con tecnologías apropiadas al medio y al agricultor, o adoptando tecnologías modernas para ser más eficiente en la ladera sin deteriorar el medio.

De acuerdo con Gómez (1987), para mantener la productividad sostenible en un suelo a través del tiempo, se requiere establecer prácticas preventivas de la erosión. Un aumento de la productividad se logra mediante un buen uso, manejo y conservación de los suelos, más el conjunto tecnológico de producción del cultivo que se establezca. Cuando ninguno de estos aspectos se tienen en cuenta, se presenta erosión, la cual con el tiempo, deteriora la productividad del suelo y éste no responde a las prácticas de manejo.

GRADOS DE EROSION EN EL ECOSISTEMA ANDINO

El 40% del territorio colombiano presenta erosión de muy ligera a muy severa; la zona Andina es la más afectada ya que el 88% de los suelos se encuentra dentro de éste rango (Montenegro y Olmos, 1988) se presenta erosión ligera en un 43.2% del área (13.350.825 ha.), moderada en un 30.0% (9.279.225 ha.), severa en 9.9% (3.050.600 ha.) y no hay erosión aparente en un 11.1% (3.426.950 ha.).

ZONA CAFETERA COLOMBIANA

En la zona Andina se presenta el área cafetera del país configurada por las vertientes de las Cordilleras Occidental, Central y Oriental. El país cafetero se considera dividido en tres zonas principales: Zona sur entre 1° y 3° de latitud norte, zona central entre 3° y 7° de la misma latitud y zona norte comprendida entre los 7° y 10° norte. En general la zona con mejor vocación para el cultivo del café está entre 1.200 y 1.700 m. de altitud (bosque muy húmedo premontano). El café constituye el producto exportable más importante de Colombia, ya que de él se derivan del 32 al 35% de las divisas internacionales.

SUELOS EN LA ZONA CAFETERA

En la Cordillera Central y Occidental dominan los suelos derivados de cenizas volcánicas, Andepts, de buenas características físicas que los hacen altamente productivos; en estos suelos de variada resistencia a la erosión, está aproximadamente el 50% del café que se cultiva en Colombia. El relieve es muy variable en cuanto a grado y longitud de la pendiente, desde moderado a muy escarpado (Federacafé, 1982; Gómez, 1987).

En la Cordillera Oriental los suelos son generalmente jóvenes (Tropepts), afectados o no por cenizas volcánicas, asociados con los suelos de las laderas abruptas (Orthents líticos o no), de media a alta susceptibilidad a la erosión (Federacafé, 1982).

Quevedo (1986), reporta estudios de clasificación

de suelos a nivel cartográfico y taxonómico, de acuerdo con el sistema taxonómico americano en la mayoría de los departamentos cafeteros del país, realizados por el Programa de Desarrollo de Federacafé. Las unidades dominantes cartográficamente son: El Complejo (36%) y la asociación (28%). Taxonómicamente, a nivel de orden se tienen Inceptisoles (73.5%), Entisoles (15.2%) y otros (11.3%). A nivel de grupos predominan: Dystrandeps (27.7%), Dystropepts (23.6%), Eutropepts (22.2%), Troporthents (15.2%) y otros (11.3%).

GRADOS DE EROSION EN LA ZONA CAFETERA

De las unidades de suelos reconocidas por la Federación Nacional de Cafeteros en la país, el 12.5% se consideran como resistentes a la erosión, el 20% de resistencia moderada, el 37.5% susceptibles y el 30% muy susceptibles a la erosión (Quevedo, 1986).

ERODABILIDAD DE ALGUNOS SUELOS EN EL AREA CAFETERA

Rivera (1990), determinó el índice de erodabilidad de siete unidades de suelos en el área cafetera central, con la fórmula propuesta por Wischmeier y Smith. Los menores índices promedio de erodabilidad K (t.ha.h/tm.mm.ha.), se presentaron en las consociaciones Chinchiná (0.051), Quindío (0.062), Montenegro (0.208) y Letras (0.218), derivadas de cenizas volcánicas del complejo volcánico Ruíz-Tolima (Typic dystrandeps), las cuales presentan la mayor estabilidad y resistencia a la erosión debido a los altos contenidos de materia orgánica (5.4 a 15.5%), permeabilidad moderada, baja densidad aparente y la presencia de alofana y caolinita, las cuales predominan en el complejo arcilloso.

El complejo Manila y la consociación Guamal (integrado Paralithic eutropepts - Paralithic troporthents y Typic eutropepts, respectivamente), presentan índices de erodabilidad altos (0.547 y 0.323), debido a sus bajas estabilidades y resistencias a la erosión, por la presencia de grava en el perfil. Se encontró una correlación lineal altamente significati-

va entre el índice de erodabilidad K con base en Wischmeier y Smith y el contenido de materia orgánica ($R^2 = 0.86$).

CLIMA EN LA ZONA CAFETERA

Temperatura

La zona cafetera colombiana por su localización tropical presenta una temperatura media entre 18° y 22° C, la cual es muy uniforme a través del año para una misma región; la temperatura del mes más frío difiere muy poco del mes más caliente (Jaramillo, 1987).

Es importante la gran diferencia entre la temperatura máxima y mínima que se registra en un solo día: Para la zona cafetera estas diferencias diarias pueden ser hasta de 15° C.

La temperatura media disminuye con la altitud a razón de 0.60° por cada 100 m; 0.63° por 100 m para la temperatura máxima y 0.54° C por 100 m para la temperatura mínima, siendo más calientes los valles y más frías las cimas de las montañas. Esta variación de la temperatura con la altitud cambia de una vertiente a otra (Jaramillo, 1987). La temperatura media también disminuye a medida que aumenta la latitud desde el Ecuador hasta los polos; aproximadamente se registran de 1° a 2° C menos de temperatura, por cada grado de latitud.

La orientación de la vertiente de la montaña influye en la temperatura. Las laderas expuestas hacia las grandes llanuras (Llanos Orientales, Llanura Pacífica y Llanura Atlántica), presentan temperaturas más altas, en aproximadamente 2° C para una misma latitud en comparación con las laderas encerradas en el sistema montañoso.

Lluvia

En la zona cafetera generalmente hay dos períodos secos y dos lluviosos en el año; los meses de mayor lluvia son abril, mayo, octubre y noviembre, determinados por la Zona de Convergencia Intertropical, la cual determina alta nubosidad y gran cantidad de lluvia. Las lluvias están influenciadas por las condiciones topográficas y por el movimiento de los vientos valle - montaña (Jaramillo, 1987).

La región norte presenta una estación seca pronunciada de diciembre a marzo (o abril), y una estación lluviosa de mayo a noviembre. La región central presenta dos períodos lluviosos: abril a junio y octubre a diciembre y dos períodos menos lluviosos: enero a marzo y julio a septiembre. Los valores anuales de precipitación son superiores a 2.000 mm. La región sur presenta una estación marcadamente seca (julio a septiembre) y una estación lluviosa (octubre a junio). Respecto a la cantidad de agua caída se observa que en la región norte en el primer semestre llueve el 35% del total anual y en el segundo semestre el 65% del total. Entre 6° y 10° de latitud norte cae aproximadamente igual cantidad de lluvia en el primer y segundo semestre.

Las lluvias registradas en la zona cafetera aumentan con la altitud hasta un nivel máximo que varía de acuerdo con la vertiente y por lo general se presenta entre los 1300 y los 1500 m.s.n.m., a partir de este punto comienza a disminuir la cantidad de lluvia hacia la cima de la montaña.

El valor medio del número de aguaceros al año en la zona cafetera es de 498, con valores extremos de 353 a 728 (Jaramillo, 1987)

En la zona cafetera las intensidades máximas de la lluvia presentan valores poco variables para un mismo intervalo de tiempo. La intensidad máxima en cinco minutos con un 80% de probabilidad, presenta un valor medio de 7 mm (84 mm/h), con valores extremos de 6.0 y 8.3 mm (72.0 y 99.6 mm/h). Un 50 a 57% del total de los aguaceros producen escorrentía y un 8 a 10%, que corresponden a intensidades cercanas o mayores a 20 mm/h, son responsables del 80 a 90% de las pérdidas de suelo por erosión, las cuales serán mayores o menores según sea el sistema de producción del café, la intensidad de las labores del cultivo incluidas en éstas las desyerbas y métodos de las mismas, también de acuerdo con los suelos y su estabilidad y resistencia a la erosión (Federacafé, 1982; 1988, Jaramillo, 1987, Gómez, 1988). Kogson (1988) realizó un análisis de las lluvias con base en las series anuales de 15 años (1970 a 1986), registradas en 37 estaciones pluviográficas de la zona cafetera colombiana, archivadas en Cenicafé. Se determinaron las intensidades de las lluvias máximas esperadas en períodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años, para duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105 y 120 minutos y se hizo el análisis de las

relaciones entre intensidad, duración y frecuencia de la lluvia. Se encontró la tendencia de la intensidad de las lluvias esperadas a incrementarse con el aumento de la latitud. Los valores esperados para las intensidades de las lluvias dentro de cada intervalo de duración, se incrementaron a medida que aumentó el período de retorno y para cada período de retorno disminuyeron al aumentar la duración. Para un período de retorno de 10 años, las mayores intensidades en 30 minutos variaron de 99.4 a 108.0 mm/h y las menores intensidades en 30 minutos entre 83.6 y 84.8 mm/h.

EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS EN ALGUNAS AREAS CAFETERAS

Con base en registros de 15 años de intensidades de las lluvias, Rivera (1990) determinó el índice de erosividad (R) agresividad de las lluvias, para nueve estaciones climáticas en el área cafetera central mediante el método de Hudson, para aguaceros con $I \geq 20$ mm/h. El valor más bajo de erosividad anual se encontró en la estación climática de Agronomía en Manizales con 5056 ton.mm/ha.h.año, le sigue la estación climática Rafael Escobar en Supía con 7458 ton.mm/ha.h.año. Los mayores valores de agresividades anuales de las lluvias se presentan en las estaciones climáticas. El Sena en Armenia (13083 ton.mm/ha.h.año) y Naranjal en Chinchiná (12811 ton.mm/ha.h.año).

EROSION POTENCIAL EN EL AREA CENTRAL CAFETERA

La erosión potencial ($R \times K$) de los suelos en la zona central cafetera estudiada por Rivera (1990), es muy severa (602 a 4079 t/ha/año), debido a la agresividad de las lluvias, y a los altos valores de erodabilidad, lo cual muestra la fragilidad del ecosistema cafetero y la importancia de los factores LS , C y P de la ecuación universal de erosión, los cuales puede y debe manipular el agricultor, para bajar la erosión potencial a niveles tolerables. La investigación realizada por Cenicafé al respecto, puede orientar programas de uso, manejo y conservación a nivel de finca y cuenca hidrográfica, con sistemas integrales para una producción sostenible, con pérdidas de suelo por erosión menores o iguales a 1 t/ha/año (Federacafé, 1982).

CULTIVOS EN ZONA DE LADERA

La pérdida de productividad (degradación) de los suelos en Colombia se debe no sólo a la erosión o pérdida física del recurso suelo por usos y manejos inadecuados sino también por salinización, compactación, inundaciones entre otros. La deforestación en el país es responsable en parte de esto. De acuerdo con diagnósticos recientes realizados para el Plan de Acción Forestal por el Departamento Nacional de Planeación (1988), el país cuenta con un área de 114.7 millones de ha. de las cuales 78 millones tienen suelos de aptitud forestal, sin embargo, sólo 53.1 millones de ha. están cubiertas por bosques.

La deforestación alcanza valores de 600 mil ha. por año lo cual ha significado la tala de 37.7 millones ha. entre 1960 y 1984, con pérdidas valiosas de especies y del conocimiento de muchas de ellas. En cambio la reforestación ha tenido un comportamiento declinante, como lo demuestra el descenso en la superficie plantada anualmente, que pasó de 38.000 ha. en 1981 a sólo 5.100 en 1985. Actualmente se están plantando como bosques protectores comerciales cerca de 1000 ha. por año.

De acuerdo con los inventarios forestales realizados en 1985 se tienen sólo de 130.000 a 150.000 ha. de bosques cultivados; en el mapa de bosques de Colombia, elaborado por el IGAC, INDERENA y CONIF, se señalan 180.000 ha. cultivadas en bosques hasta 1984. El plan de acción forestal para Colombia habla de 220.000 ha. (Cárdenas, 1990).

La Federación Nacional de Cafeteros ha participado en la creación y desarrollo de las sociedades reforestadoras, las cuales han sembrado 10.263 ha. de bosques en las laderas, área que está muy lejos de la necesaria para mantener el equilibrio ecológico de éstas (Gómez, 1989).

Gómez (1979), afirma que en Colombia los cultivos de ladera se encuentran localizados en las estribaciones de la Cordillera Oriental, Central y Occidental, en donde el 75% de la población Colombiana vive de estos suelos, dedicada en su gran mayoría a una agricultura diversificada, orientada en gran parte por el Programa de Desarrollo y Diversificación de zonas cafeteras de la Federación de Cafeteros.

Según García *et al.* (1981), la tenencia de la tierra está representada básicamente por minifundios, en donde se desarrolla una agricultura y ganadería de ladera, que produce el 55% de los alimentos de consumo directo y 20% de materias primas para la industria. Esta situación hace que los campesinos exploten los recursos suelo, flora y agua en forma intensa, lo que influye en el deterioro de los recursos naturales renovables. Howeler (1984) comenta que la producción de los cultivos industriales y de exportación está localizada en las partes planas con excepción del café y de los cultivos alimenticios que se realizan en la zona de ladera. El 85% del fríjol, 70% del maíz duro, 80% del trigo, 80% de la yuca y el 90% de la papa se produce en suelos de ladera, de ahí que no se puede ignorar el efecto que estos cultivos tienen sobre la productividad del suelo ya que los cultivos anuales debido a su requerimiento de preparación del suelo (desyerbas, fertilizaciones y cosechas periódicas) pueden causar erosión alta.

La explotación agrícola en la zona andina es tradicional, la cual unida a la enorme diversidad de condiciones climáticas, geológicas y pedológicas de la zona montañosa, hace que se presenten problemas de erosión muy variados con intensidades desde leves, fuertes a muy fuertes, ya que son áreas muy intervenidas, con usos muy variados, con clima generalmente húmedo y relieve desde fuerte hasta moderadamente quebrado en donde predominan los procesos erosivos en masa (soliflucción, deslizamientos, derrumbes, etc.) y erosión pelicular o laminar en algunas zonas cafeteras, sobre todo en las vertientes exteriores de la Cordillera Oriental y Occidental (Gómez, 1989).

SUBCUENCA DE LA ZONA CAFETERA

El área de la subcuenca de la zona cafetera por encima de 1000 m.s.n.m., es de 15.8 millones ha. un millón sembradas en café y de los 14.8 millones de ha. restantes, se calcula que 1.5 millones (10%) tiene problemas de erosión causada principalmente por el establecimiento de cultivos no controlados en la zona montañosa, la quema de bosques, la deforestación, los riegos no planificados, las ganaderías extensivas. Estos fenómenos han deteriorado las condiciones naturales de las subcuencas, disminuyendo la capacidad de infiltración y ocasionando el aumento de la

escorrentía, fomentándose así la erosión, con el consiguiente arrastre de la capa vegetal y los sedimentos en proporciones considerables (Cárdenas, 1990).

SISTEMAS DE PRODUCCION DEL CAFETO

Según el censo cafetero 80/81, se registraban tres áreas cafeteras en Colombia según el sistema de cultivo: Área con café tradicional con sombrero principalmente de *Inga spp*: 665.849 ha. (65.9% del área cafetera), sistema de producción que debido al manejo de los agricultores es de alta conservación de suelos; área con café tecnificado a la sombra: 168.019 ha. (16.7%) cuyo sistema de manejo lo hace de alta a media conservación; área con café tecnificado al sol, 175.711 ha. (17.4%) con manejos que llevan a una alta a baja conservación, lo que da un total de 1.009.579 ha. con una producción aproximada a los 12 millones de sacos de 60 kg. de almendra de café verde (Gómez, 1989).

El 85.7% de las fincas cafeteras son menores de 6 ha. el 12% tienen de 6 a 20 ha. y el 2.3% restante son mayores de 20 ha. (Federacafé, 1975).

La zona cafetera de acuerdo con el censo de 1980, posee cerca de 300.000 fincas cafeteras, las cuales cubren un área total de 3.5 millones de ha. (1.009.500 ha. en café). Estas áreas están ubicadas en 598 municipios y en 16 regiones o departamentos cafeteros.

La subsistencia de un gran número de colombianos se deriva del cultivo del café. Se estima que 2.5 millones de personas se dedican a su cultivo, el cual genera 900.000 empleos directos y 400.000 indirectos; 3.5 millones de colombianos dependen económicamente del café.

En la zona cafetera existen 350 subcuencas (Tabla 1), cuyos caudales van a las cuencas de los Ríos Cauca y Magdalena principalmente. La capacidad reguladora de estas cuencas se viene perdiendo rápidamente y las consecuencias se ven de inmediato en las grandes crecientes que producen inundaciones, erosión y en muchos casos verdaderas catástrofes como la situación de la Cuenca del Río Magdalena, en la cual se presentan inundaciones de corta duración en 400.000 ha. localizadas en la parte baja de la cuenca. Por otra parte los caudales de estiaje cada vez son menores, produciéndose sequías en

muchas regiones, paralización de la navegación, escasez de alimentos, entre otros (Cárdenas, 1990).

Estudios realizados por la Federación Nacional de Cafeteros para la zona andina, aseveran que las cantidades de tierra arable arrastrada por la erosión y transportada por el Río Magdalena al Océano Atlántico, son de aproximadamente 100 millones de metros cúbicos de sedimentos por año. Esta situación se puede corroborar en los Departamentos de Huila, Tolima y parte del Cauca y Cundinamarca. Allí se muestra una tasa promedio de erosión de 327

toneladas por hectárea año y unas pérdidas de suelo de más de 1837 millones de toneladas por año (Cárdenas, 1990).

En la zona cafetera existen suelos con diversa vocación para la agricultura, pastos y bosques. Quevedo (1986) reporta diferentes aptitudes óptimas de uso en un total de 3.060.011 ha. de acuerdo con la zonificación de los suelos de 14 departamentos cafeteros. El café presenta la mayor área (1.082.012 ha.), le siguen los pastos con 670.657 ha; las menores áreas registradas son para cacao (131.408 ha.) y hortalizas (40.414 ha.) (Tabla 2).

TABLA 1. Plan de manejo integral de cuencas hidrográficas en zona cafetera con recursos provenientes de ahorro de arancel cafetero (Cárdenas, 1990).

Departamentos Cafeteros	Subcuencas	Zona Cafetera	Estimativo Población
	N°	Area Total (ha)	Cafetera 1985
Antioquia	55	2.332.300	380.966
Boyacá	7	748.500	73.945
Caldas	20	546.700	140.394
Cauca	18	1.424.000	214.680
Cesar	30	522.800	12.562
Chocó	2	58.100	
Cundinamarca	18	1.310.900	170.942
Guajira	17	313.100	3.577
Huila	25	1.517.300	92.057
Magdalena	14	386.700	8.764
Nariño	13	815.800	71.914
Norte Santander	39	782.000	68.195
Quindío	3	180.300	43.817
Risaralda	10	311.800	87.936
Santander	17	1.387.300	91.058
Tolima	28	1.325.600	142.960
Valle	32	1.101.600	128.380
Meta	1	654.700	
Casanare	1	137.300	
TOTAL	350	15.856.800	1.732.147

FUENTE: Departamento de Estudios Básicos Cafeteros (PROCAM) Plan de Acción Desarrollo Social Zona Cafetera.

TABLA 2. Area óptima para cultivos de café y de diversificación por departamentos expresada en hectáreas (Quevedo, 1986).

Departamento	Café	Caña	Cacao	Hortali- zias	Pastos	Bosques	Vege- tación natural	Uso res- tringido	Otros*	Total
Antioquia	54.695	37.005	15.075		20.367	44.190	6.172		1.042	178.546
Cundinamarca	87.318	50.640	6.190	14.850	70.620	18.100	35.630	42.060	280	325.698
Cauca	119.900	12.430			21.520	94.290		11.460		259.590
Tolima	117.062	61.187	36.234	16.828	212.624		13.531		219	457.685
N. de Santander	26.387	3.555	3.528		9.630	5.862	8.899	5.861	900	64.622
Cesar	9.292	267			9.300	1.438	180	552	362	21.391
Nariño	4.575	9.875			1.485	607		2.865	4.800	24.207
Valle del Cauca	182.667									182.667
Santander	96.936	11.526	38.222		110.494	14.046	33.306	54.674		359.204
Boyacá	34.219	6.032			28.699	6.129		7.485	8.397	90.961
Caldas	122.107	4.589	19.635		122.337	25.396	52.338	49.299	2.167	397.888
Quindío	47.000	4.500	6.000	486	1.830	9.600	7.700		42.000	119.116
Risaralda	70.733	6.028	4.777	7.950	33.080	15.922	3.213		33.000	174.703
Huila	109.121		1.747		28.671	61.027	99.471	81.314	22.402	403.753
TOTAL	1.082.012	207.634	131.408	40.114	670.657	296.607	260.440	255.570	115.569	3.060.011

* Antioquia (plátano), Cundinamarca (banano), Tolima (banano), Norte de Santander (fique), Cesar (banano), Nariño (fique), Boyacá (sin uso racional), Caldas (reforestación proteccionista, maíz), Huila (maíz).

MANEJO INTEGRADO DE LOS SUELOS DE LADERA PARA MANTENER UNA PRODUCCION SOSTENIBLE EN LA ZONA CAFETERA

Desde 1927 cuando se fundó la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, se ha orientado el desarrollo integral de las áreas rurales para lograr el bienestar y la elevación del nivel de vida de las comu-

nidades cafeteras, buscando mantener el equilibrio entre los aspectos técnicos, económicos, sociales y ecológicos, considerando el manejo de los recursos naturales: Suelos, aguas y bosques como parte integral de la política de desarrollo de las familias cafeteras, concepción que ha reiterado en sus acciones desarrolladas a través de la investigación, la extensión, la diversificación y los apoyos a los planes y programas de reforestación que se adelantan en el país.

Dentro de estos recursos naturales, el suelo, su estudio y caracterización, y la determinación de la vocación potencial de uso, el manejo y la conservación, ha sido preocupación permanente de la Federación de Cafeteros. Es así como en 1945 el XV Congreso Nacional de Cafeteros creó la Campaña de Defensa y Restauración de los Suelos y en 1959 se suspendió ésta como tal por orden del XXI Congreso Nacional Cafetero, el cual concretó las campañas técnicas existentes en el Servicio de Extensión creado a partir de 1960. Se dió mayor énfasis a la parte educativa, tratando de armonizar la conservación de los suelos con el manejo del mismo cafetal. En este mismo año se creó en el Centro Nacional de Investigaciones del Café, Cenicafé, la Sección de Conservación de Suelos para que se encargara de continuar con la investigación que llevaba la campaña de Defensa y Restauración de Suelos, como apoyo a los aspectos básicos y técnicos para el buen uso, manejo y conservación de los mismos.

En los últimos años ha sido nuevamente preocupación de la entidad el problema de la erosión. Así, el XXXI Congreso Nacional de Cafeteros de 1973 ordenó la preparación de un manual de Conservación de Suelos de Ladera, con el fin de interpretar las investigaciones de CENICAFE sobre este aspecto y reunir las experiencias de quienes han trabajado en estas materias, relacionándolas con los estudios de zonificación de suelos. El manual ha servido de orientación técnica sobre el manejo integral de los suelos tanto para la Federación de Cafeteros, como para las instituciones agropecuarias, universidades del país y algunas corporaciones autónomas regionales.

A partir de 1977 se estructuró una Campaña de Conservación de Suelos de carácter divulgativo y educativo, la cual desarrolla actualmente la Subgerencia General Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros a través de la División del Servicio de Extensión y los medios de comunicación (prensa, radio, televisión, cine, libros, folletos, videos, afiches, canciones). Se estableció un programa institucional de televisión de educación masiva de la población sobre ecología integral: "El Profesor Yarumo", de gran impacto nacional e internacional.

Esta institución también ha establecido normas técnicas de conservación de suelos para la instalación, renovación y manejo de cafetales, con crédito y asistencia técnica a cargo de la entidad (Resolución No. 2 de 1975 del Subcomité Técnico).

La política en materia de conservación de suelos de la Federación Nacional de Cafeteros tiene como objetivos: I) Conservar el recurso natural del suelo, que en la práctica a corto plazo no es renovable, II) Mantener un nivel sostenible de la productividad de los suelos con miras a elevar el nivel y calidad de vida del usuario y su familia, III) Desarrollar tecnologías apropiadas para el uso, manejo y conservación de suelos y aguas en condiciones de ladera, compatibles con las prácticas de explotación de las tierras por los caficultores; IV) Lograr un ordenamiento integral de los recursos suelo - planta - animal - infraestructura - hombre, a nivel de finca y cuenca hidrográfica de la zona cafetera, para obtener eficiencia económica del uso, manejo y conservación del suelo y el agua y preservar el ambiente. V) Formular normas técnicas prácticas y apropiadas sobre uso, manejo y conservación de los suelos y el agua y darlas a conocer a los extensionistas que asesoran a los agricultores en la adopción de sistemas de producción con conservación de suelos y aguas, en las áreas agrícolas de la zona cafetera.

A partir de la investigación se han generado tecnologías apropiadas y prácticas de conservación de suelos aplicables y asequibles a los agricultores. Desde el año de 1982 se investiga en el manejo integrado de las malezas de café, para hacer de esta actividad una práctica de manejo de conservación dentro del sistema de producción y no que sea causa de erosión como viene ocurriendo a nivel de agricultor. Se han publicado dos libros al respecto: "Manejo Integrado de Malezas en Cafetales y Potreros" y "Descripción de Malezas en Plantaciones de Café".

El contrato suscrito en 1988 entre el Gobierno y la Federación Nacional de Cafeteros para el manejo del Fondo Nacional del Café, le señala a la Federación -de manera explícita- la necesidad de adelantar una política que busque la conservación y el buen manejo de los recursos naturales renovables; y el pasado Congreso Nacional de Cafeteros (1989), le reitera a las directivas de la Entidad la conveniencia de estructurar políticas al respecto.

TECNIFICACION DE LA CAFICULTURA

Con los resultados de la investigación de Cenicafé y la mística del Servicio de Extensión, ha sido posible la transformación de la caficultura

colombiana hacia una modernización de los sistemas de cultivo, con la activa participación no solamente de los medianos y grandes empresarios sino -lo que es más importante- con la gran cantidad de pequeños minifundistas.

Así se consiguieron resultados concretos tales como duplicar la producción de café en los últimos lustros sin aumentar significativamente el área, mantener la calidad del grano y defender el ingreso de los productores y conservar los suelos y el medio ambiente (Valenzuela, 1990).

La Federación ha sido abanderada de los programas educativos para la juventud rural y la mujer campesina en coordinación con las entidades oficiales y privadas. También demostró la eficiencia de educar masivamente al campesino con métodos modernos de extensión agrícola, utilizando la radio y la televisión como lo prueba el éxito del programa del " Profesor Yarumo", ya mencionado.

Se han logrado éxitos importantes en la defensa fitosanitaria del cafeto, mediante la obtención de variedades resistentes a la enfermedad denominada roya y el manejo adecuado de la misma. También se han sentado las bases para el control integrado de plagas, enfermedades y malezas, incluyendo el control biológico de la broca del café, plaga insectil de reciente aparición en la zona cafetera colombiana.

Igualmente las investigaciones en el procesamiento del café por vía húmeda, muestra tendencias promisorias en cuanto a economía de agua, racionalización de las distintas etapas del proceso y tratamiento de las aguas de lavado y de la pulpa, para evitar la contaminación de las fuentes de agua, todo con el objetivo central de reducir costos y mantener la calidad del café colombiano y defender el ambiente (Valenzuela, 1990).

Toda la experiencia técnica de la Federación debe aprovecharse con mayor intensidad- hoy más que nunca- cuando las condiciones del mercado internacional han variado sustancialmente y los precios están deprimidos, para compensar en parte este problema.

Es necesario, dentro de la nueva política agropecuaria de apertura con gradualidad garantizarle al cafetero, un precio real adecuado y crédito suficiente y oportuno y con plazos e intereses ade-

cuados, para sostener el interés de los productores en el establecimiento de sistemas de producción integrales de manejo de suelos, que permitan una producción sostenible sin detrimento del suelo y del medio ambiente (Valenzuela, 1990). En el curso del año cafetero 1988/89 se tecnificaron 84.109 ha. incluídas tanto la renovación por siembra como por zoca. Durante los últimos cuatro años cafeteros la tecnificación alcanzó las 300.000 ha. Hoy el área tecnificada es de 640.000 ha. (cerca del 60% del área total cultivada) y responde por más del 75% de la producción registrada.

La diversificación de la producción de la zona cafetera como programa lleva 26 años, tiene como objetivos buscar el mejoramiento del habitante del área cafetera al diversificar sus ingresos. La Federación se ha constituido como promotora del desarrollo y auxiliar de las comunidades rurales. Los técnicos son coordinadores y orientadores de los recursos disponibles para que los mismos agricultores logren su propio desarrollo (Uribe, 1989).

LA CONSERVACION DE SUELOS COMO RESPUESTA AL MANEJO INTEGRADO EN LA ZONA CAFETERA

La conservación de los suelos debe ser preocupación principal de todos los colombianos y ningún ciudadano debe destruirlos, aun cuando hagan parte de su patrimonio, pues las generaciones futuras también tienen derecho a disfrutar del suelo, como bien social que es. Si se analizan las causas de la decadencia de la agricultura en algunos departamentos colombianos, se llegaría a la conclusión de que una de las principales causas es el empobrecimiento de los suelos debido a la erosión, por mal manejo de los mismos.

Se puede afirmar que en todos los climas, suelos y clases de explotaciones, se requieren obras y prácticas de conservación ya sea para remediar o prevenir la erosión, para aprovechar mejor los suelos y las aguas o para la protección del ambiente. Las prácticas de conservación, especialmente en las laderas, buscan sostener los niveles de la capacidad de producción del suelo y conservar la fertilidad natural por el mayor tiempo posible.

Con buenas prácticas de cultivo y la selección de

variedades productivas junto con un sistema apropiado de siembra y manejo de suelos, se logra aumentar los rendimientos por unidad de área, para mejorar el nivel y calidad de vida de las gentes.

Toda obra o práctica que se realice debe ser remunerativa. Es decir, que tenga un beneficio económico, técnico y social al aumentar o al sostener la producción y evitar pérdidas. Para lograrlo, debe hacerse una explotación integral, con óptimas prácticas agronómicas y de manejo.

Teniendo conciencia de los daños directos que causa la erosión y del deterioro de las fincas por cárcavas, derrumbes y problemas más complejos de remoción masal, no debe dudarse que los gastos que se hagan en la lucha para prevenir la erosión se pagarán en muy corto plazo, quizá en el tiempo en que se tarda en recoger una cosecha. Los controles de la erosión son muy costosos y afectan la producción y la rentabilidad.

Hay prácticas que buscan mejorar las condiciones de producción y la resistencia de los suelos a la erosión. Por ejemplo: Retener el agua en las zonas secas, mejorar la estructura y la relación aire/agua del suelo con materia orgánica y aumentar la cantidad y aprovechamiento de los nutrimentos por las plantas. Otras obras tienen por objeto la lucha directa contra los efectos causados por la erosión, tales como corrección de cárcavas y derrumbes, control de la torrencialidad de las quebradas y recuperación de zonas agotadas o erosionadas.

Así como se conservan las máquinas y construcciones, hay que tener conciencia que la tierra necesita conservarse como capital fundamental para la agricultura y la ganadería. La práctica y obras de conservación buscan disminuir o anular el efecto de los factores que favorecen la erosión. Por ejemplo, amortiguar el golpe de las gotas de lluvia, disminuir la velocidad de las aguas de escorrentía, encauzar las aguas sobrantes o proteger la estructura del suelo.

El agotamiento de los suelos por pérdida de su espesor o de sus nutrimentos naturales, ha incrementado el sistema de cultivo con fertilizantes químicos cada día más costosos. El sostenimiento de la fertilidad natural y su enriquecimiento con procesos y materiales biológicos, es una de las formas como la conservación contribuye a reducir los costos de fertilización o a mantenerlos constantes, tales como el

uso de la pulpa de café descompuesta, los compostes, el humus producido por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida Sav*), con beneficios adicionales al suelo como acondicionadores físicos.

Hay otros beneficios indirectos o intangibles que favorecen a la comunidad y a las generaciones futuras, como son la regulación de la torrencialidad, de la cantidad y de la calidad de las aguas; la protección de los asentamientos de las poblaciones, de las vías y el mejoramiento de las condiciones de vida humana y ecológicas para la fauna, la flora y los microorganismos benéficos (Federacafé, 1975).

No obstante que se cuenta actualmente con tecnología apropiada para el uso, manejo y la conservación integral de los suelos de ladera como base en la investigación de las relaciones suelo - clima - planta - animal - infraestructura - hombre realizadas por varias instituciones tales como el INDERENA, la CVC, CIAT, FEDERACAFE, ICA, DRI y Universidades, no ha habido la adopción de la misma en la intensidad y la extensión que se requiere quizá por falta de políticas coherentes, normalización de las técnicas entre las diferentes instituciones y una transferencia oportuna, conveniente y eficiente hacia el agricultor. En el país no hay conciencia de conservación de los recursos naturales, no hay políticas coherentes al respecto.

En Cenicafé se han estudiado los diferentes sistemas de producción de café, tanto al sol como a la sombra, desde el punto de vista de los peligros que ofrece su establecimiento y manejo para el suelo. Esto ha permitido diseñar sistemas integrales de uso, manejo y conservación con los menores riesgos de erosión. Se ha elaborado una escala del grado de erosión, en función de las pérdidas anuales de suelo superficial, que orienta la selección de sistemas de producción y el manejo de los suelos, y la necesidad de complementarlos con prácticas de conservación preventivas de la erosión (Gómez, 1981; Federacafé, 1982).

PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS

Cenicafé ha estudiado los métodos más sencillos y baratos para conservar los suelos y su fertilidad, especialmente para proteger la zona de ladera. Se ha

encontrado que las siguientes prácticas son prioritarias como apoyo en un programa integral de conservación de suelos:

- Selección y localización apropiada de los cultivos.
- Siembra en contorno, con labranza de conservación.
- Fertilización apropiada.
- Conservación de las plantas de cobertura de porte bajo en las calles de los cafetales (plantas nobles).
- Desyerbas con manejo y control integrado.
- Siembras de barreras vivas.
- Sombrío en los cafetales, en las pendientes fuertes y en los suelos susceptibles a la erosión.
- Mulch, que puede lograrse con las ramillas provenientes del zoqueo.
- Cultivos intercalados apropiadamente sin competencia.
- Acequias de ladera y de desagüe.
- Terrazas individuales.
- Conducción de aguas de escorrentía a sitios protegidos.
- Vegetación multiestrata en zonas de evacuación de agua.
- Amarre de riberas de los ríos y bases de taludes con vegetación de protección.

Muchas de estas prácticas han sido evaluadas desde el punto de vista de la eficiencia como factor temperante de la erosión y entre otros datos se tienen los siguientes índices (Gómez, 1990): Siembra de contorno (30%); barreras vivas (60%); cultivo en fajas (60%); sombrío de guamo (*Inga* spp) (95%); coberturas "nobles" (97%); empastado (gramíneas) (99%); bosque - sotobosque (99%).

MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRAFICAS EN ZONA CAFETERA Y DE INFLUENCIA CAFETERA

La planificación del uso, manejo y conservación del suelo, tiene como objetivos: Determinar la aptitud o vocación de las tierras para usufructuarlas en forma apropiada; establecer sistemas apropiados de producción acorde con las facilidades técnicas y económicas del agricultor; minimizar y prevenir los daños causados por los factores de erosión mediante prácticas de conservación; incrementar la productividad de los suelos mediante la aplicación de sistemas de manejos técnicos, apropiados, oportunos y de bajo costo que hayan demostrado alta eficiencia en condi-

ciones análogas; conservar los recursos agua, suelo y planta, mediante un programa integral, a largo plazo, prioritariamente preventivo, haciendo un uso racional de éstos.

Se debe buscar que cada día se logre cubrir más áreas con prácticas de conservación combinadas con manejo adecuado de los sistemas de protección adaptados a las condiciones ecológicas y del agricultor.

El hombre debe desarrollar una actividad ordenada y planificada dentro del área física en la cuenca hidrográfica para aprovechar los recursos naturales, para buscar una producción sostenible en el tiempo y en el espacio en tal forma que incremente el bienestar social y económico del hombre y eleve el nivel y calidad de vida de la comunidad. Se plantea el plan de uso, manejo y conservación de la cuenca con múltiples objetivos: Social, económico y de conservación, en forma integrada.

Para concretar un plan de ordenamiento del uso, manejo y conservación del sistema suelo - agua - planta de una cuenca hidrográfica, o finca, se requiere establecer en forma clara los objetivos de dicho ordenamiento, los cuales se deben definir antes de iniciar el trabajo de campo, ya que éste depende de los mismos, al igual que el inventario, el diagnóstico, la priorización, los planes de acción y la participación y concertación institucional. El aspecto más importante en un plan de ordenamiento es la participación de la comunidad al expresar sus necesidades, al concretar el diagnóstico participativo y la acción directa de ésta en el manejo de los recursos naturales (Sánchez, Gómez, Jaramillo, 1989).

La Gerencia General de la Federación de Cafeteros presentó en noviembre de 1990 al Comité Nacional, para estudio y aprobación, un proyecto sobre el manejo integral de las cuencas hidrográficas, el cual hace parte del programa de acción forestal de Colombia (PAFC) (Cárdenas, 1990). Este busca crear las condiciones para la constitución de una tradición sobre el manejo integral de los recursos forestales particularmente bosques, suelos y aguas en las subcuencas de la zona cafetera, contribuyendo así a evitar graves procesos de deterioro ecológico, para preservar la potencialidad productiva de los recursos naturales renovables y su diversidad genética, y lograr el incremento sostenido del sector agropecuario. En este sentido el proyecto busca contribuir al logro de la protección y recuperación de las

cuencas hidrográficas más importantes del país. Este proyecto es de alta prioridad a nivel del gobierno y de la sociedad colombiana.

En segunda instancia busca ampliar y fortalecer los vínculos y compromisos del sector cafetero con sus propios programas y empresas forestales de protección de microcuencas de acueductos veredales y municipales en las regiones cafeteras, con participación comunitaria, y que consoliden núcleos de desarrollo forestal con base en el concepto de bosques protectores productores dentro de una estrategia mixta de diversificación de la economía cafetera y conservación de los recursos naturales renovables.

Finalmente, busca contribuir al logro de la estrategia general de establecer bosques protectores productores para disminuir la presión sobre los bosques naturales existentes en el área andina, y lograr el manejo y tratamiento de las aguas residuales del café para su descontaminación y posterior aprovechamiento por la población (Cárdenas, 1990).

Para incentivar la conservación y el manejo de los recursos naturales renovables entre el gremio cafetero, así como promover la creación de nuevas industrias que generen empleo e ingresos diferentes del café, la Federación ha venido desarrollando programas de diversificación hace 26 años y programas forestales en varios frentes desde 1970, aunque con ciertas restricciones financieras debido a la mala situación de los precios internacionales del grano, dificultades de comercialización de maderas plantadas y las condiciones internas de crédito de fomento para las actividades reforestadoras. Estos programas, que se desarrollan a través de Cenicafé, de los Comités Departamentales de Cafeteros, de Convenios Interinstitucionales y de Corporaciones Forestales, en las cuales tienen participación como accionistas, abarcan las siguientes bases.

- Programas de investigación sobre erosión y conservación de suelos.
- Programas de uso, manejo y conservación de suelos en las fincas y microcuencas cafeteras.
- Campañas de educación y divulgación.
- Manejo integral de microcuencas cafeteras que surten de agua los acueductos veredales.
- Fomento y estímulo a la siembra de bosques comerciales protectores

- Utilización de especies maderables nativas que pueden ser plantadas en asocio con plantas de café y cacao.

- Implementación de otros sistemas agroforestales (cultivos de café, fríjol, maíz y lulo asociados con árboles).

- Implementación de otros sistemas silvopastoriles (ganado de levante asociado con árboles).

- Fomento y estímulo del mercado y la industrialización de madera de plantaciones.

- Manejo de áreas de reserva forestal.

- Investigaciones de especies nativas y exóticas y protección de suelos. Adicionalmente, la Federación ha adelantado estudios detallados de las actividades agroecológicas y económicas de las áreas de los departamentos cafeteros, lo cual le ha permitido realizar una zonificación relativamente precisa a escala 1:10.000 para orientar sus programas forestales, agrícolas y pecuarios.

A través de los Comités la Federación ha realizado trabajos de manejo integral en 73 microcuencas de acueductos rurales en los Departamentos de Huila, Tolima y Quindío, con acciones demostrativas para el resto de las zonas cafeteras. En el Departamento de Caldas, programa DRI, en 14 microcuencas y en 14 acueductos veredales en poblaciones socioeconómicamente deprimidas. En estos casos se trata de esfuerzos asociativos de las entidades interesadas y de los Comités de Cafeteros de cada departamento que brinda la asistencia necesaria y cofinancia las inversiones requeridas como el sistema implantado por el Comité de Cafeteros del Tolima.

A través de dicho proyecto se busca reforzar los programas que se están realizando en los Departamentos de Caldas, Tolima, Huila, Valle y Quindío, y llevar los programas de recuperación y conservación a otros departamentos mediante planes en zonas prioritarias desde el punto de vista simultáneo de conservación y producción forestal y para fortalecer los programas de microcuencas y acueductos.

Para apoyar el programa se cuenta con la infraestructura establecida por la Federación y el apoyo ofrecido por diez corporaciones forestales ubicadas en igual número de departamentos. El desarrollo de estas corporaciones se logró a través de la Federación de Cafeteros, con recursos del Fondo Nacional del Café que participa en el capital accionario de nueve de ellas, habiendo sido fundadora en la mayoría de estas entidades. Gran parte de

estas corporaciones tienen más de diez años de funcionamiento y sólo han logrado reforestar en tierra propia cerca de 10.000 ha. de las 17.000 ha. totales adquiridas; el resto del área está en bosques netamente protectores. Estas corporaciones no han podido lograr sus objetivos, debido a su deficiente gestión administrativa e insuficiente apoyo financiero.

INVERSIONES DEL PROGRAMA DE MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRAFICAS

El programa enunciado en el punto anterior incluye:

- Siembra de 158.017 ha. correspondientes al 21% del área potencial ubicada entre las cotas 1.800 a 2.300 m.s.n.m. a un ritmo de 39.504 ha. por año, de las cuales 33.579 ha. (85%) son bosques protectores comerciales y 5.926 ha. (15%) bosques netamente protectores, ubicados en los nacimientos que surten los acueductos. El plan de siembra de bosques protectores comerciales tiene un costo de \$50.620 millones, y \$311.000 millones para bosques netamente protectores.

- Se considera la compra del 40% de las tierras requeridas para el establecimiento de bosques protectores comerciales. Los bosques netamente protectores los comprarán directamente los Comités y/o asociación de usuarios de acueductos, el resto de predios debe ser aportado por los propietarios particulares, de acuerdo con planes de fomento de esta actividad. El costo de tierras tiene un monto total de \$17.318 millones.

- El programa de reforestación netamente protectora en la zona cafetera será asumido directamente por los Comités de Cafeteros a través del personal del Servicio de Extensión y con el apoyo logístico y técnico de las Corporaciones Forestales, Corporaciones Autónomas Regionales e INDERENA, y por fuera de ellas serán realizadas por otras instituciones del sector.

- El programa de reforestación protectora -comercial será realizado por las corporaciones Forestales, con orientación y responsabilidad directa de los Comités de Cafeteros y asesorados por la Fundación que se

creará para poder llevar a cabo el proyecto. Inicialmente se utilizará como recursos para la fundación, como capital semilla, los recursos provenientes del ahorro del arancel cafetero, que le concede la Comunidad Económica Europea, convenio de cooperación financiera suscrito entre la República Federal de Alemania (RFA) y de Colombia para la reforestación protectora - productiva de la cuenca alta y media del Río Magdalena, en el apoyo del plan de acción forestal para Colombia (PAFC).

También se incluirán los presupuestos de las Corporaciones Autónomas Regionales, Corporaciones Forestales, INDERENA, Alcaldías, Secretarías de Agricultura y de Salud, PMA, SENA, FEN, ISA, Empresas de servicios públicos e INCO-RA, involucrando las partidas que estas instituciones tienen para realizar las actividades de recuperación y protección de cuencas hidrográficas así como todos los recursos adicionales que puedan conseguirse con este propósito y recursos externos de otra naturaleza (Cárdenas, 1990).

FUNDACION PARA EL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS

Se creará una fundación que tendrá como misión la administración, coordinación, asesoría y manejo de los recursos financieros en desarrollo de programas, con los Comités de Cafeteros, así como las Corporaciones Forestales.

La Fundación, a través de las Corporaciones Autónomas Regionales, el INDERENA y la Federación Nacional de Cafeteros, adelantará los estudios y determinará las tecnologías apropiadas para la conservación de suelos, diagnóstico de las microcuencas y tratamiento de aguas residuales del café y humanas, potabilización de aguas y programas educativos y de investigación.

La Fundación es una entidad sin ánimo de lucro, de derecho privado, patrocinada por el gremio cafetero. Tendrá como objetivo principal promover e impulsar proyectos de recuperación y manejo de ecosistemas en las zonas cafeteras y de influencia cafetera, desarrollando trabajos propios y coordinando con instituciones tanto públicas como privadas que actualmente están trabajando en el manejo de los

recursos naturales (Cárdenas, 1990).

ORGANIZACION Y PARTICIPACION DE LA COMUNIDAD

La participación de todos los miembros de la comunidad es fundamental para manejar los recursos naturales de la cuenca, usufructuarlos racionalmente y conservar las producciones a niveles sostenibles. Se debe contar con una comunidad informada, capacitada, consciente, activa, participativa, corresponsable y con pertenencia. Si no existe ningún tipo de

integración, se debe inducir a la comunidad para que se organice y participen todos en los cambios necesarios y en las acciones por realizar al ordenar la cuenca, por medio de la adopción conjunta de nuevas técnicas de producción con criterio de conservación de los recursos naturales.

Para tener éxito se requiere que la actividad principal de los miembros de la comunidad sea común y que estén dispuestos a comprometerse en todas las actividades que desarrollan con los grupos que se organicen y durante todo el tiempo que se requiere

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. CARDENAS G., J. 1990. Propuesta para el manejo integral de cuencas hidrográficas en zona cafetera. De: Gerente General. Para: Miembros Comité Nacional de Cafeteros. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Bogotá (Colombia).
2. CORTES L., A. 1982 Geografía de los suelos de Colombia. Bogotá (Colombia). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
3. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. Bogotá (Colombia). 1988. Plan de Acción Forestal para Colombia, Boletín de la Planeación No. 12, Bogotá (Colombia).
4. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA (FEDERACAFE). CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACION DE CAFE, 1975, Manual de conservación de suelos de ladera, 1a ed. Chinchiná (Colombia).
5. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. 1983, Censo cafetero nacional 1980 - 1981. Bogotá (Colombia).
6. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE, 1982. Cuarenta años de investigación de Cenicafé. Suelos, Vol, 1, Chinchiná (Colombia).
7. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. 1988. Plan quinquenal de investigación 1989-1993. Sección de Conservación de Suelos, (Oficio interno N° 00850 marzo de 1988), Chinchiná (Colombia).
8. GOMEZ A., A. 1979. Clasificación del uso potencial de tierras de ladera, Sistema I.U.M. Chinchiná (Colombia).
9. GOMEZ A., A. 1981. Experiencias de Federacafé en la erosión y la conservación de los Suelos Andinos. Revista Cafetera de Colombia, Bogotá (Colombia). 30 (178): 29-40.
10. GOMEZ A., A. 1988. La zona andina Colombiana. Erosión y conservación de suelos, Suelos Ecuatoriales (Colombia), XVIII (2): 27-39.

11. GOMEZ A., A. 1989. Políticas y acciones en conservación de suelos en Colombia. In: Reunión de expertos en conservación de suelos, San José (Costa Rica).
12. GOMEZ A., A. 1990. Las malezas nobles previenen la erosión. (Avances técnicos Cenicafé No. 151). Chinchiná (Colombia).
13. HOWELER A., H. 1984. Prácticas de conservación de suelos para cultivos anuales, In : Seminario sobre manejo y conservación de suelos. 1. Cali (Colombia), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. pp. 77-93.
14. JARAMILLO R., A. 1987. Características climáticas de la zona cafetera. In: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Comité Departamental de Cafeteros de Caldas. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchiná (Colombia). Tecnología del Cultivo del Café. Manizales. Litografía Cafetera.
15. KOGSON Q., J.F. 1988. Análisis de la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia en la zona cafetera colombiana. (Tesis Ingeniero Agrónomo), Universidad de Caldas, Manizales (Colombia).
16. MONTENEGRO G., H.; OLMOS E., M. 1988. Inventario de los problemas de erosión y degradación de los suelos de Colombia. Suelos Ecuatoriales (Colombia). XVIII (2): 9 - 22.
17. QUEVEDO P., H. 1986. Características físicas, químicas y taxonómicas de los suelos de la zona cafetera Colombiana. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Bogotá (Colombia).
18. RIVERA P., H. 1990. Determinación de los índices de erosividad, erodabilidad y erosión potencial en la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda) (Tesis Magister) Universidad Nacional de Colombia (Palmira).
19. SANCHEZ C., G.; GOMEZ A., A.; JARAMILLO R., A. 1989. Plan de uso, manejo y conservación del suelo y aguas para la Cuenca Hidrográficas del Río Gris, Municipio de Génova - Quindío. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Comité Departamental de Cafeteros del Quindío División Técnica, Armenia (Colombia).
20. URIBE A , H. 1989. En busca del mejor estar del habitante de la zona cafetera. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Bogotá (Colombia).
21. VALENZUELA S., G. 1990. Discurso de agradecimiento al recibir la Medalla al Mérito Cafetero "Manuel Mejía". Bogotá (Colombia).

MANAGEMENT ALTERNATIVES FOR SOILS IN THE ARID AND SEMIARID TROPICS

S.A. El-Swaify ¹

RESUMEN

ALTERNATIVAS DE MANEJO PARA SUELOS DE LOS TROPICOS ARIDOS Y SEMI-ARIDOS

Los suelos de los trópicos áridos y semi-áridos tienen propiedades ampliamente contrastantes, las cuales se manifiestan en diferencias claras tanto en su productividad potencial como en sus requerimientos de manejo óptimo. Dichas diferencias son más notorias bajo condiciones de temporal. Los suelos de la mayoría de los órdenes son altamente productivos con una adecuada irrigación.

Se encuentra una diversidad fundamental dentro de cada uno de los órdenes de suelos que abundan (Alfisolos, Aridisoles, Oxisoles y Vertisoles). Sin embargo, se pueden hacer muchas generalizaciones sobre los atributos, limitaciones y requerimientos de manejo de los suelos bajo condiciones de temporal.

La implantación exitosa de sistemas agrícolas productivos y sostenibles en estas regiones, requiere de la combinación de las características de las tierras con usos apropiados, la incorporación de diseños de conservación razonables para los sistemas de uso de la tierra, haciendo énfasis en el manejo del suelo y el manejo agronómico antes de acudir a medidas de ingeniería y la sensibilización de los usuarios de la tierra y los responsables de las políticas, sobre los peligros inmediatos de diferentes fuerzas de degradación que actúan contra la estabilidad de los recursos y la sostenibilidad de los ecosistemas.

SUMMARY

Soils of the arid tropics (AT) and semi-arid tropics (SAT) have widely contrasting properties which express themselves into clear differences in both potential productivity and optimum management requirements. Such differences are more notable under rainfed conditions; soils in most orders are highly productive with adequate irrigation.

Substantial diversity is encountered within each of the abundant soil orders (Alfisolos, Aridisols, Oxisols, and Vertisols). However, certain generalizations may be made on the soil-based attributes,

¹Department of Agronomy and Soil Science University of Hawaii.

constraints and management requirements of each under rainfed conditions.

The successful implementation of productive and sustainable agricultural systems in these regions requires the matching of land characteristics with appropriate land uses, incorporation of sound conservation designs in the land use system, emphasizing land husbandry and agronomic management before resorting to engineering measures, and sensitization of land users and policy makers to the imminent dangers of various degradation forces against assured resource stability and ecosystem sustainability.

The sustained success of an agricultural enterprise at a given site depends on how well it is designed and managed to meet productivity goals while systematically matching the collective characteristics of the site. Specific information for prevailing climate, topography, soils and socioeconomic factors must be integrated to formulate appropriate strategies for sustainable land use and conservation planning.

Conservation-effective farm management is requisite to sustainability. It may be defined as management which is successful in using resources wisely to meet productivity goals while maintaining the long term stability, quality and use-profitability of the natural resource base and the ecosystem. Land-based constraints and degradation are the major barriers to achieving this target. Indeed, the horrifying magnitudes of ongoing land and soil degradation around the globe necessitate the continued need for developing new, often marginal, lands for agricultural development, particularly in the tropics. Conservation effective land and soil management technologies are necessary for correcting production constraints and controlling degradation on tropical soils in general and marginal ones in particular.

Soils in different agroenvironments possess different attributes which determine their potential productivities and vulnerabilities to degradation as a result of mismanagement. For example, soil acidity and rainfall erosion hazard increase while soil salinity and desertification hazards decrease progressively as we move from arid to semi-arid then to humid regions. Although a wide diversity exists among the soils in each region, certain common principles may be applied to formulate appropriate practices for their sustainable use. Soils must be managed to match their specific attributes, to

overcome existing or potential constraints, and to accommodate farmer and population needs and preferences.

The arid tropics (AT) and semi-arid tropics (SAT) represent particular challenges to farmers who target effective management for productive and sustainable use. These regions occupy vast areas, probably exceeding 35 million km² in at least 50 countries on 4 continents (Swindale, 1982 and Kanwar, 1986). The largest areas exist in West Africa, East Africa, South Africa, South America, Australia and South/South East Asia (El-Swaify et al. 1985). These areas are characterized by certain similarities in climate, particularly the strictly seasonal and very erratic rainfall, and staple crops (El-Swaify et al. 1985). Traditional dryland farming systems produce very low yields of all the crops (under 0.6 Mg/ha), even in "dependable" rainfall regions. There are indications, however, that many AT and SAT sites possess a higher productivity potential than indicated by such yields. While these potentials cannot be generally realized without use of irrigation improved cultivars and management have been rewarded by increases in yield of up to 10-fold or more.

The objective of this paper is to discuss important soil qualities and to present new management options which contribute to the realization of high and sustainable crop yields under rainfed conditions in these regions.

THE SOILS

El-Swaify et al. (1985), Stewart et al (1990), and Swindale (1982) provided reviews of the geographic distribution and extent of various soils. Eight of the ten orders in the U.S Soil Taxonomy are represented in these regions. Five of these orders, namely Alfisols, Aridisols, Entisols, Oxisols and

Vertisols account for over two-thirds of the land area. Within these orders, AT and SAT environments are identified at the sub-order level by aridic and ustic moisture regimes, respectively (Soil Survey Staff, 1975). The ustic moisture regime applies to tropical regions with a monsoon climate that has at least one rainy season lasting 3 months or more a year. The aridic regime is characterized by longer dry periods, all shorter rainy season and less rainfall than the ustic regime.

Figure 1 shows the geographic distribution of the important AT and SAT soils in different climatic zones. El-Swaify (1980), Fox (1980), and Theng (1980) provided considerable information on the characteristics and management of Alfisols, Oxisols, Ultisols and other soils with variable charge characteristics. A brief description of several of these soils follows.

Alfisols

Alfisols occur extensively in southern Asia, western and central Africa, and many parts of South America. These soils can be derived from many different parent rocks. Coarse textured Alfisols are most likely to develop on granites, gneiss, schists, sandstone, mica, acid trap, quartzite and shale. Fine textured Alfisols are most often derived from such rocks as chanoackite, diorite, basalts or other materials that are rich in clay forming minerals. Weathering of lime-bearing feldspars may produce lime concretions which appear in the form of discrete nodules or thick veins. An important profile feature of many Alfisols is the so called "murrum" layer which is a distinct layer of gravel and weathered rock fragments occurring at lower depths. The extent to which murrum impedes root development and growth is unclear, but appears highly dependent on water content.

Characteristically these soils have a coarse-textured surface horizon; clay content increases with depth. By definition, Alfisols possess an argillic horizon which comprises the "control section" within the profile. The high base saturation of this section (>35%) distinguishes them from Ultisols. Argillic horizons may compound the contribution of "murrum" layers in inhibiting root development and, in turn, prevent crops from withstanding even moderate droughts (Charreau and Nicou, 1971). Because of the flexibility in the criteria which

characterize the argillic horizon, many diverse soils are included in this taxonomic order (El-Swaify et al. 1984). To distinguish among these, criteria based on the definition of the eluvial horizon, different parent materials and clay mineralogy must be used. For example the Alfisols of peninsular India generally contain a higher percentage of clay-sized particles and active clays (e.g. 2:1 layer silicates) than those in western Africa. Clay mineralogy is primarily kaolinitic with varying sesquioxide content. These soils may be considered of moderate potential for P-fixation (Fox, 1980).

Among Alfisols in the SAT, Haplustalfs, Paleustalfs and Rhodustalfs are the most important agriculturally. Their respective profiles may be respectively designated as thin, thick and eutrophic (derived from basic parent material, Swindale [1982]). Alfisols appear to belong to several of the soil map units in the FAO/UNESCO soil maps of the world (FAO/UNESCO 1974-1978), namely Luvisols, Nitosols and Arenosols. Those in India are likely grouped under Chromic or Ferric Luvisols while those in western Africa are likely Luvic or Ferralic Arenosols. In the French soil classification system they are generally classified as Soils Ferrugineux. El-Swaify et al. (1984) concluded that the characterization and classification of SAT Alfisols are not sufficiently advanced to allow clear mapping and delineation. They considered these tasks to be of high priority for allowing the systematic establishment of research networks and reliable transfer of appropriate improvements in technology.

The characteristics of a typical Alfisol will be, as represented by the red soils at ICRISAT Center in Hyderabad, India (Patancheru sandy loam, a Udic Rhodustalf) are shown in Table 1. El-Swaify et al (1984; 1985) discussed the essential elements of optimized rainfed management of these soils.

Oxisols

Oxisols are representative of the highly weathered, infertile, and acid soils of the tropics. El-Swaify (1980) and other authors in Theng (1980) have reviewed their chemical, fertility, physical, mineralogical, and mechanical properties in considerable detail.

They are generally acknowledged to have good physical and aggregate stability properties and their

TABLE 1. General Characteristics of Representative Soils ^a

Depth	Horizon	Particle size analysis*					Base			
		Sand	Silt < 0.002	Clay	Water content 0.3-bar	content 15-bar	Org. C	CEC NH ₄ OAc	Saturation NH ₄ OAc	pH ^b H ₂ O
(cm)		----- pct<2mm -----			----- pct -----		(meg/100g)	(pct)		
Oxisol(Wahiawa silty Clay)										
0- 10	Ap1	9.9	30.3	59.8	34.3	24.6	2.27	20.81	66	5.41
10- 27	Ap2	8.5	28.6	62.9	32.0	23.6	1.72	18.43	45	4.95
27- 40	AB	8.5	35.7	55.8	33.4	23.9	1.41	17.58	53	5.31
40- 65	B21	8.2	30.4	52.4	40.0	33.0	0.59	13.74	64	5.78
65- 90	B22	1.6	24.8	73.6	—	—	0.36	13.01	67	6.12
90-120	B23	4.2	20.9	74.9	—	—	0.27	14.11	62	6.27
120-150	B24	6.4	23.7	69.9	—	—	0.24	14.42	65	6.37
Vertisol (Kasireddipalli Clay)										
0- 16	Ap	43.6	16.3	40.1	32.5	18.7	0.27	34.90	93	8.10
16- 57	B12	33.2	17.3	49.5	34.9	20.5	0.12	35.20	94	8.50
57-118	B13	18.9	20.4	60.7	33.4	20.5	0.18	48.30	92	8.50
118-155	B14	20.3	19.4	60.3	35.8	21.3	0.12	43.60	100+	8.20
Alfisol (Patancheru Sandy loam)										
0-5	Ap	79.3	6.4	14.3	16.2	6.3	0.55	4.80	74	6.00
5- 18	B1	66.7	5.5	27.8	20.0	12.4	0.52	8.20	64	6.90
18- 36	B21t	14.6	6.8	51.6	21.9	13.9	0.63	14.80	69	6.90
36- 71	B22t	45.0	4.4	50.6	24.8	17.4	0.40	14.10	82	6.80
71-112	B23t	54.1	7.4	36.5	23.6	16.2	0.10	9.80	88	6.50
112-140	B3	70.6	4.1	25.3	18.7	11.5	0.18	9.10	92	6.20

* Sources: Oxisol-Hawaii Benchmark Soil Project and El-Swaify (1980). Vertisol and Alfisol - El-Swaify et al. (1985)

a International textural classification for the Vertisol and Alfisol (20 um limit for silt); American textural classification for the Oxisol (50 um limit for silt).

b In 1:2.5 suspension for the Vertisol and Alfisol; 1:1 suspension for the Oxisol.

primary constitution is of "low activity" minerals such as kaolins and sesquioxides.

An Oxisol from the SAT central region of the island of Oahu, Hawaii (Wahiawa silty clay, a Tropeptic Eustrtox) is presented in Table 1 as a central concept of Oxisols. This soil is uniformly high in clay content with depth, is primarily kaolinitic with a high content of sesquioxides, possesses a high degree of aggregation and microstructural stability, has a relatively weak macrostructure and is easily compactable, has high infiltration rates, low runoff generation potential and low erodibility, has more exchange acidity and considerably higher capacity for P-sorption than other tropical soils (El-Swaify, 1980 and Fox, 1980).

Vertisols

These deep black soils, variously known as Black Cotton Soils or Black Magnesium Clays are abundant in India, Sudan, Ethiopia, Australia, the U.S. and other countries. High water holding capacity is the most distinctive property and water retention is highly associated with shrinkage and swelling. Cracks which form upon drying and progressively increase in size during the dry season can achieve impressive sizes; some believe that the roots of certain crops can be damaged as a result. In SAT Vertisols (Usterts), cracks remain open for 3-5 months or more but close when the soil reswells after the onset of the rainy season. Cracks are responsible for the high initial infiltration rates in dry Vertisols. Swelling reduces these rates several hundred fold in saturated soils. Bulk density varies from approximately 1.0 Mg/m^3 in wet (swollen) soils to 1.8 Mg/m^3 for dry soils; the density at "field capacity" ranges between 1.6 and 1.8 Mg/m^3 .

Vertisols, by definition, contain more than 30% clay-sized particles and are, therefore, heavy in texture. Vertisols may be derived from basalt, shales, limestone, volcanic rocks, tuffs, gneiss, schists and/or basic alluvium or collovium materials (El-Swaify et al., 1985). Their clay mineralogy is most often montmorillonitic, although some tropical Vertisols may be rich in halloysites and other minerals (El-Swaify et al. 1977). High clay contents and active mineralogy combine to provide Vertisols with relatively high, and permanent, cation exchange capacities (up to 70 meq/100g). Except for halloysite

-and sesquioxide-containing cases, the soils have low affinity for P sorption and, thus, display low tendency for P-fixation (Fox and Searle, 1978). Appreciable contents of CaCO_3 and CaSO_4 are not uncommon in Vertisols.

Physically, the most important attribute for *rainfed farming of Vertisols is their high content of plantavailable water* (El-Swaify et al. 1985). This is tempered, however, by the slow rate of infiltration, impeded internal drainage, poor trafficability, and the sticky nature of the soils when wet. These constraints deter the productive use of Vertisols during the rainy season; farmers traditionally crop them only with a postmonsoon crop. The soils are excessively hard and difficult to work when dry.

A well studied example of SAT and AT Vertisols is the Kasireddepalli series (a Typic Pellustert) at ICRISAT Center, in Hyderabad, India. Major characteristics of this soil are shown in Table 1.

CONSTRAINTS FOR PRODUCTIVE RAINFED FARMING

General Constraints

Climatic constraints are often the most critical determinants of productive agriculture in the AT and SAT. Stewart et al (1990), proposed a generalized scheme for assessing the difficulty of achieving agricultural sustainability as determined by the combined effects of temperature and moisture regimes. The scheme assumes that this difficulty is directly proportional to the amount of precipitation and inversely proportional to the temperature at a given site. They justified their reasoning with view of the various uncertainties and soil degradation processes which come into play at different climatic regions; the most dominant of these being soil erosion, organic matter decline and the breakdown of soil structure. They also suggested that the benefits that can be derived from soil conservation practices in unfavorable (hot and arid) environments are lower than those in their favorable (cool and wet) counterparts. Their schematic diagram is shown in Figure 2. Figure 3 shows an application of this concept to specific geographic locations with contrasting climates around the globe.

DESIGNING SUSTAINABLE CONSERVATION-EFFECTIVE RAINFED FARMING SYSTEMS

Elements of climatic risk in AT and SAT regions have been analyzed by many previous authors (e.g. Virmani et al, 1978). These include strict rainfall seasonality, with the vast majority of annual precipitation falling in the rainy (e.g. Monsoon) season; wide rainfall fluctuations between and within rainy seasons; and a high uncertainty in the dates of arrival and withdrawal of seasonal rainfall. Soil characteristics are critical for determining the extent to which productive and sustainable farming can be designed and realized in a particular climatic setting.

Soil-Based Constraints

The contrasting characteristics of the major soils which affect their respective productivity potentials are basically attributable to differences in explorable rooting depth, particle size distribution, gravel content, aggregation and structural characteristics, mineralogy, water retention and transmission properties, and horizon differentiation and depth within the soil profile.

These reflect themselves into differences in the retention, release and availability of water and nutrients, accumulation and stabilization of organic matter, internal drainage, potential for runoff and erosion, and vulnerability to sealing, crusting and compaction. Acidity is a constraint in Oxisols and can be a constraint in "border-line" Alfisols, such as those in West Africa (El-Swaify *et al.* 1984). Salinity can be a constraint in Vertisols and the soils are quite sensitive to even low levels of sodicity (El-Swaify *et al.* 1977)

A discussion of soil-based constraints is incomplete without some focus on the impact of water losses as excess runoff on soil productivity. Such losses are critical, particularly under rainfed conditions. El-Swaify (1987) estimated that current management practices allow runoff losses of 26%, 28%, and 15% rainfall for selected soils representing Alfisols, Vertisols, and Oxisols, respectively. Reducing these losses and maximizing the use efficiency of rainfall are important management objectives for realizing the potential productivity of the soils.

Traditional farming systems in the rainfed tropics generally provide inadequate protection against erosional forces and so favor perpetual resource degradation (El-Swaify *et al.* 1985). The impacts of water loss are also well recognized in areas with marginal and distinctly seasonal rainfall. Significant short - and long - term benefits, therefore, can be reaped from implementing effective conservation practices in tropical rainfed areas.

Available information indicates that improved agronomic practices and overcoming soil-based constraints receive less emphasis than engineering measures in designing conservation projects in the tropics (El-Swaify *et al.*, 1988 and 1988b). A balanced approach to improved management of Alfisols and Vertisols by combined use of land shaping, biological and soil fertility management was presented by El-Swaify *et al.*, 1985. The reader is referred to that publication for details on India's and ICRISAT's experiences in minimizing climatic risks, land management, cropping systems and management, and fertility management.

Here, we will discuss the conservation benefits of selected agronomic measures and present evidence for the need for selective soil management practices in designing conservation-effective and sustainable farming systems in marginal rainfall areas in the tropics.

Use of legume covers and intercrops

Reduced tillage systems which provide permanently protective crop residue and enhance the buildup of a favorable root-zone for growing crops have received wide acceptance in temperate farming systems. Such systems are not directly applicable to many tropical soils, particularly those which have already experienced severe erosion and structural degradation (e.g. eroded Alfisols or Oxisols). Instead, fast-growing legume cover crops may be included in the cropping cycle to provide protection against runoff and erosion early in the rainy season, reduce nutrient leaching during rapid infiltration, and to enhance soil fertility. Reduced tillage may be "simulated" by spray-killing the cover crop (or cutting it manually or mechanically), lightly

incorporating it, and planting the main crop within the decomposing residue. Fahrney et al. (1988) utilized the prolific legume "Tropic Sun" sunn hemp (*Crotalaria juncea L.*) to apply this concept on an

Ustollic Camborhthid on Molokai, Hawaii. Corn grain yields and water use efficiency were

significantly higher and runoff and erosion significantly lower with this system than without a cover crop and in "control" tillage treatments (Table 2),

Similarly, intercropping, a common practice in the tropics, is a means of limiting the area of bare soil during the early stages of crop growth,

TABLE 2. Effects of pre-crop planting of "Tropic Sun" sunnhemp on the yield, runoff and erosional losses for rainy season grown maize, (Ustollic Camborhthid on Molokai, Hawaii). Source: Fahrney et al. (1988).

Treatment	Maize Yield Mg/ha	Runoff mm	Soil loss kg/ha
Chisel plowing			
with cover	4.0	16	33
without cover	3.7	26	46
Moldboard plowing			
with cover	3.2	20	48
without cover	3.1	31	86
Secondary tillage only			
with cover	3.9	24	51
without cover	2.5	32	50
Control runoff plot			
with cover		75	197
without cover	10	69	422
LSD (0.05)	0.97	11.1	38

TABLE 3. Effects of prior and concurrently planted legume intercrops on crop yields (cassava roots and tops and groundnut pods), (Ustollic Camborhthid, Molokai, Hawaii).

Legume	N applied (kg/ha)	Yields (t/ha)		
		Cassava		Groundnut
		Root	Tops	
None	0	37.6 c	9.2 d	n.a.
None	50	56.0 b*	14.6 bc	n.a.
None	200	78.5 a	27.9 a	n.a.
Residual stylosanthes	0	75.2 a	16.2 b	n.a.
Residual stylosanthes	0	78.0 a	18.6 b	n.a.
Groundnut	0	32.7 c	8.3 d	2.1
Desmodium	0	46.8 bc	11.5 cd	n.a.
None	0	37.6 c	9.2 d	n.a.

* Means with the same letters are not significantly different at 5% level.

enhancing nitrogen fertility when legumes are used, and enhancing farmer income if the main crop can be combined with a compatible income-generating intercrop. El-Swaify et al. (1988) applied this concept to the cropping of corn with kalo (*Lotus corniculatus*, cv *Arvensis*) and rose clover (*Trifolium hortum*) and of cassava with stylo (*Stylosanthes hamata*, cv *Verano*), desmodium (*Desmodium trifolium*) and groundnuts (*Arachis hyogoeae*). Corn grain and cassava root yields were either enhanced or only slightly reduced with intercropping and substantial yield increases were noted in the succeeding main crops reflecting a residual value from the legume intercrop (Table 3). The rapid closing of combined canopies resulted in significant reductions in runoff and erosion to an average of 50% of the values with the sole-planted main crop. The peanuts yielded in the cassava-groundnut intercrop (2.1 Mg/ha) area an added incentive for adopting conservation-effective practices, particularly in a small farm setting.

Responses of contrasting soils to primary tillage

Controversies on the attributes and necessity of tillage abound in the tropical soil literature with wide-ranging evidence for both impressive and lacking benefits (El-Swaify et al., 1985). Since the functions and consequences of tillage vary with soils, crops, and climates, the necessity of tillage should be determined with view of these conditions. In Hawaii, intensive tillage is widely practiced for sugarcane and pineapple production on Oxisols with little

evidence as to its benefits for optimizing root proliferation. Figure 4 presents recent tillage research data on the Tropeptic Eutruxox (Wahiawa silty clay) after being subjected to three levels of erosion. It would appear that primary tillage is an unnecessary management option on this soil. Similar data are available for other well structured soils (e.g. Ultisols) in the tropics. In contrast, evidence clearly points to tillage benefits on Alfisols particularly those in marginal rainfall regions (El-Swaify et al., 1984; 1985). On Alfisols, these authors emphasized that the intensity and type of tillage must be carefully selected; inversion tillage can exacerbate sealing, crusting, and runoff problems of Alfisols (El-Swaify et al. 1985).

Limits of agronomic practices for erosion control

The dependence on mainly engineering provisions for implementing conservation in major agricultural development projects in the tropics often appears unnecessary or excessive. Furthermore, prescribed structural measures are based on topographic design criteria as determined by slope characteristics, without regard to the stability or instability characteristics of soils. As a result, a high economic burden may be unnecessarily carried by the enterprise (for construction and maintenance) and, perhaps more importantly, the importance of complementary land husbandry practices for sustaining soil productivity may not be given due attention. Unfortunately, no systematic means have been devised to determine when agronomic measures

TABLE 4. Effects of sugarcane bagasse residue on total erosion (splash and runoff detachment) expressed as Mg/ha from Wahiawa silty clay (Tropeptic Eutruxox) at varying slope gradients. Data from two consecutive 1 hour simulated rainstorms with an intensity of 94 mm/hr. (Source: El-Swaify et al, 1988a).

Slope %	Mulch Cover %				LSD (0.05)
	0	20	40	80	
10	37.3	27.6	17.2	7.4	1.4
20	63.9	38.0	21.0	11.1	1.0
40	76.6	40.1	21.4	11.3	1.6
60	58.3	39.2	25.1	11.6	0.9

alone can meet conservation goals and, if not, when and which engineering designs may be required.

El-Swaify et al. (1987) showed that the application, alone, of the appropriate type and sufficient quantity of residue to well-structured soils (Oxisols) on steep lands can reduce erosion to nearly the same levels obtained from less steep ones (Table 4). For such soils, effective conservation can be attained with less investment in engineering measures than for weakly structured soils. More such information is needed to quantify the effectiveness of other agronomic management options which provide benefits for improving productivity as well as controlling runoff and erosion.

Long-term and sustainability considerations

Although conservation-effectiveness components such as those discussed above impart clear individual benefits to the farming system, it is critical that they be integrated in a total coherent land-use system in order to realize significant synergistic benefits and assure long-term stability and sustainability of the farming enterprise. El-Swaify et al. (1982) argued

that, since prevention is better than cure, the first steps in designing stable systems must be the inventory of lands, assessment of erosion risks, and the matching of both with land use systems which are both productive and protective. El-Swaify et al. (1984) concluded, based on available evidence, that including a perennial vegetation element in the cropping system (as in agroforestry and agropastoral systems) is necessary particularly in areas with a seasonally dry climate such as the AT and SAT. Their analysis emphasized perennial vegetation's advantages, over strictly annual cropping, for providing year-around biological activity in the root zone and subsequent longterm enhancements of soil quality.

The successful implementation of the above and other important conservation concepts requires their incorporation into sound designs, the sensitization of land users and policy makers as to the rationale and benefits behind them, and the systematic monitoring of implemented conservation measures to assure achieving desired results and the introduction of reiterative improvements in management when necessary.

REFERENCES

1. CHARREAU, C.; NICOU, R. 1971. L'amélioration du profil cultural dans les solssableux et sabloargileux de la zone tropicale seche ouestafricane ses incidence agronomiques. Hgon. Trop. 26:209-255, 903-987, 1183-1247.
2. EL-SWAIFY, S.A. 1987. Contrasting the conservation and management requirements of different soils for improved rainfed farming in the semi-arid tropics. p. 935-953 In: Pla-Sehtis, I (ed.). Soil conservation and productivity, Venezuelan Society of Soil Sciece, Maracay.
3. EL-SWAIFY, S.A. 1980. Physical and mechanical properties of Oxisols, p. 302-32 In: Theng, B.K.G. (ed.) soils with variable charge. Wellington: New Zealand Society of Soil Science.
4. EL-SWAIFY, S.A.; DANGLER, E.W.; ARMSTRONG, C.L. 1982. Soil erosion by water in the tropics. Research Extension Series 24, Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii.
5. EL-SWAIFY, S.A.; GARNIER, C.L.; LO, A. 1988a. Recent advances in soil and water conservation in steep lands in the humid tropics. In: proceedings of STEEPLANDS 87. Kuala Lumpur: Malaysian Society of Soil Science.
6. EL-SWAIFY, S.A.; LO, A.; JOY, R.; SHINSHIRO, L.; YOST, R.S. 1988b. Achieving conservation-effectiveness in the tropics using legume intercrops. Soil Technology 1:1-12.
7. EL-SWAIFY, S.A.; PATHAK, P.; REGO, T.J.; SINGH, S. 1985. Soil management for optimized productivity under rainfed conditions in the semi-arid tropics. Advances in Soil Science 1:1-64.

8. EL-SWAIFY, S.A.; SINANUWONG, S; DAUD, H.; TENGAH, A. 1977. Potential for saline water irrigation of tropical soils. Proc. Intl. Conf. on Managing Saline Water for Irrigation, Texas Tech. University, Lubbock, Texas.
9. EL-SWAIFY, S.A.; WALKER, T.S.; VIRMANI, S.M. 1984. Dryland management alternatives and research needs for Alfisols in the semi-arid tropics. Patancheru: International Crops Research Institute for the semi-arid tropics.
10. FAHRNEY, K.S.; EL-SWAIFY, S.A.; LO, A.; JOY, R.J. 1988. Conservation and fertility consequences of tillage systems and surface green manuring on a tropical soil. In press. Proceedings of the fifth international conference on soil conservation. Bangkok: Department of land development.
11. FAO/UNESCO. 1974-1978. Soil maps of the world, UNESCO, Paris.
12. FOX; R.L. 1980. Soils with variable charge: agronomic and fertility aspects. p. 195-224. In: Theng, B.K.G. (ed), Soils with variable charge. Wellington: New Zealand Society of Soil Science.
13. KANWARD, D. 1986. Tropics: Problems, potentials and management. Proc. Intl. Symp. on Red Soils: 504-522, Elsevier, Amsterdam.
14. SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. U.S.U.H. Handbook 4356, Washington, D.C.
15. STEWART, B.H.; LAL, R.; EL-SWAIFY, S.A. 1990. Sustaining the resource base of an expanding world agriculture. In: Proc. 1989 soil management workshop: Soil and water conservation society, Ankeney, Iowa.
16. SWINDALE, L.D. 1982. Distribution and use of arable soils in the semi-arid tropics. In: managing soil resources: 67-100, Plenary Session Papers, Trans. 12th Cong. Soil Sci., New Delhi.
17. THENG, B.K.G. (ed) 1980. Soils with variable charge. Wellington New Zealand society of soil science.
18. VIRMANI, S.M.; SIVAKUMAR, M.O.K.; REDDY, S.J. 1978. Rainfall probability estimates for selected locations of semi-arid India. ICRISAT Aes. Rept. 1, Patancheru, A.P.
19. YOST, R.S.; EL-SWAIFY, S.A.; DANGLER, E.W.; LO, A. 1985. The influence of simulated soil erosion and restorative fertilization on maize production in an oxisol. In: Soil erosion and conservation. El-Swaify, S.A. et al (ed), Soil conservation society of America, Ankeney, Iowa.

ICRISAT'S RESEARCH ON SUSTAINABLE AGRICULTURE AND ITS RELEVANCE TO AGRONOMIC RESEARCH IN LATIN AMERICAN COUNTRIES

S.M. Virmani and J. Moncada de la Fuente¹

RESUMEN

INVESTIGACIONES DE ICRISAT EN AGRICULTURA SOSTENIDA Y SU IMPORTANCIA PARA LA INVESTIGACION AGRONOMICA LATINOAMERICANA.

En este trabajo se hace una caracterización de los trópicos semiáridos y de sus limitaciones para practicar una agricultura sostenida.

Se presentan los criterios y parámetros de suelo utilizados por ICRISAT para definir la aptitud de los mismos para soportar una agricultura sostenible. Así mismo se discuten los resultados de 13 años de investigaciones realizadas por ICRISAT en su sede en la India, que muestran la problemática y la factibilidad de desarrollar sistemas de producción sostenida. Se describen las características del sistema de producción mejorado desarrollado por ICRISAT, así como los criterios utilizados para probar su sostenibilidad.

Se hace una relación de las limitantes principales para desarrollar y poner en práctica por el productor de los trópicos semi-áridos, sistemas sostenibles de producción.

Así mismo se señala la necesidad y los retos de incorporar a los actuales programas de investigación, los componentes que inciden en la sostenibilidad. Una acción fundamental sera la de una decisión política en cuanto a la necesidad de apoyar a largo plazo, un programa de investigación y desarrollo, que tenga como misión la generación de tecnología cuya aplicación haga posible una agricultura sostenida.

Se enfatiza la necesidad de equipos interdisciplinarios de investigadores, que trabajen en modelos de ecosistemas. Por lo complejo del tema y los recursos que se requieren, se plantea una estrategia de cooperación interinstitucional e internacional.

Finalmente ICRISAT ofrece compartir con los países Latinoamericanos interesados, su experiencia en los trópicos semiáridos, así como su programa de entrenamiento de investigadores.

¹ ICRISAT, Dickens 52-401, Colonia Polanco 11560, Mexico, D.F. Mexico.

SUMMARY

ICRISAT's agroecological region, the semi-arid tropics is characterized in terms of the ecological, biological, social, economical and political constraints for a sustainable agriculture.

A detailed description of soil qualities and other land resources related issues and sustainability is presented. An evaluation of sustainable farming systems (improved vs traditional) conducted at ICRISAT for 13 years is included along with the criteria used by ICRISAT's scientists to evaluate sustainability of two diverse types of farming systems followed at the same location. A detailed characterization of both farming systems is made.

Several constraints to sustainable agriculture are discussed, the overriding constraint is perhaps the absence of economic incentives. This transcends at all levels from government policy making to that of the farmer. Reduction in soil loss and long term environmental degradation are not tangible reasons for a small semiarid tropics farmer whose immediate concerns are providing food for the family and assuring the quality of life in the immediate future.

There are many hurdles to overcome before a significant number of developing countries have sustainable agriculture programs of research and development in place. There is a need for making an unequivocal commitment towards long term support for sustainable agriculture. A joining of efforts of many institutions can bring about speedy, relevant and a positive change towards designing sustainable farming systems, ICRISAT would be glad to extend its research and training facilities to the Latin American countries interested in sustainable agriculture in the semiarid tropics.

ICRISAT's agro-ecological region, the semi-arid tropics (SAT), is defined according to Troll (1965) with two to seven months with a rainfall larger than the potential evapotranspiration. On the basis of the length of the rainy season, the dry SAT is distinguished from the wetdry SAT by the four and a half months boundary. Annual rainfall in the SAT generally varies between 500 and 1500 mm, evapotranspiration between 1500-2000 mm and annual average temperature above 18°C. The SAT is one of the most difficult environments for maintaining agricultural productivity and making agriculture sustainable.

THE SAT AGRICULTURE

Large SAT areas are found in India, Australia in the African continent and in Latin America (Figure 1). All areas are characterized by rainfall that is highly seasonal. It is variable in time and space and a large proportion of the annual rainfall is received in a few, high volume, high intensity storms. In tropical

soils which are naturally low in organic matter content and have poorly developed soil structure, the tropical rainstorms produce considerable soil erosion. Most cultivated soils in the SAT are shallow, have predominantly 1:1 type clays, and have a number of biological constraints. Farming, in the SAT is a risky business, the farmers of the region are generally resource poor, and the productivity of the land is low. The resulting complex of poor quality natural endowments and small farms makes agriculture in this agroecological region fairly unsustainable. This similarity is found in the main SAT areas in Africa, Asia, and Latin America.

There is very limited scope for increased use of irrigation to increase and stabilize SAT agriculture. Most of the SAT regions do not have water resources for irrigation and where these are available, as is the case in India where all the irrigable land will be developed by the year 2025, there will still be at least 60 million hectares of nonirrigated cropland. The scope for increasing productivity in the SAT, in particular the wet-dry SAT is still large. However much

of this area presents serious soil constraints to increased productivity and is likely to be very susceptible to soil erosion.

The economies of all the SAT areas of the world are based predominantly on dryland crop and livestock production. Due to landform technology constraints, the production of staple food crops has not grown much in most parts of the SAT during the last 10 years. In SAT India, fertilizer consumption in the rainfed areas has increased and per ha fields of sorghum and pearl millet crops have grown at the rate of 2% per annum. The area sown has decreased but to a lesser extent. In West African yields have not increased but more land has been brought into cropping. At the same time, continued high rates of population growth in developing SAT countries have led to a decline in per capita food grain supplies.

Given the scarcity of new land for cultivation, agricultural productivity per unit of land will have to be increased to respond to the increasing food demands of a rapidly growing population. Intensification of agricultures if done without giving much thought to issues of sustainability can introduce problems of land degradation. For example, in India more than half of the total arable area is affected

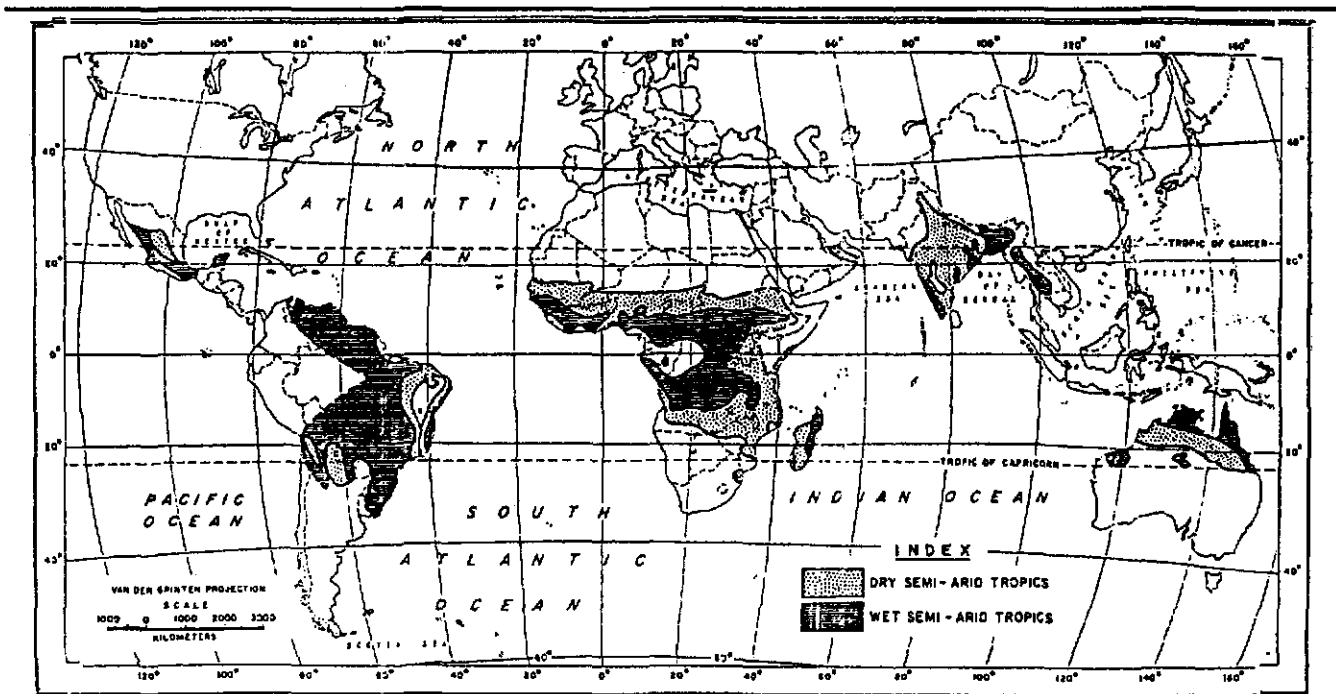
by such soil degrading factors as water or wind erosion, soil salinity or flooding. Soil degradation needs to be controlled urgently, otherwise rainfed arable land area and productivity could be reduced substantially.

LAND RESOURCE-RELATED ISSUES AND SUSTAINABILITY

In the SAT, the major control of production and the kind of farming systems adopted depend on the total amount of rainfall, the length of the humid period, the reliability of the rain at critical periods of the phenological stages of the crop, and soil quality.

The soil qualities important for sustainable agriculture are many, but the following 10 are most important.

1. Available water-holding capacity.
2. Nutrient retention capacity — CEC.
3. Nutrient availability — pH, base saturation.
4. Nutrient fixation.
5. Chemical constraints — pH, sodicity, salts.



Isce map from NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY 1975

FIGURE 1. The Semi-Arid Tropics.

TABLE 1. Sustainability related constraints of some major soil orders in the tropics.

Soil order: Oxisols		Soil moisture regime		
-----		-----		
Constraints		Aridic	Ustic	Udic
1	Available waterholding capacity	3*	2	1
2	Nutrient retention capacity	2	3	3
3	Nutrient availability	2	3	3
4	Nutrient fixation	3	3	3
5	Chemical constraints	2	2	2
6	Physical constraints	3	2	2
7	Effective rhizosphere volume	1	1	1
8	Surface till/crusting	1	1	1
9	Erodibility	1	2	2
10	Capability associated constraints	3	3	3
<hr/>				
Overall constraints for:				
	Low-input agriculture	3	2	2
	High-input agriculture	1	3	3

Soil order: Alfisols		Soil moisture regime		
-----		-----		
Constraints		Aridic	Ustic	Udic
1	Available Waterholding capacity	3*	2	1
2	Nutrient retention capacity	2	3	3
3	Nutrient availability	1	2	2
4	Nutrient fixation	1	1	1
5	Chemical constraints	1	1	1
6	Physical constraints	3	2	1
7	Effective rhizosphere volume	3	2	1
8	Surface till/crusting	3	1	1
9	Erodibility	3	3	3
10	Capability associated constraints	3	2	2
<hr/>				
Overall constraints for:				
	Low-input agriculture	2	1	1
	High-input agriculture	1	1	1

* 3: Severe constraint
 2: Average constraint
 1: Low/no constraint

TABLE 1. Continued

Soil Order: Ultisols		Soil moisture regime		
-----		-----		
Constraints*		Aridic	Ustic	Udic
1	Available waterholding capacity	3*	3	1
2	Nutrient retention capacity	3	2	2
3	Nutrient availability	2	2	2
4	Nutrient fixation	2	2	3
5	Chemical constraints	2	2	2
6	Physical constraints	3	2	2
7	Effective rizosphere volume	2	2	2
8	Surface tilth/crusting	3	2	1
9	Erodibility	1	3	2
10	Capability associated constraints	3	3	3
Overall constraints for				
	Low-input agriculture	3	2	1
	High input agriculture	2	3	3

Soil order: Vertisols		Soil moisture regime		
-----		-----		
Constraints		Aridic	Ustic	Udic
1	Available waterholding capacity	1*	1	1
2	Nutrient retention capacity	1	1	1
3	Nutrient availability	1	1	1
4	Nutrient fixation	1	1	1
5	Chemical constraints	1	1	1
6	Physical constraints	3	2	1
7	Effective rhizosphere volume	1	1	1
8	Surface tilth/crusting	3	2	2
9	Erodibility	2	3	3
10	Capability associated constraint	3	3	3
Overall constraints for:				
	Low-input agriculture	3	3	2
	High input agriculture	2	1	1

- * 3: Severe constraint
- 2: Average constraint
- 1: Low/no constraint

6. soil physical constraints — low permeability — low hydraulic conductivity, high bulk, density, water logging.
7. Effective rhizosphere soil volume — root restricting soil layers, stoniness, structure.
8. Surface soil tilth and crusting.
9. Erodibility and location in toposequence.
10. Capability class and its limitations for sustainable productivity in small farm-holders' management.

In Table 1, the sustainability related soil qualities listed above are described for four selected soil orders in soil Taxonomy. These four soils together

occupy about 60% of the total land surface in the tropics and are found extensively: in the Latin American continent. In this continent most of the semi-arid areas are located in the ustic (dry SAT) and some in the ustic-udic (wet-dry SAT) moisture regime. The constraints to sustainable agriculture in these four soils vary markedly. For example, in the case of vertisols which are characterized by relatively high clay contents of 2:1 type and are usually deep available water holding capacity is not a constraint. Similarly nutrient retention capacity or the availability of most nutrients may not pose any constraints to dependable crop production with low to medium level of fertilization.

But erodibility of these soil their physical characteristics in relation to their effective cultivation,

TABLE 2. Grain yields under improved and traditional technologies on deep Vertisols at ICRISAT Center* in 13 successive years

Year	Cropping period rainfall (mm)	Grain yield (t ha ⁻¹)				
		Improved systems = double cropping			Traditional systems: single crop	
		Sorghum/maize	sequential chickpea intercropped pigeonpea	Total	Sorghum	Chickpea
1976/77	708	3.20	0.72	3.92	0.44	0.54
1977/78	616	3.08	1.22	4.30	0.38	0.87
1978/79	1089	2.15	1.26	3.41	0.56	0.53
1979/80	715	2.30	1.20	3.50	0.50	0.45
1980/81	751	3.59	0.92	4.51	0.60	0.56
1981/82	1073	3.19	1.05	4.24	0.64	1.05
1982/83	667	3.27	1.10	4.37	0.63	1.24
1983/84	1045	3.05	1.77	4.82	0.84	0.48
1984/85	546	3.36	1.01	4.37	0.69	1.23
1985/86	477	2.70	0.73	3.43	**	0.84
1986/87	585	4.45	0.38	4.83	0.37	1.27
1987/88	841	4.26	1.35	5.61	0.80	0.92
1988/89	907	4.64	1.23	5.87	0.61	1.18
Mean	771	3.33	1.07	4.40	0.59	0.86
SD	205	0.76	0.34	0.76	0.15	0.32
CV (%)	27	23	32	17	25	37

* Average rainfall for Hyderabad (29 km away from ICRISAT Center) based on 1901 -84 data is 784 mm with a CV of 27%.

** No crop sown.

maintenance of soil tilth, and waterlogging are serious constraints to their sustainable use for crop production in the SAT. The three other soil orders (Alfisols, Ultisols and Oxisols) exhibit serious soil chemical and physical constraints to sustainable crop production. Alfisols have relatively fewer limitations and can be used for sustainable crop production under medium input systems. The Oxisols, vertisols and Ultisols on the other hand due to their intrinsic properties pose more serious constraints. These soils will behave and respond differently to different inputs. In Vertisols, if the physical constraints are properly managed, they can be one of the most productive soils in the SAT regions with medium levels of input. Therefore for a country or region, to adopt a policy of sustainable agriculture and to operationalize this policy, soil resource inventories including soil constraints at several scales are a prerequisite for planned development.

EVALUATION OF SUSTAINABLE FARMING SYSTEM AT ICRISAT

In order to evaluate sustainability of different farming systems, ICRISAT chose a set of basic criteria following the principles of agrotechnology transfer enunciated by Silva and Uehara (1985). These criteria are:

1. Relative feasibility of different technology options;
2. Economic viability and political desirability;
3. Administrative manageability, and
4. Social acceptability and environmental soundness.

Eswaran and Virmani (1990) have attempted to quantify these criteria, empirically to illustrate the differences between two farming systems — one followed by farmers and the other designed by researchers. We will call the first farming system traditional and the second improve. These systems are analyzed to determine their robustness in terms of their sustainability. The example presented here provides an illustration of an approach for evaluating sustainability of two diverse types of farming systems followed at the same location. These procedures must be refined for wider use and application.

ICRISAT example

In 1974 ICRISAT initiated a set of watershed-

based operational scale experiments on a deep Vertisol, at its research center at Patancheru (18°N, 78°E). The traditional land use included growing of a sorghum or chickpea crop during the post-rainy season (oct-feb) on a rainy-season (jun-oct) cultivated fallowed land, while in the improved farming system the land was used for growing an intercrop of sorghum or maize and pigeonpea. Both of these crops were planted in the month of jun, prior to the onset of the rainy season. The improved farming system, in effect, reversed the growing season of sorghum crops from post-rainy in the traditional, to the rainy season sorghum in the improved farming systems. In addition a crop of pigeonpea was interplanted in the sorghum crop. The land management in the two systems also differed. In the case of the improved farming system, the land was shaped into small agricultural watersheds, grassed waterways and broad-beds and furrows were laid to facilitate drainage during rainy season. The crops were grown on the beds. The bed width was 110 cm and the furrow were 40) cm wide. Sorghum was planted on the edges of the bed and pigeonpea in the middle.

The maturity period of sorghum cultivars grown was about 105-110 days; and that of pigeonpea cultivars was 180-210 days. The crops grown in the traditional system of farming were grown on flat land. No broad beds or water ways were constructed. In the traditional system about 2 t ha⁻¹ of farm yard manure was incorporated before sowing of crops, while in the improved system 60 kg of N and 30 kg of P₂O₅, per ha were applied through fertilizers. The crops in both the systems were given regular plant protection against pests or diseases. In the improved technology the emphasis was on intensified land use to increase productivity within the socio-economic framework of the average dryland farmer.

In Table 2, the yields obtained each year are given for the two systems. The data on seasonal rainfall are also included. The difference in production levels already testify to the enhanced yields of the improved technology.

The stability of both the subsistence and improved farming systems is evident; but the improved systems gave higher yields and were more stable as illustrated by their behavior during the 'bad' years when rainfall was low (as in 1985) when the traditional system was more adversely affected.

The traditional farming system gave an annual yield of about 0.50 t ha⁻¹ (CV = 25%) while the improved farming system, gave a total yield of 4.40 t ha⁻¹ with a CV of 17% indicating greater stability.

Yield and its stability is only one criterion of sustainability of a farming system. In the same watersheds the soil loss was estimated at about 7 tons/ha/yr for the traditional system against less than 1 ton/ha/yr for the improved farming system. Minimizing top soil loss over a period of time is also a goal of sustainable farming systems.

The improved system passed another crucial sustainability test — that of economic sustainability. For each unit of additional monetary input there was 2.4 - fold monetary output. Further, the improved system almost doubled labor use — an important social goal of Indian agriculture. In on-farm verification tests it was found that the improved system needed reinforced administrative support from the governmental system for its wide scale adoption. More infrastructural input in terms of availability of credit; demarcation of watersheds so that farmers could align their cultivation of field to allow easy and smooth flow of drainage water; availability of seeds of crops to be grown in the double cropping in April-May rather than in September-October was required. Similarly, fertilizers and construction of community waterways were other requirements.

The Government of India has been particularly attracted by the overall concept of watershedbased dryland farming because improved productivity is associated with conservation. In 1988, it created a National Watershed development Project for Rainfed agriculture. During its VIII Five Year Plan (1990-1995) a massive investment is contemplated under this project to expand improved-rainfed farming system in India. During 1990/91 around US\$ 50 million will be allocated. The approach is to demonstrate to farmers crop production systems that are sustainable for a given soil rainfall region. The associated technology is simple, affordable, and replicable by farmers, many of whom are economically and environmentally disadvantaged. ICRISAT's improved farming systems technology thus forms one of the bases of these sustainable agricultural development activities.

CONSTRAINTS TO SUSTAINABLE AGRICULTURE

Efforts to improve the productivity of subsistence farming are just beginning to receive attention of the national and international agricultural research centers. Emerging technologies such as agroforestry, inter and multiple cropping, improved genetic material, nitrogen-fixing trees and crops, and biotechnology hold much promise. In the context of this workshop it should also be mentioned that it would be advantageous if the new farming systems developed are robust enough to be socially acceptable to the needs of small farmers of the developing Latin American countries and are insensitive to the soil variability that tends to exist on tropical farms.

There are several constraints that prevent or hinder developing countries from being more receptive to adopting sustainable agriculture. The overriding constraint is perhaps the absence of economic incentives. This transcends at all levels from government policy-making to that of the farmer. Reduction in soil loss and long-term environmental degradation are not tangible reasons for a small SAT farmer whose immediate concerns are providing food for the family and assuring the quality of life in the immediate future.

The farmer is aware and will contribute to the progress of his society. However, the farmers's contribution is extra-curricular while his family concerns are his first priority.

Even if the farmer is willing and able, in most developing countries, extension services are poor or non-existent. Creating an awareness among farmers is frequently either an ad-hoc exercise or many times it is absent. Lack of awareness, not only at farm level but also at higher levels in the society is a second constraint in many developing countries.

The third major constraint relates to stewardship of farms. No system becomes operational if it is not institutionalized. In many developing countries, research and development in agriculture including extension services are poor and suffer from lack of trained personnel, facilities, and motivation. In many countries, donorsupported research is still the rule and in this environment, the country cannot build a research tradition with local expertise and consequently the benefits are limited.

The fourth constraint relates to the information base. Implementing sustainable agriculture assumes (1) that reasons for unsustainability are known, (2) that there is sufficient information on the resource base to target sustainability related activities, and (3) that the resource base has been monitored to evaluate sustainability. In practically all developing countries, the answers to these questions are based on limited information. In the past three decades or more, international donors supporting agricultural research and development focused on improving the genetic potential of the crop and related management practices to improve yields — a spinoff of the Green Revolution. There is practically no developing country with systematic, detailed soil resource inventory programs. In the absence of information on the resource base, benefits from efforts to institute sustainable agriculture are not going to be fully realized. A fifth constraint to implementing sustainable agriculture relates to research. Research methodology is emerging and until recently, not even the basic principles and concepts were enunciated. Fundamental questions on sustainable agricultural research on such issues as how long should an experiment be conducted, what are the treatments, what are the measurements, and how can the data be analyzed, have yet to be fully resolved.

THE CHALLENGES AND CONCLUSION

There are many hurdles to overcome before a significant number of developing countries have sustainable agriculture programs of research and development in place. The responsibilities rest with the countries themselves and the international support agencies — in particular with the donor countries. The basic questions is how to incorporate sustainability components in ongoing research programs.

A fundamental requirement of the research on sustainable agriculture is the need to making an unequivocal commitment towards long-term support for sustainable agriculture. Further, farming systems

research with a sustainability perspective is both inter - and intra disciplinary. At ICRISAT, for example, the team researchers managing and investigating various components of watershed research included agroclimatologists, hydrologists, land and water engineers, agronomists, traction equipment engineers, economists, entomologists, pathologists and agroforestry experts. Team work is an essential prerequisite for research on sustainable farming systems.

Future sustainable farming systems research and their transfer will be increasingly based on ecosystems modeling approaches. Research to improved soil and water management, more effective use of fertilizers, crop management practices, selection of appropriate genotypes, would be conducted with a modeling perspective. This would enable various components of the improved farming system to be coupled together for any given agroclimatic location. The role of institutions such as IBSNAT (International Benchmark Sites for Agrotechnology Transfer) headquartered at the University of Hawaii will assume greater significance. Geographical information systems will be highly relevant in this respect.

Finally, building and strengthening both the national and global agricultural research systems will prove a powerful tool for improvement of developing country agriculture.

A joining of effort of many institutions can bring about speedy, relevant, and a positive change towards designing sustainable farming system. ICRISAT would be glad to extend its facilities to the countries in the semi-arid tropics in this regard. We have an excellent working relationship with the Latin American countries through our Latin American Sorghum Improvement Program (LASIP) based at CIMMYT in Mexico. This network could be expanded to include sustainable farming system research. Training of scientists could be another vehicle for learning the research currently underway on sustainable agriculture at ICRISAT.

REFERENCES

1. ESWARAN, H.; VIRMANI, S.M. 1990. The soil component in sustainable agriculture. Paper presented at the International Symposium on National Resources management for a Sustainable Agriculture, New Delhi, India.
2. TROLL, C. 1965. Seasonal climates of the earth, p. 2-25 In: Rodenwaldt, E.; Juszat, H.J. (ed) *World maps of climatology*, 2nd edition, SpringerVerlag, Berlin.

SISTEMAS DE PRODUCCION APROPIADOS PARA MEDIANOS Y PEQUEÑOS AGRICULTORES DE LA ZONA ANDINA

José Hiram Tobón Cardona

Copia de Hiram

RESUMEN

La Zona Andina colombiana cubre cerca de 31 millones de ha en ladera y 3 millones en los Valles Interandinos, y el 91.7% de las fincas del país menores de 10 ha están en la Zona Andina. A pesar de sus serias limitaciones climáticas y edafológicas y su imposibilidad de modificación económica dichas fincas contribuyen en más del 50% de la producción de alimentos básicos del país. Su densa población y la proximidad a los mercados han presionado el uso y el fraccionamiento de la tierra dando como resultado que cerca del 53% de estas tierras están erosionadas en diferentes grados.

Diversos sistemas tradicionales actuales y potenciales vienen siendo evaluados por las instituciones de investigación agropecuaria. Aparecen claras alternativas para muchas áreas por las modificaciones hechas a los sistemas de cultivo, especialmente en el campo de la recuperación y mantenimiento del suelo, en el aumento de la producción y productividad y en el desarrollo económico de las regiones. La presión socioeconómica exige mayores producciones y/o nuevas áreas. En este trabajo se revisan ciertas tecnologías disponibles y se discuten las necesidades de investigación, las cuales requerirán un gran esfuerzo económico, científico, técnico y de política agropecuaria que garantice su realización.

SUMMARY

The Colombian Andean zone comprises around 31 million ha and 91.7% of the farms smaller than 10 ha are located in this zone. In spite of serious climatic and soil limitations and economic constrains, the zone produces more than 50% of the national basic foods. The high population density, as well as the proximity to the markets, has placed pressure on intensive land use and has determined, the fragmentation of the farm sizes, which results in 53% of the area having erosion problems of different degrees of intensity. A number of actual and potential traditional production systems have been evaluated by different research institutions. As a result of the above, there are promising alternatives, which include technological modifications aimed at reclaiming and maintaining the soil, as well as increasing production, productivity and favouring economical development. The socio-economic pressure demands higher production levels and/or the incorporation of new areas. This paper reviews the availability of certain technologies and discusses research needs for this type of farms.

¹ Sección de Leguminosas. Instituto Colombiano Agropecuario. Centro de Investigación La Selva, Rionegro (Antioquia) Colombia.

La zona Andina colombiana, constituye un gran abanico central de tierras, cerca de 31 millones de ha, formadas por la penetración en el sur del sistema de los Andes y que luego se abre en tres cordilleras: Occidental, Central y Oriental con longitudes de 1.095; 900 y 1.300 km, respectivamente .

Esta zona es esencialmente montañosa y esto determina una gran variedad de paisajes y una división regional compleja. El relieve influye además en la variedad de climas y de productos, de población, de usos de la tierra y de costumbres .

La agricultura combina sistemas tradicionales con técnicas modernas. El 93.6 % de las fincas son menores de 50 ha y entre el 50 y 100% de la producción nacional de los diferentes renglones agrícolas procede de esta zona (1,2,7,10).

En esta zona se han originado diversos sistemas de producción a pesar de la difícil topografía de las laderas, de la gran fragilidad de los suelos , la falta de riego y la poca o nula posibilidad de mecanización, donde el laboreo ha originado severos problemas de erosión. Se han hecho numerosos esfuerzos de investigación por las instituciones nacionales, en procura de mejorar la producción y productividad agropecuaria de éstas áreas.

En este trabajo se revisan las características edafoclimáticas y socioeconómicas de esta zona Andina, los sistemas actuales de uso de la tierra, sus ventajas y desventajas, los efectos en la conservación y degradación de los suelos así como la disponibilidad y necesidades de tecnologías apropiadas para una agricultura sostenible.

CARACTERISTICAS EDAFOCLIMATICAS Y SOCIOECONOMICAS

La Región Andina colombiana es un inmenso abanico cuyos lados son las Cordilleras Oriental, Occidental y su apoyo es el Nudo de los Pastos, en el sur. Comprende zonas montañosas, rocosas, altiplanicies, colinas, depresiones profundas y angostas, pequeños valles, llanadas y elevadas cumbreras nevadas. Se generan condiciones favorables para la vida humana, dándoles ventajas sobre las demás zonas por su heterogeneidad climática, por la multiplicidad de productos, de cultivos y gran

riqueza mineral. Por todo ello tiene la mayor población industrial, cultural y económicamente activa.

Las zonas de ladera comprenden cerca de 31 millones de ha, que es el 27.1% del total nacional y 3.710.000 ha son áreas planas de los Valles Interandinos. Estos datos en general no concuerdan con los estimados por Posner y MacPherson (12). Para ellos la superficie en zonas de ladera en Colombia es el 40% del total, y el estimado aquí es del 27.1%, siendo explicable porque ellos definen las laderas como "aquellos terrenos con una pendiente mayor del 8%", mientras que en Colombia dichas tierras son las de pendiente del 15 al 25% en adelante.

En agricultura se usan actualmente 2'522.000 ha y en ganadería 6.270.000 hectáreas estando disponibles 22.122.514 hectáreas, de las cuales el 94.6% es inútil para la explotación agropecuaria y sólo deben usarse para la conservación de la fauna, la flora silvestre las aguas y el medio ambiente. El 5.4% restante o sea 1.198.954 ha. requieren para su explotación prácticas especiales de conservación y adecuación para explotaciones más o menos intensivas. Datos de Agudelo et al. (1) y de Lorente et al. (7) indican cómo el 78.1% de los predios rurales colombianos son de menos de 10 hectáreas; el 8% son de 10 a 20 ha el 7.5% de 20 a 50 ha. El 91.7% de las fincas menores de 20 ha. están en la zona Andina.

Por la diversidad climática y edafológica tan amplia que existe en el país, la definición de rangos de tamaño de tierra para pequeños y medianos productores es muy variable, sin embargo, se acepta que en las zonas de climas fríos moderados (de 2.000 a 2.500 m.s.n.m.), una extensión de fincas menor a 5 ha comprende a los pequeños productores y para los climas templados y muy fríos se considera que esta categoría debe ser menor de 10 ha y el agricultor mediano se considera en general de 10 a 50 ha, también dependiendo de la región.

En la Tabla 1 se ha estimado, con base en estadísticas nacionales (10), la contribución de esta zona en la producción de alimentos de consumo directo del país y de otra especie industrial como el fique. Para algunos productos la participación es del 49% hasta el 100% en otros. Casi el 100% del café colombiano, que es el principal renglón de explotación, proviene de la zona Andina.

En el estudio de Cortés et al. (4), se muestra

TABLA 1. Producción total anual de algunos cultivos y porcentaje correspondiente a la Zona Andina. Datos de 1986. ¹

Cultivos	Producción Nacional (Miles de ton)	% Producido en zona Andina ²
Cebada	73.2	82.2
Fríjol	103.9	99.1
Maíz	788.1	72.8
Papa	2.091.1	100.0
Trigo	81.7	49.2
Hortalizas	480.2	100.0
Cacao	46.7	51.0
Panela	1.195.2	77.2
Fique	23.9	100.0
Plátano	2.242.1	74.1
Yuca	1.334.9	61.9
Frutales	667.6	50.0

¹ FUENTE: Ministerio de Agricultura, Anuario de Estadísticas 1986 (10).

² Comprende producción de 15 departamentos.

la diversidad de pisos térmicos para las zonas de ladera del país. Unos 15 departamentos tienen tierras en la zona Andina; sus pendientes varían del 7% al 12% en los altiplanos, son cercanas al 25% en las quebradas u onduladas del 25-50% para las muy quebradas y mayor del 50% para las zonas escarpadas.

Los suelos son Tropets, Orhents, Andeps y Udolls, derivados de materiales sedimentarios y en algunas áreas localizadas, de cenizas volcánicas y de materiales heterogéneos. En general son suelos de baja evolución y fertilidad y alta susceptibilidad a la

erosión. El drenaje es bueno y los suelos son superficiales en las áreas pendientes y profundos en las altiplanicies. Los usos son muy diversos, aunque la gran mayoría tiene serias limitaciones. En el clima cálido que comprende unas 15.276.591 ha., predomina la ganadería extensiva, los bosques protectores, y en las áreas de pendiente suave hay cultivos de leguminosas, cacao, maíz, plátano, caña, frutales, entre otros. En el clima medio, con 7.769.575 ha. se tiene la producción más variada y más rica; además del café, están plátano, yuca, maíz, hortalizas, caña panelera, frutales, ganadería semi-intensiva y extensi-

SISTEMAS ACTUALES DE USO DE LA TIERRA

va, en sistemas de cultivos multiestratos o asociados. En el clima frío que comprende 7.358.925 ha. se encuentra la ganadería de leche, hortalizas, trigo, cebada, fríjol, arveja, habichuela, habas, papa, frutales y forestales comerciales (4).

Desde el punto de vista químico, los suelos son en su gran mayoría ácidos a muy fuertemente ácidos, bajos en fósforo y especialmente los de clima frío son altamente fijadores de fósforo, poseen un contenido medio de potasio y son bajos en bases como calcio y magnesio, deficientes de azufre: la salinidad y los daños por sodio no son problema, pero sí la toxicidad por aluminio.

Desde el punto de vista social, la gran mayoría de los productores son pequeños agricultores con serias limitaciones por disponibilidad de tierra, por la baja calidad de la misma y por el clima. Tienen en general un recurso abundante: mano de obra familiar que a veces se distribuye entre la propia parcela y otras fincas (3). Hay diversidad en la capacidad económica de los productores. Es muy satisfactoria en el sector cafetero y el del ganado de leche, y muy pobre la del fique y tabaco. El tamaño familiar es grande, 7 a 8 personas. Son aislados del mercado, hay deficientes vías de comunicación, dada la difícil topografía, hay fuertes migraciones a las grandes ciudades y esto limita las tareas agrícolas (3).

Han existido serios distanciamientos físicos del aparato político y en los últimos 15 años el DRI (Desarrollo Rural Integrado) ha sido el Programa de Gobierno con mayor presencia en estas áreas. En dicho programa participan varias entidades del sector agropecuario, pero aún su cubrimiento es bajo, cerca del 8 al 10%. El sector mediano es cubierto en crédito por el Fondo Financiero Agropecuario (hoy "FINAGRO") y cuenta con asistencia técnica obligatoria. Las relaciones de intercambio de productos a insumos son desfavorables para los productores, a pesar del clima relativamente benigno, y una alta población demandante de alimentos, ello impide un mejoramiento del ingreso y del ulterior bienestar representado en vivienda, salud y educación. La remuneración para el trabajo campesino es la más baja y las condiciones de trabajo son inadecuadas frente a otros sectores; sólo la cosecha cafetera alcanza remuneración alta a una población migratoria.

La agricultura de montaña presenta una serie de estrategias tradicionales orientadas al diseño de sistemas de uso de la tierra para una producción de subsistencia. Su forma de agricultura hoy presenta una mezcla de influencias prehispánicas y modernas.

El monocultivo de café es el más tecnificado de la zona Andina. Siguen en su orden, el forestal, la papa, la cebada y buena parte de la ganadería intensiva de leche en climas fríos. La tecnificación consiste en un alto uso de genotipos mejorados, fertilización, adecuadas distancias de siembra y de prácticas de manejo y control de plagas y enfermedades, así como de beneficio. Las demás especies como maíz, plátano, yuca, arveja, habas, tomate, caña panelera, pastos para ganadería extensiva, frutales, cacao, hortalizas, trigo y fríjol presentan muy diversos sistemas de explotación y de grados de tecnología que incluyen las asociaciones de cultivo, como aparece en la Tabla 2, es decir, siembras de más de una especie en el mismo terreno, compartiendo parte o

TABLA 2. Principales sistemas de asociaciones de cultivo en Colombia.

Papa x Fríjol voluble
Papa x Fríjol
Caña // Fríjol
Caña x Maíz
Maíz // Fríjol Arbustivo
Papa x Fríjol === Maíz === Fríjol voluble
Maíz x Fríjol Voluble // Haba
Maíz // Yuca
Maíz x Ñame // Yuca
Yuca // Caupí
Plátano // Yuca // Maíz
Plátano // Fríjol
Papa x Arveja
Arracacha x Arveja === Maíz
Yuca // Ñame
Frutales // Maíz
Frutales // Fríjol
Frutales // Hortalizas
Tomate // Fríjol
Café // Plátano // Yuca
Tabaco // Maíz

Cultivos Múltiples

X	Asocio
===	Relevo
//	Intercalamiento

todo el ciclo vegetativo, hasta monocultivos o asociados como cultivos múltiples, es decir, la explotación de varios renglones dentro de la misma finca (15).

Cada sistema presenta variantes que obedecen a la diversidad climática, genética, de limitación de recursos de mano de obra, de capital y de tierra. En una finca, en una pequeña región es factible encontrar gran diversidad genética del material, diversos sistemas de siembra de la misma especie, de utensilios de labranza, de rotaciones de asociaciones, de diversas prácticas de manejo, en combinación con una gran diversidad climática o agrológica.

El maíz, la caña panelera, la yuca, el fique y los pastos ocupan las mayores extensiones. Parece que los agricultores tratan de distribuir las semillas en zonas más amplias para disminuir el riesgo por pérdida climática; además estos cultivos son de bajo costo y de bajo uso en insumos, pero de alto uso de mano de obra. Los cultivos de hortalizas, papa, frutales, fríjol y arveja, ocupan extensiones pequeñas, requieren mayor inversión y mayores insumos y generalmente mantienen mayores precios a excepción de los altamente fluctuantes de las hortalizas y de la papa. Para algunas regiones no se tienen bien definidas las siembras con prácticas de conservación de suelos, especialmente en las zonas de colonización o en las fuertemente quebradas o en ampliaciones de la frontera agrícola. La deforestación es aguda no sólo para extraer madera para vivienda y comercio, sino también como soporte o tutor de cultivos y como combustible (leña).

Es común la práctica de descanso o barbecho de los lotes como recurso para la recuperación de la fertilidad del suelo y posiblemente para disminuir la incidencia de enfermedades.

La rotación de cultivos si aún no es generalizada, se hace necesaria por la presencia de patógenos, aunque esta práctica se dificulta para los más limitados por la tierra. Los agricultores usan el conocimiento empírico del clima para establecer los calendarios de siembra y lo combinan con prácticas de incorporación del barbecho y de métodos de labranza en zanjillas, o de incorporación de arcillas para mejorar la retención de humedad del suelo, en algunas áreas. La escorrentía la reducen por siembras a través de la pendiente o con el uso de caballones, de trincheras, de "muescas", en el terreno, que dis-

minuyen la velocidad del agua de escorrentía. No existe en Colombia un manejo comunal de la tierra a excepción de las parcelaciones del INCORA (Instituto Colombiano de Reforma Agraria) y sólo se presenta en comunidades indígenas. La mecanización es baja en Nariño, Cundinamarca y Boyacá ya que se usa la tracción con "bueyes" (vacunos machos); en Antioquia se hace con "azadón" y otros implementos menores. Sus recursos genéticos, de gran variabilidad han venido perdiéndose por introgresión genética, por pérdidas de demandas de mercados, por el uso de nuevas variedades, así como se pierden fundamentos de las estrategias y prácticas de producción del agricultor, y métodos de escape a la presencia de plagas y enfermedades.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las ventajas de la agricultura en la zona Andina, son claras para los Valles Interandinos que son de alta fertilidad, de fácil mecanización, de alta productividad y sin limitaciones de tierra y capital. Sin embargo, la agricultura de ladera ante la imposibilidad económica y de voluntad política de cambiar el orden de las limitaciones, los sistemas tradicionales de cultivos asociados, cuando se les incorporan modificaciones ofrecen ventajas que Tobon (15) y otros han señalado, tales como un máximo aprovechamiento de la tierra, uso más eficiente de los factores ambientales y de características biológicas de las plantas, diversificación de las fuentes de ingreso y de alimentación, menores costos de producción, mayor generación de empleo familiar e ingreso neto, gradualidad de las inversiones, menor riesgo por cosecha y mercados y en cuanto a la conservación de los recursos naturales hay una cubierta vegetal verde casi todo el año, hay menor laboreo del suelo, menor incidencia de plagas y enfermedades y por ende menor cantidad de pesticidas que es necesario aplicar; la incorporación continua al suelo de residuos de cosecha y malezas mejora las condiciones físicas y químicas del mismo.

Bush (3), señala además como ventaja marginal de la producción en zonas montañosas la producción ganadera, la producción de cultivos especiales de café, los productos forestales y el turismo.

Las desventajas de la agricultura de ladera son diversas:

1. Es de alto riesgo climático, patológico y entomológico, pues la diversidad de hospederos aumenta la presencia e incidencia de los agentes adversos.

2. Genera altos costos de producción por la baja fertilidad de sus suelos,

3. Hay serias deficiencias y pérdida en la calidad de los productos.

4. La diversidad genética dificulta el mercadeo.

5. La difícil topografía limita la tecnificación, la ampliación agrícola y la construcción de vías.

6. La mayor y aún continuada fragmentación de la tierra limita su adecuación.

7. Bush (3) señala que la principal desventaja es que este tipo de agricultura genera baja renta por su espacio limitado, la pobre calidad de los suelos, las temperaturas bajas y los costos de transporte altos. Además como centros de domesticación de cultivos es desfavorable la producción rentable de sus productos primarios.

8. Es conocido que son sistemas frágiles por la baja capacidad económica de sus productores, y el peligro de evolución a formas más tecnificadas conlleva nuevas plagas y enfermedades de más difícil control que pueden resultar en una mayor dependencia de pesticidas importados, de semillas y del control costoso de plagas.

9. La complejidad de factores genera dificultad en la creación de equipos técnicos, de estrategias y planes de desarrollo.

EFFECTOS EN LA CONSERVACION O DEGRADACION DE LOS SUELOS

Los suelos de ladera han sido, desde tiempos atrás, seriamente erosionados por una colonización desordenada, sin recursos, sin tecnología. El afán de cubrir o abrir mayor área implica el uso de sistemas deficientes de preparación del suelo con quemas incontroladas, baja protección de cárcavas, de puntos

de escorrentía, de siembras ordenadas a través de pendiente y lo más grave, el uso de cultivos que por su bajo costo y relativa poca exigencia nutricional agotan el suelo, como es el caso de maíz, yuca y pastos.

Con base en los datos de Cortés y colaboradores (4) sobre los diferentes grados de erosión y la extensión de cada zona agroecológica de la zona Andina se obtiene un estimativo de áreas de ladera erosionadas de 16.395.723 ha., es decir, un 53% del área total del país tendría severos grados de erosión.

Los datos obtenidos de investigaciones realizadas por el ICA en la Región Andina (9) indican que las respuestas al nitrógeno están concentradas en las zonas frías y de páramo en los cultivos de papa, trigo, cebada, hortalizas y pastos. En las regiones de clima templado la disponibilidad de nitrógeno varía. Es baja en suelos de ladera erosionados o en las formaciones aluviales de origen reciente o en los intensamente cultivados donde las plantas y el intenso laboreo han agotado las reservas de materia orgánica. El fósforo es deficiente en las tierras de climas fríos y templados con severos grados de erosión; así es común encontrar respuestas a este elemento de los cultivos propios de estas regiones. El potasio, a pesar de que los suelos tienen suficientes cantidades con cultivos permanentes o semipermanentes como el cacao, la caña panelera, el plátano y la yuca, han indicado la necesidad de aplicar este elemento en muchos suelos, debido al agotamiento.

Un conocimiento más amplio de los efectos sobre la erosión se tiene para las zonas cafeteras por trabajos de la Federación Nacional de Cafeteros, siendo la primera entidad (en 1938) que se preocupó en Colombia por defender de la erosión los suelos de la zona cafetera. En estas zonas un 50-70% del total de los aguaceros producen escorrentía y un 8-10% son responsables del 80 al 90% de las pérdidas de suelo. En este proceso de erosión se pierde espesor de los suelos y nutrientes, lo cual disminuye la fertilidad y la profundidad efectiva, afectando la productividad de los suelos (5). Diversas prácticas de manejo del café, señalan estos autores, generan procesos erosivos críticos, dependiendo éstos más del sistema de siembra y el manejo que de la variedad usada. Las investigaciones señalan que las quemas, el uso reiterado de azadón, de los herbicidas, los cultivos de yuca, piña y maíz y el sobrepastoreo entre otros, causan pérdidas de suelo y fertilidad (5) y son

precisamente estos cultivos y estas prácticas las que aún hoy debe usar el colono o nuevo adquiriente de tierras para agricultura. La zona es densamente poblada, ya que en ciertas áreas hay más de 100 habitantes por km² (2). La colonización inicial y aún hoy las invasiones y/o adjudicaciones de tierras, por su misma premura social, política y económica no permiten establecer estudios precisos de manejo de los suelos. La difícil situación económica de los agricultores cuando inician la apertura de tierras, no les permite hacer adecuaciones del suelo, ni inversiones de largo plazo, ni prever los daños ecológicos por el abastecimiento de agua y las pérdidas de suelo.

Es frecuente encontrar suelos nuevos que se incorporan a la agricultura y ya estaban erosionados, como es el caso del Oriente Antioqueño. La colonización antioqueña en todo el país llevó similares sistemas de manejo a varias regiones y por ello se presentan situaciones similares. Hoy los agricultores de ladera que cultiven productos diferentes al café, deben rehacer prácticamente el suelo, haciendo uso de tecnologías tradicionales, desarrolladas casi por el propio agricultor, y/o con el apoyo de las instituciones, pues el ICA, principal institución de investigación agrícola no ha tenido un programa específico de manejo y conservación de suelos.

Es frecuente el abandono de tierras para agricultura por el serio deterioro, aun en regiones con buenas vías de comunicación y cerca de las ciudades, y aún hay dudas sobre su real pérdida, pues además de la fertilidad natural, las condiciones físicas, microbiológicas, de degradación del micro-ambiente son desconocidas,

DISPONIBILIDAD Y NECESIDADES DE TECNOLOGÍAS APROPIADAS

Como se había señalado antes, el programa más antiguo de estudios de conservación de suelos, ha sido adelantado por la Federación de Cafeteros, y por tanto ofrece una gran diversidad de metodologías de medida de índices de erosividad y así han obtenido regresión lineal con un coeficiente de correlación de 0.92%, altamente significativo, entre los índices de erosividad de Wischmeit y Fournier y con esa base se ha elaborado una escala de calificación del grado de agresividad de la lluvia.

Igualmente se han desarrollado tecnologías que permiten establecer la peligrosidad de pérdidas superficiales de suelos causadas por erosión debido a diferentes sistemas de manejo. Se han estudiado diferentes plantas benignas para el cultivo del café que no compite con éste, tales como las leguminosas rastreras; la Coneja (*Pseudochinolaena polystachia*), la suelda consuelda (*Commelia sp*) y yerba de sapo (*Hyptis atronubens*). Se recomiendan coberturas específicas para zonas con períodos largos de sequía, distancias de siembra de cafetos, prácticas para la renovación y para la desyerba. Disponen de un sistema IUM (Uso y Manejo de los suelos de Ladera), ideado como alternativa de las ocho clases agrológicas del servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos, para las condiciones de ladera y define las épocas apropiadas para realizar labores de cultivo con menor riesgo de erosión a nivel de finca o región (5). El ICA viene adelantando trabajos sobre labranza mínima (13, 18) en diversos cultivos, encontrándose que el menor disturbio del suelo implica un menor daño de la estructura, de hecho la estabilidad en la densidad aparente, en la posibilidad de aireación y, especialmente, en la porosidad de conducción de agua, lo cual permite una mayor disponibilidad de humedad para la planta. Algunos cultivos como papa y maíz han mostrado tendencia a aumentar sus rendimientos aun con labranza cero.

El ICA (4, 6, 8, 11, 14, 15, 17) ha desarrollado desde 1970 trabajos en varias zonas del país en cultivos asociados. En la Tabla 3 se resumen resultados de rendimientos en algunos arreglos que han sido satisfactorios, y cuya aplicación ha tenido gran aceptación, entre productores pues sólo se ha modificado el sistema de cultivo.

Las ventajas de algunas de las asociaciones sobre los monocultivos, relacionados en la Tabla 3, se refieren no a rendimiento en sí, sino a las ventajas de la producción conjunta que pueden ser: 1. Hacer uso más eficiente de la tierra (UET mayor de 1) 2. Un mayor ingreso neto total de la asociación comparada con cada uno de los monocultivos. Además cuando estos índices muestren ligera superioridad al monocultivo, debe inferirse como ventaja que puede sacrificarse algo de ingreso neto en aras de poder aprovechar los recursos de economía campesina tales como la disponibilidad de mano de obra económicamente no activa o, también la ventaja de tener una producción diversificada, de menos riesgo y que podría requerir recursos fraccionados. Es claramente

TABLA 3. Resultado de investigación del ICA, en algunos arreglos de cultivos que han mostrado ventajas frente a sus respectivos monocultivos.

Arreglos de cultivos	Rendimientos en t/ha por cultivo			1/ UET	Ingresos Netos*		
	en orden a las especies señaladas				\$000pesos/cultivo o arreglo		
	Cultivo 1	Cultivo 2	Cultivo 3		Cultivo 1	Cultivo 2	Cultivo 3
ñ (0) M(o) Y(o)	18.6	1.5	18.0	1.0	233	44	150
ñame x maíz // Yuca	11.4	1.2	11.5	2.0	271	---	---
ñ (0) M(o) C (o)	18.6	1.5	0.5	1.0	238	44	57
ñame x maíz // Caupi	12.5	1.2	0.5	2.0	205	---	---
ñ (0) M(o) Aj (o)	18.6	1.5	2.1	1.0	238	44	57
ñame x maíz //Ajonjolí	13.0	1.1	0.65	1.6	218	---	---
M(o) F(o)	2.15	2.14	---	1.0	36	100	---
maíz x fríjol(2surcos)	1.95	0.89	---	1.3	136	---	---
M(o) F(o)	6.33	0.45	---	1.0	183	34	---
Maíz ICAV507//Fríjol (4 s.)	5.06	1.40	---	1.63	312	---	---
Tab (o)** F(o)	3.19	2.25	---	1.0	140	113	---
Tab ICA Guane // Fríjol Radical	3.32	0.40	---	1.3	172	---	---
Y(o) F (o) Maíz (o)	20	(1.52-0.85)-5.8	---	1.0	136	50	117
Yuca //Fríjol//Maíz//Fríjol	19.4	0.31	1.07 4.9	1.45	278	---	---
Maíz Morocho (o) F (o)	7.95	0.48	---	1.0	173	35	---
Maíz Morocho F. Tun. (4 s.)	5.72	6.64	---	1.0	157	---	---

FUENTE: Informes anuales ICA, Sección de Cultivos Asociados, 1984 y 1985.

1/ UET: Índice de Uso Eficiente de la Tierra: Cantidad de terreno en hectáreas necesarias para producir los mismos rendimientos obtenidos en asociación, como si fuera monocultivo. Para un monocultivo UET = 1.

* Los precios y costos de los productos varían aun dentro del mismo año de 1984, por diferencias del sistema de producción de cada zona, del transporte, del valor de la mano de obra y la preferencia por las variedades.

** Según el Anuario Estadístico del Ministerio de Agricultura el costo de producción de Tabaco Negro era de \$99.347/ha, y el precio al productor fue de \$75.000/ton.

justificable la necesidad de desarrollar tecnología que contemple las limitaciones de la zona Andina, no sólo por el área de influencia y la población campesina, sino por la demanda creciente de alimentos de consumo nacional que es cada vez más escaso que se produzca en la agricultura empresarial.

La factibilidad puede haber quedado demostrada por las áreas de proyectos que hoy presentan grados de desarrollo aceptables con rendimientos satisfactorios y que no sólo se debe conservar el suelo actualmente en uso sino porque aún hay tierra disponible y hay presión social y económica sobre ella.

La diversidad de especies agrícolas cultivadas

puede generar diferentes exigencias en el manejo del suelo y está dada por la alta heterogeneidad de climas, de las características del mismo suelo y de los arreglos de cultivos. Tobón (16), señaló diferentes necesidades de investigación de suelos en relación con sistemas de producción, los cuáles pueden resumirse así:

1. Hay un relativo buen conocimiento sobre el requerimiento en la fertilización de los cultivos, pero se conoce poco de los cambios en la estructura del suelo, su efecto en la porosidad y en la estabilidad de los agregados, y cómo estos afectan la producción y cuales deben ser sus recomendaciones.

2. Los cambios en las poblaciones de microorganismos del suelo tales como: bacterias, actinomicetos y hongos de la rizosfera, su efecto sobre el desarrollo radicular y cómo aprovechar sus efectos nutricionales.

3. Dada una agricultura sin posibilidades de riego es necesario mantener y mejorar la retención de humedad del suelo, evaluando prácticas tradicionales y/o desarrollar nuevas alternativas viables. Es conocido en el Oriente Antioqueño el uso de arcillas para cultivos y la incorporación profunda al surco de "mulch" o prácticas de laboreo de zanjillas de acumulación.

4. La frontera agrícola cada vez se amplía en suelos nuevos no sólo en agricultura de pequeños y de medianos productores, sino también en agricultura empresarial, y su manejo aparentemente no difiere entre zonas. Es necesario conocer desde antes el manejo adecuado que debe darse a esos suelos, a fin de almacenar nutrientes en la vegetación y en el suelo, dar eficiencia de su transferencia al cultivo y establecer cómo reducir las pérdidas nutritivas del sistema.

5. La quema del bosque y el barbecho es una práctica común y "económica" para incorporar tierra a la agricultura, que requiere evaluarse más allá de los estudios de Suárez de Castro y de Popeone (16) bajo las condiciones en que la practican los productores, o si pueden agregarse otros acondicionadores para reducir sus efectos nocivos en el estado físico del suelo.

6. Tanto en laderas como en áreas planas el suelo desnudo sufre erosión, y el proceso de laboreo remueve cantidades importantes de la capa arable, por lo cual los agricultores dejan descansar los suelos. Hoy no parece económico dejar suelos en barbecho, y por eso se requiere buscar alternativas de cultivos en rotación que sean viables económica y ecológicamente.

7. Se deben establecer las diferencias de requerimientos nutricionales y de manejo entre las unidades agroecológicas homogéneas determinadas por el IGAC e ICA (4)

8. Debido a que los agricultores pequeños hacen uso de grandes cantidades de abono orgánico, éstos

han adquirido precios altos, por lo cual se requiere buscar alternativas. Su uso es muy importante en suelos ya degradados.

9. Las dosis y formas de aplicación de fertilizantes deben variar según los diferentes sistemas de producción; en una agricultura con limitaciones severas de capital, los rangos de recomendación deben ajustarse para garantizar un adecuado balance de los nutrientes del suelo.

10. Se hacen necesarios los estudios conjuntos con otras disciplinas. Los aspectos genéticos de tolerancia a condiciones adversas de suelo y de tipos de plantas con sistemas radiculares más eficientes, de mínima competencia y de máxima complementación con otras especies, redundarán en beneficio de sistemas de cultivo múltiple. Análogamente se espera que con los resultados de investigaciones entomológicas se reduzca la incidencia de plagas del suelo. Igualmente son necesarios estudios para establecer sistemas agrícolas, pecuarios y forestales simultáneamente.

11. Es clara la bondad de ciertas modificaciones introducidas a algunos sistemas de cultivo tradicional. Esto significa que podría dudarse que arreglos o sistemas tan tradicionales de cultivo y manejo del suelo sean aún viables, bajo las condiciones y alternativas actuales, además por la presión de requerimientos de tierra, trabajo y alimentación, máxime cuando se está implantando en el país una apertura económica.

12. El 47% de las tierras requiere un manejo de protección especial ya que a veces por ser muy húmedas y a veces por ser muy secas, sufren erosión para lo cual un aspecto importante sería el manejo de cubiertas vegetales. Con respecto a este aspecto, debe tenerse en cuenta que el país ha hecho un gran esfuerzo en la colección de aguas para consumo humano y para generar energía eléctrica, pero hay una alta sedimentación que pone en peligro tales inversiones.

13. Las investigaciones en estos campos son de largo plazo y de alto costo y aún terminadas deben ser vigiladas y renovadas. La formulación de políticas debe buscar leyes que incentiven y obliguen a hacer aportes para apoyar la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AGUDELO V., L.A.; RUGELES CH., L.E. ; LOPERA P., J.; FLOREZ D., V.; PEDROZA, M.R.; CHUDT, L.J.; CASTILLO, T.S. 1987. Entorno socioeconómico de la investigación agropecuaria. ICA. Bogotá, octubre 1987. 195 p.
2. ARIAS F., J. 1980. Cultivos Múltiples: producción e influencia en la conservación de aguas y en la erosión de ladera colombiana. En: Memoria seminario internacional agricultura de ladera en América Tropical, CATIE, Turrialba - Costa Rica. p. 305-312.
3. BRUSH, B. S. 1980. Estrategias agrícolas tradicionales en las zonas montañosas de América Latina. En: Memoria seminario internacional agricultura de ladera en América Tropical. CATIE, Turrialba -Costa Rica. p. 65-76.
4. CORTES L., A.; OLMOS M., E.; PALACINO DE W., A.; SUAREZ M., J.G. y VILLANEDA V., E. 1985. Zonificación agroecológica de Colombia. IGAC e ICA. Bogotá, Colombia.
5. GOMEZ A., A.; BRAVQ G., E. 1980. La Federación Nacional de Cafeteros y la Ciencia del Suelo. En: Panel sobre la ciencia del suelo y el desarrollo agrícola de Colombia. Suelos ecuatoriales. No. 2.
6. ICA. Informes anuales de 1984, 1985 y 1988. Sección Cultivos Asociados ICA. Sin publicar, Centro de Investigación La Selva, Rionegro - Antioquia. Colombia.
7. LORENTE, L.; SALAZAR, A.; GALLO, A. 1985. Distribución de la propiedad rural en Colombia. CEGA, Bogotá.
8. MANRIQUE E., R. s.f. Cultivos intercalados con caña de la Hoya del Río Suárez. ICA, Barbosa. Sin publicar.
9. MARIN, J.G. 1981. La investigación en suelos del Instituto Colombiano Agropecuario. En: Panel: la ciencia del suelo y el desarrollo agrícola de Colombia. Suelos ecuatoriales. 2 (12).
10. MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA. 1986. Anuario estadístico del sector agropecuario 1986. Bogotá, Colombia.
11. MONSALVE U., O. 1988. La asociación maíz-frijol en climas fríos de Cundinamarca y Nariño. Curso cultivos asociados. ICA, Rionegro - Antioquia.
12. POSNER, J.; McPHERSON, M. F. 1980. Las áreas de ladera de México, Centro América, El Caribe y los países Andinos. Situación actual y perspectivas para el año 2000. In: Memoria seminario internacional agricultura de ladera en América Tropical, CATIE, Turrialba - Costa Rica. Diciembre 1980. p. 91-107.
13. RODRIGUEZ R., D.M.1990. Reducción de labranza en cultivos de ladera. In: XII seminario mejoramiento y sistemas de producción de haba. PROCANDINO, Pasto, Colombia. p. 171-175.
14. SUESCUN G., J. s.f. La asociación papa - frijol y papa - arveja y arracacha. ICA - "La Selva", Rionegro (Antioquia) p. 9.
15. TOBON C., J.H. 1987. La investigación en cultivos en ICA, Colombia. Metodología y resultados. En: Foro de ingenieros agrónomos. ASOCIA, Manizales.
16. TOBON C., J.H. 1988. La investigación de suelos en proyectos en sistemas de producción. ICA. Tibaitatá.
17. TOBON C., J.H. 1989. Sistemas de producción y cultivos asociados en Colombia y Ecuador. In: III Curso corto de investigación para la producción de haba, lenteja, arveja y garbanzo en la subregión Andina. IICA - BID PROCANDINO, Colombia. p. 345-386.
18. TORREGROZA C., M. 1985. Fundamentos de la labranza mínima y no labranza en maíz. ICA. Bogotá.

EL RECURSO AGUA EN LA AGRICULTURA COLOMBIANA

José Antonio Forero Saavedra ¹

Guía de consulta

RESUMEN

Se presenta un análisis breve sobre la problemática de orden socioeconómico y técnico en que se encuentra la agricultura colombiana bajo riego. Se ilustra la evolución de la adecuación de tierras para riego y drenaje en el país y se muestran además las proyecciones para nuevos distritos de riego y drenaje. La disponibilidad de agua superficial y subsuperficial para la agricultura y otros usos, es presentada de acuerdo con el Estudio Nacional de Aguas-ENA. Como aporte a la solución de los problemas de manejo del agua en explotaciones agrícolas, el Instituto Colombiano Agropecuario-ICA ha generado tecnologías tanto para el pequeño productor como para las áreas de los Distritos de Riego. De esta tecnología se presenta una pequeña muestra consistente principalmente en riego por goteo y por microaspersión: evapotranspiración real de algunos cultivos como arroz, maíz, algodón, sorgo, soya, maní y papa; así como también, niveles de producción de cultivos alcanzados con prácticas adecuadas de manejo de agua por medio de varios métodos de riego.

SUMMARY

WATER RESOURCES FOR COLOMBIAN AGRICULTURE

A brief analysis of the socioeconomic and technical problems involving the colombian agriculture under irrigation is presented here. The evolution of land development works for irrigation and drainage projects is illustrated, and the projection for new irrigation and drainage districts is shown as well. The availability of surface and subsurface water for agriculture and other uses is presented according to the National Water Survey-ENA. As a contribution to solving water management problems encountered in agricultural explotations, the Colombian Agricultural Institute-ICA has developed technologies for small farming as well as for those areas within the irrigation districts. A small sample of these technologies is also shown. In consists mainly of drip and micro-sprinkler irrigation; actual evapotranspiration for some crops such as rice, maize, cotton, sorghum, soybean, peanuts, and potatoes; and in like manner, some levels of crop production attained under adequate water management practices using several irrigation methods.

¹ Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Apartado Aéreo 151123, Eldorado. Santafé de Bogotá - Colombia, S.A.

La economía de una nación está sustentada en el desarrollo de sus procesos productivos y dentro de ellos, el uso y el manejo adecuados de los recursos hídricos ocupan un lugar de singular importancia. El hombre por su parte, gestor y administrador de tales procesos, encuentra en el agua el recurso natural renovable más importante como elemento de consumo y por consiguiente como fuente de su salud y bienestar. Gracias al ciclo hidrológico se puede contar con disponibilidad del recurso para múltiples usos a través de fuentes diversas como la precipitación, almacenamientos naturales como lagos y lagunas, corrientes superficiales como ríos y quebradas, así como también, almacenada en formaciones acuíferas subterráneas cuya recarga se origina en las fuentes mencionadas. La disponibilidad del agua no obstante, presenta gran variabilidad en el tiempo y el espacio debido a los fenómenos meteorológicos que enmarcan el clima de la región; es por esta razón que para establecer un equilibrio adecuado entre la oferta y la demanda del recurso, el hombre debe proyectar y construir obras de ingeniería de índole diversa como es el caso de presas de almacenamiento que permitan regulación de caudales durante períodos de elevada pluviosidad y disponibilidad durante las épocas de estiaje, obras de trasvase para suplir deficiencias a nivel de cuencas y obras de derivación y conducción en general que permitan distribuir el agua a los sitios en donde es requerida.

Colombia tiene un desarrollo apenas incipiente en materia de recursos hídricos. Los problemas que se afrontan en este sentido, no pueden ser adjudicados en su totalidad a escasez del recurso o a la competencia entre las demandas propias de los diferentes usos; un examen no muy exhaustivo sobre los planes de desarrollo regional a lo largo de nuestra historia, muy probablemente nos conducirá a concluir que son de mayor significancia los problemas que guardan relación con la priorización de las inversiones realizadas en los diferentes sectores de desarrollo, la transferencia de tecnología sobre manejo adecuado de los recursos hídricos, la información básica que permita establecer inventarios reales sobre disponibilidad de agua y sobre requerimientos para distintos usos, así como también, la ejecución eficiente de planes de operación y conservación de las obras hidráulicas existentes.

El presente trabajo contiene una rápida visión socioeconómica y de la problemática que afronta el país en materia de recursos hídricos y está especialmente orientado hacia el sector rural.

Además del ICA, una fuente importante de información para la elaboración del presente trabajo ha sido el Estudio Nacional de Aguas-ENA, cuya ejecución fue promovida por el Departamento Nacional de Planeación-DNP con el apoyo financiero del Fondo Nacional de Proyectos de Desarrollo-FONADE.

ENTORNO SOCIOECONOMICO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA COLOMBIANA.

Colombia es uno de los países del mundo de menor desarrollo en cuanto se refiere a agricultura bajo riego. A pesar de que el potencial irrigable en tierras planas asciende a 3.5 millones de hectáreas y el potencial total incluyendo zonas de ladera sobrepasa ampliamente 10 millones de hectáreas, en la actualidad existe un área bajo riego que escasamente se acerca a 600.000 ha. De esta área, aproximadamente el 78% corresponde al esfuerzo de la empresa privada y de agricultores progresistas y solo un 22% está representado por las inversiones del Estado en distritos de riego. Las cifras anteriores indican que la agricultura colombiana bajo riego alcanza solamente 0.52% del territorio nacional. Puede entonces afirmarse que Colombia es un país de agricultura tradicional de secano y que por esta razón su producción agrícola no es competitiva en los mercados internacionales.

El panorama descrito permite observar que la agricultura colombiana se encuentra dividida en dos sectores perfectamente diferenciados: un sector mayoritario de agricultura tradicional de secano y un sector minoritario de agricultura bajo riego. Dentro del sector tradicional pueden distinguirse tres tipos de productores: el minifundista, el medio y el latifundista, con niveles de tecnología que van desde muy bajo hasta intermedio, pero con la característica común de constituir sistemas de producción sometidos continuamente a los riesgos de una pobre distribución de la precipitación.

De especial interés es el tipo de productor minifundista. A él pertenece la mayoría de la población rural colombiana y sus predios son característicos de escasez de recursos productivos, en especial de tierra y agua. El pequeño productor no cuenta con fuentes de financiación, exhibe un nivel muy bajo de tecnología y es muy poca la capacidad de aceptación de

la misma. Los predios producen generalmente una cosecha al año debido a la estacionalidad de las lluvias y durante la época seca es frecuente que gran parte de los miembros de la familia deban desplazarse a otros lugares en busca de sustento, con el agravante de que usualmente es elevado el índice de deserción escolar. El minifundio colombiano no cuenta en general con acueductos rurales, de tal manera que son elevados los índices de morbilidad y mortalidad entre la población rural. La falta de educación, el subempleo, la desnutrición y un bajo nivel de ingresos, son en general el flagelo que mina el desarrollo de la familia campesina. Resulta sin embargo desconcertante el hecho de que es el campesino minifundista el responsable de la producción de cerca del 60% de los productos que conforman la canasta familiar colombiana.

El sector de agricultura bajo riego está ubicado en las zonas más favorecidas por los recursos de agua y tierra del país, aunque el grado de tecnología para el manejo de los mismos está aún lejos de alcanzar los niveles de optimización económica deseables. Esta agricultura puede no obstante catalogarse como de tipo empresarial y en general cuenta con fuentes de financiación oportunas para sus procesos productivos. El nivel de desarrollo del sector permite que sus agricultores estén en capacidad de absorber con relativa facilidad los cambios tecnológicos y, por otra parte, es la agricultura bajo riego la responsable de presentar al país otras alternativas económicas a más de la cafetera, mediante la producción de bienes capaces de penetrar competitivamente en los mercados internacionales.

PROBLEMATICA DEL AGUA EN LA PRODUCCION AGRICOLA

La problemática del agua en la producción agrícola colombiana puede resumirse en los aspectos que a continuación se describen.

Estacionalidad de la producción agropecuaria.

Como se ilustró anteriormente, la agricultura colombiana es en esencia de tipo estacional por cuanto depende casi exclusivamente de las lluvias. La distribución de la precipitación, unimodal en algunas partes del territorio nacional y bimodal en otras, conduce a una fluctuación bastante conside-

rable en los precios de mercado de productos agropecuarios, como efecto del gran desequilibrio entre la oferta y la demanda, desequilibrio que se presenta con la periodicidad propia de la agricultura de secano. Son características de nuestro mercado las subidas verticales de precios de productos agropecuarios a causa directa de las sequías, cuya consecuencia es un duro golpe a la economía del consumidor. Por otra parte, es usual que la producción durante los períodos lluviosos conduzca a que la oferta supere ampliamente la demanda; en este caso, son las economías de los productores las que deben soportar el impacto, hasta el punto de llevar a la ruina a muchas familias y degenerar este hecho en migración de campesinos hacia los centros urbanos. No pueden dejar de mencionarse las situaciones en las cuales se presentan lluvias de gran intensidad que ocasionan por inundación y volcamiento la pérdida parcial o total de las cosechas.

Es importante señalar que nuestra dependencia casi absoluta de la agricultura de secano, es una de las barreras principales que impiden acometer un plan serio de diversificación de exportación de productos agrícolas; en este sentido, adquirir compromisos a nivel de comercio internacional no solamente resulta casi imposible, sino que puede ser altamente riesgoso, ya que jamás podrán predecirse con precisión las irregularidades de la precipitación y su efecto sobre los niveles de calidad y cantidad de la producción.

Educación y transferencia de tecnología.

Paralelamente a la tradición de una agricultura de secano, existe un desconocimiento casi total de prácticas adecuadas de manejo del agua de riego y/o drenaje. Esta es una situación que caracteriza a todos los niveles educacionales en mayor o menor grado, por cuanto se observa que hace falta crear una mejor conciencia en nuestra educación primaria y secundaria sobre el papel que debe desempeñar el agua en la agricultura y, a nivel de algunas carreras universitarias de orientación agrícola, puede verse la necesidad de establecer reformas que propicien una formación profesional sobre manejo integral de los recursos naturales.

Como consecuencia de lo anterior, es baja la capacidad de aceptación de tecnología en materia de uso y manejo de recursos hídricos en la agricultura y, por otra parte, la asistencia técnica agrícola colom-

biana ha tenido y continúa teniendo un enfoque netamente fitosanitario, olvidando por completo el manejo del agua.

Operación deficiente de los distritos de riego y/o drenaje.

La operación de los distritos de riego y/o drenaje se ve afectada por tres factores principales: el desconocimiento de los requerimientos de agua para los cultivos y de sus coeficientes de drenaje, el uso generalizado de métodos de riego no apropiados a las condiciones prediales, de disponibilidad de agua y de cultivo y, finalmente, la falta de controles adecuados para la entrega de agua a los usuarios. Estas situaciones se han traducido en uso indiscriminado del agua, con lo cual se obtienen niveles excesivamente bajos de eficiencia de aplicación y de producción por unidad volumétrica de agua utilizada.

El mal manejo del agua descrito, no solamente ha traído consecuencias negativas a corto plazo como el riego de áreas muy pequeñas, equivalentes hasta el 50% o menos de las potencialmente irrigables con el caudal disponible, sino también a largo plazo, como son los casos de degradación de los suelos por erosión hídrica y por procesos de salinización.

Las tarifas tanto fijas como volumétricas que deben cobrar los distritos de riego están desactualizadas y por consiguiente, muy por debajo de los costos reales. Por esta razón, los presupuestos de conservación de las obras de infraestructura son insuficientes y han traído como consecuencia bajas eficiencias de conducción y disminución tanto de la capacidad de las obras, como de su vida útil.

A los problemas anteriores se suma el mal manejo de las cuencas hidrográficas en donde se encuentran localizados los distritos de riego. Por causa de esta circunstancia, los caudales en las bocatomas se han venido disminuyendo significativamente afectando las áreas potenciales irrigables; algunos de los distritos de riego más antiguos están sirviendo en la actualidad entre el 60% y el 80% del área para la cual fueron diseñados.

El monocultivo de arroz en los Distritos de Riego.

En los distritos de riego estatales puede hablarse sin temor a duda del arroz como un monocultivo bajo riego. Algunas circunstancias favorecen este hecho. Tal es el caso de la rusticidad característica de

la especie, por cuanto su producción no se ve afectada significativamente como respuesta a variaciones en caudales de humedecimiento, inundación y renovación, así como tampoco a cambios en las láminas de embalse. Favorecen también al monocultivo las bajas tarifas volumétricas, la falta de controles adecuados para entrega de agua a los usuarios y la localización de los distritos de riego en cercanía a los grandes centros urbanos, con lo cual se facilitan tanto la cosecha y postcosecha, como la comercialización de la producción.

Recientes investigaciones del Programa Manejo de Aguas del ICA en los distritos de riego de Montería-Mocarí (Córdoba), Usocoello (Tolima) y El Juncal (Huila), indican que con la misma cantidad de agua disponible podrá incrementarse en más del 50% el área arrocera bajo riego y hasta triplicarse en términos promedios el área total bajo riego, si se adelantara un plan de diversificación de cultivos. Por otra parte, los mismos estudios indican que a pesar de que el costo volumétrico del agua está muy por debajo de la realidad, las tasas internas de retorno para el cultivo del arroz, son muy inferiores a las tasas de interés de crédito agrícola.

Muy conocidas son las áreas potenciales con que cuenta el país en zonas inundables para la producción entre otros, del cultivo de arroz de secano. Estas áreas sobrepasan 1.5 millones de hectáreas y están localizadas en regiones como la Depresión Momposina en el Departamento de Bolívar y en las vegas inundables de los ríos Sinú, San Jorge, Magdalena, Cauca y Meta, entre los más importantes.

Se espera que estas áreas en general aún no explotadas, o inadecuadamente explotadas, sean las que absorban totalmente el cultivo del arroz cuando los actuales productores analicen a fondo los bajos niveles de rentabilidad del cultivo bajo riego y el gobierno nacional ponga en ejecución un plan agresivo de diversificación de cultivos en los distritos de riego, con respaldo de políticas eficientes de crédito y mercado, a más de incentivos mediante tarifas de agua diferenciales que favorezcan los cultivos de dicha diversificación.

Falta de una Política de Inversiones en Adecuación de tierras.

Como se mencionó anteriormente, Colombia es uno de los países menos desarrollados en materia de agricultura bajo riego. Las primeras inversiones

fueron hechas por la United Fruit Company hacia fines del siglo pasado en el Distrito de Riego Prado de Sevilla (Magdalena). La capacidad de este distrito fue del orden de 28.000 ha. Sólo hasta 1944 se hicieron algunas nuevas inversiones por parte de ELECTRAGUAS en un proyecto de drenaje de 16.000 ha., en los valles del Alto Chicamocha y Firavitoba (Boyacá). En 1949 el Ministerio de Economía Nacional construyó una pequeña represa para derivar agua del río Recio con fines de generación de energía eléctrica y riego de la zona de Lérica (Tolima). Esta zona de 3.700 ha., sólo pudo regarse hasta el año de 1951 cuando se ejecutaron las obras de adecuación de tierras. Hacia el mismo año, la Caja de Crédito Agrario Industrial y Minero concluyó la ampliación del distrito de Lérica en una extensión de 2.700 ha, correspondiente a la zona de Ambalema. Entre los años de 1949 y 1953 la misma entidad construyó los distritos de riego de Coello y Saldaña (Tolima) para beneficiar 28.000 ha. La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC, construyó el distrito de riego y drenaje de Roldanillo-La Unión-Toro con un área de 10.500 ha, entre los años de 1959 y 1962.

La Ley 135 de 1961 crea el Instituto Colombiano de la Reforma Agraria-INCORA y se le asignan entre otras, funciones de adecuación de tierras para nuevas obras de riego y drenaje y para la administración de los distritos de riego existentes. Esta entidad adelantó, a partir de 1963, la construcción de los siguientes Distritos de Riego y Drenaje: Repelón, Santa Lucía y Manatí (Atlántico); María La Baja (Bolívar); Montería y La Doctrina (Córdoba); El Juncal, El Porvenir y San Alfonso (Huila); Zulia y Abrego (Norte de Santander); Sibundoy (Putumayo) y Lebrija (Santander). Estos nuevos distritos de riego y drenaje construidos por INCORA ascendieron solamente a un total de 88.400 ha. Teniendo en cuenta los distritos de riego y/o drenaje más antiguos, el área total bajo la administración de INCORA alcanzó escasamente la cifra de 178.000 ha.

Las funciones relativas a la adecuación de tierras para riego y drenaje y la administración de los distritos de riego y drenaje, fueron suspendidas a INCORA y asignadas al Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras-HIMAT, por medio del Decreto 132 de 1976.

De acuerdo con las cifras anteriores, puede resumirse que la participación del Estado en obras de

riego y drenaje ha tenido dos ciclos de inversión: el primero, antes de la creación del INCORA, para un área de 89.900 ha, y el segundo, con la creación del mismo Instituto, para un área de 88.400 ha. Si bien es cierto que se han acometido algunas obras de adecuación de tierras por parte del HIMAT, las áreas son mínimas comparadas con las de los ciclos mencionados, situación debida a que muy probablemente el Estado no ha considerado prioritario invertir en nuevas obras de adecuación de tierras para riego y drenaje, a pesar de que la entidad ha adelantado varios estudios a nivel de factibilidad, los cuales bien podrán entrar en su fase de construcción. Dentro de tales estudios se encuentran los siguientes proyectos para nuevos Distritos de Riego y Drenaje: Triángulo del Tolima (24.700 ha.), Valle de Laboyos-Huila (2.400 ha.), Venado-Cabrera-Huila (6.264 ha.), Firavitoba-Boyacá (4.200 ha.), Cuenca del Río Ariari-Meta (34.890 ha.), Hobo-Campoalegre Neiva-Huila (15.140 ha.), Villa de Leyva-Boyacá (2.883 ha.), Alto Chicamocha-Boyacá (7.850 ha.), Nechí-San Jacinto (con áreas en los departamentos de Córdoba, Sucre, Antioquia y Bolívar, para un total de 28.360 ha.), Valledupar-Cesar (10.800 ha.), San Juan del Cesar-Guajira (3.000 ha.), Río Ranchería-Guajira (15.821 ha.), Magará-Santander (10.000 ha.). Estos trece nuevos proyectos, cuya fase de factibilidad está concluida, suman un área de 166.308 ha.

Por otra parte, las obras de riego y drenaje ejecutadas por el sector privado sobrepasan la cifra de 461.500 ha. lo cual indica que ha sido más notorio el esfuerzo realizado por este sector en materia de adecuación de tierras. Las ejecutorias del sector privado sumadas a las del sector público, escasamente se aproximan a la cifra de 600.000 ha. con obras de riego y/o drenaje, como ya se indicó. Ante esta circunstancia, puede observarse con claridad que nuestra agricultura es fundamentalmente de secano y puede también afirmarse que es imperativo para el país acometer un plan serio de ampliación de la frontera agrícola bajo riego, si existe un verdadero propósito de penetrar competitivamente en los mercados externos.

DISPONIBILIDAD DE AGUA

Agua Superficial

Con base en la distribución estacional de la precipitación y teniendo además en cuenta la informa-

ción histórica de caudales, el ENA dividió el país en 14 regiones homogéneas estacionales con el fin de clasificar tipos diferentes de distribución intraanual de la escorrentía superficial. Tanto la Amazonia como la mayor parte de la Orinoquia fueron excluidas de tal regionalización, por carencia de información suficiente para poder sustentar las variaciones en la distribución de precipitación y de caudales. En el mismo estudio se desarrolló un modelo de generación de precipitación y de caudales en forma mensual, para confrontar la oferta y la demanda por el recurso dentro de un modelo de balances, teniendo en cuenta el carácter estocástico de las variables.

Según el ENA, la variación espacial y temporal de la precipitación en Colombia está gobernada principalmente por el efecto de los vientos alisios y del Frente intertropical de Convergencia. Este último es un cinturón de baja presión que se desplaza a lo largo del país de acuerdo con la época del año y que está acompañado de nubosidad y lluvias torrenciales. Colombia presenta grandes variaciones en la distribución de su precipitación anual. Se registran valores que van desde 200 mm. en la Alta Guajira, hasta 9.000 mm. en la Vertiente del Pacífico y valores intermedios entre 3.000 y 3.500 en la Orinoquia y la Amazonia. Gran parte de las variaciones son debidas a la orientación general del relieve colombiano y en especial a la localización de las cordilleras, valles interandinos y Llanos Orientales. Las variaciones de precipitación por altitud son marcadas y dependen entre otros factores de las pendientes de las regiones montañosas, de la dirección y velocidad de los vientos y de la humedad relativa de las masas de aire que estos transportan. Por su parte, la localización del Frente intertropical de Convergencia contribuye a la variación de la distribución anual de la precipitación. El ENA señala que durante los meses de Enero, Febrero y Marzo, el Frente se encuentra entre el Ecuador y 2 grados de latitud norte y que se desplaza hacia el norte a partir de Marzo y sobrepasa 8 grados de latitud norte en los meses de Julio y Agosto. Como efecto general del desplazamiento, las regiones por encima de 9.5 grados de latitud norte presentan un clima anticiclónico caracterizado por altas presiones y bajas precipitaciones y en el resto del país se presenta un clima ciclónico con precipitaciones superiores.

Entre las causas de variación de tipo local conviene señalar el efecto del Fohen. Se trata de un viento local, caliente y cargado de humedad el cual

al pasar por sobre las cordilleras se enfría en proporción a la altitud y abandona agua por condensación, dando origen a precipitación. Al pasar por la vertiente opuesta el viento está seco, aumenta su temperatura y al expandirse aumenta su capacidad para volver a captar humedad.

En cuanto a la distribución temporal de la precipitación, el país presenta un régimen unimodal en la Orinoquia, la Amazonia, la región del Chocó y el piedemonte oeste de la Cordillera Occidental. En el resto del país el régimen temporal de la precipitación es de tipo bimodal.

Con base en los registros históricos de caudales y de precipitación suministrados por HIMAT y teniendo en cuenta además estudios hidrológicos a niveles nacional y regional realizados por el mismo instituto y por algunas entidades regionales como CAR, CVC, Empresas Públicas de Medellín, entre otras, el ENA evaluó los rendimientos en términos de caudales medios multianuales por unidad de área, teniendo en cuenta las curvas isoyetas medias multianuales y los valores estimados de escorrentía y de evapotranspiración. A partir de esta información se trazaron las curvas de isorrendimientos y posteriormente se elaboró un mapa nacional teniendo en cuenta los siguientes niveles de isorrendimiento en litros/segundo/kilómetro cuadrado: menos de 20, entre 20 y 60, entre 60 y 140 y más de 140.

Aguas subterráneas

Como producto del estudio de aguas subterráneas elaborado por el ENA, el país fue sectorizado en 28 zonas hidrogeológicamente homogéneas a saber: 1. Atrato, 2. Sinú, 3. Dique - Bocas, 4. Sierra Nevada Norte, 5. Península de la Guajira, 6. Catatumbo, 7. San Andrés y Providencia, 8. Altiplanicie de Popayán, 9. Valle del Cauca, 10. Mesetas de Manizales, Aranzazu, Armenia y Pereira, 11. Valle del Medio Cauca, 12. Cañón del Cauca, 13. San Agustín-Hobo, 14. Hobo-Purificación, 15. Río Saldaña, 16. Facatativá-Colombia, 17. Sabana de Bogotá, 18. Guatiquí-San Pablo, 19. Sogamoso, 20. San Pablo-La Gloria, 21. Mompós, 22. Cesar, 23. Delta del Río Magdalena, 24. Zona Hidrogeológica del Orinoco, 25. Zonas Hidrogeológicas del Amazonas, 26. Alto Patía, 27. Franja Costanera Pacífica y 28. Baudó Occidental.

Entre las zonas citadas sobresale la del Valle del Cauca por la excelente calidad de sus acuíferos, así

como también por ser la mejor conocida y la más explotada del país. El número de pozos profundos existentes en el país supera la cifra de 5.000; de ellos cerca de 1.300 están localizados en la zona del Valle del Cauca con un caudal agregado cercano a 120.000 litros/segundo. La mayor parte del agua subterránea de la zona está siendo utilizada en explotaciones agrícolas bajo riego, especialmente en caña de azúcar, soya, algodón, sorgo y maíz.

OFERTA TECNOLÓGICA DEL ICA

El Instituto Colombiano Agropecuario-ICA tiene como una de sus funciones primordiales generar tecnología a través de la investigación agropecuaria. Aquí se presenta una pequeña muestra de la tecnología generada por el ICA en materia de manejo del agua en la agricultura. Esta tecnología ha sido generada a través del Programa Manejo de Aguas, bien como producto propio, o bien en cooperación del mismo Programa con otros entes públicos y privados del Estado Colombiano. La tecnología generada en este campo ha tenido en cuenta los dos tipos de productor característicos en el país: el tradicional o minifundista y el empresarial, localizado en las áreas de los distritos de riego.

Oferta tecnológica para el sector minifundista

El riego por goteo tipo ICA. Con el propósito de contribuir a mejorar los niveles de producción y productividad, así como también la condición socioeconómica del sector minifundista, se desarrolló un método de riego por goteo cuyas características principales son su reducido costo inicial y el ahorro sustancial en consumo de energía para la operación de los sistemas.

La filtración se efectúa en tanques abiertos, lo cual representa un ahorro significativo tanto en inversión inicial como en energía frente a los filtros cerrados; mientras estos requieren cabezas de presión de operación que oscilan entre 56 y 70 m, los filtros abiertos pueden operar convenientemente con cabezas pequeñas del orden de 1 a 1.5 m.

Como en cualquier sistema, la red de tuberías comprende las líneas principal, subprincipal, múltiples y laterales. La diferencia estriba en el hecho de que por ser un sistema de bajos requerimientos de

presión de operación, la resistencia de los materiales de fabricación de las tuberías no es muy exigente en especificaciones. Para predios minifundistas del tamaño de una hectárea, la máxima cabeza de presión que se espera debe resistir la tubería principal es del orden de 17 psi (libras por pulgada cuadrada). Estas resistencias son aproximadamente de 7 psi para la línea subprincipal, de 4.5 psi para las líneas múltiples y de 4 psi para las líneas laterales. Los bajos requerimientos de resistencia a la presión representan una economía notoria en las redes de tubería por cuanto sus paredes pueden ser de reducido calibre.

Cuando se trate de regar por goteo hortalizas o en general cultivos cuya distancia entre hileras no sobrepase aproximadamente 2.5 m., los sistemas de riego por goteo tipo ICA representan quizá las reducciones de costos más llamativas, debido a que sólo se requiere la mitad de las líneas laterales, en comparación con los sistemas convencionales. En términos de inversión inicial, este hecho representa un ahorro de 50% en cuanto a líneas laterales las cuales constituyen el costo más significativo en cualquier sistema de riego por goteo. Además, como ya se indicó, la resistencia requerida por estas líneas es muy baja, lo cual constituye un ahorro adicional importante en el costo inicial.

El gotero o emisor utilizado en los sistemas de riego por goteo tipo ICA es el de tipo microtubo o espagueti, el cual es fabricado en polietileno negro y con un diámetro interior que oscila alrededor de 1 mm. La característica hidráulica principal de estos emisores es que su régimen de flujo es laminar. A pesar de que este régimen de flujo ocasiona mayor variabilidad en la relación presión-caudal, algunas evaluaciones adelantadas en campo y en laboratorio demuestran que este emisor proporciona adecuada uniformidad cuando las líneas laterales tienen longitudes inferiores a 35 m, en sistemas utilizados en explotaciones hortícolas.

Con el fin de propiciar una mejor asistencia técnica al pequeño productor, se desarrolló un programa de computador escrito en BASIC, el cual permite diseñar sistemas de riego por goteo tipo ICA bajo diferentes condiciones de abastecimiento de agua, topografía, forma y tamaño de los predios y tipos de cultivo. El programa es relativamente pequeño; para correrlo es suficiente una calculadora programable de 10 kilobytes de capacidad RAM.

TABLA 1. Algunos resultados obtenidos por el Programa Manejo de Aguas del ICA en producción hortícola bajo riego por goteo.

Cultivo	Localización	K	Producción media en la zona t/ha	Producción goteo ICA t/ha	B/C
Tomate	Soatá	1.00	20.5	53.7	4.50
Melón	San Juan del Cesar	0.70	**	29.0	
Lechuga	Tunja	1.00	15.0	52.0	3.22
Fresa	Cota	1.00	24.0	49.8	6.82
Papa	Tunja	1.10	16.4	47.4	2.96
Coliflor	Mosquera	0.90	23.0	61.6	
Repollo	Mosquera	1.10	88.5	172.1	
Acelga	Mosquera	0.90	28.2	77.6	
Remolacha	Mosquera	1.10	33.9	63.7	

* Relación Beneficio/Costo.

** No existe información en la zona.

Se ha trabajado con unas 18 especies hortícolas en distintos pisos térmicos, utilizando sistemas de riego por goteo de las características mencionadas y empleando como patrón para la programación del riego un factor K de la evaporación del tanque tipo "A". La Tabla 1 presenta una pequeña muestra de algunos de los resultados más relevantes.

Bomba recíprocante. El Programa Manejo de Aguas generó tecnología apropiada para las unidades de bombeo en zonas de ladera. Se partió de un modelo rudimentario de bomba de desplazamiento positivo con 2 pistones, utilizado por algunos campesinos de la región de Cáqueza (Cundinamarca). Se evaluó su funcionamiento y posteriormente se introdujeron algunas mejoras para lograr mayores eficiencias dentro de un marco de minimización de costos, hasta diseñar un modelo de bomba de 4 pistones capaz de elevar un caudal aproximado de 7.6 litros/minuto a una altura de 80 m. El caudal de bombeo con estas unidades, puede ser suficiente para el riego por goteo de un área que oscila entre 0.5 y 1 hectárea de hortalizas en ladera, dependiendo del piso térmico y de las

especies vegetales.

Las características más sobresalientes de la bomba recíprocante diseñada por el ICA son su simplicidad la cual permite que pueda ser fabricada en cualquier taller, su bajo costo y el hecho de utilizar una fuente no convencional de energía como lo es la hidráulica con lo cual se convierte en una solución muy económica para romper la estacionalidad de explotaciones agrícolas en zonas de minifundio.

Microaspersores.

A partir de tres tipos de microaspersores rústicos fabricados manualmente por campesinos de Pamplona en Norte de Santander y Cáqueza en Cundinamarca, el Programa Manejo de Aguas del ICA conjuntamente con el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional, realizó evaluaciones e introdujo modificaciones para mejorar los patrones de precipitación, hasta llegar al diseño final de varios modelos por cada tipo de microaspersor así:

Aspersor tipo 1: de boquilla y álabe, 25 modelos.

Aspersor tipo 2: de tubo curvado y ranura lateral, de giro por reacción, 10 modelos.

Aspersor tipo 3: de tubo en S en dos planos y boquilla circular, con difusor de alambre, de giro por reacción, 8 modelos.

En general, las cabezas de presión de operación de los distintos modelos citados oscila entre 6.5 y 15.5 m. el diámetro de humedecimiento alcanza entre 10 y 14 m. y el caudal por microaspersor varía entre 11 y 20 litros/minuto.

Las condiciones de operación descritas y el bajo costo de los micro-aspersores diseñados, constituyen una buena alternativa de tecnología apropiada para la explotación agrícola bajo riego en zonas minifundistas, cuando la disponibilidad del recurso hídrico no es excesivamente limitante.

Oferta tecnológica para el sector empresarial.

Manejo de agua en el cultivo de arroz bajo riego.

El programa Manejo de Aguas a través de un Convenio con COLCIENCIAS, adelantó investigaciones con el fin de formular pautas sobre el manejo eficiente del agua de riego en arroz. Los trabajos fueron adelantados en los distritos de riego de Usocoello (Tolima) y de Montería-Mocarí (Córdoba), con la variedad de arroz Oryzica-1 y permitieron determinar la curva de evapotranspiración real del cultivo. Al comparar láminas de embalse de 5, 10 y 15 cm. y caudales de renovación de 0, 0.5 y 1 litro/segundo/hectárea y evaluar pérdidas por percolación y escorrentía, se encontró que la mejor fórmula de manejo del agua para el cultivo corresponde a láminas promedio de embalse de 5 cm. y permitiendo que el caudal de renovación se minimice hasta satisfacer las pérdidas por evapotranspiración y por percolación profunda, sin necesidad de permitir escorrentía. En estas condiciones se estimó que el área de arroz bajo riego en ambos distritos podía incrementarse con buenas condiciones de manejo y con el mismo caudal de agua disponible en las bocatomas, entre 50% y 100%, dependiendo del tipo de suelo. Se utilizó y se recomienda utilizar, el método de riego por melgas en curvas de nivel, sin prácticas de fangueo.

Manejo óptimo del agua en riego por surcos. Se

desarrolló un modelo de simulación para el manejo óptimo del agua en sistemas de riego por surcos. La metodología se orientó en primer término, hacia la derivación de funciones para simular los requerimientos de agua y la producción de un cultivo, tomando como ejemplo el maíz; y segundo, hacia el desarrollo de ecuaciones de predicción para el funcionamiento de sistemas de riego por surcos. Estas interrelaciones se analizan en forma conjunta por medio de un modelo de optimización económica mediante el cual se pueden tomar decisiones sobre el manejo del agua en cada riego. El modelo está basado en la minimización de costos y para ello se toman como componentes de costo el agua, la mano de obra, la energía y la reducción en la producción que pueda ser ocasionada por estrés de humedad como respuesta a cambios en el manejo del agua.

El programa de computador desarrollado para optimizar el manejo del agua de riego por surcos, fue escrito en FORTRAN 77 y su magnitud es de 48 kilobytes aproximadamente. El modelo es bastante sencillo de utilizar y requiere los siguientes parámetros de entrada: longitud de surco, magnitud de cada incremento de longitud, separación entre surcos, coeficiente de rugosidad, pendiente del terreno, parámetros de infiltración, número de surcos por unidad, número de unidades del predio, caudal de agua disponible para el riego, precipitación desde el último riego, costos actualizados del agua y la energía, costo de la mano de obra, precio unitario de la producción y producción potencial. El programa debe correrse antes de cada riego y como resultado se obtendrán las siguientes condiciones óptimas: caudal por surco y su tiempo de aplicación, costo total de la operación, funcionamiento del sistema en términos de eficiencia de aplicación y pérdidas por percolación profunda y por escorrentía superficial, fecha del siguiente riego de acuerdo con la frecuencia óptima y los valores acumulados de lámina de agua almacenada en la zona de raíces.

Requerimientos reales de agua por los cultivos.

Teniendo en cuenta la importancia económica de los distintos cultivos, así como la necesidad de impulsar un plan de diversificación de cultivos en la mayoría de los distritos de riego, se inició una fase de investigación a nivel nacional con el fin de determinar la evapotranspiración real de los cultivos y elaborar las curvas correspondientes. La metodología empleada es la de gradiente de riego por aspersión con la cual se simulan en campo distintos niveles de estrés de

TABLA 2 : Resumen de algunos resultados de producción de cultivos bajo riego. Programa Manejo de Aguas ICA.

Cultivo	Variedad	Métodos de Riego	Rendimiento			Localización Municipio	Localización Departamento
			obtenido t/ha	promedio de la zona t/ha	Incremento en producción %		
Ajonjolí	ICA-Pacandé	Surcos	1.14	0.62	84.1	Espinal	Tolima
Algodón	Gossica N22	Surcos	3.30	2.00	65.0	Espinal	Tolima
Algodón	Gossica N23	Aspersión	2.80	1.50	86.7	Espinal	Tolima
Maní	Tatuf 76	Surcos	2.02	1.60	26.3	Espinal	Tolima
Arroz	Oryzica-2	Melgas en curvas de nivel	6.64	5.00	32.8	Espinal	Tolima
Arroz	Oryzica-1	Melgas en curvas de nivel	5.80	5.00	16.0	Neiva	Huila
Arroz	Oryzica-2	Melgas en curvas de nivel	8.63	5.35	61.3	Cereté	Córdoba
Arroz	Oryzica-2	Melgas en curvas de nivel	7.30	6.43	13.5	Palmira	Valle
Maíz	ICA H-211	Aspersión	5.79	4.10	41.2	Palmira	Valle
Sorgo	Sorghica NH-301	Aspersión	3.17	2.79	13.6	Palmira	Valle
Soya	ICA-Tunía	Aspersión	3.08	2.02	52.5	Palmira	Valle
Papa	ICA-San Jorge	Aspersión	32.30	16.40	97.0	Tunja	Boyacá
Papa	Puracé	Aspersión	32.60	15.00	117.3	Mosquera	Cund.
Papa	Tequendama	Aspersión	30.00	15.00	100.0	Mosquera	Cund.
Trigo	Bonza 63	Aspersión	4.54	1.80	152.2	Mosquera	Cund.
Tomate	Chonto	Goteo	22.40	12.00	86.7	Cáqueza	Cund.
Tomate	Roma	Goteo	28.90	17.00	70.0	San Juan del Cesar	Guajira
Tomate	Manapal	Goteo	46.90	20.50	128.8	Sotá	Boyacá
Pimentón	California Wonder	Goteo	18.0	15.00	20.0	San Juan del Cesar	Guajira
Pepino	Cohombro	Goteo	19.0	15.0	26.7	San Juan del Cesar	Guajira
Remolacha	Crosby's Egyptian	Goteo	14.90	11.90	25.2	Cáqueza	Cund.
Remolacha	Crosby's Egyptian	Goteo	63.70	33.90	87.9	Mosquera	Cund.
Coliflor	Bola de nieve temprana	Goteo	27.00	9.00	200.0	Tunja	Boyacá
Coliflor	Bola de nieve temprana	Goteo	61.60	23.00	167.8	Mosquera	Cund.
Cebolla	Yellow Granex	Goteo	24.00	13.00	84.6	Mosquera	Cund.
Lechuga	White Boston	Goteo	54.60	37.70	44.8	Mosquera	Cund.
Zanahoria	Chantenay	Goteo	35.00	20.90	67.5	Mosquera	Cund.
Repollo	Copenhaguen market	Goteo	172.00	88.50	94.4	Mosquera	Cund.
Acelga	Penca Verde	Goteo	77.60	28.20	175.2	Mosquera	Cund.
Papa	ICA-San Jorge	Goteo	47.40	16.40	189.0	Tunja	Boyacá
Papa	ICA-Puracé	Goteo	42.41	15.00	182.7	Mosquera	Cund.
Fresa	Tioga Californiana	Goteo	62.80	24.00	161.7	Cota	Cund.
Espinaca	Viroflay	Goteo	24.40	18.20	34.1	Mosquera	Cund.

humedad en el suelo. La evapotranspiración real se estima por medio de balances hídricos prediales y utilizando como herramienta de medición de la humedad del suelo el dispersor de neutrones. Ya se cuenta con curvas de evapotranspiración real de algunos cultivos como maíz, algodón, sorgo, soya, maní y papa.

Una vez que las investigaciones mencionadas permitan conocer la evapotranspiración real de todo el espectro de cultivos potenciales para los diferentes distritos de riego, se podrá avanzar hacia el siguiente paso importante cual es el de desarrollar modelos de optimización económica que permitan tomar decisiones sobre patrones óptimos de cultivo bajo riego en cada semestre.

Manejo de agua en diversos cultivos.

Con el fin de apoyar un plan de diversificación de cultivos en los distritos de riego, se ha involucrado dentro de sus investigaciones un buen número de

cultivos y se han utilizado varios métodos de riego: surcos, melgas en curvas de nivel, aspersión y goteo. Los resultados de las investigaciones se han llevado a un proceso de validación, utilizando para ello parcelas comerciales localizadas fuera de los Centros Experimentales. En esta forma pueden tenerse puntos de referencia válidos para establecer comparaciones entre las distintas alternativas de cultivos y métodos de riego, con el fin de que en el futuro cuando se tomen decisiones sobre diversificación de cultivos en los distritos de riego del país, éstas sean el fruto de un análisis de optimización económica, en el cual se consideren los niveles potenciales de producción alcanzables por cada especie y el método de riego óptimo en cada caso. La Tabla 2 presenta una muestra de algunos de los resultados de validación de tecnología en manejo de aguas a nivel comercial. Los rendimientos alcanzados por el Programa Manejo de Aguas, se han comparado con los rendimientos promedio de la zona bajo el manejo que en ellas se ha dado tradicionalmente al agua de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. CAICEDO C.A., M. 1984. Manejo de agua en el cultivo de arroz bajo riego. Programa Manejo de Aguas ICA-COL-CIENCIAS. Nataima, Espinal. Tolima. (Material inédito).
2. FONADE-DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION - MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA. 1989. Estudio Nacional de Aguas. Santafé de Bogotá. D.C. 354 p.
3. FORERO S., J.A. 1990. El riego por goteo tipo ICA: una solución económica para el minifundio en zonas áridas. Memorias, IV Congreso interamericano y II Congreso Colombiano de Meteorología. HIMAT-SOCOLMET- DAAC. Santafé de Bogotá. D.C. p. 15-20.
4. FORERO S., J.A. 1988. Simulation Model for Optimal Water Management of Furrow Irrigation. 15th European Regional Conference on Agricultural Water Management. ICID. *Effects of Drainage and/or Irrigation on Agriculture*. Dubrovnik, Yugoslavia. p. 81-95.
5. FORERO S., J.A.; SUAREZ M., J.G.; VILLANEDA, E.; MATIZ S.H. 1989. Informe Anual de Actividades. Programa Manejo de Aguas. ICA. Tibaitatá, Santafé de Bogotá. D.C. (Material inédito).
6. HIDROCONSULTA LTDA. 1991. Estudio de Factibilidad. Fase IV. HIMAT. Santafé de Bogotá. D.C. (Material inédito).
7. INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ADECUACION DE TIERRAS. HIMAT. 1985. Desarrollo del Riego, Drenaje y funcionamiento de los Distritos de Adecuación de Tierras Agrícolas en Colombia. Publicación Técnica No. 3. Santafé de Bogotá. D.C. p. 27.
8. LOPEZ V., J.V.; CAICEDO C., A.M. 1987. Informe Anual de Actividades. Programa Manejo de Aguas. ICA. Nataima, Espinal, Tolima. (Material inédito).

9. MURILLO S., J. 1989, Informe Anual de Actividades. Programa Manejo de Aguas. ICA. Codazzi, Cesar. (Material inédito).
 10. PALACIO S., M.H. 1984. Manejo de agua en el cultivo de arroz bajo riego. Programa Manejo de Aguas. ICA- COL- CIENCIAS. Turipaná, Cereté, Córdoba. (Material inédito).
 11. ROJAS P., H.; GALLARDO B., C, 1988. Informe Anual de Actividades. Programa Manejo de Aguas. ICA. Palmira, Valle del Cauca. (Material inédito).
 12. VILLAMARIN M., M.A.; PALACIOS, M.R. 1988. Gradiente de humedad del suelo en la producción de cuatro variedades de papa. Tesis Agrología. UJTL. ICA. Santafé de Bogotá. D.C. 164 p.
-

DEFORESTATION REDUCTION INITIATIVE: AN IMPERATIVE FOR WORLD SUSTAINABILITY IN THE TWENTY-FIRST CENTURY ¹

Pedro A. Sanchez ²

RESUMEN

PROPUESTA DE REDUCCION DE LA DEFORESTACION: UN IMPERATIVO PARA LA SOSTENIBILIDAD MUNDIAL EN EL SIGLO VEINTIUNO.

Se pronostica que Estados Unidos y otros países de latitud media sufrirán los efectos negativos del calentamiento de la tierra. Del 15 al 25% del calentamiento de la tierra es el resultado de la tala de bosques tropicales. El aumento de la población del tercer mundo obliga a los pobladores rurales que carecen de tierras a emigrar y sobre explotar los bosques tropicales; este problema se vió agravado por las políticas gubernamentales de colonización en países como Brasil, Perú e Indonesia. Todo esto trae como consecuencia una agricultura que no cubre las necesidades básicas de los pobladores y favorece la deforestación y la migración hacia los centros urbanos.

Las investigaciones demuestran que estas tendencias pueden ser reversibles. Una propuesta integrada que abarque el desarrollo y la aplicación de tecnologías de manejo sostenible de suelos tropicales y políticas gubernamentales adecuadas eliminarán la presión para continuar con la deforestación. Se dispone de algunas tecnologías de manejo y se están desarrollando otras que permitan una producción continua. Cada año se salva de cinco a diez hectáreas de bosques por cada hectárea tratada con un manejo sostenible.

Doce de los 64 países que poseen bosques tropicales contribuyen con el 75% del carbón que se extrae de la tala y el 25% restante lo cubre casi completamente otros 10 países.

Proponemos y discutimos una iniciativa mundial y coordinada de reducción de la deforestación que incluya la investigación, la educación y la formulación de políticas dentro y entre los países que poseen bosques tropicales.

SUMMARY

Major adverse effects of global warming are predicted for the United States and other mid-latitude countries. Within that, 15 to 25% of global warming results from clearing of tropical rainforests. Third

¹ Presented at the Bureau of Science and Technology, U.S. Agency for International Development, Washington, D.C. July 22, 1988.

² Professor of Soil Science and Coordinator, Tropical Soils Research Program, North Carolina State University, Box 7619, Raleigh, N.C. 27695. Currently, Director General, ICRAF, Box 30677, Nairobi, Kenya.

world population growth forces landless rural populations to migrate and over exploit tropical rainforests, a problem exacerbated by government colonization policies in such countries as Brazil, Peru, and Indonesia. The resulting agriculture is unsustainable and leads to further deforestation and migration to urban centers.

Research has shown that these trends can be reversed. An integrated approach consisting of development and application of sustainable management technologies for tropical soils and appropriate government policies will eliminate the pressure for further deforestation. Some management technologies are available and other evolving which allow continuous production. For every hectares put under sustainable management five to ten hectares of forest are saved each year.

Twelve of the 64 countries with tropical rainforest contribute 75% of carbon resulting from clearing. Ten others account for much of the balance. A worldwide, coordinated Deforestation Reduction Initiative involving research, education, and policy formulation within and among source countries is proposed and will be discussed.

THE PROBLEM

- Major adverse effects of global warming are expected to take place in the United States and other mid-latitude countries within the next 30 to 60 years. Increased concentration of greenhouse gases in the atmosphere (carbon dioxide, nitrous oxides and methane) will raise mean annual temperatures in

Continental U.S. by 4 to 10°F, flood some coastal areas due to a 4 foot rise in sea level and increase the incidence of droughts. Little effect is expected in the tropics, but the center of gravity of agricultural production may shift northwards towards Canada and the Soviet Union.

- Recent EPA estimates indicate that 15 to 25% of the global warming is due to the clearing of tropi-

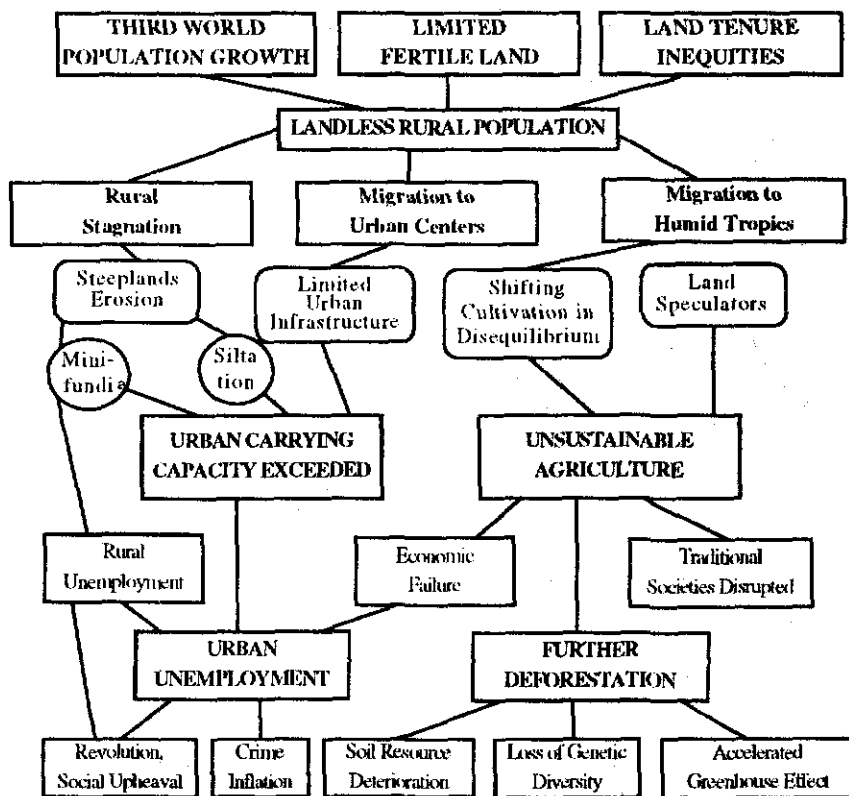


FIGURE 1. Cause-Effect relationships related to tropical deforestation in developing countries

cal rainforests, which is occurring now at an annual rate of 7 million hectares. Current magnitude of these emissions (1 billion tons of carbon per year) is equivalent to current emissions from industrial combustion in the United States. Research has shown that something can be done to decrease the rate of tropical deforestation, and thus attenuate the expected adverse effects. Deforestation is driven by a complex set of demographic, biological, social and economic forces described in Figure 1. Third World population growth continues at a high rate, while most of the fertile and accessible lands are intensively utilized. Government policies often exacerbate land scarcity by allowing gross inequities in land tenure. These factors result in an increasing landless rural population which essentially has three choices: stagnate where they are, migrate to the cities, or migrate to the rainforests that constitute the frontier of many Third World countries. Although urban migrations are spontaneous, national policies in key countries include the occupation of their tropical rainforests, notably Brazil, Peru and Indonesia via colonization programs. Densely populated rural environments such as the Andean valleys, Northeast Brazil, and Java suffer from an ever-decreasing farm size and the

overuse of steepland areas. This results in widespread soil erosion, siltation of reservoirs and other adverse off-site effects to urban centers. Migration to the cities in search of a better life results in bitter disappointments, and coupled with limited urban infrastructure, produces unmanageable cities with populations far exceeding their carrying capacity and infrastructure.

Migration to the humid tropics seldom results in a beautiful cornucopia (with few notable exceptions). An equilibrium between the rainforest and shifting cultivation by traditional humid tropical societies is broken by the colonists, and in some countries by land speculators as well. The result is shifting cultivation in disequilibrium which quickly turns into various forms of unsustainable agriculture. Traditional societies are disrupted, economic failures abound and migration to urban centers follows.

The two end points are urban unemployment and further deforestation. The consequence of the former is abject urban poverty which leads to widespread crime, poor health and in many cases social upheaval. Deforestation depletes the ecosystems' li-

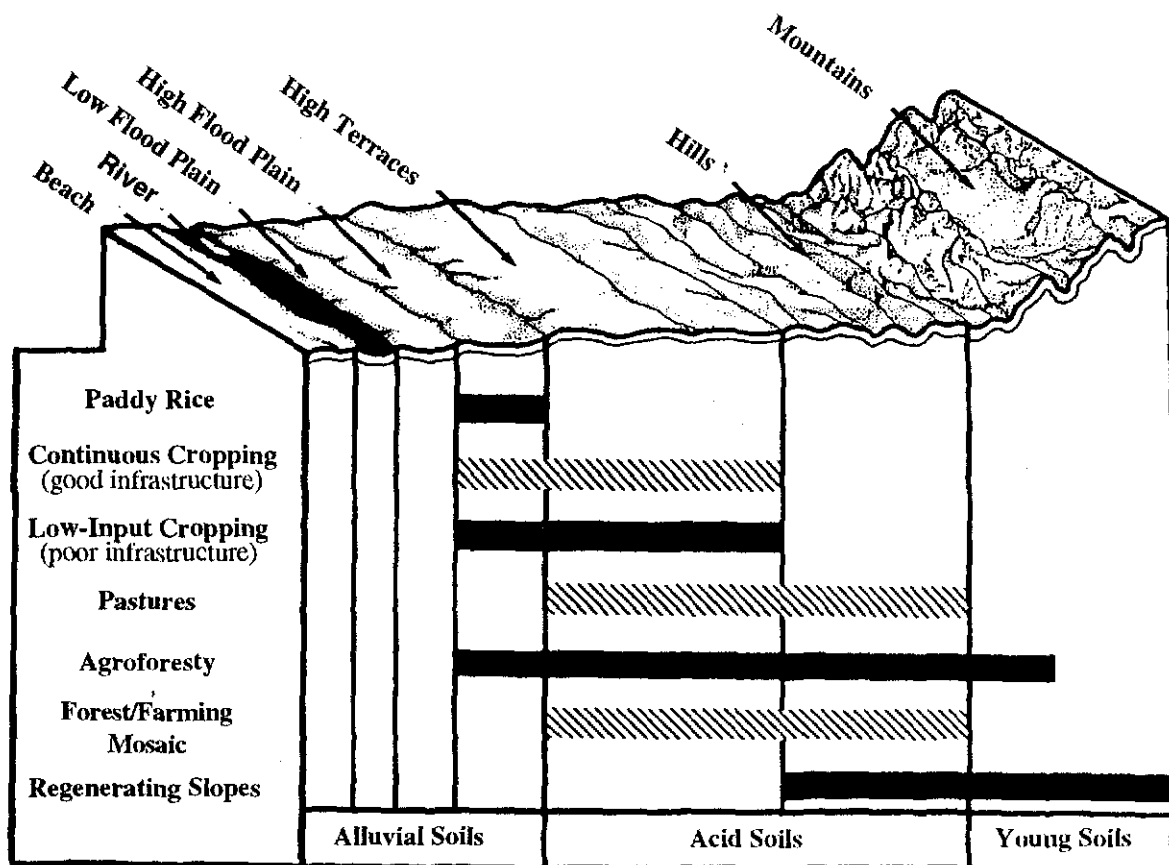


FIGURE 2. Some soil management options for humid tropical landscapes dominated by Oxisols and Ultisols (5)

mitted nutrient capital, decimates plant and animal genetic diversity and accelerates global warming due to carbon dioxide and nitrous oxide emissions.

Can these trends be alleviated and eventually reversed? Our answer, based on long-term research is an emphatic yes. The key is an integrated approach consisting of 1) development and application of sustainable management technologies for tropical soils and 2) appropriate government politics that will provide incentives to discourage the need for further deforestation.

People do not cut tropical rainforests because they like to; they clear land out of sheer necessity to grow more food. Deforestation, therefore, can be reduced by the widespread adoption of sustainable management practices that permit the use of cleared land on an indefinite basis. Sustainable management options for acid soils of the humid tropics have been developed at Yurimaguas, Peru and elsewhere to fit different landscape positions, soils and levels of socioeconomic infrastructure development (Figure 2).

-Most of the options are based on low-input systems which serve as transition technology for other options such as agroforestry systems, legume-based pastures, and continuous crop rotations. Other options developed in humid tropical Asia and Africa, include paddy rice, perennial crop production and forest plantations. In spite of the continuing need for additional research, there is no question that the technological basis for sustainable management options for acid soils of the humid tropics is available now.

-For every hectare put into these sustainable soil management technologies by farmers, five to ten hectares per year of tropical rainforest will be saved from the shifting cultivator's ax, because of their higher productivity. Estimates at Yurimaguas for the various management options are as follows:

1 hectare in sustainable management options	Equals: hectares saved from deforestation annually
Flooded rice	11.0
Low - input cropping (transitional)	4.6
High-input cropping	8.8
Legume-based pastures	10.5
Agroforestry systems	not determined

- Such technologies are equally applicable to secondary forest fallows, where clearing does not contribute significantly to global warming because of the small tree biomass. Nevertheless the use of secondary forest fallows is of very high priority, because in many areas is an excellent alternative to primary forest clearing. Many of the degraded or unproductive pastures or croplands resulting from extremely poor management practices can also be reclaimed using some, but not all of these available technologies.

- Such technologies, however, are useless without effective government policies that encourage, support and regulate them. Likewise, well conceived policies will fail without sustainable technologies. Therefore the hope lies on a joint policy-technology approach: The Deforestation Reduction Initiative.

- The present situation is analogous to when the world technical assistance community launched the Green Revolution in the late 1960's. At that time sustainable technologies for high-yielding rice and wheat production were sufficiently developed to be used. Key government officials were convinced of their importance by leading scientists, and instituted the necessary policies to make massive farmer adoption possible in India, Pakistan, Philippines and other countries. The Green Revolution became a worldwide success during the next twenty years and the goal of arresting worldwide famine was definitely achieved.

- The Deforestation Reduction Initiative is a similar challenge but with the major difference that it affects directly the livelihood of both Third World humid tropical countries and the developed countries as well. It is also likely to be more difficult to implement since the technology and policy issues are more complex than implementing high-input crop production technologies on the better lands of the tropics.

THE GOAL

- A worldwide, coordinated Deforestation Reduction Initiative is proposed to simultaneously accomplish the following goals during the next 25 years:

1. Increase and stabilize crop, pasture and tree production in areas presently under shifting cultivation

through the massive adoption of sustainable management technologies supported by appropriate government policies.

2. Decrease deforestation of primary tropical rainforest from the present annual rate of 7 million hectares to 1 million hectares.

3. Preserve the genetic diversity of the majority of the remaining areas of tropical rainforests by decreasing the demand for further land clearing.

4. Conserve the natural resource base of humid tropical regions through a reasonable, stable balance between sustainable agriculture and preserved rainforests.

APPROACH

Priority countries

There are 64 countries in the world with tropical rainforests and estimates of net carbon emissions due to land clearing in 1980 have been made by the Woods Hole Research Center. The breakdown by region, including emissions for primary forests, secondary forests and woodlands is:

Region	Net carbon emissions in 1980		
	Forest Cover billion ha	million ton	%
Tropical América	1.2	665	40
Tropical Asia	0.4	621	37
Tropical Africa	1.3	373	23

Source: Houghton *et al.*, 1987

- Twelve out of these 64 countries account for three quarters of the net carbon emissions from clearing primary forests:

Country	Net carbon emissions in 1980 from primary forests (million tons)
Brazil	207
Colombia	85
Indonesia	70
Malaysia	50
Côte d'Ivoire	47
Mexico	33
Thailand	33
Peru	31
Nigeria	29
Ecuador	28
Zaire	26
Philippines	21

- Ten other countries account for much of the remaining deforestation: Burma, Cameroon, Venezuela, Madagascar, India, Nicaragua, Laos, Vietnam, Kampuchea and Bolivia.

- Just like with the Green Revolution, dialogue may be initiated with top science policymakers in selected countries, to discuss the possibility of a cooperative program. In countries where the possibilities of collaboration are good, a dialogue between senior government officials should follow, with agreements signed and commitments for a 25 year program.

- Within each participating country, "hot spots" of deforestation can be identified where technology transfer and government policies would be focussed. Examples of these hot spots are Rondonia, Acre and Southern Bahia in Brazil; Caqueta in Colombia; transmigration areas in Sumatra and Kalimantan in Indonesia; the Huallaga Valley, Pucallpa, and Pichis Palcazu in Peru, Chapare in Bolivia, Coca-Lago Agrio in Ecuador, and many others.

PROGRAM COMPONENTS

- An international workshop to launch the Tropical Deforestation Initiative.

- Selection of participating countries and "hot spots" or target areas. Protocols signed.

- Closer monitoring of deforestation rates in participating countries and target areas.

- Dynamic, well funded sustainable technology validation programs in each target area, including training of local research and extension specialists.

- Assistance to participating countries in developing appropriate policies to support the Initiative.

- Support continuing research on developing stable management options with reinforcement of one major research center in tropical America, Asia and Africa. Emphasis will be on sustainability in the long run.

- Support on-site research to quantify the nature of gas emissions from various sustainable management options, including clearing and common mismanage-

ment options. Major questions about nitrous oxides emissions exist. For some reason air above the Amazon has one of the highest nitrous oxides concentrations in the world. Understanding the processes that regulate gaseous emissions at the ground level needs to be researched and linked with atmospheric-

measurement.

Support research to determine how the adoption of successful management technologies affect forest and soil preservation, conservation of genetic diversity and the hydrologic balance.

REFERENCES

1. EPA. 1988. Meeting summary. Stabilization Report. Workshop on agriculture and climate change. February 29-March 1, 1988. (draft). Office of policy analysis EPA, Washington.
 2. HOUGHTON, R.A.; BOONE, R.D.; FRUCL, J.R.; HOBBIIE, J.E.; MELILLO, J.M.; PALM, C.A.; PETERSEN, B.J.; SHAVER, G.R. and WOODWELL, G.M. 1987. The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use geographic distribution of the global flux. *Tellus* 39B: 122-139.
 3. McELROY, M.B.; WOFYSY, S.C. 1986. Tropical forests: Interactions with the Atmosphere. In: G.T. Prace (ed): *Tropical rain forests and the world atmosphere*, pp. 33-60. Westview Press, Boulder, Colorado.
 4. MOONEY, H.A.; VITOUSEK, P.M.; MATSON, P.A. 1987. Exchange of materials between terrestrial ecosystems and the atmosphere. *Science* 238: 926-932.
 5. SANCHEZ, P.A.; BENITES, J.A. 1987. Low-input cropping for acid soils of the humid tropics. *Science* 238: 1521-1527.
 6. SANCHEZ, P.A.; STONER, E.R.; PUSHPARAJAH, E. (eds). 1987. Management of acid tropical soils for sustainable agriculture. IBSRAM proceedings No. 2, IBSRAM, Bangkok, 299 p.
-

SABANAS NEOTROPICALES: PERSPECTIVAS PARA SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUCCION AGROPECUARIA, ECOLOGICA Y ECONOMICAMENTE SOSTENIBLES

James M. Spain ¹

RESUMEN

El potencial de las sabanas neotropicales es enorme tanto para la producción agrícola como para la producción animal a base de pasturas. Sin embargo, en la mayoría de las zonas marginales, los costos de producción son altos debido a la falta de infraestructura, a la distancia de los mercados y a las condiciones inherentes del suelo. El establecimiento de sistemas de producción económicamente viables y sostenibles requiere un ambiente de políticas favorables y de un uso eficiente de los recursos. A diferencia de lo que sostienen algunos científicos y muchas personas involucradas en el desarrollo, los ecosistemas de sabana son muy frágiles en su mayoría, por lo que los agricultores y hacendados están enfrentando problemas serios de degradación de los recursos y de viabilidad económica marginal. Para contrarrestar estos problemas se requieren nuevas estrategias y, en algunos casos, germoplasma y nuevas tecnologías. La diversidad genética de los ecosistemas de sabana ya ha demostrado su gran valor aunque prácticamente no hay ni un inventario sistemático ni una estimación del valor potencial del germoplasma presente en la mayoría de las regiones de sabana. Debería darse mayor prioridad a la exploración, al inventario, a la recolección y a la conservación de los recursos genéticos en las sabanas neotropicales.

El impulso para el desarrollo exitoso y sostenible de las sabanas ha sido y continuará, siendo la investigación. Se dan ejemplos de avances recientes con implicaciones importantes para los sistemas de producción agrícola y animal en las sabanas del trópico húmedo. Muchos de los problemas que actualmente constituyen las principales barreras para el desarrollo sostenible se pueden resolver a través de la investigación. Se presenta una breve lista de las prioridades de investigación. Para hacer un uso más eficiente de los limitados recursos de investigación y desarrollo con que cuentan la mayoría de los países tropicales, es necesario establecer prioridades y adherirse a ellas, y reducir al mínimo la duplicación de esfuerzos mediante la coordinación y colaboración a nivel nacional y regional.

SUMMARY

NEOTROPICAL SAVANNAS: PROSPECTS FOR ECONOMICALLY AND ECOLOGICALLY SUSTAINABLE CROP-LIVESTOCK PRODUCTION SYSTEMS.

The potential of neotropical savannas is very large for both arable crops and pasture-based livestock

¹ Científico principal del Programa de Pastos Tropicales, CIAT, con sede en CPAC, Brasilia, Brasil.

systems. However, in most frontier regions, production costs are high due to lack of infrastructure, distance to markets and inherent soil conditions. A favorable policy environment and efficient use of resources are essentials for economically viable and sustainable production systems.

Contrary to the view held by many developers and some scientists, most savanna ecosystems are quite fragile and farmers and ranchers are confronting serious problems of resource degradation and marginal economic viability. New strategies and, in some cases, new germplasm and technology are needed to counter these problems. The genetic diversity of savanna ecosystems has already proven to be very valuable yet there is almost no systematic inventory nor estimate of potential value of the germplasm present in most savanna regions. Higher priority should be given to exploration, inventory, collection and preservation of genetic resources in neotropical savannas.

Successful and sustainable savanna development has been, and will continue to be, research driven. Examples are given of recent advances with important implications for crop and livestock production systems in humid tropical savannas. Many problems which are presently major barriers to sustainable development are susceptible to solution through research. A brief list of research priorities is presented. For more efficient use of the limited research and development resources available in most tropical countries priorities must be established and adhered to and duplication of effort minimized through national and regional coordination and collaboration.

Hasta el comienzo de la "Revolución de los Cerrados" en Brasil, hace unos treinta años, muchos observadores consideraban las vastas sabanas tropicales de América Latina como "desiertos de fertilidad", con poco o ningún potencial agrícola. Este criterio ha cambiado profundamente en la medida en que se ha acumulado nuevo conocimiento y tecnología y se ha desarrollado germoplasma para los suelos ácidos y de baja fertilidad que caracterizan los 250 millones de hectáreas de sabanas bien drenadas de Brasil, Colombia, Venezuela y Bolivia. Actualmente, no hay dudas sobre el potencial de este ecosistema, una de las principales fuentes de alimentos para el presente y el futuro.

Actualmente, muchos perciben las sabanas de América del Sur como importantes zonas neutralizadoras de la presión sobre el frágil ecosistema de bosque húmedo tropical. Las áreas actualmente en uso ofrecen un potencial comprobado para la intensificación de la producción de cultivos y ganado. Existen vastas reservas que permitirán una mayor expansión; además, muchos observadores creen que esto se puede hacer con un mínimo riesgo de degradación severa de los recursos. La pérdida de diversidad genética en el proceso de desarrollo de las sabanas escasamente se menciona; la flora y la fauna de las sabanas neotropicales aparentemente se consideran mucho menos impor-

tantes que las de los bosques húmedos.

Por lo tanto, la estrategia de concentrarse en expandir la producción en las sabanas para reducir la presión sobre los bosques húmedos tropicales luce bastante sensata, pero hasta cierto punto. El autor considera que algunas de las premisas en las cuales se basa la estrategia propuesta no sólo son defectuosas sino también peligrosas.

El enfoque central de esta presentación es Brasil pero los principios que se discuten son, en su mayoría, aplicables a otras sabanas bien drenadas de la región. El objetivo del trabajo es explorar los siguientes puntos:

- Aunque el potencial de las sabanas neotropicales para establecer sistemas de producción agrícola y animal a base de pasturas es muy grande, los costos de producción son altos. Unas políticas favorables y un uso eficiente de los recursos en sistemas integrados manejados hábilmente son esenciales para lograr una producción viable y sostenible.

- La mayoría de los ecosistemas de sabana son potencialmente muy frágiles. Muchas áreas en desarrollo ya están enfrentando problemas severos de degradación de los recursos y de viabilidad económica marginal. Es necesario contar con nuevas estrategias, germoplasma y tecnologías para contrarrestar

estos problemas, especialmente en las áreas marginales más remotas.

- Aunque ya se ha demostrado que la diversidad genética de los ecosistemas de sabana es muy valiosa, ha recibido poca atención. Por lo tanto, se debe dar mayor prioridad a la exploración, al inventario, a la recolección y a la conservación de los recursos genéticos de las sabanas neotropicales.

- La investigación es fundamental para el desarrollo exitoso de las sabanas. Se dan ejemplos de avances recientes con implicaciones importantes para el establecimiento de sistemas de producción agrícola y animal más productivos y sostenibles en las sabanas del trópico húmedo.

- Muchas de las barreras para el desarrollo sostenible se superarán sólo a través de la investigación creativa. Se presenta una breve lista de prioridades. El uso eficiente de los recursos requerirá coordinación y colaboración a nivel nacional y regional.

POTENCIAL DE LAS SABANAS NEOTROPICALES

En el trópico americano, existen 250 millones de hectáreas de sabanas bajas, bien drenadas. De éstas, más de 200 millones se encuentran en Brasil, en la región conocida como los "Cerrados" (1), una zona tradicionalmente habitada por cazadores y recolectores indígenas, y más recientemente dedicada a la cría extensiva de ganado. Sus vastas sabanas, que varían de praderas abiertas (campo limpio) a sabanas con arbustos y árboles dispersos (campo cerrado) y a formaciones boscosas densas (cerrado), se extienden en latitudes 25 grados S a 6 grados N, como se aprecia en la Figura 1.

Han transcurrido menos de cuarenta años desde que se tomó la decisión de transferir la capital de Río de Janeiro al recientemente creado Distrito Federal en el Estado de Goiás, a unos 1200 km tierra adentro

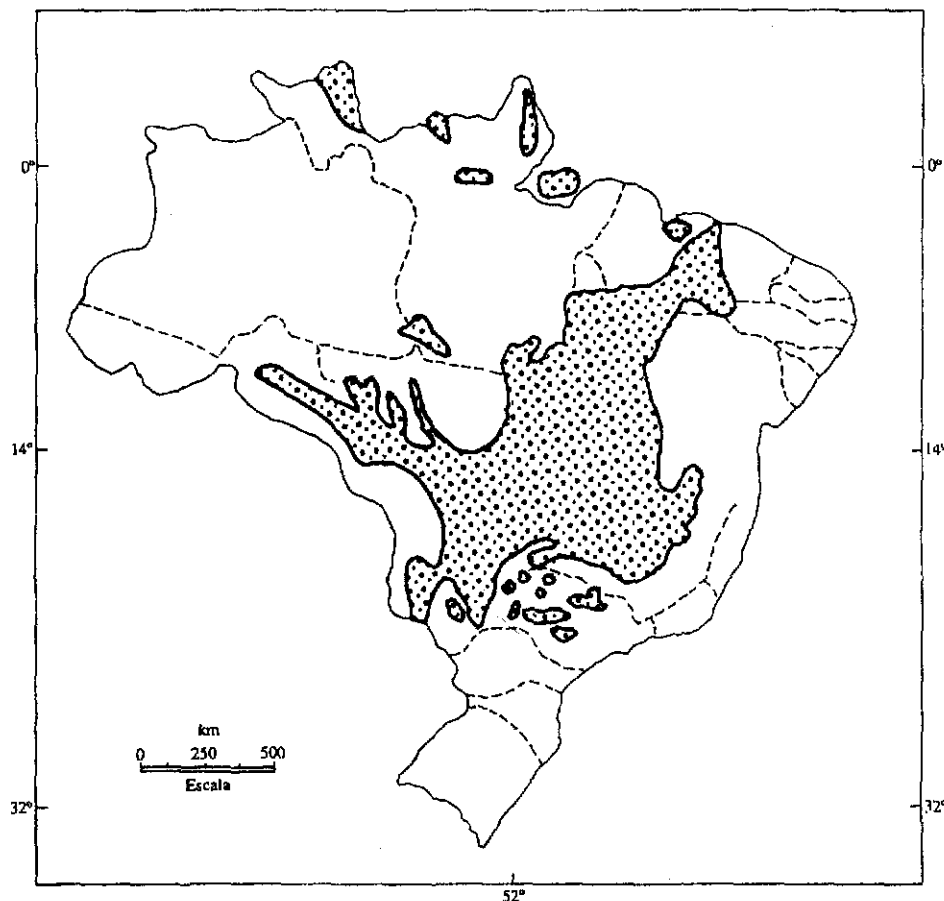


FIGURA 1. La distribución de Cerrados en Brasil. Area total =205 millones de hectáreas; población (1980) =20 millones.(1)

de la capital anterior y ubicado en medio de los cerrados del "Planalto Central". Brasilia se fundó en 1960, un suceso sin precedentes que presagió una era de expansión política, agrícola, industrial y urbana, en un área de frontera. La década de los 70 trajo a los Cerrados programas de desarrollo regional ambiciosos y bien financiados y un crecimiento rápido de la producción agrícola y animal. La Figura 2 muestra la expansión de áreas sembradas de pasturas y cultivos anuales durante los últimos 25 años. Se estima que hasta 1990 se habían sembrado más de 40 millones de ha de pastos (13, 25, 40) y más de 12 millones de ha de cultivos, principalmente soya, maíz y arroz (7, 13, 40). Se considera que aproximadamente 110 millones de ha son apropiadas para cultivos anuales, suponiendo un manejo apropiado y uso adecuado de cal y fertilizantes. Otros 60 millones de ha pueden soportar pasturas permanentes; los 35 millones de ha restantes se deben reservar para vegetación nativa de cerrado o mantenerse bajo cobertura permanente de árboles (7, 40).

De 1950 a 1958, la proporción del hato nacional de ganado bovino de los Cerrados aumentó de menos de 15% a más de 40% (3, 40, 41). Durante el mismo período, el área sembrada de cultivos en la región aumentó de 4 millones de ha a más de 12 y la producción de granos aumentó a 19 millones de toneladas, como se aprecia en la Figura 3 (7, 11, 40, 41). La producción de los Cerrados representa actualmente casi un tercio de la producción nacional total.

A pesar de lo impresionante de la producción actual de granos, el rendimiento promedio es bastante bajo, escasamente equivalente a los promedios nacionales, los cuales no han mejorado significativamente en los últimos años. Con base en los rendimientos obtenidos por los mejores agricultores de la región y en los resultados experimentales que aparecen en la Tabla 1, los científicos de EMBRAPA estiman que los rendimientos promedio se podrían fácilmente duplicar o aumentar aún más, si las va-

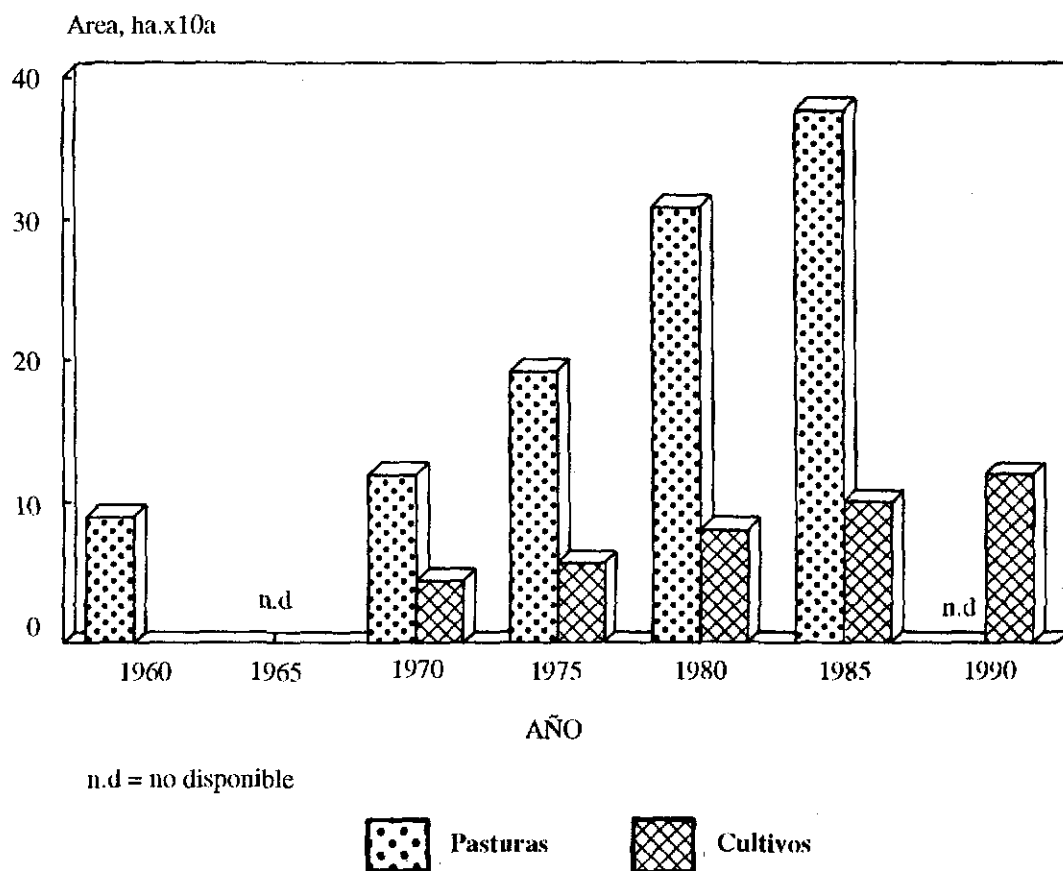


FIGURA 2. La expansión de áreas sembradas en pasturas y cultivos en la región de Cerrados, Brasil. (7,13,25,40)

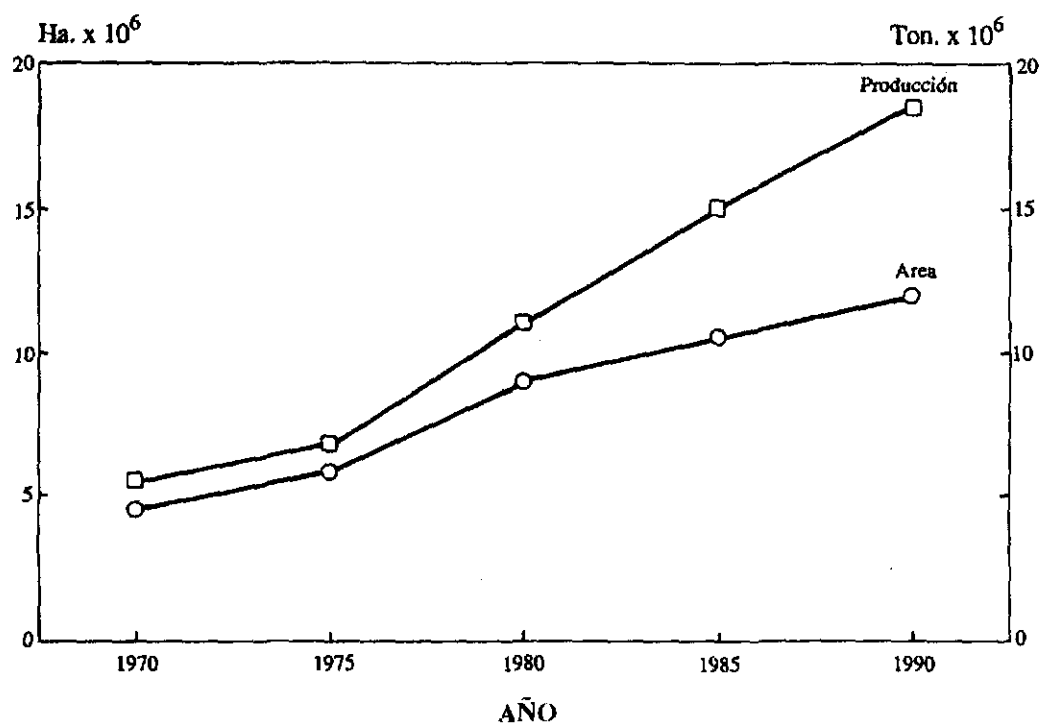
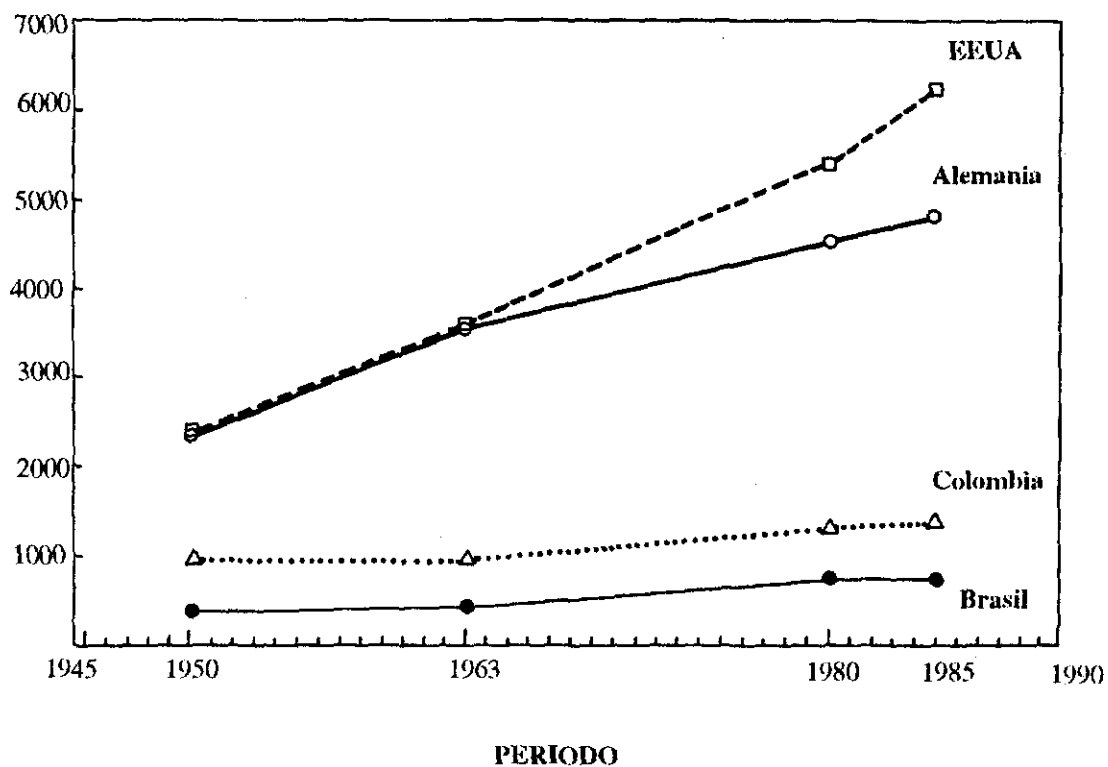


FIGURA 3 La expansión de área sembrada y producción de granos en la región de Cerrados, Brasil, 1970-1989. (7,11,40,41).

TABLA 1 Productividad actual y potencial de cultivos en la región de Cerrados, Brasil. EMBRAPA-CPAC 1990 (7, 11, 40, 41).

Cultivo	Producción t/ha			
	Brasil Promedio	Promedio	Cerrados	
			Mejores Productores	Investi- gación
Arroz (secano)	1.7	1.2	3.1	4.8
Fríjol	0.4	0.4	2.0	4.0
Maíz	2.0	2.0	7.6	13.0
Soya	1.8	2.0	4.0	5.0
Trigo (secano)	1.7	2.0	2.7	3.5
Trigo (riego)	—	3.8	5.5	8.0

Kg leche/vaca/año



Kg carne/año/cabeza

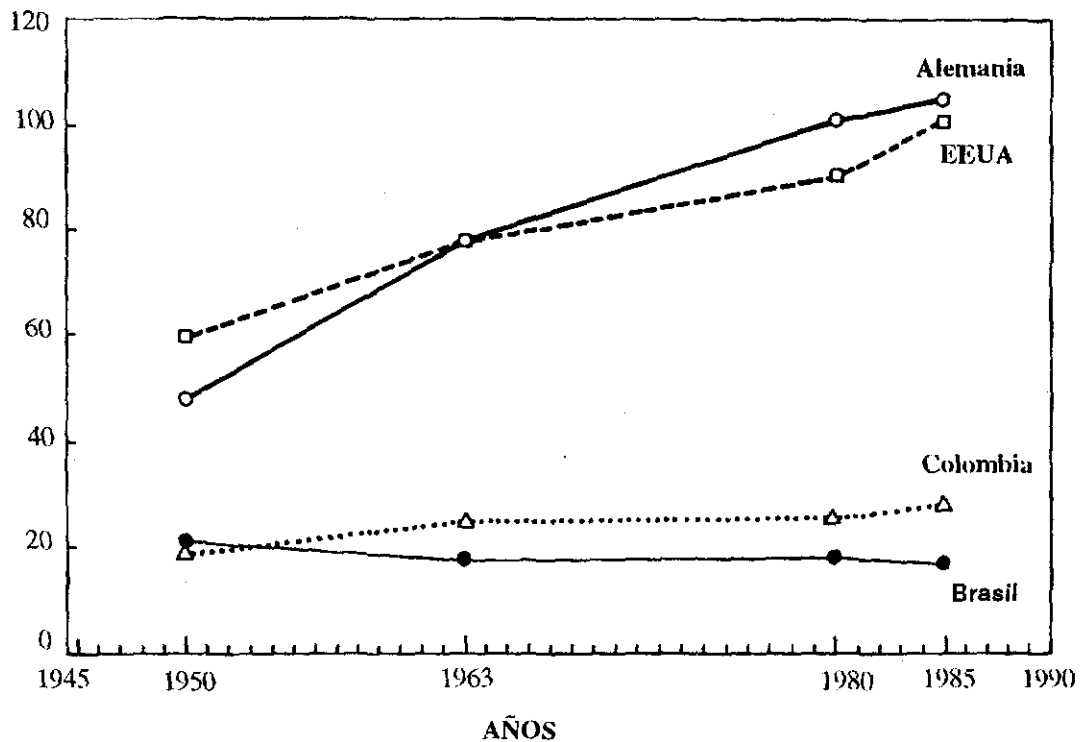


FIGURA 4. La producción de leche y carne de ganado bovino en países seleccionados durante el período 1948 - 1987. (28)

riedades recomendadas se combinaran con prácticas adecuadas de fertilización y encalamiento, y se hiciera un buen manejo de suelo (7, 11, 40, 41).

La producción animal, por unidad animal y por unidad de área, es también baja y prácticamente se ha estancado en niveles comparables a los registrados hace cuarenta años, como se aprecia en la Figura 4 (28). Esto se debe en parte a la naturaleza marginal del recurso tierra y al uso de pasturas nativas en la producción animal. Cada vez más, los cultivos reemplazan la cría de ganado en la mejor tierra ubicada cerca a los centros urbanos y la producción animal se ha trasladado a los suelos pobres de las áreas marginales. Sin embargo, la investigación ha demostrado que las pasturas a base de leguminosas aun en los suelos más pobres de la sabana pueden duplicar sus rendimientos por animal y aumentar sus rendimientos por hectárea de diez a quince veces, en comparación con las sabanas nativas manejadas de manera tradicional (2, 16, 17, 38).

Los científicos de CPAC han proyectado la producción potencial total de granos, carne y madera de la región de los Cerrados, suponiendo que se pusiera a producir toda el área apropiada para cada actividad (7, 11, 40). Para esto, basaron sus estimaciones en un mejoramiento bastante modesto de los niveles de producción sobre los promedios regionales actuales. Los resultados aparecen en la Tabla 2. La producción anual de granos proyectada, de 200 millones de toneladas, equivale a diez veces la producción actual.

Se han logrado avances en la producción agrícola y animal en los cerrados, en un contexto de insumos fuertemente subsidiados, incluyendo transporte y

crédito. Estos subsidios se redujeron sustancialmente o se eliminaron por completo durante la década de los 80 (25). La agricultura enfrenta en este momento una severa crisis financiera, especialmente en las áreas más remotas de los cerrados, donde el transporte representa una porción sustancial de los costos totales de producción. La evolución continua, o aún la supervivencia, de un sector agrícola viable en estas áreas requerirá un manejo supremamente hábil que opere en un ambiente de políticas favorables con acceso a germoplasma bien adaptado con potencial de alto rendimiento y a tecnología de producción adecuada para lograr una máxima eficiencia en el uso de los recursos naturales o de los insumos adquiridos.

ECOSISTEMAS FRAGILES

La idea de que los ecosistemas de sabana son de naturaleza poco frágil ha sido ampliamente aceptada durante las dos últimas décadas, quizás debido a la preocupación por proteger los bosques húmedos tropicales. Las sabanas son más accesibles y se dice que son menos frágiles que los bosques tropicales, a la vez que ofrecen potencial de expansión e intensificación de la producción agrícola y animal. Además, los partidarios de la estrategia de "desarrollar las sabanas para proteger los bosques húmedos tropicales" aparentemente ven poca diversidad genética de importancia en las sabanas.

En los siguientes párrafos se presenta una perspectiva diferente a la que se acaba de esbozar. Se basa en la premisa de que las sabanas son frágiles en

TABLA 2. Producción potencial de granos, carne y madera de la región de Cerrados en Brasil, basada en el uso de toda el área apta para cada actividad y las tecnologías ya disponibles (7, 11, 40).

Producto	Área ha x 10 ⁶	Productividad /ha	Productividad anual x 10 ⁶
Granos (secano)	80	2.5 T	200 T
Granos (riego)	10	4 T	40 T
Carne	80	100 kg.	8 T
Madera	10	30 m ³	300 m ³

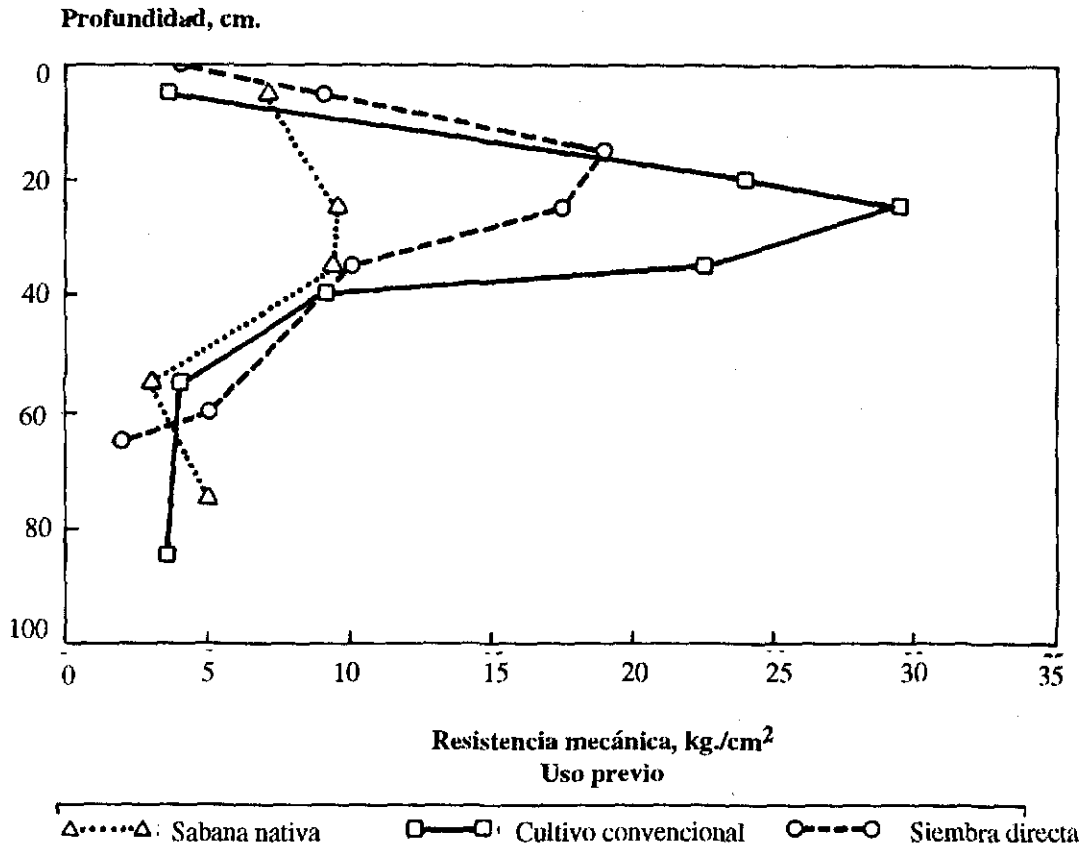


FIGURA 5. Los efectos de labranza y sistema de siembra en la compactación del suelo. Cerrados, Brasil (19)

términos de potencial de degradación del suelo, riesgo de perturbación del delicado equilibrio biológico y, por consiguiente, pérdida de diversidad genética importante.

Degradación del suelo.

El relieve relativamente plano de muchos paisajes de sabana conduce a la conclusión equivocada de que el potencial de erosión del suelo es bajo. La alta precipitación mensual durante el pico de las lluvias unido a la ocurrencia de tormentas intensas y a la poca estabilidad estructural del suelo dan como resultado un gran potencial de erosión, aun en las pendientes suaves (8, 22). La erosión acelerada de la capa vegetal es común en pendientes de menos de 3 por ciento, en los Llanos de Colombia y en los Cerrados de Brasil, aun bajo vegetación nativa y con manejo tradicional de quema para la producción extensiva de ganado.

El potencial de erosión aumenta sustancialmente cuando los suelos de sabana se utilizan para la siembra de cultivos anuales (8, 19, 22, 36). La macroestructura más bien débil de la mayoría de los suelos de sabana se descompone rápidamente cuando se aplica labranza regularmente y la superficie del suelo se compacta en seguida cuando se expone al impacto directo de la lluvia. El rastrillo pesado de discos, ampliamente utilizado para labranza primaria en las sabanas americanas, es otro factor que contribuye a las bajas tasas de infiltración y a la erosión. El uso de este implemento da lugar a una desagregación rápida del suelo y a la formación de una capa dura "de arado" en la mayoría de los suelos (19, 36). En la Figura 5 (19) se muestra un ejemplo de este efecto. La presencia del substrato denso, ocasionada por el cultivo superficial intensivo, se hace más notoria en el sistema de siembra continuo de soja. El potencial de erosión de un suelo latosol rojo oscuro en una pendiente de 5 por ciento, en el Centro de Inves-

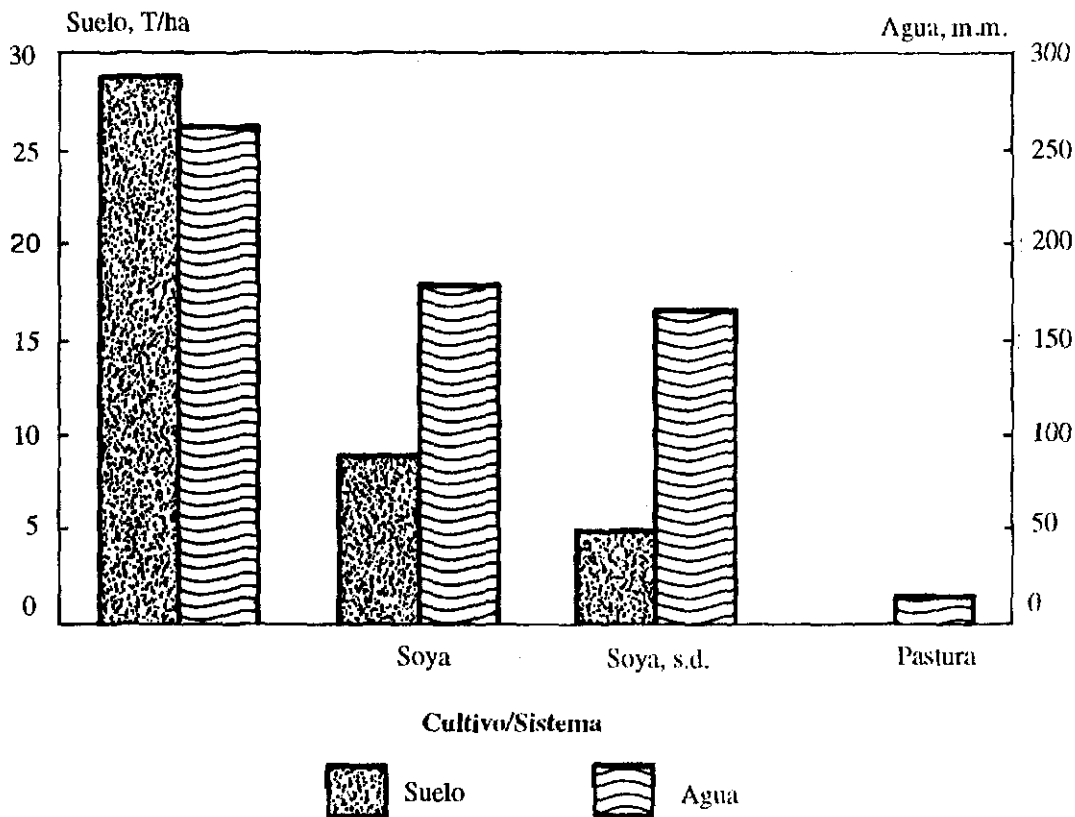


FIGURA 6. El efecto de uso de la tierra en las pérdidas de agua y suelo de un latosol rojo oscuro en una pendiente de 5 % en CPAC, Planaltina, D.F. (8)

tigación de los Cerrados de EMBRAPA (CPAC), se muestra en la Figura 6. Cuando el suelo se protegió con una pastura de la gramínea perenne *Brachiaria decumbens*, la erosión fue mínima, pero cuando se sometió a labranza cada año para cultivos de maíz, la pérdida del suelo fue de 29 t/año.

Los suelos de sabana también son químicamente frágiles. La capacidad de intercambio catiónico, capacidad tampón, fertilidad inherente y saturación de bases de estos suelos son por lo general muy bajas y la saturación de aluminio es frecuentemente alta (1). El contenido de materia orgánica es generalmente bajo; además, los suelos de textura fina se caracterizan por su gran capacidad de fijación de fósforo, lo cual resulta en una baja eficiencia en el uso de fertilizantes fosforados en los cultivos anuales (12).

A diferencia de lo que ocurre en el bosque húmedo tropical, la acumulación de nutrientes en la fitomasa nativa de la sabana también es muy baja. La materia seca en la parte aérea de las plantas raras

veces excede 10 t/ha en las sabanas de campo limpio (sin árboles), contrastando notoriamente con la del bosque húmedo tropical primario, que alcanza hasta 500 t/ha. El efecto de quema de la sabana nativa en la fertilidad y pH del suelo es prácticamente nulo. Por esta razón, la colonización espontánea y la agricultura de subsistencia casi no se conocen en los suelos típicos de sabana.

Estrés Biótico.

Los ecosistemas de sabana también son frágiles en términos bióticos. Los patógenos y las plagas de los cultivos anuales y de las pasturas perennes son en general más numerosos y virulentos que los de los ecosistemas de bosque. Ha sido mucho más fácil lograr una resistencia "de campo" a la piricularia del arroz y a otras enfermedades fúngicas en las regiones boscosas que en las sabanas. De igual manera, varias leguminosas forrajeras tropicales, incluyendo algunas nativas de las sabanas, se adaptan bien a los ecosistemas de bosque, pero son devastadas por enfermedades fungosas y/o bacterianas cuando se siem-

bran en pasturas puras o asociadas, en regiones de sabana (18). Por ejemplo, varios ecotipos de *Strylosanthes guianensis* var común se adaptan bien a los ecosistemas de bosque de América Central y del Sur y se han liberado como cultivares comerciales. Sin embargo, de estos ecotipos ninguno es tolerante a las enfermedades fungosas comunes en las sabanas de Brasil, Colombia y Venezuela (18).

Estrés Climático.

La precipitación anual total en la región de los Cerrados varía de 600 a más de 2000 mm.; 75% del área recibe de 1200 a 2000 mm./año (1). Más de un 85% del área tiene estaciones secas de cinco meses o más. Una preocupación mayor que la precipitación total o duración de la estación seca, es la frecuencia de períodos de sequía (veránicos) durante la estación lluviosa. Wolf (42) calculó las probabilidades de ocurrencia de sequías de diferente duración en el área de Brasilia y encontró que existe un 40% de probabilidades de que hubiese nueve o más días de sequía en la estación lluviosa de cualquier año. Debido a la baja capacidad de retención de agua y a la gran acidez de los subsuelos de los oxisoles dominantes en la región y a las altas tasas de evapotranspiración durante la estación de cultivo, períodos de sequía de hasta cinco días reducen considerablemente el rendimiento de los cultivos anuales de crecimiento rápido. Este es uno de los principales factores de riesgo para la producción de granos en la región.

Fragilidad Económica.

En 1984 el costo promedio de enclavamiento y fertilización para corregir la acidez típica y aumentar el nivel de fertilidad de los suelos de los Cerrados para la producción óptima de granos en los alrededores de Brasilia se calculó en US\$313 por ha (40). Cuando se incluyeron el desmonte, la preparación de la tierra, la construcción de terrazas y el costo de la tierra bruta, el costo total por ha fue de US\$550, el cual se consideró bastante competitivo. Resulta obvio, a partir de estas cifras, que el desarrollo de las tierras de sabana para la agricultura comercial requiere un uso intensivo de capital.

En regiones marginales más remotas, el costo real de los insumos es aún mayor; o no hay disponibilidad de cal o ésta se debe transportar desde grandes distancias. El costo de transportar el grano a

los mercados también se convierte en una limitación importante. En estas circunstancias, un manejo eficiente, mercados fuertes y un ambiente de políticas favorables son cruciales para el desarrollo y el sostenimiento de sistemas de producción viables. Con la eliminación de la mayoría de los subsidios agrícolas en los Cerrados durante la década de los 80, y debido a los precios mundiales típicamente erráticos de los productos básicos, muchos productores de granos están enfrentando un futuro económico oscuro, especialmente los de las regiones más remotas, en donde la soya para exportación a menudo se despacha al puerto en camiones, desde una distancia de más de 2000 km.

DIVERSIDAD GENETICA

Se ha escrito mucho, y con toda razón, sobre la importancia de proteger la diversidad genética de la flora y la fauna de los bosques húmedos tropicales. Es lamentable que se haya dicho tan poco sobre la importancia de la diversidad genética de los ecosistemas de sabana. Indudablemente, es cierto que existe mucha menos diversidad entre las plantas superiores de una pradera tropical sin árboles que en un bosque húmedo tropical primario; sin embargo, es importante reconocer que la mayoría de los ecosistemas de sabana se compone de muchos nichos diferentes que incluyen bosques de galería biológicamente ricos a lo largo de los arroyos que drenan el terreno. Es precisamente en la interfase entre estos bosques y la pradera abierta que se encuentran muchas de nuestras especies forrajeras tropicales más valiosas.

Los Cerrados brasileños son mosaicos complejos de diversas comunidades que varían desde el "campo limpio" sin árboles ni arbustos (muy similar a las praderas abiertas de Colombia y Venezuela), pasando por las muchas fases de cerrado "boscoso" (arbustos y árboles pequeños de diferente densidad) hasta las formaciones boscosas densas que comprenden el "cerradao". Los cerrados y el cerradao son botánicamente mucho más ricos que las sabanas de los Llanos Colombianos. En una revisión reciente de las especies catalogadas del Distrito Federal (5.800 km.), Filgueiras y Perreira (10) encontraron más de 2.500 especies de plantas superiores. En los cerrados se han encontrado numerosas leguminosas herbáceas, algunas de las cuales se utilizan actualmente

como cultivares comerciales. Se sabe poco del valor forrajero de ciertos árboles y arbustos aunque se ha documentado que los animales que pastorean campo cerrado nativo dependen en gran medida del componente boscoso para alimentarse durante la prolongada estación seca (20, 21). Muchos arbustos y árboles se han utilizado durante siglos como fuentes importantes de alimentos y medicinas populares

AVANCES RECIENTES EN LA INVESTIGACION

Se han logrado muchos avances importantes en la investigación sobre suelos, cultivos y pasturas, en las dos últimas décadas, que ya han tenido un impacto importante en la productividad y/o sostenibilidad de los sistemas de sabana para producción agrícola y animal.

Manejo del Suelo.

La investigación básica sobre química del suelo y nutrición vegetal, realizada en Brasil y en otros lugares, proporcionó un marco conceptual para comprender las particularidades de los suelos, en que predominan arcillas de baja actividad, del trópico húmedo. La extensa investigación de campo realizada fue igualmente importante para el desarrollo de estrategias eficientes de fertilización y de manejo de la cal, para la producción agrícola en los oxisoles y ultisoles dominantes de la región de los Cerrados (11, 12, 40, 41). Los resultados de este trabajo han cambiado profundamente la perspectiva respecto al potencial agrícola de las sabanas neotropicales.

Germoplasma de cultivos anuales.

El notable desarrollo agrícola que se ha dado en los Cerrados de Brasil se ha basado en el uso de suficiente cal y fertilizante para corregir la acidez y la baja fertilidad del suelo. Las variedades de cultivos utilizadas inicialmente se habían desarrollado para otros ecosistemas, pero con el tiempo, se han ido seleccionando nuevas variedades específicas para los Cerrados. En un comienzo se dio poca importancia a la selección de variedades de cultivo tolerantes a la acidez extrema del suelo, lo cual a su vez resulta en niveles altos de saturación de aluminio en el complejo de intercambio catiónico. La cal se encuentra fácilmente disponible en muchas áreas de cerrado y

hasta hace poco se subsidiaba en gran medida. Sin embargo, algunos agrónomos están revisando el tema de la tolerancia al aluminio en cultivos, debido a la dificultad y el costo real de neutralizar la acidez del subsuelo. Su preocupación está basada en la gran frecuencia de períodos cortos de sequía durante la estación de cultivo, lo cual afecta severamente el rendimiento de los cultivos que no son tolerantes al aluminio. En consecuencia, estos cultivos no pueden utilizar la reserva de humedad que está por debajo de la capa arable enclavada (42). En la última década, se han logrado avances importantes con varios cultivos.

Los programas de mejoramiento de la soya no se han centrado explícitamente en la selección por tolerancia al Al, pero el hecho que la selección se haya realizado en suelos con subsuelos sumamente ácidos ha conducido a la selección inadvertida de variedades con algún grado de tolerancia. Sólo recientemente se han montado proyectos específicos para identificar fuentes de tolerancia al Al en los Cerrados brasileiros (C. Spehar, comunicación personal). Los fitomejoradores colombianos han seleccionado específicamente por tolerancia al Al y han liberado recientemente variedades que al parecer ofrecen ventajas considerables para el ecosistema en los Llanos.

Desde hace unos años se ha sabido que algunas líneas de sorgo de África poseen excelente tolerancia al Al. Esfuerzos recientes de los científicos del Centro de Maíz y Sorgo de EMBRAPA, ubicado en Sete Lagoas, y de los mejoradores del proyecto INTSORMIL, que trabajan en colaboración con el ICA y el CIAT de Colombia, han dado como resultado varias líneas de sorgo tolerantes al aluminio, que están siendo evaluadas en los Llanos de Colombia y en los Cerrados Brasileiros.

El arroz de secano desempeña un papel clave en la transición de la sabana nativa a una tierra agrícola, aunque los rendimientos han estado siempre limitados por piricularia y otras enfermedades fungosas especialmente virulentas en los ecosistemas de sabana, y por el estrés climático y edáfico. La mayoría de las variedades de arroz tradicionales de porte alto son muy susceptibles al volcamiento, tienen bajo potencial de rendimiento y muchas son sancionadas en el mercado brasileiro por su deficiente calidad de grano.

Diez años de trabajo de mejoramiento a cargo de los científicos de CIAT, ICA y EMBRAPA han dado

como resultado la recombinación exitosa de genes de arroz proveniente de Brasil, Africa y Japón para producir líneas de porte bajo y enraizamiento profundo, resistentes a enfermedades y a la sequía, tolerantes al aluminio, con alto potencial de rendimiento y con buena calidad de grano. Estas nuevas líneas sobresalientes, seleccionadas específicamente para las sabanas neotropicales, están acercándose a la etapa de liberación en Colombia y Brasil, después de haber sido evaluadas en ensayos en fincas en gran escala en ambos países, con rendimientos que varían de tres a cinco toneladas por ha (5, 6). Con este avance notable en el potencial genético, el arroz de secano surge como cultivo pionero, más atractivo que nunca,

y como uno de los cultivos de granos más competitivos a disposición de los agricultores de las sabanas.

Alternativas de germoplasma forrajero.

El número de cultivares de gramíneas y leguminosas, seleccionados específicamente para los ecosistemas neotropicales, ha aumentado singularmente durante los últimos 15 años. La selección por adaptación a las condiciones edáficas y climáticas ha sido más fácil de lo que se esperaba cuando se inició la evaluación regional colaborativa de la RIEPT (Red Internacional de Evaluación de Pasturas Tropicales), hace doce años. Sin embargo, el número de legumi-

TABLA 3. Estado de leguminosas forrajeras en etapas de selección avanzada o comercialización para los ecosistemas de sabanas y bosques tropicales (33, 34).

Especies	ESTADO ¹			
	Ecosistema bosque		Ecosistema sabanas	
	Lluvioso	Estacional	Llanos	Cerrados
<u>Stylosanthes guianensis</u>				
<u>var. común</u>	4	4		
<u>var. paciflora</u>				3
<u>Stylosanthes capitata</u>			4	2
<u>Stylosanthes macrocephala</u>		3	3	1
<u>Centrosema acutifolium</u>		3	3	1
<u>Centrosema brasilianum</u>			2	1
<u>Centrosema macrocarpum</u>	2	2		
<u>Centrosema pubescens</u>	1	1		
<u>Desmodium ovalifolium</u>	2	2	2	
<u>Desmodium heterophyllum</u>	1			
<u>Arachis pintoii</u>			2	
<u>Pueraria phaseolooides</u>	5	5	5	
<u>Calopogonium mucunoides</u>				5

- ¹ Estado: 1. Selección avanzada en ensayos bajo pastoreo.
 2. Ensayos bajo pastoreo en fincas.
 3. Cultivares nominados para liberar.
 4. Semilla disponible en el mercado.
 5. No es un producto de investigación; semilla disponible.

pasar directamente a programas de selección mientras que las plantas sexuales quedan disponibles para más cruzamientos, como se ilustra en la Figura 7 (39).

El género *Panicum* está representado por una colección muy grande de accesiones que incluye tipos sexuales, principalmente de la especie *P. maximum*, como fuente potencial de cultivares con adaptación a las condiciones edáficas de las sabanas.

Durante mucho tiempo se ha relegado al género *Paspalum*, aunque el trópico americano sea el centro de origen de muchas de sus especies. La mayoría de las especies se adaptan bien a condiciones edáficas y climáticas adversas de la sabana y posee un gran potencial productivo. Actualmente se está evaluando en CPAC un amplio rango de accesiones de varias especies de *Paspalum*, con buenas perspectivas de convertirse en cultivares de buena calidad, adaptados y altamente productivos tanto para áreas con buen drenaje como para suelos con mal drenaje.

Manejo de pasturas.

Es ampliamente aceptado entre los ganaderos y los investigadores que las pasturas tropicales se "degradan" inevitablemente con el tiempo y que requieren renovación. Este criterio es indudablemente acertado para las pasturas puras de gramíneas en suelos de sabanas pobres, en ausencia de alguna fuente de nitrógeno. No obstante, las pasturas a base de gramíneas pueden mejorar sustancialmente las condiciones físicas del suelo durante los primeros años. Por otra parte, las pasturas de gramíneas-leguminosas bien manejadas mejoran tanto las condiciones físicas como la fertilidad del suelo; además, la productividad de la pastura aumenta con el tiempo, en la medida en que se mantenga el balance de leguminosa-gramínea. En otras palabras, las pasturas a base de leguminosas deben "mejorar" con el tiempo, no "degradarse" (16, 33). Para que esto suceda, es necesario contar con dos elementos esenciales: germoplasma bien adaptado y manejo adecuado (27,30). Se ha logrado un avance importante en ambas áreas durante los últimos años.

Manejo de pastoreo.

Durante la última década ha habido una evolución gradual de la estrategia de manejo del pastoreo, de los sistemas de pastoreo continuo y carga fija

hacia el pastoreo diferido, ya sea alterno o rotacional, y a la carga variable con base en la disponibilidad de forraje. Al parecer, este enfoque responde mucho mejor a la naturaleza dinámica de los ecosistemas de sabana neotropical que el manejo tradicional más rígido. Actualmente la mayoría de los ensayos avanzados de evaluación de forrajes realizados en la región utilizan alguna versión del enfoque más flexible para el manejo del pastoreo.

Para muchas asociaciones, la variación en la duración del período de descanso entre los períodos de pastoreo afecta notablemente el balance de gramínea-leguminosa, favoreciendo los períodos de descanso cortos a la leguminosa y los períodos más largos a la gramínea (23, 26, 27, 31, 32, 35). La presión de pastoreo también afecta el equilibrio entre los componentes de la mayoría de las asociaciones, favoreciendo el pastoreo más leve por lo general a las gramíneas (14, 23, 32). Estos efectos son herramientas valiosas tanto para los investigadores como para los productores.

En los resultados de dos ensayos realizados en CPAC, uno que ya concluyó y otro en su cuarto año de establecimiento (5,6), se puede ver un ejemplo claro de la importancia del manejo en la determinación de la productividad, la estabilidad y la persistencia de las leguminosas en asociaciones. En los dos ensayos realizados en áreas contiguas, se utilizaron las mismas gramíneas y leguminosas. En el ensayo que ya terminó, realizado con tres tasas de carga fija y pastoreo continuo, en todos los tratamientos la gramínea dominó a los dos años. Por otra parte, la capacidad de carga descendió y el comportamiento animal disminuyó rápidamente, especialmente durante la estación seca. En el ensayo que aún continúa, se comparan cuatro sistemas de pastoreo (continuo, 7/12 y 14/42 rotacional y 21/21 alterno) utilizando sólo una tasa de carga variable que se ajusta según la necesidad, con base en la disponibilidad de forraje. Al cuarto año de la siembra, la proporción de leguminosa continúa en el rango de 30 a 50% en todos los tratamientos excepto en la rotación de 14/42, donde el período de descanso es obviamente muy largo. El desempeño animal ha sido consistentemente superior al del ensayo anterior, con ganancias acumulativas anuales de peso vivo de más de 150 kg por animal y de más de 250 kg/ha. La diferencia entre experimentos en el comportamiento de las pasturas parece deberse principalmente al empleo de la carga variable con base en la disponibilidad de forra-

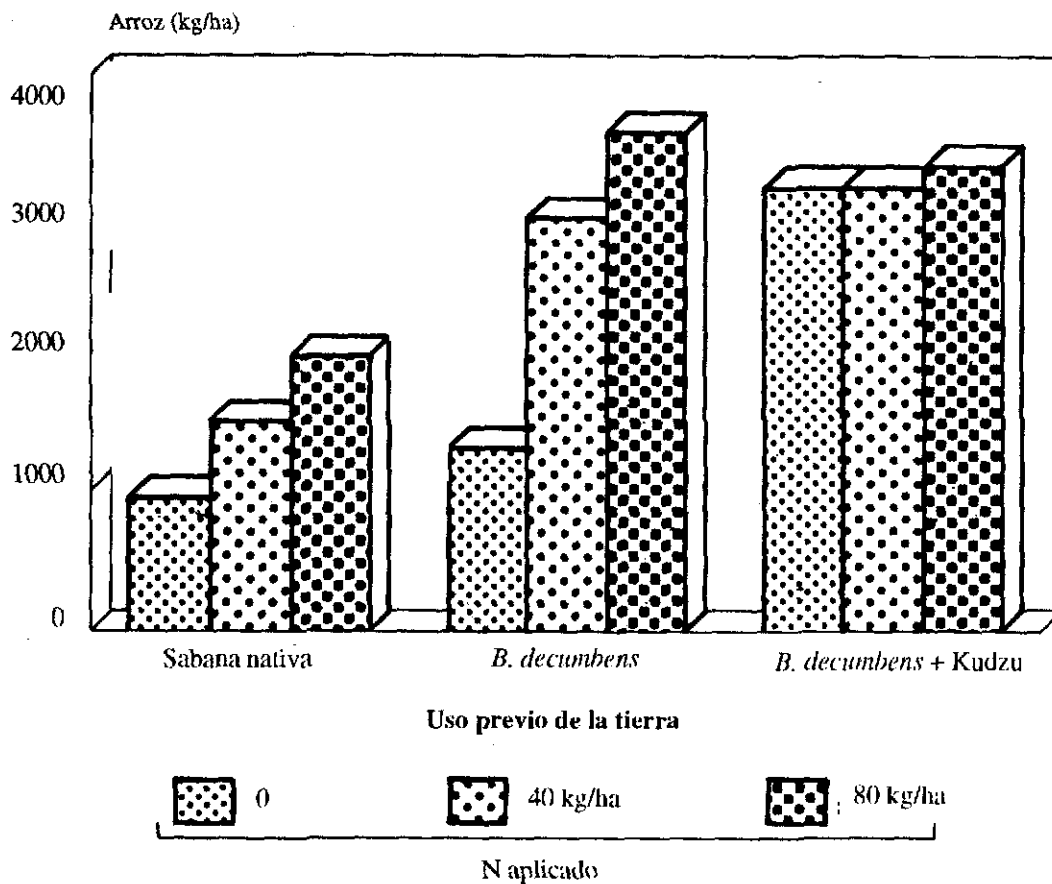


FIGURA 8. Los efectos residuales de pasturas de *B. decumbens* solo y asociado con *Pueraria Phaseoloides* en la productividad de arroz seco en los Llanos Orientales de Colombia. (5,6).

je, en lugar de utilizar cargas fijas.

Integración de cultivos y pasturas.

La investigación en esta área importante para el trópico húmedo está apenas comenzando, lo cual resulta muy irónico ya que la práctica es tan antigua como la agricultura misma. Trabajos recientemente realizados por los científicos de EMBRAPA en el Centro Nacional de investigación en Arroz y Fríjol (CNPAF) en el CPAC, y por los científicos del CIAT y del ICA, en los Llanos Orientales de Colombia, han demostrado de manera contundente el papel potencial del arroz y de otros cultivos en la renovación de las pasturas en ecosistemas de sabana (5, 6, 15).

Los científicos del CIAT también han empezado a documentar los efectos benéficos de las pasturas en los cultivos posteriores. Los efectos residuales de las pasturas de *B. decumbens*, con y sin leguminosa, en

la producción de arroz durante el primer año después de la pastura, aparecen en la Figura 8 (5,6). Se puede apreciar que las pasturas de gramínea sola y de leguminosa-gramínea afectaron notablemente el rendimiento del arroz y que se trata de algo más que de un simple efecto de fertilidad. El arroz sembrado después de una pastura de gramínea-leguminosa no respondió ni al N ni al P; sin embargo, la producción de arroz después de la sabana, a los niveles más altos de fertilidad, fue mucho menor que el rendimiento obtenido después de las pasturas. Se sembró arroz de nuevo en 1990, y los resultados muestran claramente que el efecto residual de las pasturas se prolonga hasta el segundo año de cultivo (6).

PRIORIDADES PARA INVESTIGACION FUTURA

Cualquier intento para establecer prioridades de investigación para un ecosistema tan vasto y comple-

jo es presuntuoso, e inevitablemente reflejará fuertes prejuicios personales. El siguiente esquema se ofrece como un posible punto de partida para definir las prioridades de investigación en determinadas zonas agroecológicas.

Suelos.

Se deben enfatizar las prácticas de manejo y conservación del suelo con el fin de abordar algunos de los problemas más urgentes de degradación de este recurso. Las áreas específicas que ameritan atención inicial son:

- Labranza cero o reducida y patrones de tráfico controlado.
- Mantenimiento de la cobertura viva o muerta del suelo.
- Manejo de la materia orgánica del suelo.
- Prácticas integradas de conservación del suelo que se concentren en el manejo del agua (mayor infiltración, control de la escorrentía).

Cultivos.

Debe continuar dándose énfasis al desarrollo de germoplasma seleccionado específicamente para las severas condiciones de estrés de los ecosistemas de la sabana. En tal forma se debe enfatizar:

- Resistencia a plagas y enfermedades para mejorar la estabilidad del rendimiento y reducir los costos de producción.
- Tolerancia al Al y a otros factores de la acidez del suelo, para lograr mayor tolerancia a la sequía y un uso eficiente de nutrientes.

Pasturas.

Se debe acelerar la búsqueda de leguminosas forrajeras adaptadas a las condiciones de la sabana y que sean compatibles con gramíneas ampliamente sembradas. El germoplasma es esencial pero debe ir acompañado de un manejo adecuado (33). Se recomienda por lo tanto, enfatizar en:

- Continuar la recolección de especies promisorias en sus centros de origen (30, 37).
- Desarrollo de metodologías para una selección más eficiente bajo pastoreo (33).

- Desarrollo de estrategias de manejo racionales con base en una comprensión de principios ecofisiológicos (33, 34).

- Investigación participativa en fincas para superar la falta de credibilidad en las leguminosas (9, 24, 29, 33, 34).

Integración de cultivos-pasturas.

La sostenibilidad económica y ecológica de los sistemas de producción agrícola y animal en las sabanas neotropicales podría beneficiarse más de la integración cultivos-pastos que de cualquier otra innovación. Por lo tanto, es necesario demostrar el sinergismo potencial entre pastos y cultivos y comprender los principios que lo fundamentan. Debe darse prioridad a las siguientes áreas:

- Experimentos diseñados para dilucidar aportes a los componentes perennes y anuales.
- Investigación en fincas y validación económica.
- Proyectos en cuencas hidrográficas para exponer aún más la tecnología y medir los efectos externos.

CONCLUSIONES

Durante las últimas décadas se ha demostrado claramente el potencial de las sabanas neotropicales para producción agrícola y animal. La región de los Cerrados de Brasil aporta actualmente más de un tercio de la producción total de granos del país y mantiene al 42 por ciento de su ganado bovino. El potencial de expansión de la producción mediante la intensificación y la expansión del área es muy grande. Sin embargo, en muchas regiones existen problemas serios de degradación de los recursos y de viabilidad económica marginal. La investigación ya ha producido resultados con implicaciones importantes para la productividad y la sostenibilidad de los sistemas de producción en las sabanas, aunque muchos problemas cruciales siguen sin resolverse y se requiere más investigación. La compactación del suelo, el sellamiento de la superficie, el exceso de escorrentía y la erosión son problemas importantes con impacto negativo y *in situ* y efectos externos severos. Mejores prácticas de manejo y de conser-

vacación del suelo, y mejores sistemas de cultivo podrían aliviar muchos de los problemas actuales.

La integración de cultivos-pasturas es casi desconocida en las explotaciones comerciales, aparentemente por la especialización y por la tradición de tantos años. Sin embargo, los

resultados iniciales de la investigación indican que la integración tiene el potencial de mejorar sustancialmente la eficiencia en el uso de los recursos, deteniendo muchos procesos de degradación y, por lo tanto, haciendo un aporte importante a la sostenibilidad, a la productividad y a la rentabilidad de estos sistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ADAMOLI, J; MACEDO, J.; AZEVEDO, L.G.; MADEIRA N.,J. 1985. Caracterizacao da regio dos Cerrados. *In*: Goedert, W. (ed.) Solos dos Cerrados, 19-31. Nobel S.A., Sao Paulo; EMBRAPA, Brasilia.
2. CIAT. 1988. Informe anual, 1987. Programa de pastos tropicales, CIAT, Cali, Colombia.
3. CIAT. 1989. CIAT in the 90s: a strategic plan. Publication N° 143. CIAT, Cali, Colombia.
4. CIAT. 1989 Informe anual, 1988. Programa de pastos tropicales. CIAT, Cali, Colombia.
5. CIAT. 1990 Informe anual, 1989. Programa de arroz y pastos tropicales. CIAT, Cali, Colombia.
6. CIAT. 1988. Informe anual, 1990. Programa de arroz y pastos tropicales, CIAT, Cali, Colombia.
7. CPAC. 1990. Información no publicada. Centro de Pesquisa Agropecuaria do Cerrado, EMBRAPA. Planaltina, D.F.
8. DEDECEK, R.A ; RESCK, D.V.S; DE FREITAS, E. 1986. Perda de solo, agua e nutrientes por erosión em latossolo vermelho-escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:265-272.
9. FERGUSON, J.E.; VERA, R.; TOLEDO, J.M. 1989. *Andropogon gayanus-Stylosanthes capitata* in the Colombian Llanos: The path from the wild to adoption. pp. 1343-1344. *Proc. 16th Int'l Grasslands Cong.*, Nice.
10. FILGUEIRAS, T.S.; Da S. PERREIRA, B.A. 1990. Flora do Distrito Federal. *In*: M. Novaes Pinto *et al.*, (ed.) Cerrado: caracterizacao, ocupacao e perspectivas. Univ. Nac. de Brasilia, Brasilia, D.F. 675 p.
11. GOEDER, W.; LOBATO, E.; WAGNER, E. 1980. O potencial agricola da regio dos Cerrados brasileiros. *Pesq. Agrop. Bras.*, 15 (1): 1-17.
12. GOEDER, W.; DE SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. 1985. Fósforo. pp. 129-266. *In*: Goeder, W. (ed.) Solos dos Cerrados. Nobel S.A., Sao Paulo; EMBRAPA, Brasilia.
13. IBGE. 1981. Censo agropecuario 1980. Fundacao do Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística. Brasilia.
14. JONES, R.M. 1979. Effect of stocking rate and grazing frequency on a Siratro (*Macroptilium atropurpureum*)/*Setaria anceps* cv. Nandi pasture. *Aust. J. Agric. Anim. Husb.* 19:318-324.
15. KLUTHCOUSKI, J.; PACHECO, A.R.; TEIXEIRA, S.M.; DE OLIVEIRA, E.T. 1991. Renovacao de pastagens de cerrado com arroz: I. Sistema Barreira. Documento 33, EMBRAPA-CNPAP, Gioania, Go. Brasil. 20 p.
16. LASCANO, C.; ESTRADA, J. 1989. Long-term productivity of legume-based and pure grass pastures in the Eastern Plains of Colombia. pp. 1179-1180. *Proc. 16th Int'l. Grasslands Cong.* Nice.

17. LASCANO, C.; ESTRADA, J.; AVILA, P. 1989. Animal production from pastures based on *Centrosema* spp. in the Eastern Plains of Colombia. pp. 1175-1176. Proc. 16th Int'l Grasslands Cong. Nice.
18. LENNE, J.M.; PIZARRO, E.A.; TOLEDO, J.M. 1985. Importance of diseases as constraints to pasture legume adoption in the tropical American lowlands. pp. 810-812. Proc. 15th Int'l Grasslands Cong. Kyoto.
19. LUCHIARI, A.; RESENDE, M.; RITCHY, K.D.; DE FREITAS Jr., E.; DE SOUZA, P.I.M. 1985. Manejo do solo e aproveitamento de agua. pp. 285-322. In: Goeder, W. (ed.) Solos dos Cerrados. Nobel SA, Sao Paulo; EMBRAPA, Brasilia.
20. MACEDO, G.A.R.; FERRERIA, M.B.; ESCUDER, C.J. 1978. Dieta de novilhos em pastagem de cerrado. Boletim técnico. EPAMIG, Belo Horizonte, M.G., Brasil.
21. MEDINA, A.R. 1975. Composicao botanica e qualidade da dieta selecionada em pasto nativo por novilhos azebuados com fistula esofagica: I periodo marco-abril. Tese de mestrado. Esc. Vet. Univ. Fed. Minas Gerais, Belo Horizonte.
22. RESTREPO, J.; NAVAS, J. 1982. Conservación de suelos de la Orinoquia: La erosión física y química al establecimiento de praderas con diferentes niveles de labranza. Suelos Ecuatoriales, 12 (2): 146-160.
23. ROBERTS, C.R. 1974. Some problems of establishment and management of legume-based tropical pastures. Tropical Grasslands. 8:61-67.
24. ROLON, J.D.; PRIMO, A. 1979. Experience in regional demonstration trials in Brazil. pp. 417-430. In: Sánchez, P.A.; Tergas, L.L. (ed.) Pasture production in acid soils of the tropics. CIAT, Cali.
25. SAEZ, R.R. 1988. Situación de la pecuaria bovina en Brasil (y Cerrados). CIAT working paper. CIAT, Cali.
26. SANTANA, J.R. de; PEREIRA, J.M.; MORENO, M.A.; SPAIN, J.M. 1987. Efeito do pastejo sobre a persistência e produtividade da consorciacao *Brachiaria humidicola* + *Desmodium ovalifolium* CIAT 350. p. 242. Anais da 24ª reuniao anual da Soc. Bras. Zootecnia. Brasilia.
27. SANTILLAN, R.A. 1983. Response of a tropical legume-grass association to systems of grazing management and levels of phosphorus fertilization. Ph.D. dissertation. U. of Fla. Gainesville. 169 p.
28. SERE, C. 1990. Dinámica de los sistemas de producción pecuaria en el trópico Latinoamericano. pp. 127-155. In: Pastagens. Soc. Bras. de Zootecnia/FEALQ, Piracicaba, SP, Brasil.
29. SHELTON, H.M.; EVANS, T.R.; COWAN, T. 1985. Relevance of Australian experience in tropical pastures to developing countries. Dept. of Agric., U. of old. Brisbane. Paper presented at Australian Conference on Tropical pastures. Rockhampton.
30. SCHULTZE-KRAFT, R.; PATTAVAVIBUL, S.; GANI, A.; HE, C.; WONG, C.C. 1989. Collection of native germplasm resources of tropical forage legumes in Southeast Asia. pp. 272-273. Proc. Int'l Grasslands Cong. Nice.
31. SPAIN, J.M.; PEREIRA, J.M.; GUALDRON, R. 1985. Sistemas de manejo flexible para evaluar germoplasma bajo pastoreo: una propuesta. pp. 85-97. In: Lascano, C y Pizarro, E. (ed.). Evaluación de pasturas con animales. Alternativas metodológicas. RIEPT, CIAT, Cali.
32. SPAIN, J.M.; PEREIRA, J.M.; GUALDRON, R. 1985. A flexible grazing management system proposed for the advanced evaluation of associations of tropical grasses and legumes. pp. 1153-1155. Proc. 15th Int'l Grasslands Cong. Kyoto.
33. SPAIN, J.M. 1988. O uso de leguminosas herbaceas nas pastagens tropicais. pp 313-339. In: Peixoto, A.M.; Moura, J.C.; de Faria, V.P. (ed.) Anais do congresso brasileiro de pastagens. FEALQ. Piracicaba, SP, Brasil.
34. SPAIN, J.M.; VILELA, L. 1990. Perspectivas para pastagens consorciadas na America Latina nos anos 90 e futuros.

pp. 101-119. *In*: Pastagens, Soc. Bras. de Zootecnia/FEALQ, Piracicaba, SP, Brasil.

35. STOBBS, T.H. 1969. The effect of grazing management upon pasture productivity in Uganda. III. Rotational and continuous grazing. *Tropical Agric. Trinidad*. 46: 293-301.

36. STONER, E.R.; DE FREITAS Jr., E.; MACEDO, J.; MENDEZ, A.C.A.; CARDOSO, I.M.; AMABILE, R.F. 1991. Physical constraints to root growth in savanna oxisols. *Bul. No. 91-01, Trop. Soils, NCSU, Raleigh, NC*. 28 p.

37. TOLEDO, J.M. 1982. La problemática del ensamblaje de pasturas. pp. 1-10. *In*: Paladines, O.; Lascano, C. (ed.) *Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas*. RIEPT. CIAT, Cali.

38. TOLEDO, J.M. 1982. Pasture development for cattle production in the major ecosystems of the tropical American lowlands. pp. 74-81. *Proc. 15th Int'l Grasslands Cong. Kyoto*.

39. VALLE, C.B., do. 1990. Selecao e melhoramento de gramíneas do genero *Brachiaria*: Perspectivas de lançamento, pp. 1D-16D. *In*: Peres, R.M. *et al.* (ed.) *IV encontro sobre producao de sementes de plantas forrageiras*. Sao Jose do Rio Preto.

40. VILLACHICA, H.; SILVA, J.E.; PERES, J.R.; DA ROCHA, C.M.C. 1990. Sustainable agricultural systems in the humid tropics of South America. pp. 391-437. *In*: *Sustainable agricultural systems. Soil and Water Cons. Soc. Ankeny, Iowa*.

41. WAGNER, E. 1985. Desenvolvimento da regio dos Cerrados. pp. 19-31. *In*: Goeder, W. (ed.) *Solos dos Cerrados*. Nobel S.A., Sao Paulo; EMBRAPA, Brasilia.

42. WOLF, J.M. 1977. Probabilidades de ocorrencia de períodos secos na estacao chuvosa para Brasilia, D.F. *Pesq. Agropec. Bras.* 12:141-150.

LOS RECURSOS GENETICOS DE LOS TROPICOS

D.C. Giacometti ¹

RESUMEN

En este trabajo se describe el estado actual de la biodiversidad y de los recursos genéticos, en relación con las 250.000 especies de plantas vasculares conocidas las cuales están amenazadas por un ritmo acelerado de extinción, estimado en 100 especies al día en los próximos 20 a 30 años, principalmente en los bosques húmedos.

Se hace énfasis en la estrategia de integrar la conservación de la biodiversidad con la conservación "ex situ" e "in situ" de los recursos genéticos.

Se relaciona la utilización de los recursos genéticos con la caracterización y la evaluación y se proponen seis grupos de especies silvestres con potencial de domesticación. Se mencionan los problemas del mejoramiento genético que involucra especies silvestres.

Se prevé que el Diálogo Internacional "KEYSTONE" influya sobre los debates internacionales relacionados con la conservación, el intercambio y la utilización de los recursos genéticos.

La Convención Internacional para la Conservación y Utilización Racional de la Biodiversidad que prepara el PNUMA para presentar en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en 1992 en Brasil, con el fin de que sea aceptada por los países en desarrollo, haciendo énfasis en el vínculo entre conservación y la utilización sostenible de la biodiversidad.

SUMMARY

THE GENETIC RESOURCES OF THE TROPICS.

The biodiversity and genetic resources present global situation is described in relation to the 250.000 known vascular plant species and the threat of extinction at an alarming rate of 100 species per day in the next 20 to 30 years, mainly in the tropical humid forests.

¹ Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos y Biotecnología (CENARGEN), EMBRAPA, Brasília, DF, Brasil.

The strategy of integrating biodiversity conservation with "ex situ" and "in situ" conservation of genetic resources is emphasized. The relationship between utilization of genetic resources with characterization and evaluation is mentioned and six groups of wild plant species with potential for domestication is proposed. The breeding problems involving wild species are referred.

A positive influence of the Keystone International Dialogue on Plant Genetic Resources and the international debate related to the conservation, exchange and utilization of genetic resources is expected.

The International Convention on the Conservation and National Utilization of Biodiversity being prepared by the United Nations Environment Programme to be presented to the U.N. Conference on Environment and Development in 1992 in Brazil, will be accepted by developing countries and will emphasize the linkage of conservation with sustainable utilization of biodiversity.

Hace apenas 10.000 años que el hombre realizó la revolución agrícola con la domesticación de plantas y animales necesarios para su alimentación. El proceso de la domesticación ha sido bastante rápido y ha ocurrido al mismo tiempo en el Cercano Oriente, Sureste de Asia y Mesoamérica. Esta revolución fue el resultado de la fase de la evolución del hombre que entonces ya acumulara cultura, conocimientos y habilidades para conocer y manejar la naturaleza.

En la mitad del siglo XIX y las primeras décadas del siglo XX, el hombre desarrolló la ciencia agrícola con el descubrimiento de las leyes básicas de la herencia de Mendel que le permitieron reemplazar los cultivos primitivos por aquellos mejorados, más productivos y uniformes.

En la década de los años 60, gracias a las campañas de la FAO, hemos tomado conciencia de los peligros de las pérdidas crecientes de genes causados por varios factores y en la década de los 70, hemos alcanzado progreso en tecnologías y acciones para la conservación de los recursos genéticos. La década de los años 80 se caracterizó por avances de biotecnología y el desarrollo de técnicas modernas de manipulación de los genes, pero también ha sido desastrosa en los años 80 por la aceleración de la destrucción de los hábitats naturales primarios, principalmente en los trópicos y la consecuente extinción de especies al ritmo alarmante de 100 especies de organismos al día en los próximos 20 a 30 años (PNUMA, 1990).

En 1992 estaremos juntos en el Brasil en la

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, para discutir, entre varios temas, la propuesta de una Convención Internacional sobre la Conservación y la Utilización Racional de la Biodiversidad. Ciertamente, estaremos buscando y decidiendo sobre efectivas acciones políticas y científicas para la sobrevivencia de la humanidad con la conclusión de que las ganancias inmediatas sobre la explotación irracional de los recursos naturales habrán alcanzado el límite al terminar el presente siglo.

ESTADO ACTUAL DE LA BIODIVERSIDAD Y DE LOS RECURSOS GENÉTICOS TROPICALES.

Entiéndese por biodiversidad la variabilidad genética de plantas, animales y microorganismos íntimamente asociados a la variabilidad de sus respectivos ecosistemas, mientras que los recursos genéticos abarcan la variabilidad genética de especies manejadas para fines de utilización por el hombre. Puede decirse que los recursos genéticos constituyen el componente utilizable, de inmediato o potencial, de la biodiversidad, para mejora genética y la investigación correlativa. Se considera germoplasma como sinónimo de recursos genéticos, sin embargo, dicho término es más específico. Se dice, los recursos genéticos de un país, o andinos, de la Amazonia y el germoplasma de maíz, de café, de *Rhizobium*.

Clases de biodiversidad.

El número de especies vivientes de organismos

TABLA 1, Número de especies de plantas vasculares y bryophytas según Wilson (1988).

Reino plantae	Nº de especies
Bryophyta	16.600
Psilophyta	9
Lycopodiophyta	1.275
Equisetophyta	15
Filicophyta	10.000
Gymnosperma	529
Angyosperma:	
Dicotyledonae	176.000
Monocotyledonae	50.000
TOTAL	250.000

indicado por varios autores en "Synopsis and Classification of Living Organisms" (Parker, 1982) citado por Wilson (1988) se estima en cerca de 1. 4 millones. La subdivisión mayor del Reino Plantae está relacionado en la Tabla 1.

Los trópicos del nuevo mundo son los más ricos con 90.000 especies. El Africa Trópicos tiene cerca de 30.000 especies con más de 10.000 en la Isla de Madagascar. El Asia Tropical, incluyendo Australia tiene cerca de 35.000 (Prance, 1987, Crosby y Raven, 1986).

A pesar de que los bosques tropicales cubren apenas el 7% de la superficie de la tierra, ellos contienen la mayor parte de las especies tropicales (66% del total de 250.000 especies).

Se estima que en la Amazonia existen 60.000 especies de plantas (Salati, 1983), incluyendo 1000 especies medicinales (Berg, 1982), más de 700 especies de árboles productores de madera comercializable y otros productos industriales, más de 250 especies de frutas y almendras comestibles (Cavalcante, 1988), por lo menos 15 especies de palmeras útiles, 300 especies ornamentales, incluyendo árboles, arbustos, enredaderas, orquídeas y plantas acuáticas (Giacometti, 1988a). También se encuentran varias especies alimenticias productoras de raíces y tubérculos, destacándose: *Manihot*, *Xanthosoma*, *Calathea*, *Caladium* y *Dioscorea*.

También hay que mencionar más de 25 especies de hongos comestibles (Prance, 1987).

De acuerdo con estimativos aceptados por la IUCN/WWF, 60.000 especies de plantas están amenazadas de extinción en los próximos 30 a 40 años; esto corresponde a 4% del total de la biodiversidad. Hay ejemplos de las tierras bajas del Oeste del Ecuador, en la Isla de Madagascar y el bosque de la Costa Atlántica del Brasil en donde la biodiversidad fue reducida en los últimos 50 años a menos del 10% (Synge, 1986).

Las especies de plantas que han sufrido el mayor descenso de la diversidad son justamente aquellas de reconocido valor económico puesto que, adicionalmente a la deforestación, son también explotadas inadecuadamente, destacándose las especies productoras de madera y las medicinales. Desafortunadamente no hay todavía una lista internacional de especies de valor económico amenazadas de extinción, pero se estima que por lo menos 15.000 especies están amenazadas (Synge, 1986).

Conservación de la biodiversidad y de los recursos genéticos tropicales.

La conservación de la biodiversidad cuenta con el respaldo legal tanto en países desarrollados como en aquellos en vía de desarrollo, a través de unidades de conservación, tales como bosques y parques nacionales, reservas biológicas, que inmovilizan grandes áreas escogidas de acuerdo con varios criterios, entre ellos la importancia económica, social y científica del bioma, los habitantes y las especies en cuestión.

Actualmente se trata de integrar la conservación de los recursos genéticos con las unidades de conservación de la biodiversidad cuando se pretende preservar especies de reconocido valor comercial y científico, actual o potencial. Es que los dos sistemas son interdependientes y se complementan.

La estrategia a adoptarse para la conservación de los recursos genéticos depende de la naturaleza del material, de los objetivos y del propósito de la conservación. Por naturaleza del material se entiende la duración del ciclo de vida, el sistema reproductivo de la especie, el tamaño de los individuos (árbol, semilla, bulbo, rizoma, meristemo) y el estado ecológico. Los objetivos indican si el material se destina a la

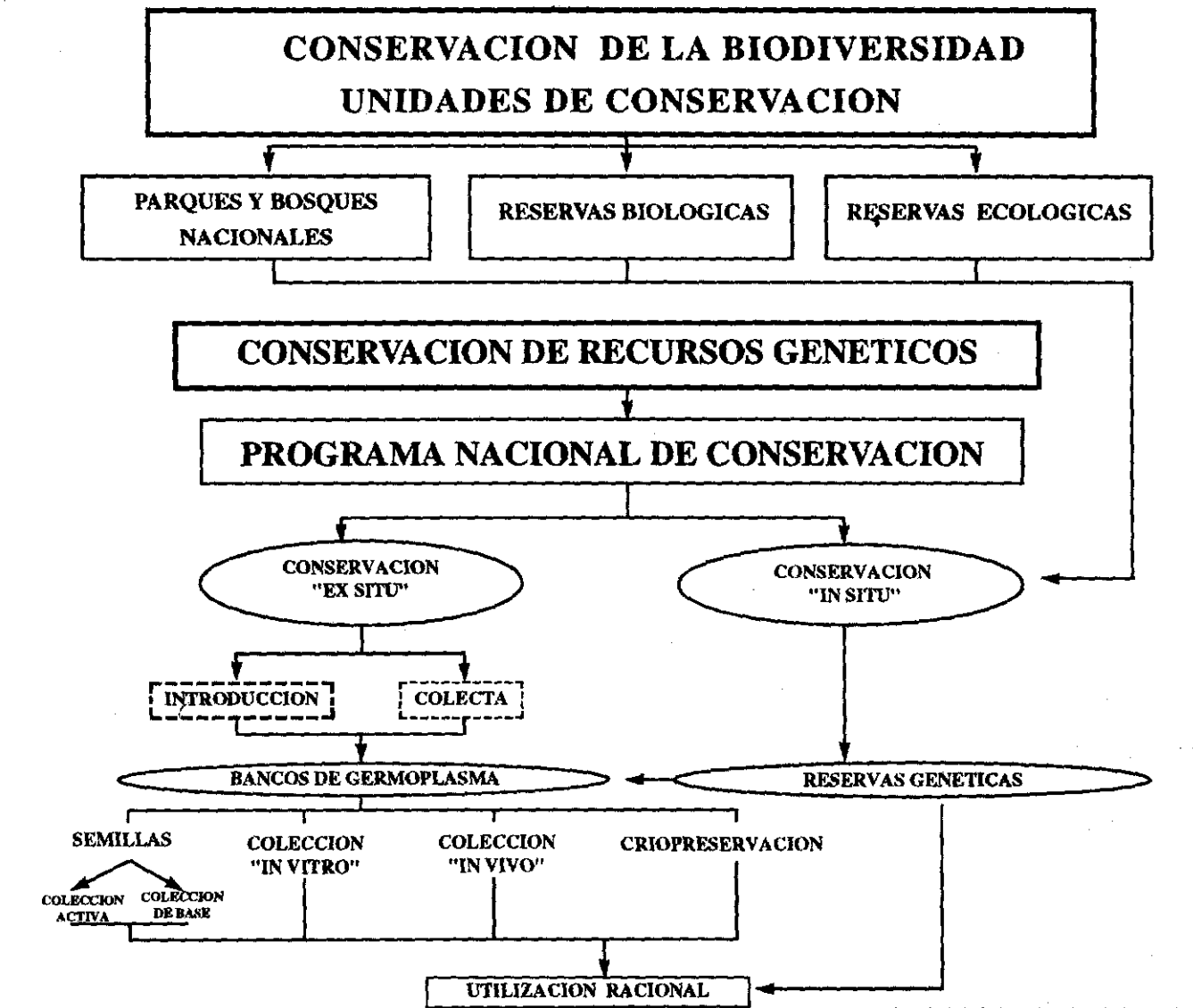


FIGURA 1 - Interdependencia entre los sistemas de conservación de biodiversidad y recursos genéticos

investigación o al mejoramiento genético. El propósito se refiere a la duración del tiempo de la conservación, el área y el local: región o global. La estrategia a ser adoptada es definida si la conservación será "ex situ" o "in situ", cuando se decide sobre el tamaño de las muestras de la población a ser preservada (Frankel y Brown, 1972).

La Figura 1 esquematiza los sistemas de conservación de la biodiversidad y de los recursos genéticos y su interdependencia.

Conservación "Ex Situ"

Los materiales incorporados en la conservación "ex situ" son autóctonos o introducidos. Los mate-

riales autóctonos son recolectados en sus diversas categorías: cultivares primitivos, poblaciones silvestres, parientes silvestres, cultivares avanzados y componentes genéticos. Estos materiales están descritos por León, Goldbach y Engels (1979). La recolección de los materiales autóctonos se hace por recolecciones del mayor número posible de la diversidad genética. Esto implica en la explotación del área de cultivo o de la distribución natural cuando se trata de materiales silvestres. La Figura 2 establece la estrategia de recolección que requiere definiciones de qué recolectar, cómo recolectar y conforme con lo descrito por Lleras (1988) y Giacometti (1990).

Las introducciones se hacen de acuerdo con obje-

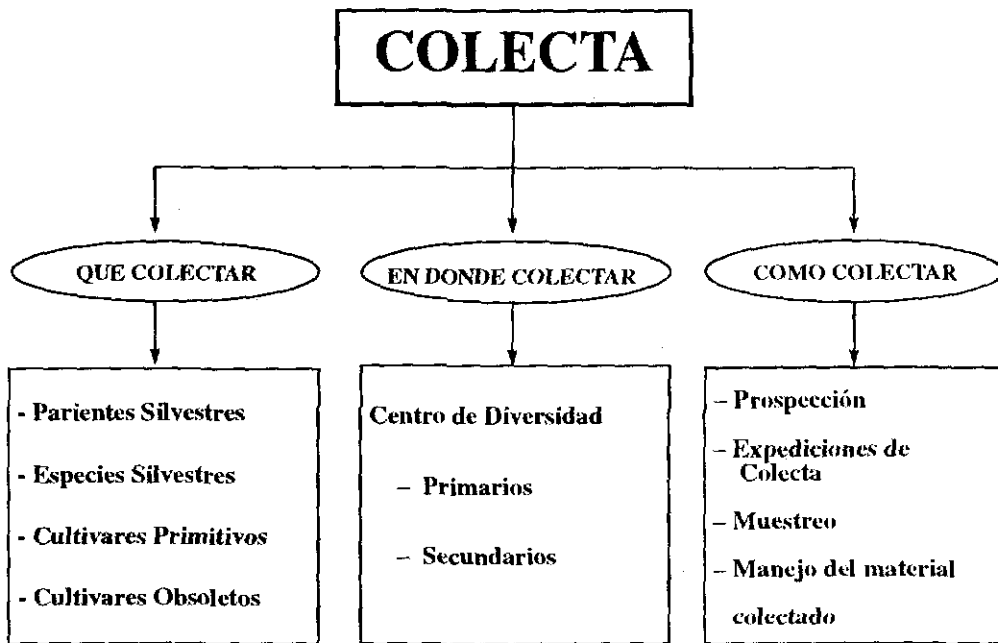


FIGURA 2- Estrategias de colección de germoplasma.

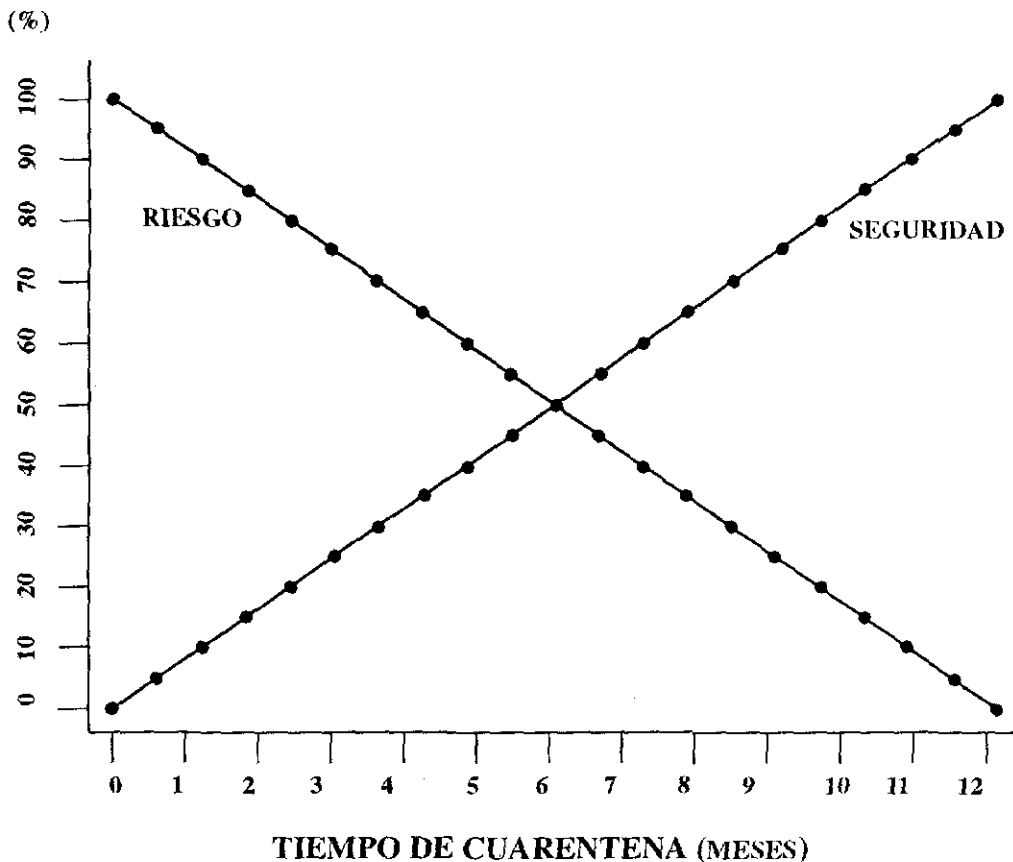


FIGURA 3. Relación hipotética entre el tiempo de cuarentena de germoplasma, la frecuencia del riesgo y de la seguridad antes de la liberación.

tivos definidos y es importante que sean ordenadas y sistematizadas. Ordenadas porque deben obedecer a los reglamentos fitosanitarios internacionales y nacionales para garantizar la seguridad al máximo y reducir el riesgo de introducción de enfermedades y plagas al mínimo. La Figura 3 muestra la frecuencia del riesgo y de la seguridad en función del tiempo de cuarentena en el proceso de introducción de acuerdo con Giacometti (1988).

En cuanto a la sistemática de las introducciones, ésta se refiere a atender la demanda de la investigación del país de modo continuo y organizado y de fuentes externas idóneas. Casi siempre el intercambio de germoplasma requiere convenios o cartas bilaterales de entendimiento. Generalmente, los materiales protegidos por leyes que garantizan el derecho de la propiedad intelectual encuentran dificultades cuando se trata de materiales patentados.

Las colecciones de los materiales introducidos y recolectados son mantenidos en diversas categorías de bancos de germoplasma conforme indica la Figura 1. Las técnicas de conservación visan al máximo de eficiencia para evitar la erosión genética y la deriva genética

Conservación "In Situ"

La conservación "In situ" permite preservar amplia variedad genética de la especie foco cuando es representada en la población por más de 50 individuos, lo que evita la depresión resultante de la autofecundación (Frankel y Soule, 1981)

Thorsell (1986) discute criterios para la selección de áreas para protección y hay una tendencia por la selección de áreas con alto nivel de endemismo o de distinción de especies con base en la presencia y representatividad de especies alvo, sugiriendo las siguientes categorías de especies de acuerdo con la oportunidad de la protección: especies silvestres afines de las especies cultivadas y, especies silvestres con reconocido potencial para la domesticación, especies escogidas en la naturaleza para la alimentación, y frutas silvestres e industria doméstica, especies silvestres escogidas por el hombre para otras formas de utilización: colorantes, medicinales, insecticidas, especies que producen drogas para uso directo o potencial, especies con capacidad de mejorar la estructura, estabilidad y fertilidad del suelo, especies con alta capacidad de modificar su medio

ambiente, especies con tolerancia especializada a extremos de condiciones de vida: salinidad, temperaturas extremas, sombra, sequía, fuego, viento.

La conservación "in situ" permite preservar especies de difícil regeneración artificial y otras que producen semillas recalcitrantes.

Otra gran ventaja de la conservación "in situ" es la posibilidad de integración con las unidades de conservación que les facilita la fiscalización y disminuye las presiones políticas para cambiar el objetivo del área protegida.

Utilización de germoplasma.

La utilización de germoplasma en programas de mejoramiento genético ha sido muy restringida a nivel mundial. Peeters y Williams (1988) han realizado una encuesta internacional sobre la utilización de germoplasma por los mejoradores y el análisis de los datos indica una situación bastante desalentadora pero no sorprendente, caracterizada por el bajo nivel de interés de los mejoradores por las colecciones de bancos de germoplasma. Esta falta de interés es debida a dos factores determinantes:

1. Los mejoradores ya tienen en sus manos el germoplasma para cubrir las necesidades de sus programas.
2. Los datos suministrados por los bancos de germoplasma son muy generales y les gustaría más detalle.

Los mejoradores preferirían las siguientes informaciones sobre la evaluación del germoplasma:

- Resistencia a enfermedades y plagas;
- Caracteres de adaptación y reacción a condiciones adversas del medio ambiente;
- Caracteres para incremento de la productividad y el rendimiento.

El bajo nivel de utilización del germoplasma y el tamaño siempre creciente de las colecciones, sugieren la necesidad de adoptar medidas que faciliten la conservación, la caracterización y la evaluación con el objeto de incrementar la utilización por los mejoradores. Frankel y Brown (1972) recomiendan el establecimiento de "colecciones cernos" para cada banco de germoplasma, adoptando criterios de selección, de los cuales el origen ecogeográfico es el más fundamental.

Las especies silvestres afines de las especies cultivadas han merecido especial atención de los mejoradores que para utilizarlas enfrentan las características indeseables, principalmente el bajo potencial de productividad, el efecto perjudicial sobre los cruces y las dificultades en la transferencia de genes deseables. Hoyt (1988) propone tres grupos de "pool" de genes de acuerdo con diferentes niveles de compatibilidad, incluyendo cultivos primitivos y mejorados, y los parientes silvestres. La Figura 4 muestra los tres grupos "pool" de genes.

DIALOGO INTERNACIONAL "KEYSTONE" SOBRE LOS RECURSOS GENETICOS

El corto período entre agosto de 1988 cuando se realizó la primera Sesión Plenaria del Diálogo Internacional "KEYSTONE" sobre los Recursos Genéticos y la Segunda Sesión Plenaria, realizada en enero de 1990 en Madras, India, ha sido suficiente para que las comunidades políticas, profesional y pública mundiales se concienticen por consenso de la necesidad de promover un compromiso internacional para la conservación y distribución equitativa de los recursos genéticos de plantas.

En la Segunda Sesión del Diálogo, se ha recono-

cido el derecho de los campesinos sobre sus variedades primitivas conservadas y desarrolladas durante siglos de mejoramiento informal, en contrapartida del derecho de propiedad intelectual de los mejoradores en los países desarrollados.

Las discusiones, las conclusiones y recomendaciones de los 50 participantes en la Sesión de Madras, han causado mucho impacto en la posición de los países desarrollados sobre el efecto del derecho de la propiedad intelectual de los productos y procesos de la biotecnología y sobre la transferencia de tecnología, para los países en desarrollo, principalmente para la conservación y utilización de los recursos genéticos (Keystone, 1990).

El grupo está seriamente preocupado con la falta de información sobre el potencial del impacto de las patentes sobre los recursos genéticos. Consecuentemente, recomienda que no se llegue a conclusiones en las negociaciones en el ámbito del GATT sobre el tema Aspectos Relacionados al Comercio de los Derechos de Propiedad Intelectual (TRIPS) antes de estudios detallados.

Finalmente el Diálogo insiste en la creación de un fondo internacional, de por lo menos US\$ 400 millones al año para financiar el manejo sostenible de los recursos genéticos a niveles global, regional y

PG - 1	PG - 2	PG - 03
<p>"Pool" de genes primarios</p> <p>Material preferencial para cruzamientos;</p> <p>* cruzamientos fáciles dentro del "pool" genético y los híbridos son fértiles;</p> <p>* transferencia de genes usualmente simples.</p>	<p>"Pool" de gen secundarios</p> <p>Mejoradores pueden usarlo con algún esfuerzo;</p> <p>* pueden cruzarse con PG-01; los híbridos son usualmente estériles, pero ocurre cierta fertilidad;</p> <p>* transferencia de genes posible, pero puede ser difícil.</p>	<p>"Pool" de genes terciarios</p> <p>Límite extremo fuera del potencial genético;</p> <p>* pueden cruzarse con PG-01 pero los híbridos son estériles;</p> <p>* transferencia de genes posible con medidas radicales.</p>

FIGURA 4. "POOL" de genes para la utilización en mejoramiento genético

nacional.

El Diálogo Internacional "KEYSTONE" sobre los recursos genéticos es promovido por el Centro Keystone del Estado de Colorado, USA, con el soporte de organizaciones internacionales gubernamentales y no gubernamentales, instituciones científicas y comerciales. Los participantes son invitados en calidad personal, sin vínculos oficiales.

No se espera que el Diálogo tenga efecto directo sobre políticas. Mientras tanto, sus recomendaciones ciertamente tendrán significativa influencia en el debate y soluciones potenciales sobre la conservación, el intercambio y la utilización de los recursos genéticos.

LA CONVENCION INTERNACIONAL SOBRE LA CONSERVACION Y UTILIZACION RACIONAL DE LA BIODIVERSIDAD

El Consejo de Gobierno del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNMA y en la decisión 14/26 del 17 de Junio de 1987, expresó grave preocupación sobre la alarmante tasa y magnitud de la desaparición de especies de plantas y animales como resultado de la destrucción de habitats y también debido a la explotación irracional de la naturaleza, y reconoció la necesidad urgente de una efectiva protección de la diversidad biológica y estableció un Grupo de Trabajo "ad hoc" de Especialistas en Diversidad Biológica para investigar la oportunidad y viabilidad de una convención paraguas. El Grupo de trabajo se reunió en la primera sesión en Ginebra entre el 16 y 18 de noviembre de 1988, con la participación de representantes de 25 países, de la FAO, UNESCO, la Comisión Económica Europea, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y otras organizaciones no gubernamentales proteccionistas.

Las discusiones en las sesiones y estudios que se seguirán, tratarán de aclarar los problemas políticos, financieros, sociales y científicos para establecer una estrategia mundial de conservación, a través del manejo del uso sostenible de la biosfera de manera

que rinda el máximo de beneficio a las generaciones actuales pero manteniendo su potencial para atender a las necesidades y aspiraciones de las futuras generaciones.

De acuerdo con la recomendación de la FAO, para que la Convención sea ampliamente aceptada por los países desarrollados y subdesarrollados, debe enfatizarse el nexo entre conservación, uso sostenible de la biodiversidad y desarrollo sostenible (FAO, 1990).

Una de las preocupaciones de la Convención es apoyar a los países en desarrollo para organizar e implementar sus políticas de conservación de la biodiversidad, a través de unidades de conservación. Si los países escogieran la estrategia de una Convención que se presentaría en 1992 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, el instrumento legal deberá delinear los objetivos básicos y provisiones y al mismo tiempo permitir el eventual desarrollo de protocolos. La Convención deberá abarcar las implicaciones de nuevas biotecnologías, sobre todo aquellas que favorecen condiciones económicas para la conservación de la biodiversidad.

La financiación para la implantación de la Convención es una seria preocupación del PNUMA. En el momento, los gobiernos y las agencias bilaterales de financiación y asistencia ya invierten considerables sumas en programas nacionales, regionales y globales de conservación.

Mientras tanto, nuevos y suficientes fondos adicionales serán necesarios. En recientes estudios del diálogo "Keystone" se indica el costo de US\$4 millones para la instalación de un banco de germoplasma, incluyendo la cámara de almacenamiento de semillas, laboratorios de análisis de semillas, documentación y capacitación. Para las unidades de conservación "in situ" los gastos iniciales son muy altos pues incluyen la inmovilización del área, el levantamiento amplio para identificar los elementos de interés para conservación, el inventario de las especies y condiciones ecológicas. Los gastos de mantenimiento y toma de datos fenológicos son también bastante altos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BERG van den, M.E. 1982. Plantas medicinais na Amazonia. Contribuicao ao seu conhecimento sistematico CNP: Museu Paraense Emilio Goeldi. Belem.
2. CAVALCANTE, P.B. 1988. Frutas comestiveis da Amazonia. Museu Paraense Emilio Goeldi. CNPq 4 ed.
3. CROSBY, M.; RAVEN, P.H. 1986. Diversity and distribution of wild plants. *In: Technologies to maintain biological diversity. Part A - Plant Technologies* Office of Technology Assessment. Washington. D.C. Vol. 2:129-159.
4. FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. 1990. Outline for a draft international convention on the conventional and sustainable use of biological diversity. Preliminary remarks. Roma.
5. FRANKEL, O.H.; SOULE, M.E. 1981. Conservation and evolution. Cambridge University Press. New York.
6. FRANKEL, O.H.; BROWN, A.H.D. 1972. Plant genetic resources today: a critical appraisal. *In: Holden, J.H.W.; Williams, J.T. (ed.). Crop genetic resources: Conservation and evaluation.* George Allen and Unwir, London.
7. GIACOMETTI, D.C. 1988. Native horticultural germplasm from Brazil. Proceedings international symposium on horticultural germplasm, cultivated and wild. China Society for Horticultural Sciences. Academic Publishers. Beijing, China.
8. GIACOMETTI, D.C. 1990. Estrategias e conservacao de germoplasma hortícola da América Tropical. *In: F.A. Passos (ed.) 1º Simposio Latino Americano sobre recursos genéticos de especies hortícolas-Fundacao Cargill Campinas, S.P.*
9. HOYT, E. 1988. Conserving the wild relatives of crops. IBPGR/IUCN/WWF.
10. KEYSTONE CENTER. 1990 Final consensus report of the Keystone international dialogue series on plant genetic resources: Madras Plenary Session. The Keystone Center. Keystone.
11. LLERAS, E. 1988. Coleta de recursos genéticos vegetais. *In: Campos de Araujo, S.M.; Ayala Usuna, J. (ed). Anales encontro sobre recursos genéticos FCAVJ/UNESP, Jaboticabal. S.P.*
12. LEON, J.; GOLDBACH, H.; ENGELS, J. 1979. Los recursos genéticos de las plantas cultivadas de América Central. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
13. PEETERS, J P; WILLIAMS, J.T. 1984. Towards better use of genebanks with special reference to information. Plant Genetic Resources Newsletter 60: 22-31.
14. PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. 1988. Report of the "Ad hoc" group of experts to the executive director on government council decision 14/26 UNEP/Bio. Div. I/Inf. I. Nairobi, Kenya.
15. PRANCE, G.J. 1987. Etnobotanica de agumas tribus amazonicas. *In: Darcy, R. (ed.). Suma Etnológica Brasileira. Handboo South American Indians.* FINEP. Brasil.
16. SALATI, E. 1983. O clima atual depende da floresta. *In: Salati, E.(ed.) Amazonia: Desenvolvimento, integracao e ecologia.* Brasília, Sao Paulo.
17. SYNGE, H. 1986. Status and trends of wild plants. *In: Technologies to maintain biological diversity.* Office of technology assessment. U.S. Congress.
18. THORSELL, J.W. 1986. The role of the protected areas in maintaining biological diversity with special reference to tropical developing countries. *In: Technologies to maintain biological diversity.* Office of technology assessment. Vol. 2, U.S. Congress.
19. WILSON, E.O. 1988. The current state of biological diversity. *In: Wilson, E.O. (ed.). Biodiversity.* National Academy Press. Washington, D.C.

SISTEMAS INTEGRADOS SOSTENIBLES EN SABANAS Y AREAS DEGRADADAS DE BOSQUE

José M. Toledo¹

RESUMEN

América latina cuenta con aproximadamente 800 millones de ha. de sabanas y bosques tropicales, la mayoría de ellos con suelos ácidos o pobres (oxisoles y ultisoles) con fuertes limitaciones para el desarrollo de sistemas de producción agropecuaria intensivos y sostenibles debido a la pobreza y fragilidad de la fertilidad nativa de los suelos.

Por otro lado, presiones socioeconómicas, geopolíticas y la construcción de carreteras en los diferentes países del continente inducen a las sociedades a la ampliación de las fronteras agrícolas y utilización de estos recursos.

La deforestación y degradación de los ambientes naturales con sistemas de producción no sostenibles es una preocupación continental y mundial.

Durante los últimos 15 años, esfuerzos mayores de investigación nacional e internacional en la región vienen desarrollando componentes adaptados a las condiciones nativas de fertilidad del suelo, clima y presiones bióticas. Esto permitirá el ensamblaje de sistemas productivos sostenibles e intensivos para la mejor utilización y conservación de estos recursos naturales.

En este documento se informa de los avances en el desarrollo y selección de germoplasma, por adaptación a suelos ácidos, de arroz, maíz y pastos tropicales. Se llama la atención sobre la necesidad de hacer un esfuerzo similar para el desarrollo de arbustivas multipropósito para estas conclusiones. También se presentan resultados de investigación que documentan la contribución de las nuevas pasturas tropicales al mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas de estos suelos ácidos y pobres y su beneficio para cultivos intercalados en sistemas de producción tipo "Ley Farming". Resulta claro que el ensamblaje de sistemas integrados agro-silvo-pastoriles es una opción interesante para el manejo y utilización de estas condiciones frágiles y de poca productividad natural.

¹ Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT), Cali, Colombia. Actualmente, director Ejecutivo, Fundación para el desarrollo del Agro, FUNDEAGRO, Av. Javier Prado Este 1894, San Borja, Lima, Perú.

SUMMARY

SUSTAINABLE INTEGRATED SYSTEMS FOR SAVANNAS AND DEGRADED FOREST LANDS.

Latin America has approximately 800 million ha of savannas and tropical forest lands. Most of these have poor or acid soils (oxisols and ultisols), which because of their low and fragile native fertility constitute the main constraint for intensive and sustainable agricultural production.

On the other hand socio-economic and geopolitical pressures, as well as the construction of highways, induce the expansion of frontier lands and the utilization of these fragile land resources.

Deforestation and environmental degradation due to nonsustainable production systems is a world-wide concern.

During the last 15 years, national and international research has achieved important genetic improvements, developing components adapted to native conditions of soil, climate and biotic pressures predominant in the tropics. These new cultivars will permit the integration of sustainable and intensive production systems to attain better utilization and conservation of natural resources. Advances in developing and selecting germplasm of rice, maize and tropical pastures for adaptation to acid soils are detailed in this document. Attention is paid to the necessity of making a similar effort for development of multipurpose shrubs and trees for the same conditions. Research results are also presented. These results are demonstrating the contribution of new tropical pastures in improving physical, chemical and biological conditions of the acid soils; as well as their benefit to crops in "Ley Farming" production systems.

It is clear that the use of integrated agro-silvo-pastoral systems is an interesting option for the management and utilization of these fragile and low-productivity native environmental conditions.

América Tropical posee 800 millones de ha. de sabanas y bosques. En más del 50% de las sabanas tropicales (cerca de 100 millones de ha.), la topografía y las propiedades físicas del suelo son favorables para el uso intensivo de la tierra. Un 15% de las zonas forestales (80-100 millones de ha.) tiene potencial para el cultivo y la producción pecuaria; sin embargo, presenta un alto riesgo ecológico dado el uso indiscriminado de la tierra, y lo inadecuado de la tecnología disponible. Cincuenta y uno por ciento de los suelos de América Tropical son Oxisoles ácidos y Ultisoles de baja fertilidad (Tabla 1). En la Tabla 2 se presenta un resumen de las propiedades químicas por condiciones topográficas para la sabana sudamericana y zonas forestales estacionales semi-siempre verdes (Cochrane et al., 1984).

El proceso de ampliación de fronteras en América tropical incluye la migración de la población hacia:

1. Las sabanas, donde la tierra es principalmente ocupada y adquirida por hacendados acomodados quienes establecen sistemas de cría (vaca-ternero) extensivos.

Con el desarrollo de infraestructura, ocurren

aumentos en los precios de la tierra junto con su subdivisión e intensificación.

En estos sistemas de producción más intensivos, las pasturas mejoradas y la producción agrícola reemplazan las praderas de sabana nativa. El engorde de ganado y de doble propósito (carne-leche) junto con el uso de cultivos están reemplazando a los sistemas tradicionales de grandes ranchos en Brasil, Venezuela y Colombia.

2. En el bosque coexisten dos situaciones contrastantes. En el Amazonas brasileño, el desarrollo de carreteras y las políticas nacionales de incentivos económicos y de subsidios para el desarrollo y la ocupación de la región durante los 60 y 70, han conducido a una deforestación masiva y al establecimiento de grandes ranchos y plantaciones (caucho, cacao, papaya, guaraná, castaña do Para, etc.). Al contrario, en la Amazonía de los países andinos, la migración y la colonización de la región son el resultado de presiones socioeconómicas más que de políticas nacionales directas. Los campesinos sin tierra migran hacia el bosque cuando se abren caminos para la explotación maderera o petrolera.

TABLA 1. Distribución y porcentaje del área de los países de América tropical con Oxisoles y Ultisoles.

Región/ país	Millones de hectáreas	% de la región/país
AMERICA TROPICAL	848	51
Brasil	573	68
Colombia	67	57
Perú	56	44
Venezuela	52	58
Bolivia	40	57
Guyana	12	62
Surinam	11	62
Paraguay	10	24
Ecuador	9	23
Guayana Francesa	9	94

FUENTE: Cochrane, 1979.

TABLA 2. Area (millones de ha.) de los suelos por propiedades químicas (0-20 cm.) y topográficas en los bosques Semi-siempre verde estacionales y las sabanas de América Tropical.

Rango de Parámetro	Bosque semi-siempre verde estacional		Sabanas Tropicales	
	Plano mal drenado	Bien drenado	Plano mal drenado	Bien drenado
	<8% pendiente	> 8% pendiente	<8% pendiente	>8% pendiente
pH: >7.3	0.1	—	—	—
5.3-7.3	30.0	15.9	7.3	10.7
< 5.3	28.5	143.3	77.4	24.9
% Saturación Al:				
< 70	14.3	94.0	53.1	4.1
40-70	3.3	36.8	16.8	7.7
10-40	14.0	14.2	9.0	13.5
< 10	26.8	14.2	6.8	10.3
% MO :				
> 4.5	22.8	18.3	4.2	20.0
1.5-4.5	31.0	124.1	54.3	16.4
< 1.5	4.8	16.8	26.1	0.3
CIC (meg/100 g)				
> 8	36.2	20.8	6.8	16.4
4-8	18.4	66.8	24.4	9.5
< 4	3.9	71.5	53.4	10.6
Area total	58.5	159.2	85.7	35.6
				87.2
				47.7

FUENTE: Cochrane et al., 1984.

Los colonos establecen sistemas de agricultura migratoria (chacras) para cultivos de subsistencia como arroz, maíz, yuca y plátano. Parte de esta producción se vende en los mercados locales, para obtener algún ingreso para otras necesidades, pero rara vez para ahorro e inversión. Los colonos más exitosos les compran a sus vecinos las tierras degradadas y consolidan la zona con pasturas. Un fenómeno paralelo es la redistribución del uso de la tierra debido a la ampliación de la producción agrícola en las mejores tierras, haciendo que los sistemas migratorios de producción pecuaria pasen a las tierras marginales y de frontera en las sabanas y bosques, con menores costos de oportunidad. La Figura 1 muestra el cambio de la población bovina en Brasil y Colombia durante los últimos 35 años.

La migración de la población y del ganado bovino, junto con la ampliación de la producción agrícola, en zonas cercanas a la infraestructura de transporte, están forzando la intensificación en el uso de la tierra y su degradación en estas áreas de suelos ácidos de baja fertilidad. Hay una clara necesidad de desarrollar tecnologías de su uso sostenido de la tierra para

facilitar el desarrollo económico y proteger los recursos naturales de estos ecosistemas de sabanas y bosques tropicales con suelos ácidos y pobres.

LIMITACIONES PARA EL USO SOSTENIDO DE LA TIERRA

Limitaciones biofísicas.

Los Oxisoles y Ultisoles predominantes son químicamente pobres, con baja capacidad de intercambio de cationes (CEC <5 meq/100 g), bajo pH (<5) y niveles tóxicos de saturación de aluminio (>70%). Estas características impiden la producción continua de cultivos como maíz, arroz, soya, trigo y otros. Lo mismo se puede decir para cultivos no adaptados de gramíneas y leguminosas forrajeras como *Digitaria decumbens* cv. *Pangola*, *Panicum maximum* cv. *McKueni*, *Glycine wightii* y otros. La mecanización intensa, el encalamiento y la fertilización son sólo una solución parcial. La mecanización y los insumos químicos sólo cambiarán la

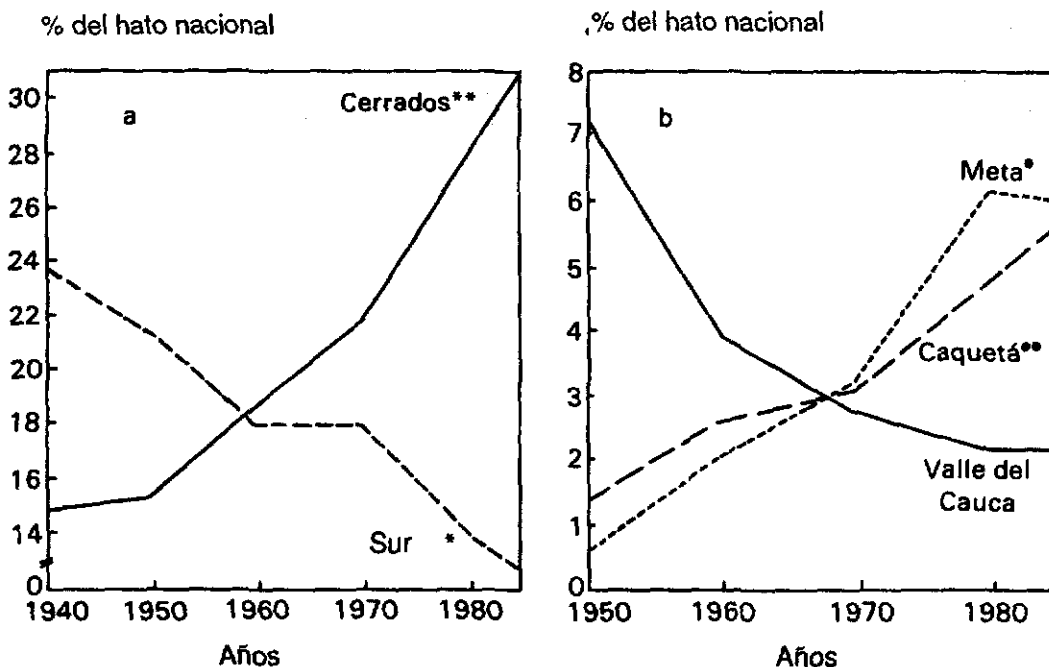


Figura 1. Cambio de la población bovina en a) Brasil (* Río Grande do sul y Sta. Catarina; ** Goiás y Mato Grosso); b) Colombia (* Sabanas, ** áreas de bosque lluvioso)

capa superior del suelo, sin eliminar las condiciones negativas del suelo más allá de 20-30 cm. Las raíces de las plantas no adaptadas sufrirán de limitaciones de agua aun en cortos períodos de sequía y se verán limitadas en su capacidad para usar la escasa fertilidad del suelo nativo, ya que el desarrollo de las raíces se limita al estrato superior modificado del suelo.

Las altas presiones bióticas que ocurren en estos ecosistemas de sabana y bosque tropical, con estaciones húmedas y secas contrastantes, son también una importante limitación para los cultivos y los pastos. Ejemplos de esto son el salivazo en pasturas de *Brachiaria spp.*, la antracnosis de *Stylosanthes spp* y la pircularia en el arroz. El uso intenso de plaguicidas es sólo una costosa solución a corto plazo y puede plantear una amenaza al equilibrio biológico ambiental. La intensificación agropecuaria en estas tierras requiere del desarrollo de nuevos cultivares de cultivos y pasturas, adaptados a las condiciones edáficas y bióticas propias de estas zonas.

Limitaciones socioeconómicas.

Las debilitadas economías latinoamericanas con cuantiosas deudas internacionales y altas tasas de inflación, favorecen la perspectiva a corto plazo en el uso y la explotación de los recursos naturales. La perspectiva a largo plazo requerida para la conservación de los recursos naturales y para la sostenibilidad de los sistemas de producción es una prioridad mínima o inexistente para los políticos y funcionarios a nivel de decisión. Además, los agricultores a menudo sólo tienen un limitado acceso al capital (crédito y/o subsidios) para invertir en tecnología o prácticas de conservación que utilicen altos insumos.

En consecuencia, para que las nuevas tecnologías para aumentar la productividad sostenible de la tierra sean adoptadas, éstas deben ser económicamente atractivas y estar basadas en el eficiente uso de los insumos adquiridos.

ESTRATEGIAS PARA EL USO SOSTENIBLE

Deben adoptarse dos niveles de estrategias para desarrollar sistemas de producción sostenida en los suelos ácidos pobres de América tropical. Por un lado, deben reducirse las presiones de deforestación

y la utilización de ambientes frágiles; por otro lado, deben desarrollarse componentes y tecnologías ambientalmente adecuados.

Primer nivel.

Para el primer nivel dirigido a reducir la presión de deforestación, las estrategias adoptadas por CIAT son:

1. Desarrollar sistemas agropastoriles de producción sostenibles de alta productividad en las zonas menos frágiles de las sabanas tropicales, ayudando por lo tanto a reducir la presión de mercado para la apertura de tierras en ambientes más frágiles (es decir, tierras empinadas de las sabanas o selvas). En otras palabras, si se pueden desarrollar tecnologías económicamente atractivas para ambientes menos frágiles, las empresas agropecuarias comerciales invertirán menos en la apertura y el desarrollo de las zonas más frágiles.

2. Recuperar tierras forestales ya degradadas en áreas de activa colonización (márgenes del bosque), reemplazando la agricultura migratoria ineficiente y la ganadería extensiva subsecuente por sistemas agrosilvopastoriles sostenidos, eficientes en el uso de la tierra y altamente productivos. No se espera mayor desarrollo de infraestructuras dadas las economías de los países amazónicos, la intensificación de estas tierras degradadas en forma ecológica y económicamente sensatas ayudará eficazmente a reducir las presiones socioeconómicas por una mayor deforestación. Estas estrategias a nivel de ecosistema requieren una detallada clasificación del potencial de uso de la tierra y su discriminación para el desarrollo, la recuperación o la protección.

Segundo nivel.

Las estrategias al segundo nivel dirigidas al desarrollo de componentes y tecnologías de manejo, para facilitar la intensificación sostenible de los sistemas de producción en sabanas y bosques, requerirán: a) uso eficiente de los insumos; b) manejo de bajo costo; y c) maximización del reciclaje de nutrientes para mejorar la baja fertilidad natural del suelo y conservar los recursos naturales.

Uso eficiente de insumos. Para corregir deficiencias del suelo que limitan el crecimiento de las plantas será necesario el uso de insumos. Para hacer su

uso eficiente, es esencial mejorar genéticamente los cultivos, árboles y pasturas, mejorando su adaptación a las limitaciones edáficas, climáticas y bióticas predominantes. El desarrollo de extensos sistemas radicales, la asociación con microorganismos favorables (micorrizas, etc.), la tolerancia y/o la exclusión de elementos tóxicos (Al y Fe) y la fijación de N mediante simbiosis *Rhizobium*-leguminosa son partes esenciales de la estrategia.

Manejo de bajo costo. Las plantas mejoradas, ambientalmente adaptadas, son una panacea; el manejo integrado de cultivos, pastos y componentes arbóreos debe maximizar la utilización eficiente de los recursos naturales disponibles (fertilidad, elementos bióticos positivos y agua) y de los insumos adquiridos (capital, mecanización, mano de obra, enmiendas, fertilizantes y agroquímicos), así como minimizar la pérdida de suelo y de nutrientes del sistema. Las técnicas de manejo también deben reducir al mínimo el impacto ambiental negativo (físico, químico y biótico).

Maximización del reciclaje de nutrientes. El postulado es que la integración de cultivos, árboles y pasturas en sistemas agropastoriles y agrosilvopastoriles, contribuirá a la sostenibilidad de sistemas intensificados de producción en suelos ácidos pobres.

Se espera que los cultivos (arroz, maíz, sorgo, caupí, yuca, soya, etc.) reduzcan el costo de establecimiento de los sistemas pastura/árboles al pagar por la preparación de la tierra y los fertilizantes requeridos para mejorar inicialmente el estado físico y químico de los suelos. Por otra parte, el reciclaje efectivo de nutrientes bajo pasturas adaptadas y de gramíneas-leguminosas bien manejadas, mejorará con el transcurso del tiempo (5-10 años) la estructura y el contenido de materia orgánica del suelo para posteriores ciclos de cultivo, dentro de sistemas agrosilvopastoriles sostenibles. En sistemas agrosilvopastoriles, los árboles además contribuirán al efectivo reciclaje de nutrientes y a la generación de ingresos, evitando la erosión en laderas empinadas.

TRABAJO EN MARCHA

Desarrollo de componentes adaptados.

Durante los últimos 15 años, CIAT ha desarrollado

componentes (cultivos y pasturas) compatibles para los sistemas de producción en los suelos ácidos pobres. CIAT también auspicia los principales esfuerzos de CIMMYT para desarrollar cultivares de maíz tolerantes al aluminio, así como los esfuerzos de INTSORMIL para desarrollar sorgo para suelos ácidos.

Nuevas pasturas. El Programa de Pastos Tropicales de CIAT aumentó la colección de gramíneas y leguminosas forrajeras de los suelos ácidos del mundo, de 4.000 accesiones en 1978 a más de 22.000 accesiones hoy. Mediante pruebas descentralizadas para la selección por adaptación, en cooperación con la RIEPT (Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales) (Toledo, 1982), se están identificando varias especies claves de comportamiento promisorio en sabanas y áreas degradadas de bosque. Nuevos cultivares de las gramíneas *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha*, *B. decumbens*, *B. dictyoneura*, *B. humidicola* y *Panicum maximum*; y de las leguminosas *Arachis pintoi*, *Centrosema acutifolium*, *C. brasilianum*, *C. macrocarpum*, *C. pubescens*, *Desmodium ovalifolium*, *Stylosanthes capitata* y *Stylosanthes guianensis* son el resultado de este esfuerzo masivo de cooperación continental.

La combinación de gramíneas adaptadas con leguminosas fijadoras de nitrógeno reduce la necesidad de aplicar costosos fertilizantes de nitrógeno para el mantenimiento de las pasturas. La nueva tecnología de pasturas a base de cultivares de gramíneas y leguminosas adaptadas está logrando sorprendentes niveles de productividad en los ecosistemas de sabana.

La Figura 2 muestra la magnitud del aumento de la productividad de *Andropogon gayanus* solo y en asociación con la leguminosa *Stylosanthes capitata* cv. *Capica*, así como la productividad de la pastura de *Brachiaria dictyoneura* cv. *Llanero* y *Centrosema acutifolium* cv. *Vichada*. La productividad de esta asociación es dos veces la de la pradera nativa en términos de ganancias de peso vivo por animal y cerca de 15 veces en términos de ganancias de peso vivo por hectárea.

La Figura 3 muestra la productividad promedio en el tiempo para las estaciones seca y lluviosa, con el transcurso del tiempo, de una pastura de gramínea sola (*Brachiaria decumbens*) y de una pastura de gramíneas-leguminosas (*Brachiaria decumbens* +

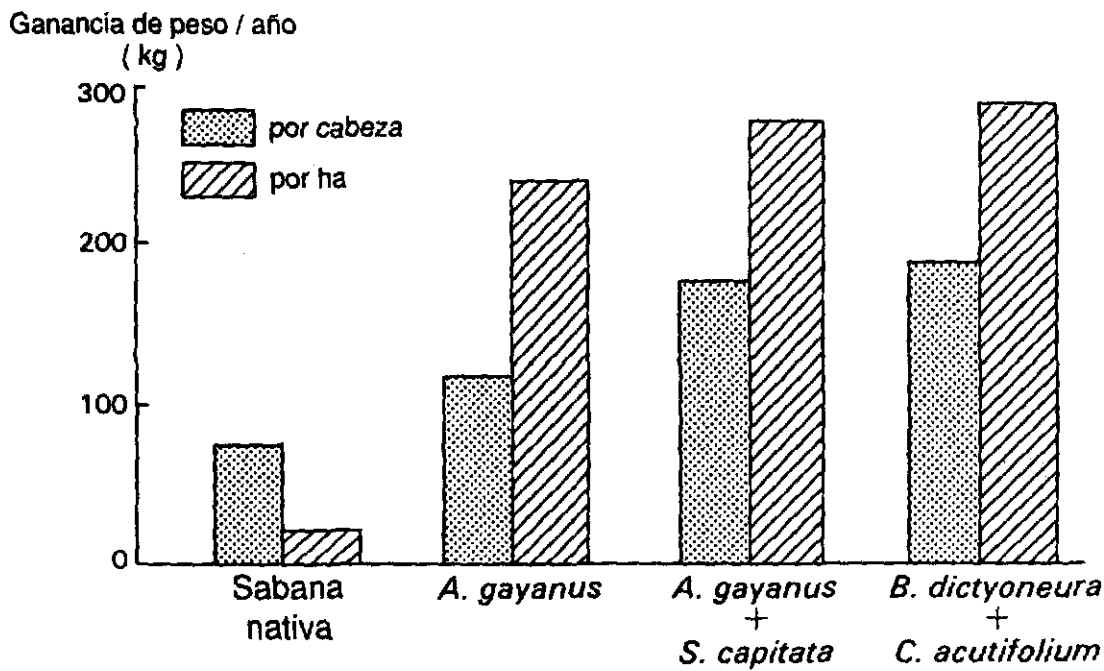


FIGURA 2. Productividad de la sabana nativa con el mejor manejo y de las pasturas mejoradas en los Llanos orientales colombianos (Tomado de CIAT 1988).

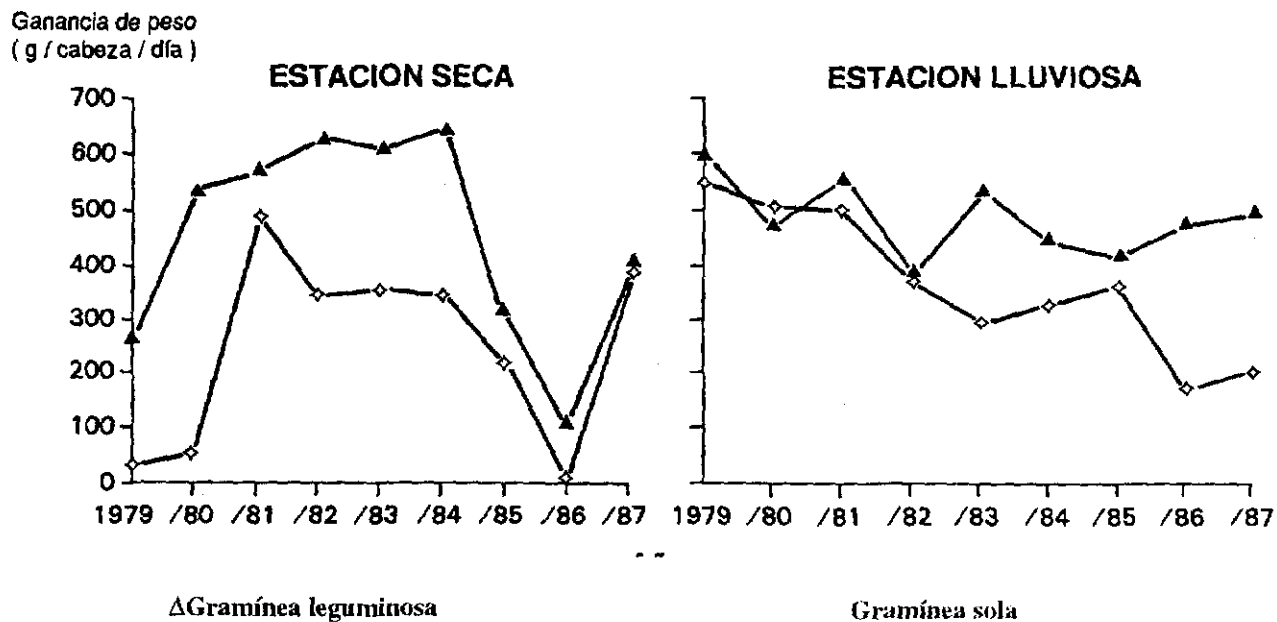


FIGURA 3. Ganancias de peso de novillos en pastura de *B. decumbens* y *B. decumbens* + *P. phaseoloides* en Carimagua Llanos de Colombia (Tomado de Lascano y Estrada, 1989).

Pueraria phaseoloides) en los Llanos colombianos.

La contribución de las leguminosas a las pasturas no sólo se refleja en las mayores ganancias de peso vivo a través de las estaciones sino también en una mayor estabilidad de producción de la pradera, mejor expresada durante la estación lluviosa, cuando el agua no limita el crecimiento de las plantas.

En forma similar, nuevas pasturas de gramíneas-leguminosas, que utilizan eficazmente los escasos nutrientes del suelo e insumos adquiridos y con alta capacidad de cobertura y reciclaje de nutrientes, están hoy disponibles para la recuperación de tierras degradadas en áreas de bosque. La Tabla 3 muestra los resultados experimentales de diferentes zonas de la región. Estos resultados documentan la posibilidad de obtener ganancias anuales de peso de más de 600

kg/ha, especialmente cuando hay leguminosas presentes en la pastura.

Las leguminosas contribuyen directa e indirectamente con más altos niveles de proteína en la dieta, especialmente cuando la calidad y disponibilidad de gramíneas es limitante en la estación seca; además, contribuyen mejorando el nivel de nitrógeno en el suelo, elemento crítico para la sostenibilidad de la producción del sistema suelo-planta-animal.

Arroz seco para suelos ácidos pobres. Las principales limitaciones para el desarrollo de arroz seco de alto rendimiento para sabanas de suelos ácidos son: la falta de tolerancia a la piricularia, la falta de tolerancia a los suelos ácidos y la calidad de granos para los consumidores latinoamericanos. Varias líneas de seco, seleccionadas de IITA

TABLA 3. Ganancia de peso vivo con varias pasturas en áreas degradadas de bosque.

Pasturas	Nº de años	Carga (cabezas/ha.)	Ganancia de peso vivo /ha/año
<u>Praderas nativas:</u>			
<i>Homolepis aturensis</i> ("Guadilla") ^a	1	1.5	110
<i>Paspalum notatum</i> ("Trenza") ^b	1	3.1	204
<u>Gramíneas mejoradas:</u>			
<i>Brachiaria humidicola</i> (CIAT 679) ^c	2	2.5	351
<i>Andropogon gayanus</i> (CIAT 621) ^c	2	2.1	340
<u>Pasturas asociadas</u>			
<i>A. gayanus</i> +			
<i>C. macrocarpum</i> (CIAT 5452) ^d	5	4.4	660
<i>A. gayanus</i> +			
<i>S. guianensis</i> (CIAT 184) ^e	2	3.5	650
<i>B. decumbens</i> (CIAT 606) +			
<i>D. ovalifolium</i> (CIAT 350) ^e	5	5.5	897
<i>B. dictyonera</i> (CIAT 6133) +			
<i>D. ovalifolium</i> (CIAT 350) ^d	4	5.0	803

FUENTE: ^a Caquetá, Colombia (Maldonado, 1990).

^b Cauca, Colombia (Escobar et al. 1971).

^c Paragominas, Brazil (EMBRAPA, 1988).

^d Quilichao, Colombia (CIAT, 1988).

^e Yurimaguas, Perú (Dexre et al. 1987).

(Instituto Internacional de Agricultura Tropical), IRRI (International Rice Research Institute) y EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria) fueron usadas como progenitores por el programa de mejoramiento de arroz de CIAT. Las líneas seleccionadas son semi-enanas altamente tolerantes al Al y a la toxicidad de Fe del suelo, y tienen profusos sistemas radicales capaces de utilizar eficazmente los nutrimentos del agua y del suelo. La Tabla 4 presenta el rendimiento de varias líneas avanzadas de arroz seco y un control local en tres diferentes sitios de sabana de suelos ácidos de los Llanos Colombianos. Estos materiales han funcionado bien en otras partes de las sabanas tropicales americanas.

Estas nuevas líneas de arroz seco tolerantes a los suelos ácidos tienen potencial para los Oxisoles y Ultisoles mecanizables de las sabanas con buen drenaje y de las tierras degradadas de bosque.

Maíz para suelos ácidos. Los esfuerzos recientes de CIMMYT para el desarrollo de germoplasma para ambientes limitantes en América Latina incluyen la conformación de poblaciones tolerantes a los suelos ácidos y su mejoramiento mediante selección recurrente. La Tabla 5 presenta datos sobre el comportamiento de 613 familias amarillas probadas bajo un 60% de saturación de Al en varias localidades de suelos ácidos. Las 56 familias seleccionadas superaron significativamente a las rechazadas por una tonelada métrica por ha. Estos resultados son muy alentadores dada la importancia del maíz como cultivo de subsistencia y como cultivo comercial en los sistemas de producción de las sabanas y selvas desmontadas.

Sorgo para suelos ácidos. Las nuevas líneas de sorgo adaptadas, que están siendo desarrolladas por INTSORMIL producen 2 t/ha hasta con un 60% de saturación de Al en las sabanas de los Llanos

TABLA 4. Rendimiento (kg/ha) de líneas avanzadas de arroz de secano comparadas con testigos locales en 3 sitios de los llanos orientales de Colombia.

Cultivar	Sitio*		
	Corocoras	Matazul	Piamonte
CT 6947-7-1-1-1-7M	2945	2121	2265
CT 6196-33-11-1-3	2663	1548	1651
CT 6261-5-7-2P-5	2578	1496	2085
P 5589-1-1-3P-5-2P	2525	1604	1620
CT 6196-33-10-4-15	2481	1872	2247
CT 6196-33-10-4-9	2360	1664	1989
Testigo: Orizica-2	754	1193	1173

* Saturación de Al 89-93%; fertilizado con 300 kg/ha de cal dolomítica; 80 kg/ha de N; 50 kg/ha de P; y 24 kg/ha de K.

FUENTE: CIAT, 1989.

TABLA 5. Rendimiento (kg/ha) de familias de maíz seleccionadas y rechazadas por adaptación a sitios de suelo ácido.

Rendimiento de maíz			
Sitio*	Seleccionado (56)	Rechazado (557)	Significancia de la diferencia
Carimagua, Colombia	3980	2080	***
Yurimagua Perú	3510	1650	***
Mindanao, Filipinas	1800	860	***

* Suelos encalados hasta un 60% de saturación de Al y fertilizados con 120 kg N/ha y 80 kg P₂O₅/ha.

*** P < 001

FUENTE : Haag, Pandey, 1988.

Colombianos.

Soya para suelos ácidos. Como resultado del trabajo de EMBRAPA, se obtuvieron nuevos cultivares de soya tolerantes a los suelos ácidos: BR-4, IAS-5, "Diamantina" y otros. Estos producen 2 t/ha de grano con la aplicación de 1.5 a 2.0 t de cal/ha. Hoy se siembran más de 3.5 millones de ha de soya en los Cerrados brasileños, siendo la tasa de expansión en área cultivada de 30% por año durante los últimos tres años. ICA está efectuando un trabajo similar en los Oxisoles de los Llanos colombianos. Se considera que las siembras comerciales del cultivar Soyica-Ariari, aunque con deficiente tolerancia a factores bióticos (cercospora e insectos), son una alternativa promisoría para la intensificación del uso de la tierra en zonas mecanizables de este ecosistema.

Yuca. Tradicionalmente, la yuca es un cultivo de subsistencia de los agricultores en sabanas y bosque. Su expansión como un cultivo comercial ha estado limitada principalmente por la falta de mercados para la yuca fresca y por la susceptibilidad a las presiones bióticas (ácaros, trips, piojos harinosos, hongo de superalargamiento y añublo bacteriano de la yuca). CIAT, en cooperación con los programas nacionales, ha desarrollado cultivares nuevos resistentes. Dos de ellos han sido recientemente liberados por ICA para los Llanos, con los nombres de "Catumare" y

"Cebucan". Simultáneamente, se han desarrollado tecnologías para el secado al sol y para la utilización de yuca seca como fuente energética de alimentos para animales.

La disponibilidad de arroz secano, maíz, sorgo, yuca y soya, tolerantes a los suelos ácidos contribuirá enormemente a la intensificación del uso de la tierra en las sabanas y tierras forestales degradadas.

Integración de sistemas agropastoriles y silvopastoriles.

Los sistemas integrados son ahora factibles, con el desarrollo de nuevos componentes, adaptados ambientalmente. Los sistemas agropastoriles y agrosilvopastoriles pueden aumentar la productividad y la sostenibilidad con base en la complementariedad ecológica y económica de los componentes adaptados.

Sistemas agropastoriles. Durante 1989, CIAT inició actividades de investigación sobre integración de sistemas agropastoriles para sabanas. Se estudiaron asociaciones de líneas de arroz secano tolerantes a los suelos ácidos, y nuevas gramíneas (*A. gayanus* y *B. dictyonera*) y leguminosas (*S. capitata* y *C. acutifolium*) desarrolladas para estos Oxisoles de sabana. El primer enfoque fue usar los cultivos como compo-

nentes pioneros para establecer pasturas después de praderas de sabana nativa. Los resultados mostraron que el establecimiento de pasturas simultáneamente ó 30 días después del arroz no ejerció ningún efecto perjudicial en los rendimientos del arroz. Sin embargo, se recuperan rápidamente después de la cosecha de arroz. Las pasturas comerciales después de sabana en los Llanos se establecen comúnmente con sólo 20 kg de P + 20 kg de K + 200 kg de cal dolomítica/ha y puede transcurrir hasta un año antes de que la pastura esté lista para el pastoreo. Después de la aplicación de los 80 kg de N, 50 Kg de P, 24 kg de K y 300 kg de cal domolítica/ha al arroz seco, las pasturas resultantes están preparadas para el pastoreo inicial al finalizar las lluvias, 7-8 meses después del establecimiento. Los costos del cultivo de arroz y el establecimiento de pasturas equivalen a 1. 25 t/ha de arroz, en tanto que los rendimientos son 2 t/ha. Estos

nuevos materiales de arroz seco contribuirán enormemente a bajar los costos de producción de arroz en la región y también darán un tremendo impulso a la rápida adopción de las nuevas pasturas de gramíneas-leguminosas (CIAT, 1989).

También se estudió la secuencia pasturas-arroz en Carimagua. El máximo rendimiento de arroz después de la sabana nativa fue de sólo 2 toneladas/ha con los niveles más altos de fertilización (80 kg N/ha) y (50 kg P/ha) (Figura 4). Sin embargo, después de una gramínea mejorada en monocultivo de 10 años, se obtuvieron más de 3 t/ha con una respuesta clara a la fertilización con N. Por otro lado, se produjeron más de 3 t/ha de arroz después de una pastura de gramínea-leguminosas de 10 años, pero sin ninguna respuesta a la aplicación de nitrógeno ni fósforo. Estos notables resultados subrayan la capacidad de

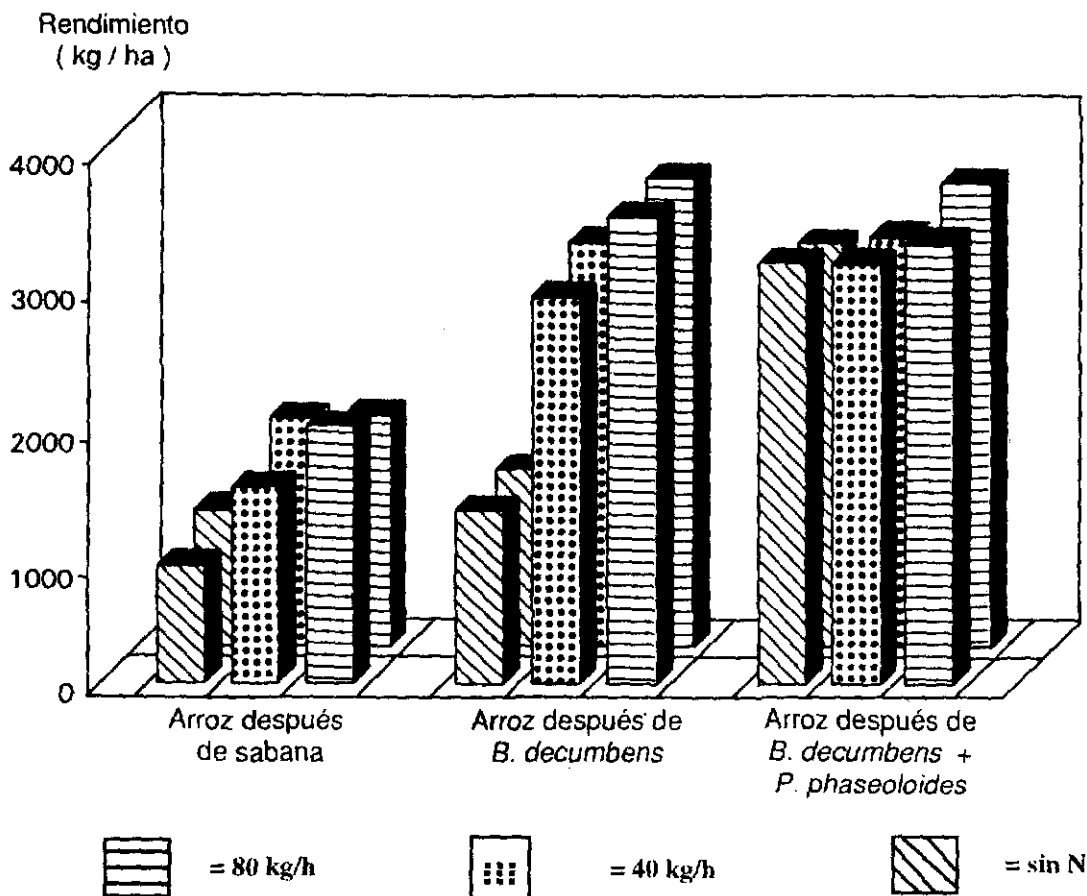


FIGURA 4. Rendimiento de arroz después de 10 años de pasturas mejoradas y sabanas en respuesta a fertilización con 25 kg de P / ha (columnas de atrás) y 50 kg de P / ha (columnas de adelante) con tres niveles de N / ha. (Tomado de CIAT, 1990)

mejoramiento del suelo que poseen las pasturas en general y, en especial, la de las pasturas que incluyen gramíneas-leguminosas. El rendimiento adicional de 1 t/ha de arroz después de pasturas mejoradas no se puede explicar exclusivamente por una mejor disponibilidad de N.

Los sistemas radiculares profundos y profusos de las pasturas adaptadas contribuyen enormemente a mejorar la estructura del suelo (Foto 1), lo que a la vez mejora las relaciones suelo-agua-plantas del cultivo.

Los sistemas radiculares fuertes, junto con una alta tasa de reciclaje de la biomasa de la pastura (pisoteo de los animales y heces + orina) en condiciones de pastoreo, hace que se acumulen materia orgánica (MO) y nutrientes en la capa superior del suelo. La Figura 5 muestra la dinámica del Ca, el K y el Mg en la capa superficial (0-20 cm) de un Oxisol de los Llanos colombianos bajo una pastura de *A. gayanus* + *P. phaseoloides*. La elevada tasa de reciclaje, la acumulación de MO y la mínima extracción de nutrientes minerales en las praderas bajo pastoreo (Spain y Salinas, 1984), junto con el microclima de

la pastura en la superficie y en la capa superior del suelo, conducen a una mayor actividad micro y macrobiológica. El potencial de inóculo de micorrizas aumenta normalmente al principio de las lluvias en las sabanas.

Sin embargo, el número de esporas en el suelo aumenta mucho más rápidamente bajo pasturas mejoradas que bajo vegetación nativa de la pradera (Figura 6). Datos recientes (Pashanasi y Lavelle, 1988) documentan el beneficio de los sistemas de alta cobertura del suelo con pasturas de gramíneas-leguminosas y con árboles + leguminosas, aumentando la biomasa de la macrofauna (lombrices de tierra e insectos) en la capa superior del suelo, en comparación con los bosques primario y secundario (Figura 7). En contraposición, cultivos de bajos insumos, así como la agricultura migratoria, reducen drásticamente la biomasa de la macrofauna en la capa superior del suelo.

Sistemas agropastoriles. La inclusión de árboles en sistemas de producción integrados debe contribuir al efecto global de invernadero al capturar CO₂ del aire. Además, los árboles adaptados deben ayudar a

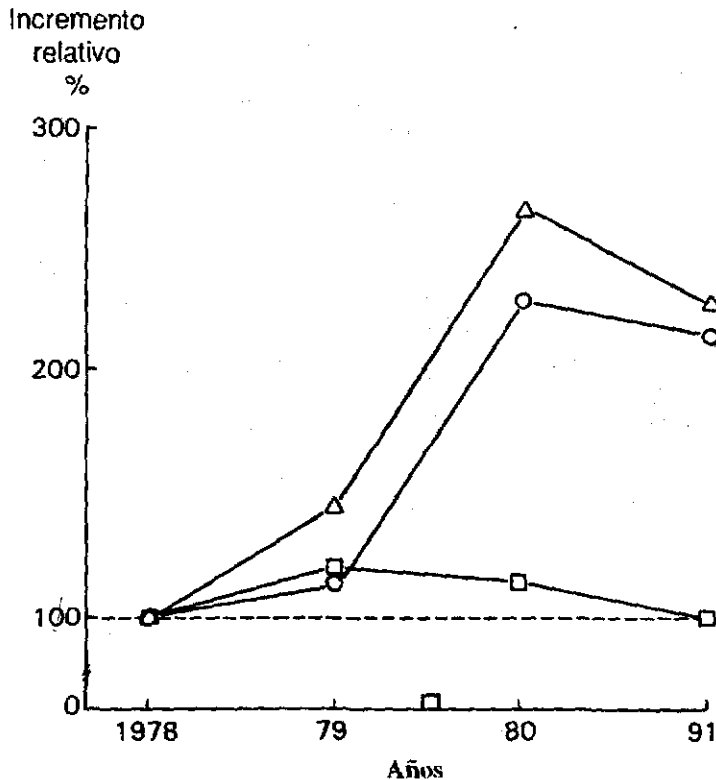


FIGURA 5. Incrementos relativos de Ca. (Δ) Mg (O) y K (□) bajo una pastura de *A. gayanus* y *P. phaseoloides* en Carimagua, Colombia (Tomado de CIAT, 1984).

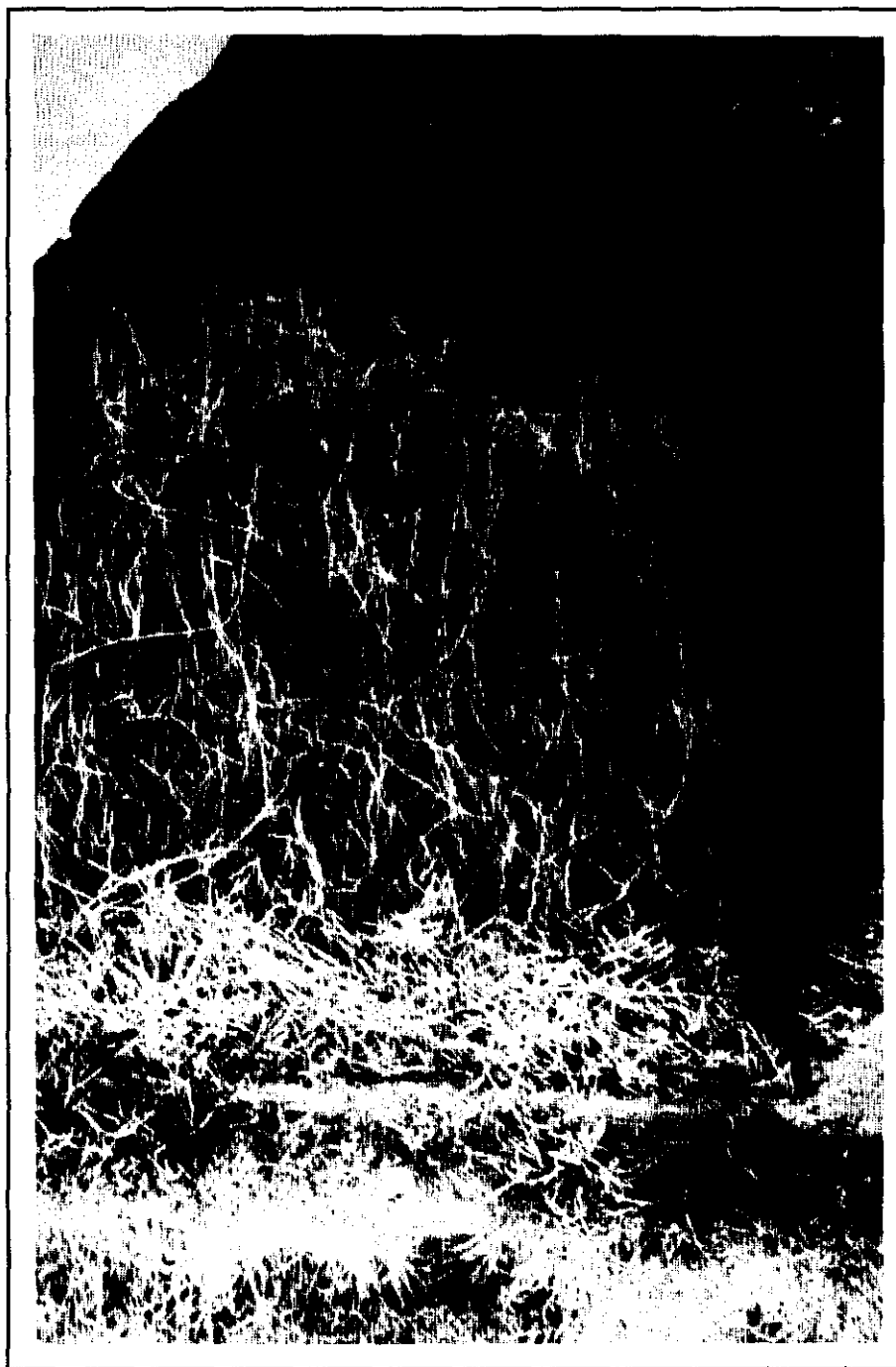


Foto 1. Sistema radicular de *Andropogon gayanus* CIAT 621 en un Oxisol

vivas, forraje y sombra en los suelos ácidos muy pobres de América tropical. Algunos árboles como *Leucaena spp.*, *Gliricidia spp.* y *Erythrina spp.* no se adaptan a los Oxisoles y Ultisoles (Toledo y Torres, 1990). La colección de leguminosas forrajeras de CIAT contiene cerca de 1.000 introducciones de arbustos y árboles. Se están iniciando acciones para seleccionar éstos por tolerancia a la acidez del suelo. Algunas instituciones como Nitrogen Fixing Trees Association de Hawaii (EE.UU.), CATIE en Costa Rica, así como ILCA e IITA en Africa, también están trabajando para el desarrollo de árboles de uso múltiple en sistemas ganaderos.

Las gramíneas y leguminosas deben tener cierto grado de tolerancia a la sombra para su integración con los árboles. Trabajos preliminares de CIAT (Foto 2) han seleccionado *Axonopus compressus*, *Paspalum conjugatum* y *Stenotaphrum secundatum*, como especies de gramíneas que se comportan bien bajo sombra (Toledo et al., 1989). En forma similar, ciertas leguminosas como *Arachis pintoi*, *Centrocema macrocarpum* y *C. acutifolium* también toleran la sombra (CIAT, 1988). Las estrategias de CIAT para los 90 incluyen la ampliación de su trabajo de clasificación del uso de la tierra y la integración de sistemas agropastoriles y agrosilvopastoriles para los

la conservación y al mejoramiento del suelo por sus sistemas radicales profusos y profundos, contribuyendo también a la generación de ingresos.

Hay árboles de plantaciones, como mangos, palma aceitera, caucho, chontaduro, coco y árboles maderables tropicales que están disponibles para integrar estos sistemas. Sin embargo, todavía faltan árboles tolerantes y fijadores de N para usar como cercas

Oxisoles y Ultisoles de América tropical, para maximizar la sostenibilidad y la producción económica.

COMENTARIOS FINALES

El éxito o fracaso de cualquier innovación tecnológica en la agricultura depende del ajuste entre la tecnología propuesta y las condiciones específicas a nivel de finca, región y de ecosistema. Los cultivos,

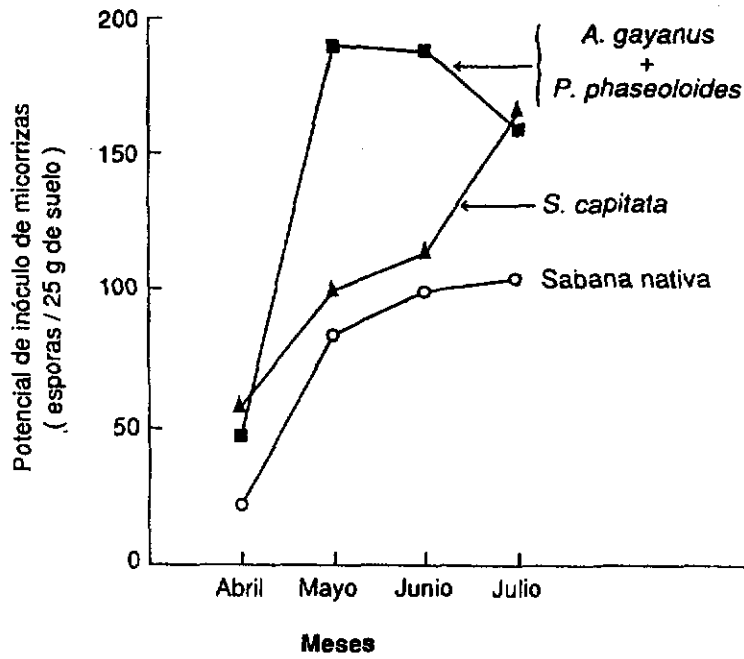


FIGURA 6. Potencial de inóculos de micorrizas al inicio de las lluvias de un Oxisol en Carimagua (Tomado de CIAT 1982).

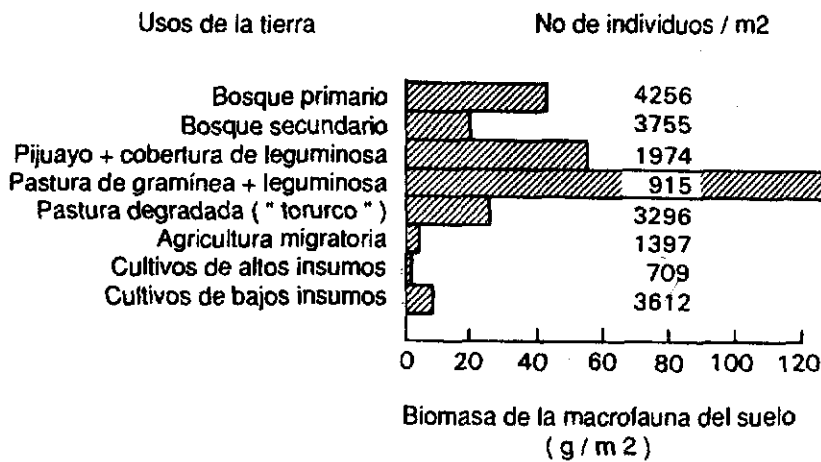


FIGURA 7. Biomasa de macrofauna y número de individuos en los 10 cm superficiales del suelo bajo diferentes usos de tierras en Yurimaguas , Perú (Adaptado de Pashanasi y Lavelle, 1989).



Foto 2. Cultivar de *Axonopus compressus* mostrando preferencia por el ambiente sombreado

pasturas, ganado, y/o árboles deben convertir eficientemente la energía del suelo, el agua y los recursos edáficos en productos comerciales valiosos.

potencial para el desarrollo de sistemas de producción sostenibles en los ecosistemas tropicales de las sabanas y selvas actualmente degradadas.

Las posibilidades de manejo también dependen de la compatibilidad de los componentes con el ambiente dentro del sistema, ya que será imposible manejar económicamente componentes no adaptados.

El acceso de los agricultores al capital y la existencia de mercados son factores importantes que afectan la eficiencia de los sistemas de producción. El éxito de los cultivos perecederos o novedosos que tienen una demanda limitada, como la yuca fresca, los frutos tropicales y las maderas desconocidas dependerá en su mayor parte del desarrollo de mercados.

Los sistemas agropastoriles y agrosilvopastoriles basados en componentes comercialmente valiosos y ambientalmente adaptados ofrecen buen

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. CIAT. 1982. Tropical pastures program annual report. Cali, Colombia.
2. CIAT. 1984. Tropical pastures program annual report. Cali, Colombia.
3. CIAT. 1988. Tropical pastures program annual report. Cali, Colombia.
4. CIAT. 1989a. Tropical pastures program annual report. Cali, Colombia.
5. CIAT. 1989b. Rice program annual report 1988. Cali, Colombia.
6. CIAT. 1990. Tropical pastures program annual report 1989. Cali, Colombia.
7. COCHRANE. 1979. Evaluación de los ecosistemas de sabana de América Tropical para la producción de ganado de carne: un estudio en marcha. In: Tergas, L.E.; Sánchez, P.A. (ed.). Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. CIAT., Cali, Colombia. pp. 3-16.
8. COCHRANE; SANCHEZ, L.G.; DE ACEVEDO, L.G.; PORRAS, J.A.; GARVER, C.L. 1984. Land in tropical America, vol. 3. CIAT-EMBRAPA-CPAC.

9. DEXTRE, R.; AYARZA, M.A.; SANCHEZ, P.A. 1987. Legume-based pastures: central experiments. *In: Trop-Soils Technical Report 1985-1986*, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA. pp. 12-15.
 10. EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1988. Recuperacao, melhoramento e manejo de pastagens nas regioes de Paragominas e Marajo, Estado do Pará, Belém. Research project progress report, forms 12 and 13, Projeto da Pesquisa, EMBRAPA/CPATU (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Umido), Belém, Pará, Brazil.
 11. ESCOBAR, G.; RAMIREZ, A.; MICHELIN, A.; GOMEZ, J. 1971. Comportamiento de novillos cebú en pastoreo continuo y rotacional en pasto "trenza". *In: Quiroz, J.E. y Ramirez, A. (ed.). Producción de carne con forrajes en el Valle del Cauca*. ICA, Boletín 15: 67-68.
 12. HAAG, W.L. y PANDEY, S. 1988. Reportaje preliminar sobre el progreso durante el período 1986-1988 hacia el desarrollo de germoplasma de maíz con tolerancia a suelos ácidos. Artículo presentado en la XIII reunión regional andina de maíz efectuada en Chiclayo, Perú, Septiembre 25-30, 1988.
 13. LASCANO, C.; ESTRADA, J. 1989. Long-term productivity of legume-based and pure grass pastures in the eastern plains of Colombia. *In: Proceedings of the XVII international grassland congress, Nice, France*. pp. 1179-1180.
 14. MALDONADO, G. 1990. Capacidad de carga y ganancia de peso en novillos pastoreando gramíneas nativas. *Memorias de la Reunión RIEPT Amazonia*. (En imprenta).
 15. PASHANASI, B.; LAVELLE, P. 1989. Soil macrofauna as affected by management practices. *In: Trop-Soils Technical Report 1986-1987*. North Carolina State University, Raleigh, NC, USA. pp. 119-121.
 16. SPAIN, J.M.; SALINAS, J.G. 1984. Reciclaje de nutrientes en pastos tropicales CIAT, Cali, Colombia. 47 p.
 17. TOLEDO, J.M. (ed.). 1982. Manual para la evaluación agronómica. Red internacional de evaluación de pastos tropicales. CIAT, Cali, Colombia. 168 p.
 18. TOLEDO, J.M.; SCHULTZE-KRAFT, R. 1989. Productivity and shade tolerance of *Axonopus* spp., *Paspalum* spp. and *Stenotaphrum secundatum* in the humid tropics. Paper presented at the XVI international grassland congress, Nice, France, October 4-11, 1989.
 19. TOLEDO, J.M.; TORRES, F. 1990. Potential of silvopastoral systems in the rain forest. *In: Proceedings of a special session on agroforestry land-use systems in international agronomy*. American society of agronomy annual meeting, Anaheim, California, November 28-29, 1988. pp. 35-52.
-

MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LOS TROPICOS Y SUS CONSECUENCIAS, CONTRADICCIONES Y PERSPECTIVAS DEL USO EN AGRICULTURA SOSTENIBLE ¹

Luis Ferreira da Silva ²

RESUMEN

Los trópicos húmedos tienen un área de 25.000.000 km², ubicada en la faja de intensa actividad biológica (alta productividad primaria), pero con baja producción económica, lo cual caracteriza la región tropical de atrasada. Diversas condiciones pueden explicar esta contradicción, tales como: suelos pobres, excesiva precipitación, enfermedades vegetales, sistemas agrícolas inadecuados, deficiencia física estructural y falta de inversiones.

Paradójicamente, se desarrolla una vegetación forestal exuberante en condiciones de suelos pobres (Oxisoles/Ultisoles), por lo cual se necesitan estudios detallados para dilucidar esta eficaz interacción vegetación-suelo, con el fin de subsidiar los sistemas de agricultura adecuados al ecosistema.

Con la intención de minimizar las limitaciones de los suelos tropicales, sea a través del manejo o de técnicas de cultivos que no dañen el complejo edáfico-organismos, se discuten en el presente artículo diversas estrategias: aprovechamiento de los nutrientes de las cenizas, selección de plantas adecuadas al ecosistema, sistemas de plantaciones que aporten materia orgánica "in situ" al suelo, aplicación de materia orgánica y cal por sitios y premisas básicas para la implantación de cultivos múltiples.

¹ Traducción del Portugués por Carlos J. Escobar, Instituto Colombiano Agropecuario.

² Centro de Pesquisas do Cacau, Itabuna, Bahía, Brasil.

SUMMARY

MANAGEMENT OF TROPICAL NATURAL RESOURCES: CONTRADICTIONS, OUTCOMES, AND APPRAISAL FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE

The humid tropics extend over an area of 25,000,000 km², presenting a high biological activity (high primary productivity) but with a low economic productivity which label the tropical region as under developed. Conjectural conditioners which could explain this contradiction are poor soils, excessive rainfall, plant diseases, unsuited agricultural systems, infra-structural deficiencies and shortage of investments.

On the other hand, a lush forest vegetation develops paradoxically under conditions of poor soils (Oxisols/Ultisols). This fact points to a need of accurate studies in order to unveil this efficient interaction of vegetation and soil, with the purpose of giving bases to agricultural systems fitted to the ecosystem.

To lessen the limitations of tropical soils, be it by soil management or by cropping techniques which do not harm the edaphic organism complex, several strategies are discussed in this paper: better use of ash nutrients, selection of plants adapted to the ecosystem, cropping systems supplying organic matter 'in situ' to the soil, addition of organic matter and limestone before planting, and the basic premises for the implanting of multicropping systems.

Los trópicos húmedos tienen un área de 25.000.000 km², situada precisamente dentro de la faja del globo terrestre donde las actividades biológicas son más intensas y donde la productividad primaria de los ecosistemas alcanza sus valores más elevados (Alvim, 1977). Sin embargo, contradictoriamente, la producción desde el punto de vista

económico es baja, lo cual caracteriza la región tropical como atrasada

Por otra parte, hay diversas condiciones que pueden explicar este aparente "determinismo": suelos pobres (Oxisoles/Ultisoles), excesiva precipitación, problemas fitopatológicos, sistemas agrícola-

TABLA 1. Estratificación de los componentes vegetales, por clases de diámetro (DAP) de un bosque primario y de un rastrojo de 12 años, en el ecosistema tropical del extremo sur de Bahía (Silva, 1990).

Diámetro (cm)	Bosque primario ----- ejemplares/ha.	Rastrojo -----
< 2.0	5.488	4.832
2.1 - 5.0	1.424	3.424
5.1 - 10.0	400	752
10.1 - 15.0	400	352
15.1 - 20.0	96	96
20.1 - 35.0	208	—
35.1 - 60.0	96	—
> 60.0	16	—
TOTAL	8.128	9.456

las inadecuados, deficiencia de infraestructuras y carencia de recursos.

Así, bajo la concepción de aprovechar los recursos naturales sin comprometer irreversiblemente su futura utilización, se evidencia el mayor desafío para la investigación: encontrar nuevos sistemas de producción adecuados para los trópicos (Alvin, 1977), de modo que las soluciones tecnológicas atiendan no sólo los requerimientos agronómicos, ecológicos y socioeconómicos, sino también las condiciones diferenciadas de los productores (Silva y Tourinho, 1988).

LA VEGETACION Y EL SUELO

El bosque primario es exuberante, con una producción alrededor de 200 m³/ha de madera comercial (árboles con diámetro superior a 20 cm), constituido de diversos estratos de comunidades vegetales (Tabla 1), inclusive lianas y epifitas.

Se trata, conforme Sioli (1973), de una vegetación climax, cuya biomasa permanece constante desde hace centenas o millares de años, de forma que los nutrientes inorgánicos contenidos en ella, acumulados durante un tiempo prolongado, continúan en circulación, entre la vegetación y el suelo, a través del proceso de reciclaje.

En cuanto a los suelos, predominan los Oxisoles y Ultisoles, terrenos ácidos e infértiles, con baja disponibilidad de nutrientes, retención de agua relativamente baja, lixiviación de minerales solubles y poco desarrollo del horizonte orgánico (Silva, Díaz y Melo, 1975), factores limitantes para la utilización agrícola propios de la naturaleza de esos suelos (Peters, 1973).

En cuanto a la formación pedogenética, una de las contradicciones se refiere a la carencia de uniformidad del suelo, pues existen variaciones de naturaleza morfológica y físico-hídrica, cuyo conocimiento es de fundamental importancia para la utilización agrícola, para el manejo del suelo y para el uso de maquinaria. Así es que, en zonas sedimen-

TABLA 2. Acumulación de nutrientes (kg/ha) en la hojarasca y en la materia humificada anualmente en bosque primario y rastrojo de 12 años en el ecosistema tropical del extremo sur de Bahía (Silva, 1990).

Ambiente ecológico	P	Ca	Mg	K	N
————— manto hojarasca —————					
Bosque	1.35	80.44	9.46	10.14	76.39
Rastrojo	3.47	145.37*	19.00* *	13.21	123.07*
————— materia orgánica —————					
Bosque	1.65	66.55	11.55	23.65	72.59
Rastrojo	1.64	85.80*	11.54	22.55	76.45

* Nivel de significancia (p<0.05).

táreas, Silva y Mendoza (1988) identificaron seis grupos pedológicos con base en variaciones de granulometría, gradiente textural y densidad de drenaje, en razón a factores genéticos.

Por otra parte, la interacción vegetación-suelo es algo contradictoria e intrigante: bosque exuberante desarrollado en suelo pobre, dando la impresión de una alta fertilidad de esos suelos. Estudios recientes de Silva (1990) han demostrado la dinámica biológica en el proceso de formación de un bosque, en función de la acumulación y riqueza nutricional del manto detritico (hojarasca en descomposición, acumulada en el suelo), atribuyendo una cierta relación de "comensalismo" entre las especies, bajo un sistema eficaz de reciclaje (Tabla 2).

Con base en esos hechos y especulaciones, es fundamental entender las asociaciones de las plantas, en lo que se refiere a las interacciones fenológicas, sucesión vegetal, calidad de la materia orgánica y actividad de las raíces en los horizontes del suelo, con miras a sostener sistemas agrícolas semejantes. Esto con la intención de maximizar la interacción cultivos-suelos, de modo que no se deteriore el complejo edáfico y mantener el equilibrio biológico-económico

En otras palabras, un indicativo sería asociar especies, dentro de esta premisa, con características diferenciadas en cuanto a la acumulación de materia orgánica, riqueza nutricional de esa materia orgánica, exploración del suelo en distintos horizontes y "especialización" en solubilizar nutrientes (Silva, 1990; Dantas, 1986).

DETERIORO DEL ECOSISTEMA POR EL MAL USO DEL SUELO

La región costera del nordeste brasileño ("tabuleiros") especialmente en el extremo sur de Bahía, constituye un ejemplo representativo de la mala utilización de la tierra, con la consecuente degradación del ecosistema.

Esta faja del litoral, de clima tropical, ostenta el llamado bosque del Atlántico, desarrollado en suelos de origen sedimentario (Plioceno reciente), caracterizado por su pobreza química-mineralógica. En el extremo sur de Bahía, el bosque sufrió un proceso

intensivo de tumba, transformándose en pastos y rastrojos, que han contribuido a la destrucción de importantes especies como *Dalbergia nigra* y por la degradación del suelo.

La actividad predominante ha sido la explotación irracional de maderas, seguida por la implantación de pastos, aprovechando la fertilidad originada por la quema para un período de 3 a 5 años, después del cual decrece a un nivel de insostenibilidad de las pasturas, sobreviniendo la degradación ambiental y efectos nocivos en lo social y en lo económico. En este contexto, el suelo es el principal recurso afectado, con la destrucción de la capa orgánica mineral, compactación de los horizontes y erosión.

Idénticamente en la Amazonia brasileña, la tumba del bosque y la conversión en pasturas de bajo valor ofrece pocas perspectivas de sostenibilidad (Fearnside, 1989).

CONSECUENCIAS DEL MANEJO DE LOS RECURSOS NATURALES Y POSIBILIDADES AGRICOLAS SOSTENIBLES

Tumba y limpieza del terreno.

La tumba del bosque, como lo expresa Fearnside (1989), "representa apenas una medida para ganar tiempo, y se necesita hacer un uso mucho mejor del tiempo ganado". Y hace énfasis: "no sólo es necesario hacer más investigación sobre las tecnologías de producción sostenidas, sino también sobre los mecanismos económicos necesarios para garantizar que los sistemas sostenibles sean adoptados en lugar de los actuales sistemas no sostenibles".

Contradictoriamente la técnica de limpieza de áreas boscosas a través de la quema es, en la mayoría de los casos, inevitable y hasta válida, debido a factores de orden económico y cultural. El problema mayor reside en la retirada de la madera, lo que provoca arrastre del suelo y el uso de maquinaria pesada que compacta el terreno.

En cuanto a minimizar esos efectos, los estudios de Silva (1981) sugieren ciertas modalidades de tumba y quema con menor perjuicio, enfatizando la necesidad de cubrir el terreno después de la quema con una leguminosa, ejemplo el Kudzú (*Pueraria*

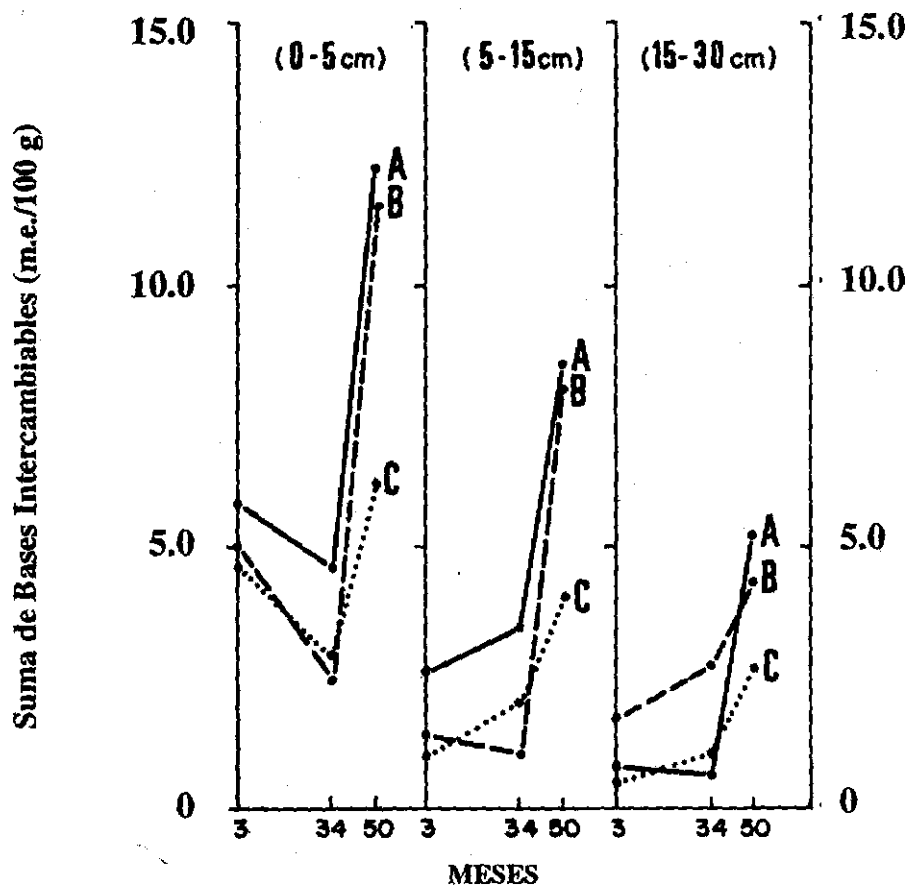


FIGURA 1. Efecto de la interacción quema-sistema de cultivo, en el tiempo, con influencia marcada de la cobertura del suelo con Kudzú (palma africana) en contraste con el cacao (sin cobertura) en el aumento de las bases intercambiables del suelo (Oxisol sedimentareo). A-Palma africana; B- Caucho; C-Cacao. Silva (1981)

TABLA 3. Efectos de la cobertura del suelo en la acumulación de la materia orgánica en la capa superficial (0-5 cm.) en el ecosistema de tabuleiros da Bahía (Silva, 1982).

Cobertura del suelo	C%	N%	C/N	Materia Orgánica
Sin cobertura	0.68	0.06	11.33	1.17
Gramínea/mulch*	1.24	0.10	12.40	2.13
Kudzú	1.82	0.14	13.00	3.13
Kudzú/mulch*	2.33	0.14	16.64	4.01
Bosque primario**	2.47	0.19	13.00	4.25

* Mulch producido "in situ" por acumulación semestral (2 años de corte).

** Horizonte A₁₁ del suelo.

phaseoloides), tratando de establecer de inmediato un nuevo proceso de reciclaje de nutrientes, evitando las pérdidas por lixiviación de los elementos contenidos en las cenizas.

Como ejemplo de éso, en cultivos de palma africana (*Elaeis guinensis*) y caucho (*Hevea brasiliensis*) implantados después de la quema de la vegetación y con la cobertura de kudzú, se obtiene un excelente aprovechamiento de los nutrientes de las cenizas, según Silva (1981), y se mantiene la fertilidad por tiempo prolongado (Figura 1).

Esta leguminosa es eficiente en la incorporación de materia orgánica al suelo (Silva, 1982), de acuerdo con los datos contenidos en la Tabla 3.

Especies adaptadas a suelos pobres de los trópicos.

Un enfoque importante se refiere a la selección de plantas con alta capacidad de reciclaje de nutrientes, de producir hojarasca (cantidad y calidad), de

absorber determinados elementos y de explorar mayor volumen del suelo, lo cual posibilita mantener las condiciones de productividad del complejo edáfico.

Estudios desarrollados por Silva (1988) demuestran que las esencias forestales pueden tener características diferenciadas para absorber nutrientes de los horizontes inferiores, cediendo luego a la superficie del suelo la hojarasca por mecanismos eficaces de abscisión foliar (formación de materia orgánica), como se visualiza en la Tabla 4. En el caso de gmelina (*Gmelina arborea*) se destacó como acumuladora de calcio, potasio, fósforo y zinc, reflejando mejoras de las condiciones edáficas, inclusive el análisis de los nutrientes contenidos en los mantos detriticos; reveló diferencias cualitativas entre las especies estudiadas, corroborando los resultados de Sánchez et al. (1985) y Florez, Malave y Bastardo (1982).

Por otra parte, es importante identificar especies selectivas o tolerantes a la fertilidad del suelo, con el

TABLA 4. Nutrientes del suelo en áreas plantadas con esencias forestales en el extremo sur de Bahía (Silva, 1988).

	Profundidades (cm)				
	0-5	5-15	15-30	30-50	
	----- Ca+Mg (m.e./100g) -----				
Pinho (<i>P. caribaea</i>)		1.20	2.30	2.20	1.70
Juarana (<i>P. pendula</i>)	0.88	1.55	1.30	1.05	
Gmelina (<i>G. arborea</i>)	3.15	2.55	1.65	1.10	
Vinhático (<i>P. foliolosa</i>)	1.28	1.55	1.30	0.80	
Jacarandá (<i>D. nigra</i>)	1.60	1.40	1.55	1.13	
Bosque primario	1.95	0.63	0.25	0.03	
	----- % C -----				
Pinho (<i>P. caribaea</i>)	0.67	0.79	0.69	0.61	
Juarana (<i>P. pendula</i>)	0.63	0.86	0.63	0.49	
Gmelina (<i>G. arborea</i>)	0.84	0.92	0.72	0.45	
Vinhático (<i>P. foliolosa</i>)	0.79	0.99	0.69	0.65	
Jacarandá (<i>D. nigra</i>)	0.79	0.90	0.75	0.45	
Bosque primario	1.33	0.92	0.72	0.45	

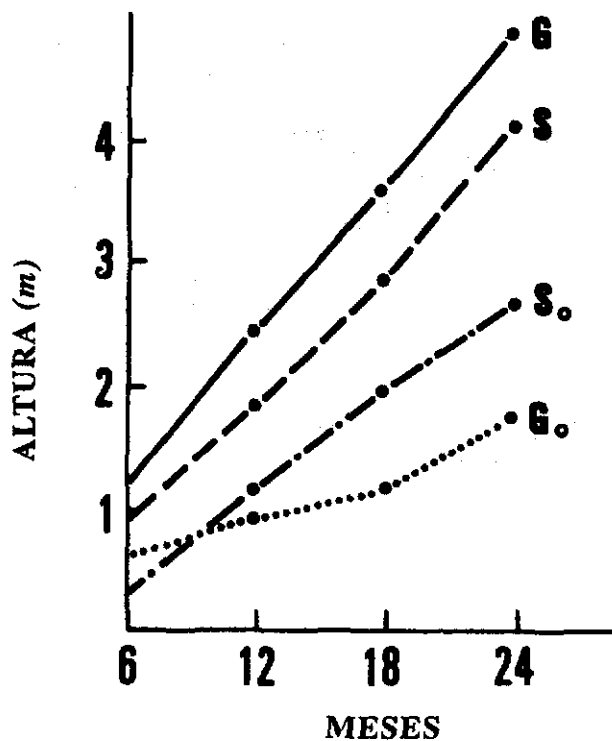


FIGURA 2. Comportamiento de la gmelina y de la sucupira -mirim, sembradas con y sin materia orgánica, evidenciando grados distintos de tolerancia al suelo. G-gmelina (huecos con materia orgánica); Go (gmelina sin materia orgánica); S- sucupira-mirim (huecos con materia orgánica); y S. (sucupira-mirim sin materia orgánica). Silva yVinha (1990).

fin de seleccionar las plantas adecuadas al ecosistema. Un trabajo reciente de Silva y Vinha (1990) reveló tal posibilidad al comparar cuatro especies forestales en suelos pobres del litoral. En este estudio (Figura 2), la gmelina se mostró exigente en cuanto a la fertilidad del suelo (adición de materia orgánica), mientras que "sucupira-mirim" (*Bowdichia vigiliodes*), esencia del ecosistema local, tuvo mejor desarrollo que aquella en condiciones naturales (suelos sin materia orgánica), caracterizándose como una especie tolerante y adaptada al ecosistema del litoral (tabuleiro).

Otro ejemplo de adaptación de plantas a la naturaleza del suelo es el caucho. Un estudio comparativo entre este cultivo y el cacao (*Theobroma cacao*) mostró que el caucho es tolerante a la baja fertilidad del suelo por tratarse de una especie dotada de baja capacidad fotosintética (consume menos minerales) y poseedora de una elevada intensidad respiratoria de sus raíces (extrae menos minerales del suelo), dife-

rente del cacao, especie exigente en nutrientes (Alvin et al, 1969).

Manejo del suelo y sistemas de siembra.

Dentro de la concepción de minimizar las limitaciones de los suelos tropicales explicadas anteriormente, hay que manejar el suelo y establecer cultivos con miras a mantener y mejorar sus condiciones estructurales (aspectos físico-hídricos) y aumentar la fertilidad del suelo, y/o su capacidad de retener nutrientes. En este contexto la materia orgánica del suelo tiene un papel fundamental.

Una opción válida es el cultivo de granos en el sistema de franjas, con la mira de producir materia orgánica "in situ", a través de podas periódicas y minimizar el uso de fertilizantes. Un experimento conducido por Silva y Aguillar (1990), utilizando estacas dobles de matarratón (*Gliricidia sepium*), con distancias de cinco metros, intercalado con soya

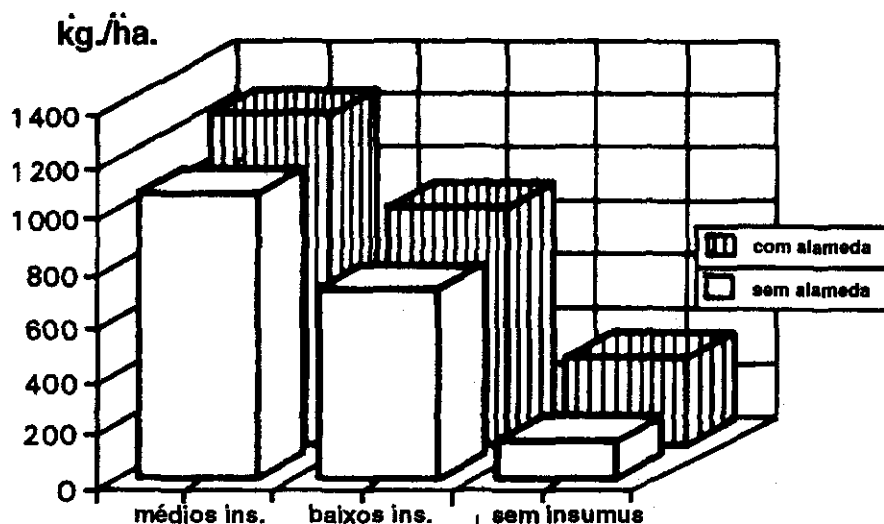


FIGURA 3. Productividad de la soya (kg/ha) en sistema de siembra con y sin franjas de *Gliricidia* en interacción con la aplicación de diferentes dosis de fertilizantes. Silva e Aguillar (1990).

TABLA 5. Influencia del cultivo en franjas (*G. sepium*) en el mejoramiento del suelo (0-10 cm) después del primer año de cultivo de soya en parcelas no fertilizadas (apenas encaladas). Silva y Aguillar (1990).

Manejo del Cultivo	m. e. q. / 100 g			ppm	%
	Al	Ca+Mg	K	P	N
En franjas	0.1	2.8	0.12	6	0.09
Sin franjas	0.1	2.9	0.05	2	0.07

TABLA 6. Riqueza nutricional de las hojas y ramas de matarratón (*G. sepium*) y contenido de nutrientes en la biomasa (hojas más ramas), incorporadas al suelo (poda a los 12 meses de edad). Silva y Aguillar (1990).

	P	Ca	Mg	K	N
	----- % -----				
Hojas	0.20	1.18	0.25	1.91	3.70
Ramas	0.08	0.66	0.13	0.09	1.43
	----- kg/ha -----				
Biomasa*	1.50	101.9	23.8	108.4	184.9

* 7.3 t/ha (poda de las franjas con un año de edad).

(*Glycine max*), demostró la validez del sistema (Figura 3). Con base en sólo un año de siembra, las franjas proporcionan mayores producciones y mejoramiento edáfico (Tabla 5), en razón al material orgánico adicionado y a su riqueza nutricional (Tabla 6). Inclusive hay perspectivas de reducción de dosis de fertilizantes.

da -por ejemplo 40 x 40 x 40 cm- con adición de materia orgánica en proporción de 3.5% del volumen del suelo (2.3 kg/sitio), con miras sobre todo a aumentar la capacidad de intercambio iónico y la retención de agua, posibilitando mejores condiciones de enraizamiento en una profundidad mayor.

Otra posibilidad de manejo es la siembra profun-

Un experimento hecho con cacao en un Oxisol

TABLA 7. Efecto de la materia orgánica en el mejoramiento del suelo, seis meses después de la implantación de gmelia (*G. arborea*) en huecos de 40x40x40 cm. (área anteriormente quemada/rastrojo de tres años)*

	Al	Ca + Mg	K	pH	P(ppm)
	m.e.q./100 g.				
	-----			0-5 cm.	-----
Huecos con materia orgánica	0.0	2.7	0.26	6.2	4
Huecos sin materia orgánica	0.3	1.2	0.07	5.7	1
	-----			5-10 cm.	-----
Huecos con materia orgánica	0.0	2.8	0.26	6.1	4
Huecos sin materia orgánica	0.4	1.4	0.06	5.7	1

* Utilización de estiércol de corral en proporción de 3.5 % el volumen del suelo en los huecos (2.3 kg./hueco).

TABLA 8. Influencia de la aplicación de cal en el desarrollo del cacao en suelos pobres (Oxisoles y Ultisoles) en el sudeste DE BAHIA *

Aplicación de cal	Diámetro del tallo (cm)	Producción de semillas húmedas (kg./45 plantas) ¹
	----- Oxisol de origen cristalino -----	
Al voleo	1.63 ²	18.00
Por sitio	1.81	20.30
	Ultisol de origen metasedimentario	
Al voleo	1.36 ³	----
Por sitio	1.54	----
Incorporada	1.42	----
Incorporada con yeso	1.37	----

* Datos extraídos de Nakayama (1990)

¹ A los 34 meses

² A los 12 meses

³ A los 20 meses

arcilloso de la Amazonia mostró la factibilidad de ese sistema (Silva y Díaz, 1979). Recientemente Silva y Vinha (1990), obtuvieron idénticos resultados en esencias forestales en los "tabuleiros" del sur de Bahía. En este caso, los resultados fueron muy marcados con gmelina, donde la materia orgánica adicionada debe haber proporcionado un efecto adicional -el de retener los nutrientes originados de la quema- evitando su lixiviación y volviéndose aprovechables por las plantas como se verifica en la Tabla 7. Esta observación, la cual requiere de mayor investigación, podrá abrir una nueva perspectiva de manejo del suelo en aquellas áreas desmontadas y quemadas, en el sentido de maximizar el aprovechamiento de los nutrientes contenidos en las cenizas. De la misma forma, la aplicación de cal por sitios ha mostrado eficacia en el cultivo del cacao, en suelos ácidos e infértiles (Oxisoles y Ultisoles), de acuerdo con los datos presentados en la Tabla 8 (Nakayama, 1990).

También los sistemas de cultivos múltiples constituyen una línea promisorio de uso para suelos pobres, pero está por definir con precisión los cultivos que interactúan en los aspectos de mejoría edáfica, viabilidad económica, facilidad de conducción y compatibilidad de las operaciones agrícolas. Tratándose de asociaciones, hay excelentes ejemplos como el cacao y el caucho (Virgens, Filho, Alvim y Araujo, 1988); cacao y coco (*Cocos nucifera*), según Nair y Rao (1977); y otros sistemas agrosilviculturales explicados por Alvim (1989).

Adicionalmente, sistemas secuenciales de cultivos anuales, como los conducidos en Yurimaguas (Perú), han demostrado otro camino factible para mejorar adecuadamente los suelos ácidos e infértiles

de los trópicos, obteniéndose una agricultura continua (Villachica y Sánchez, 1979)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por lo que se desprende de las informaciones citadas en el presente trabajo, hay posibilidades de manejar adecuadamente los recursos naturales de los trópicos húmedos, habiendo necesidad de un esfuerzo concentrado en investigación, sobre todo dentro de una concepción de proyectos integrados, como por ejemplo la propuesta programática REDINAA/Suelos (Sánchez y Silva, 1982).

En este concepto hay que enfocar primordialmente estudios básicos en el ecosistema forestal sobre los mecanismos del proceso de regeneración, como fundamental para el conocimiento integral de la interacción suelo-comunidades vegetales; así como la investigación en especies leguminosas, del ecosistema local para fines de uso en sistemas agroforestales interactivos; además de investigaciones sobre la dinámica del complejo suelo-organismos-compuestos orgánicos.

Concomitantemente es fundamental desarrollar sistemas de agricultura con perspectivas de sostenibilidad, contemplando cultivos anuales, perennes, especies forestales y pasturas, con opciones de aplicación en diversas condiciones socioeconómicas.

Y finalmente, se deben enfocar aspectos de aprovechamiento integral (residuos y subproductos) a través de modelos integrados de recursos a nivel de predios rurales, posibilitando inclusive la interacción cultivos-producción animal y exploración de fuentes energéticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALVIM, P de T. 1977. Floresta amazonica: equilibrio entre utilizacao e conservacao. CEPLAC/CEPEC (Brasil).
2. ALVIM, P. de T.; MACHADO, A.D.; GRANJIER Jr., A. 1969. Alguns estudos sobre as relacoes de água, solo e crescimento do cacaueiro. In: Conferencia internacional de Pesquisas em Cacau, 2ª, Salvador e Itabuna, Bahía, Brasil, 19 a 26 de novembro de 1967. Memórias, Sao Paulo Impres. p. 316-324.
3. ALVIM, R. 1989. O cacaueiro (*Theobroma cacao*) em sistemas agrossilviculturais. Revista Agrotropica (Brasil) 1 (2): 89-103.
4. DANTAS, M. 1986. Producao de litter e seu conteúdo de nutrientes em floresta primária e capoeira da Amazonia

Oriental. In: Pesquisas sobre utilização e conservação do solo na Amazônia Oriental. Relatório final do convenio EMBRAPA/GTZ, Belem (Brasil), p. 147-162.

5. FEARNSIDE, P.M. 1989. A ocupação humana de Rondonia. Impactos, limites e planejamento. Programa Polonoroeste. Relatório de Pesquisas Nº 5. SCT/PR CNPq.

6. FLOREZ, D.A.; MALAVE, V.; BASTARDO, H. 1982. Mineralización de fósforo orgánico por actividad microbiana en suelos de sabana y de un bosque de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, en Venezuela. In: Regional colloquium on soil organic matter studies. Piracicaba (Brasil). Sao Paulo, PROMOCET. p. 45-50.

7. NAIR, S.K.; RAO, N.S.S. 1977. Microbiology of the root region of coconut and cacao under mixed cropping. *Plant Soil* 46: 411-513.

8. NAKAYAMA, L.H.I. 1990. Acidez do solo, calagem e dinâmica de utilização do gesso na cultura do cacau. Relatório do Projeto de Pesquisa, CEPEC/APLAN. Ilhéus, Brasil.

9. PETERS, W.L. 1973. Suelos y ecosistemas del trópico húmedo. In: Reunión técnica sobre investigaciones ecológicas para el trópico americano, Maracaibo, Venezuela.

10. SANCHEZ, P.A. et al. 1985. Tree crops as soil improvers in the humid tropics. In: Cannel, M.G.R.; Jackson, J.E. (ed.). Attributes of trees as crop plants. Huntingdon, UK, Institute of Terrestrial Ecology Natural Environment Research Council.

11. SANCHEZ, P.A.; SILVA, L.F. da. 1982. Manejos y conservación de suelos amazónicos bajo diferentes usos. Programa REDINAA/SUELOS, Red de Investigación Agraria para la Amazonía, Lima, Perú.

12. SILVA, L.F. da. 1981. Alterações edáficas em "solos de tabuleiro" (Haplorthox) por influencia do desmatamento, queima e sistema de manejo. *Revista Theobroma (Brasil)* 11 (1): 5-19.

13. SILVA, L.F. da. 1982. Manejo del ecosistema tropical húmedo y sus consecuencias en el complejo suelo-planta-organismos. *Revista suelos ecuatoriales (Colombia)* 12 (2): 316-324.

14. SILVA, L.F. da. 1988. Alterações edáficas provocadas por essências florestais implantadas em solos de tabuleiro no Sul da Bahia, *Revista Theobroma (Brasil)* 18 (4): 259-267.

15. SILVA, L.F. da. 1990. Interação solo-vegetação em floresta primária e capoeira do ecossistema de tabuleiro do Sul da Bahia. *Revista Agrotrópica (Brasil)*, vol. 2 Nº 2.

16. SILVA, L.F.; VINHA, S.G. 1990. Comportamento de essências florestais nos tabuleiros do Sudeste da Bahia sob sistemas de plantio e de manejo do solo (inédito).

17. SILVA, L.F. da; TOURINHO, M.M. 1988. Agrossistemas: uma proposta de desenvolvimento rural integrado na região cacauzeira baiana. In Congresso brasileiro de Ciência do solo, Campinas, Sao Paulo. A responsabilidade da Ciência do solo. p. 131-135.

18. SILVA, L.F. da; AGUILLAR, M.A.G. 1990. Possibilidades da soja nos tabuleiros-aspectos agronômicos e de manejo do solo. *Revista Difusão Agropecuária (Brasil)*, Nº 2.

19. SILVA, L.F. da; DIAZ, A.C.C.P.; MELO, A.A.O. de. 1975. Caracterização e propriedades de manejo dos Oxisols do Sul da Bahia. *Revista Theobroma (Brasil)*, 5 (4): 23-24.

20. SILVA, L.F. da; MENDOÇA, J.R. 1989. Parâmetros fisiográficos interpretativos de solos de tabuleiro do Sul da Bahia em fotografias aéreas e imagens de radar. *Revista Agrotrópica (Brasil)* 1 (1): 71-74.

21. SILVA, L.F. da; DIAZ, A.C.C.P. 1979. Influência do tamanho da cova e adubação no desenvolvimento de cacauzeiros em Oxisol argiloso da Amazônia. In: Conferência Internacional de Pesquisas em Cacau, 7º, Douala, Camarões.

22. SIOLI, H. 1973. Ecologia da paisagem e agricultura regional na Amazonia. In: A Amazonia Brasileira em Foco, N° 8: 19-27. Rio de Janeiro (Brasil).
23. VILLACHICA, H.; SANCHEZ, P.A. 1979. Posibilidades de agricultura continua con cultivos anuales en la Amazonía. In: Simposio especial sobre la Amazonia y su uso agrícola, XXXI Reunión de la SBPC, Fortaleza (Brasil), 15-17 julio, 1979.
24. VIRGENS, A. de C.; ALVIM, R.; ARAUJO, A.C. 1988. Plantio de cacaveiros sob seringais adultos na regio Sul da Bahia. In: Conferencia internacional de investigación en cacao, 10., Santo Domingo, Republica Dominicana, 1977. Actas. Lagos, Nigérica Cocoa Producer's Alliance. p. 33-41.

EL PAPEL DE LA BIOTECNOLOGIA EN EL USO SOSTENIBLE DEL TROPICO

W.M. Roca y A.M. Thro¹

RESUMEN

Las preocupaciones actuales sobre agricultura sostenible ocurren al mismo tiempo que se logran grandes avances en la biología. Estos avances nos permiten mejorar nuestro control sobre la genética en forma no predecible hace dos décadas. El progreso en biología celular y molecular ha generado la nueva biotecnología.

Las biotecnologías pueden contribuir a la solución de varios problemas de la agricultura sostenible: mejorando nuestros conocimientos sobre las relaciones entre las plantas y microorganismos del agroecosistema, ofreciendo soluciones genéticas a los problemas derivados del uso de agroquímicos, desarrollando germoplasma con tolerancia a pestes que todavía persisten en los sistemas sostenibles. Algunas de las aplicaciones actuales de la biotecnología en la agricultura sostenible incluyen el biocontrol y los bioinoculantes por medio de modificaciones genéticas de plantas y microorganismos.

Al considerar la semilla como la base de las soluciones genéticas para lograr mantener el rendimiento económico, y si al mismo tiempo se conserva la base de recursos naturales, la biotecnología contribuirá a este objetivo mediante el aumento de la variabilidad genética útil disponible para el fitomejoramiento, la ampliación de la base genética de los cultivos, el aumento de nuestra habilidad para manipular caracteres cuantitativos, la identificación de puntos óptimos para la intervención genética en los mecanismos de adaptación a ambientes adversos.

Los países tropicales en desarrollo tienen la oportunidad para orientar la investigación y desarrollo en biotecnología hacia los objetivos de la agricultura sostenible.

SUMMARY

THE ROLE OF BIOTECHNOLOGY IN THE SUSTAINABLE UTILIZATION OF THE TROPICS.

Current concerns on agricultural sustainability occur at the same time that major advances in biology allow us to improve our control on genetics, in ways unpredictable two decades ago. Advances in cell

¹ Unidad de Investigación en Biotecnología, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia, S.A.

and molecular biology generated the new biotechnology. Biotechnological tools can contribute to the solutions of various issues of sustainable agriculture: improving our understanding of the relationships between plants and microorganisms of the agroecosystem, offering genetic solutions to problems associated with agrochemicals, developing germplasm with tolerance to pests and diseases which still persist in a sustainable system. Some applications of biotechnology to sustainable agriculture include biocontrol and bioinoculants by means of genetic modifications of plants and microorganisms.

Considering the seed as the base for genetic solutions in sustainable agroecosystems, biotechnology will directly contribute to the economic productivity and the conservation of the natural resource base by: increasing the useful genetic variability available to plant breeding, broadening the genetic base of crop plants, increasing our ability to manipulate quantitative traits, and identifying optimal points for genetic intervention in the mechanisms of adaptation to adverse environments.

Tropical developing countries have the opportunity to develop biotechnology towards the objectives of sustainable agriculture.

Las variedades nativas se caracterizaban por su diversidad genética y resistencia poligénica a plagas y enfermedades, pero eran de muy bajo rendimiento. La escasez de alimentos era inminente durante los años 1950-1960 a menos que se aumentara la producción agrícola en relación con el crecimiento de la población en vastos sectores de los trópicos. La estrategia seguida fue, por lo tanto, usar el mejoramiento de la productividad de los cultivos para ganar tiempo a fin de que las soluciones económicas y sociales pudieran realizarse. En los años siguientes, con la experiencia de los éxitos y fracasos de la Revolución Verde (World Watch Inst., 1990), la investigación y desarrollo agrícola cambia de objetivo: de considerar sólo el aumento de la productividad a considerar el mejoramiento de los sistemas de producción que puedan conducir a un desarrollo económico y equitativo en los países en desarrollo. Sin embargo, debemos reconocer que actualmente el factor tiempo es tan crítico como en los años 60, ya que:

1. Los resultados de la investigación que se inicia en los años 90 tan sólo estará disponible al comienzo del siguiente siglo;
2. El crecimiento de la población continuará hasta la primera década del siguiente siglo;
3. La mayor amenaza para el ecosistema puede ocurrir en los próximos 30 años;
4. Con el aumento de la población, la migración

humana continuará desplazando la producción agrícola hacia ambientes menos favorables;

5. Los períodos de descanso de la tierra de cultivo y la rotación de cultivos disminuirán. Como resultado, una proporción creciente del área de cultivo estará sometida a la acumulación de enfermedades, a una decreciente fertilidad del suelo, y a un régimen de lluvia inadecuado. Entonces serán necesarios sistemas agrícolas que puedan permanecer productivos en la presencia creciente de estrés biótico, edáfico y climático, sin causar degradación de la base de recursos naturales.

Mientras que el fitomejoramiento de la Revolución Verde dio mayor importancia a los componentes del rendimiento y de la habilidad de responder a mayores insumos con mayor rendimiento, en los sistemas agrícolas sostenibles será necesario manipular un número creciente de caracteres complejos tales como uso eficiente de los nutrimentos y del agua, así como el mantenimiento de la radiación solar como la fuente preferencial de energía para el sistema.

AGRICULTURA SOSTENIBLE Y BIOTECNOLOGIA

Las preocupaciones económicas y ambientales sobre la agricultura sostenible coinciden al tiempo que ocurren grandes avances fundamentales en la

comprensión molecular y celular de la biología, avances que han generado a la nueva biotecnología. La biotecnología permite el estudio y manipulación de los organismos vivos al nivel de los genes y sus productos, lo cual incrementa dramáticamente nuestro control sobre la genética. El componente genético contribuirá a la agricultura tropical mediante tecnologías compatibles con el ambiente y económicamente deseables, por lo tanto la biotecnología puede servir efectivamente a los objetivos de la agricultura sostenible (Bostid, 1990; NABC, 1989). Aunque la mayor contribución de la biotecnología será intervenir en los determinantes biológicos de la sostenibilidad, ej: pérdida de diversidad genética, ataque de plagas y enfermedades, problemas de salud y reproducción animal, también ofrece potencial para intervenir en los determinantes físicos de la sostenibilidad, tal como la degradación de los suelos, ej: salinidad, acidez, sequía, etc. La biotecnología puede aun intervenir en los determinantes socio-económicos, ej: a través del desarrollo de productos con valor comercial a partir de especies autóctonas.

La biotecnología comprende tres grupos de tecnologías básicas:

1. Técnicas de fermentación, incluyendo las técnicas de bioconversión de biomasa y de inmovilización de enzimas;
2. Técnicas de clonaje de células somáticas y reproductivas, incluyendo el cultivo de microorganismos, tejidos y órganos vegetales y animales;
3. Técnicas para la modificación genética a nivel molecular, incluyendo las técnicas para la identificación, alteración, transferencia y expresión de material genético.

Los métodos clásicos para alterar la composición genética de los organismos, ej: recombinación sexual, mutagénesis, selección, etc. contrastan con los métodos moleculares, ej: aislamiento y recombinación de secuencias caracterizadas, clonaje de moléculas híbridas, transferencia y expresión en células y tejidos, y selección a nivel molecular. Sin embargo, ambos métodos modifican el ADN y dan origen a productos, que generalmente son organismos genéticamente diferentes al organismo original. La experiencia actual con los métodos tradicionales de modificación genética es mayor, pero las técnicas moleculares son más precisas ya que pueden alterar

nucleótidos individuales del genoma de las plantas, animales y microorganismos. Los métodos moleculares también tienen la habilidad de introducir en el organismo receptor caracteres de un rango amplio de acervos genéticos. La biotecnología por lo tanto ofrece gran amplitud y profundidad de acción en el material biológico, haciendo que desaparezcan las barreras entre las especies.

La tendencia de la investigación biotecnológica en el primer mundo es apoyar sistemas industriales en agricultura (Hassebrook, 1989). En los países tropicales en desarrollo es necesario orientar la investigación en biotecnología para integrarla a sistemas agrícolas sostenibles y para su aprovechamiento por la agricultura de pequeña escala (Bunders, 1990).

CONTRIBUCIONES DE LA BIOTECNOLOGIA EN EL MANEJO SOSTENIBLE DE LA AGRICULTURA TROPICAL

Reducción del uso de insumos externos: Biocontrol.

El biocontrol ofrece alternativas biológicas al uso de pesticidas y otros agroquímicos. Los biopesticidas pueden ser naturales o genéticamente modificados; los primeros se han usado en agricultura por más de 20 años, y el segundo grupo resulta de la investigación biotecnológica reciente. Este último comprende:

1. Plantas transgénicas diseñadas para expresar toxinas contra insectos, ej: *Bacillus thuringiensis* (Bt.), para protección contra enfermedades causadas por virus (genes que expresan proteínas virales), protección contra enfermedades causadas por hongos (genes que expresan quitinasas y glucanasas), y
2. Biopesticidas a base de microorganismos genéticamente modificados (bacterias, hongos, virus, nematodos, protozoarios); ej: *Pseudomonas fluorescens* que contienen la toxina Bt.

La biotecnología también puede contribuir a integrar el biocontrol con el manejo de los recursos naturales para una agricultura sostenible, a través de:

1. Caracterización molecular de la alteración genéti-

ca en el biopesticida para limitar los efectos impredecibles de la liberación del organismo al ambiente;

2. Uso de biopesticidas de efecto crónico, ej: biopesticidas basados en protozoarios como la microsporidia, entomopatógenos cuyo efecto es crónico y no tan dramático como las epizootias causadas por biopesticidas basados en bacterias y hongos;

3. Uso de biocontrol de bajo costo y de labor intensiva ej: baculovirus;

4. Modificación genética del biopesticida con el propósito de lograr diferentes modos de acción contra insectos; para usar más de una toxina, con diferentes perfiles de toxicidad; para limitar la expresión de la toxina a fin de obtener el control de la población de insectos pero no su exterminio total, y para lograr la expresión selectiva de los genes de toxinas en ciertos tejidos de la planta y en la época de mayor ataque por los insectos (McManus, 1989).

Aumento de la eficiencia de sistemas naturales.

Fijación biológica de nitrógeno, utilización de fósforo, etc.

Bioinoculantes (Biofertilizantes). Los biofertilizantes contribuyen a reforzar el crecimiento de los componentes del agroecosistema y el reciclaje de nutrientes del suelo. Los biofertilizantes se pueden preparar a base de microorganismos del suelo; entre éstos se encuentran:

1. Micro-organismos de la fijación biológica de N como *Klebsiella*, *Bradyrhizobium* y *Rhizobium*;
2. Asociaciones de micorrizas vesículo-arbusculares para la movilización de fósforo del suelo a las raíces;
3. Rizobacterias promotoras del crecimiento tales como: *Pseudomonas fluorescentes* y cepas de *Bacillus subtilis* (Bunders, 1990).

La manipulación genética de la fijación biológica del N es un proceso complejo, por lo que actualmente se enfatiza el mejoramiento de la competitividad y capacidad de adaptación de la bacteria.

El uso de biofertilizantes en sistemas de reforestación estimula el crecimiento de árboles, principalmente a través de la nutrición nitrogenada y la inoculación de micorrizas.

Recuperación de aguas y suelos contaminados.

Mediante micro-organismos genéticamente modificados (bio-remediación y bio-reclamación).

Repoblación forestal.

Mediante tecnologías de cultivo de tejidos para la propagación masiva de árboles y arbustos: a corto plazo, la micropropagación y a largo plazo, los sistemas automatizados basados en la embriogénesis somática, ofrecen potencial para la reforestación.

Conservación y utilización de recursos genéticos vegetales, animales y microorganismos.

Las tecnologías de cultivos de tejidos somáticos y reproductivos, de crioconservación y de la biología molecular (marcadores y mapas moleculares) pueden contribuir a:

1. Estudios y evaluación de la diversidad genética, determinación de acervos genéticos, evolución y distribución geográfica de recursos genéticos.
2. Identificación y caracterización de genotipos y genes útiles en colecciones de germoplasma y de la biodiversidad en general.
3. Ampliación de la base genética para acceder a material genético de acervos distantes, a través de los cruces interespecíficos e intergenéricos: rescate de embriones, fusión de protoplastos y transferencia y expresión de genes foráneos usando vectores naturales como *Agrobacterium* y métodos físico/químicos como el bombardeo de partículas, electroporación, etc.
4. Desarrollo de bancos de germoplasma ex-situ: bancos activos por cultivo de tejidos y bancos base por crioconservación, de plantas propagadas vegetativamente o con semilla recalcitrante.

Aumento y aceleración a la ganancia genética.

En el caso de los cultivos del agroecosistema, la biotecnología ofrece herramientas para maximizar y acelerar la ganancia genética (Sprague and Eberhart, 1977). La manipulación de caracteres cuantitativos puede facilitarse mediante el uso de mapas y marcadores moleculares, así como la producción de plantas haploides y haploides doblados.

Aumento del conocimiento de las relaciones planta- microorganismo.

La biotecnología provee herramientas para facilitar el entendimiento de las relaciones entre los microorganismos (parásitos y benéficos) y los cultivos que conforman el agroecosistema; y puede contribuir a la comprensión de los mecanismos fisiológicos/genéticos de tolerancia a sequía y a estrés elemental (deficiencias y toxicidades). Este conocimiento contribuye a su vez a la identificación de puntos óptimos de intervención genética.

CONCLUSIONES

1. La manipulación genética a nivel celular y subcelular contribuirá a aumentar la productividad de los componentes del agroecosistema de manera compatible con la conservación de la base de recursos naturales

2. La biotecnología ofrece herramientas para obtener un mejor conocimiento de los sistemas agroecológicos y contribuir a estrategias de solución en las siguientes áreas:

- Interacción entre las especies que conforman el agroecosistema y los efectos de esta interacción

sobre las prácticas agrícolas;

- Efectos de los cambios en las prácticas agrícolas sobre los microorganismos de la rizosfera;

- Soluciones genéticas a los problemas que actualmente se afrontan con agroquímicos;

- Mejorar la eficiencia de los sistemas biológicos naturales;

- Producir germoplasma con resistencia o tolerancia a pestes y enfermedades que persisten aún en los sistemas sostenibles con rotación de cultivos;

- Conservación y utilización de los recursos genéticos del agro-ecosistema;

- Recuperación de suelos y aguas contaminadas;

- Repoblación de áreas deforestadas y

- Desarrollo de una agricultura de biomasa.

3. El mayor desarrollo de la biotecnología ocurre en los países industrializados, donde el sector privado y la patentabilidad de los productos y procesos biotecnológicos determinan que las aplicaciones a sistemas agrícolas sostenibles en el trópico no reciban la atención debida. Es necesario dedicar recursos para la investigación y desarrollo de la biotecnología para la agricultura tropical. Los centros internacionales y nacionales de investigación agrícola deben integrar en sus programas actuales de sostenibilidad y de investigación en cultivos (Lynam and Herdt, 1989) el componente de la biotecnología para el mejoramiento de germoplasma de especies tropicales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BOSTID. 1990. Plant biotechnology research for developing countries. Report of a panel of the BOSTID. National Research Council, National Academy Press, Washington D.C.

2. BUNDERS, J.F.G. 1990. Biotechnology for small-scale farmers in developing countries Analysis and assessment procedures. VU University Press, Amsterdam.

3. HASSEBROOK, Ch. 1989. Biotechnology, sustainable agriculture, and the family farm. In: Mac Donald, J.F. (ed.), NABC report 1, Biotechnology and sustainable agriculture: Policy alternatives, National Agricultural Biotechnology Council, Boyce Thompson Institute, Ithaca, New York.

4. LYNAM, J.K.; HERD, R.W. 1989 Sense and sustainability: Sustainability as an objective in international agricultural research. *Agricultural Economics* 3: 381-398.

5. Mc MANSUS, M.L. 1989. Biopesticides: An overview. In: Mac Donald, J.F. (ed), NABC Report 1, Biotechnology and sustainable agriculture: Policy alternatives, National Agricultural Biotechnology Council, Boyce Thompson Institute, Ithaca, New York.
6. NABC. 1989. Biotechnology and sustainable agriculture: Policy alternatives. NABC report 1, Mac Donald, J.F. (ed.), Ithaca, New York.
7. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. 1989. Field testing genetically modified organism. Framework for decisions. board of biology, Nat. Res. Council, National Academy Press.
8. SPRAGUE, G.F.; EBERHART, S.A. 1977. Corn breeding. In: Sprague, G.F. (ed.). Corn and corn improvement. American Soc. Agronomy, Madison, WI., p. 305-362.
9. WORLD WATCH INSTITUTE. 1990. State of the world. Norton, New York.

RECURSOS NATURALES PARA LA PRODUCCION

AGROPECUARIA:

CASO DE COLOMBIA

Jaime Navas Alvarado*

DEFINICION

En términos generales los recursos naturales se definen como los elementos básicos que constituyen la riqueza actual o potencial de una región o país, así como los factores externos que los determinan y afectan. Esta definición es amplia, sin embargo, como al ICA, le competen sólo los aspectos de carácter agropecuario, la Sección de Recursos Naturales, orientará sus acciones hacia aquellos elementos y factores de los recursos naturales, relacionados con el sector.

GRANDES COMPONENTES INVOLUCRADOS

1. BIOTICOS

- Plantas cultivadas
- Plantas promisorias
- Bosques
- Fauna

2. ABIOTICOS

- Clima
- Agua
- Suelo
- Fisiografía

3. ANTROPICOS

- Demográficos
- Socioeconómicos

Estos tres grandes componentes de los recursos naturales bióticos, abióticos y antrópicos, aunque se presentan aquí en forma global e independiente, tienen múltiples subcomponentes que actúan en forma interdependiente e interrelacionada, como se aprecia en la Tabla 1 y Figura 1.

ESTADO ACTUAL Y PROBLEMÁTICA

Colombia es considerada como un país rico en recursos naturales, por la abundancia, calidad y diversidad de los mismos. El país está dividido en siete grandes regiones naturales: Orinoquia, Amazonia, Andina, Valles Interandinos, Caribe, Pacífica e insular, caracterizadas por su gran variabilidad agroecológica y por su importancia económica y social.

En la Tabla 2 se presenta la distribución superficial de estas regiones del país. El 55% del área total del país corresponde a la Orinoquia y Amazonia, las cuales se caracterizan por ser ecosistemas muy frágiles, de relativo poco desarrollo agropecuario, aunque de gran potencial económico, para las cuales se requiere el desarrollo de tecnologías apropiadas que conduzcan a un desarrollo agrícola y pecuario sostenido, sin deterioro de sus características y potencialidades.

La Zona Andina ocupa un 20% del área total y está caracterizada por una gran densidad poblacional, alta demanda de productos agropecuarios, uso intenso de la tierra y topografía predominantemente pendiente; esto hace que esta región sea una de las

* I.A., Ph.D., Subgerente de Investigación, Instituto Colombiano Agropecuario, ICA., Oficinas Nacionales, A.A. 7984, Santafé de Bogotá D.C.(Colombia)

TABLA 1. Componentes y Subcomponentes de los Recursos Naturales

<p>1. BIOTICOS</p> <p>Flora</p> <ul style="list-style-type: none"> - Plantas cultivadas - Plantas promisorias - Bosques <p>Fauna</p> <ul style="list-style-type: none"> - Organismos mayores - Organismos menores 	<ul style="list-style-type: none"> - Perfil - Estructura - Textura - Humedad del suelo - Aire del suelo - Erosión - Propiedades químicas - Composición mineralógica - Composición orgánica - Caracterización química - Disponibilidad de nutrientes - Elementos de exceso - Propiedades biológicas: Macrobiología: Macrofauna edáfica Microbiología: Rhizobiología Micorrizas Azolla Materia orgánica: Descomposición
<p>2. ABIOTICOS</p> <p>Fisiografía</p> <ul style="list-style-type: none"> - Topografía - Pendiente - Paisajes (Valles, planicies, montañas, etc) <p>Clima</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aire: CO₂, N, O₂ - Energía solar - Temperatura: Aire, Suelo - Precipitación: Cantidad, intensidad, frecuencia, energía cinética. - Evapotranspiración - Humedad relativa - Altitud, latitud, longitud - Heladas, sequías, viento <p>Suelo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grado de evolución - Material parental - Propiedades físicas - Relieve 	<p>Agua</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presencia de cuerpos de agua: Ríos, lagos, embalses, aguas subterráneas - Calidad del agua: Física, química, biológica - Parámetros hidrodinámicos - Déficits de humedad: Riego - Exceso de agua: Drenaje - Requerimientos hídricos: Uso consuntivo
	<p>3. ANTROPICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - El hombre como usuario y modificador de los recursos naturales. - Aspectos demográficos, socioeconómicos y culturales.

TABLA 2. Superficie del país por Regiones naturales

Región Natural	Superficie (ha.)	%
Caribe	10.128.200	8.87
Pacífico	6.443.400	5.64
Valles Interandinos	3.710.075	3.25
Andina	30.914.925	27.10
Orinoquia	23.096.725	20.23
Amazonia	39.875.334	34.90
Insular	6.145	0.01
TOTAL	114.174.800	100.00

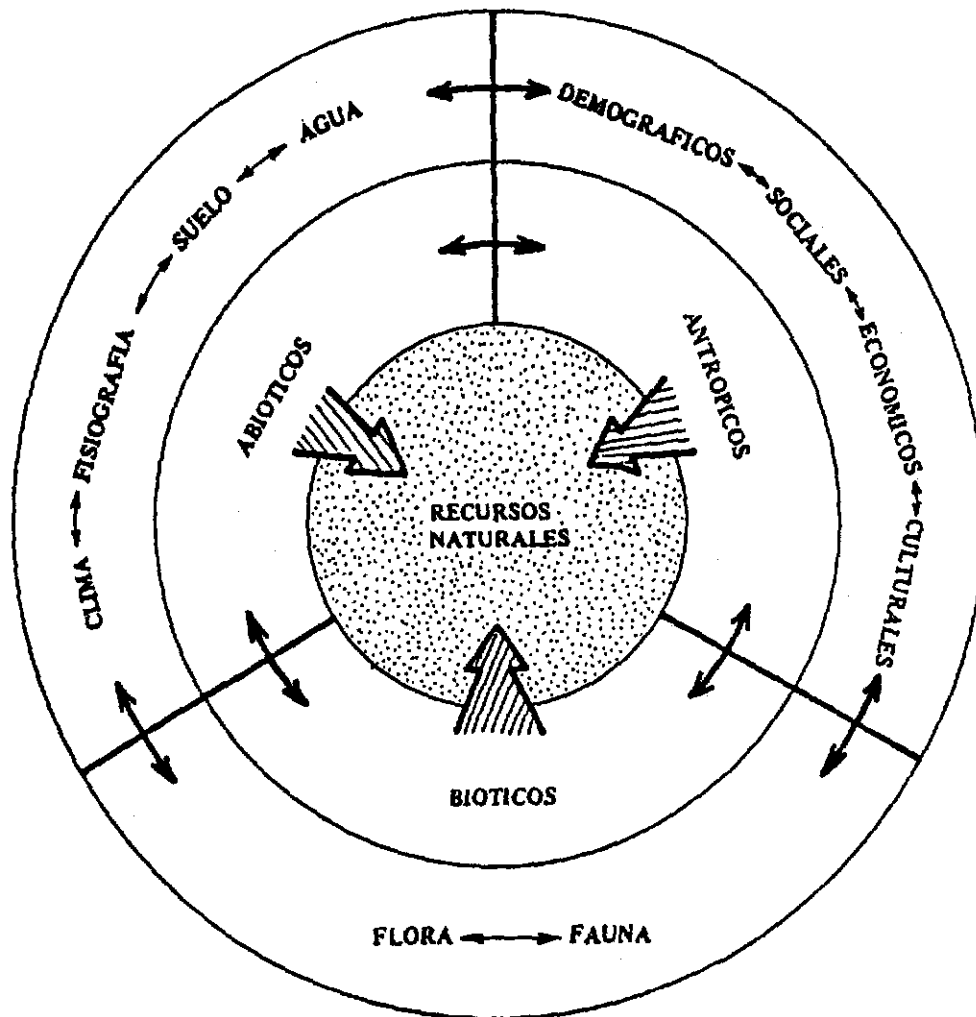


FIGURA 1. Interacción de los distintos componentes de los recursos naturales

TABLA 3. Superficie del País por pisos térmicos

Piso térmico	Superficie/ha	%
Cálido	93.257.025	81.7
Medio	10.365.550	9.1
Frío	7.576.350	6.6
Muy frío	2.788.100	2.4
Nival	187.775	0.2
TOTAL	114.174.800	100.0

FUENTE: ICA-IGAC. Zonificación agroecológica de Colombia. 1985.

más erodadas y erodables del país y que como consecuencia está perdiendo gran parte de sus recursos naturales.

Los Valles Interandinos representan la región de mayor desarrollo tecnológico, sin embargo, por problemas de manejo inapropiado, corresponde a la que presenta los mayores problemas de degradación de los recursos: compactación de los suelos y pérdida de estructura, contaminación de suelos y agua, disminución de fuentes de agua, erosión y salinización.

La región Caribe presenta dos grandes zonas contrastantes climáticamente, una de bosque seco tropical y otra de bosque húmedo tropical, con grandes problemas de degradación de suelos en las áreas altamente mecanizadas como la algodónera y de deforestación e inundación en la húmeda. Presenta además, problemas específicos de salinización y desertificación creciente en la alta y media Guajira.

La región pacífica está caracterizada por alta pluviosidad, vegetación selvática y baja población humana, en donde la actividad agropecuaria es relativamente baja en relación con la industria maderable, la pesca y la minería. La alta deforestación producida por estas actividades puede conducir a problemas serios de degradación.

La región Insular corresponde a la región más

pequeña, con sólo el 0.01% del área nacional, de mayor importancia turística que agropecuaria; debe resaltarse la importancia de evitar la degradación del ecosistema en las zonas no intervenidas.

En la Tabla 3 se presenta la distribución por pisos térmicos. Es importante resaltar el hecho de que el 81.7% corresponde al piso térmico cálido, de un alto potencial de productividad agropecuaria por sus altas temperaturas y luminosidad, que es donde se asienta la mayor parte de la agricultura y ganadería del país. El 9.1% corresponde al piso térmico medio, propio de la zona cafetera, de suma importancia socioeconómica para el país. Los pisos frío, muy frío y nival (9.2%) son de primordial importancia en los recursos hídricos, por cuanto son el origen de las fuentes de agua del país, requiriendo por tanto, de un tratamiento y políticas especiales para su conservación y cuidadoso manejo. En estos pisos y sobre todo en el nival debe evitarse el más mínimo deterioro.

En la Tabla 4 se muestra la distribución de las provincias de humedad. El 77% del territorio colombiano dispone de condiciones climáticas y húmedas; de esta superficie el 7.9% recibe humedad excesiva, en el resto del país dominan las condiciones secas en las que de ser posible la agricultura requiere riego suplementario.

En la Tabla 5 se muestra la distribución de las

TABLA 4. Distribución de las Provincias de Humedad

Provincia de humedad	Superficie (Ha.)	%
Perárida	1.225.650	1.0
Subhúmeda	22.143.676	19.4
Húmeda-perhúmeda	79.561.550	69.7
Superhúmeda	8.984.875	7.9
Otras áreas*	2.259.049	2.0
TOTAL	114.174.800	100.0

FUENTE: ICA-IGAC. Zonificación agroecológica de Colombia. 1985

* Corresponde a ciénagas, pantanos, ríos y zonas urbanas.

tierras en los diferentes paisajes que conforman el territorio nacional. Los datos indican que las planicies (aluviales, eólicas y marinas), ocupan un 20% de territorio, las altillanuras planas, disectadas de la Orinoquia, Amazonia, cubren el 40.4% y los altiplanos solamente el 0.6%.

Las colinas propiamente dichas de las llanuras del Caribe, del Andén Pacífico abarcan un 6.7% y las tierras de cordillera y serranía el 30.3%. Los cuerpos de agua (ciénagas, pantanos, ríos y otros) alcanzan el 2% del país.

En la Figura 2 se compara el uso actual con el uso potencial de tierras en el país. Las cifras de

zonificación agroecológica (ICA-IGAC, 1985) indican que el 12.7% de las tierras en Colombia son aptas para agricultura; sin embargo, el uso actual en agricultura corresponde al 4.66%, lo cual demuestra la existencia de un potencial adicional utilizable del 8.04% del territorio nacional; en otras palabras, en la actualidad existen 9.179.654 de hectáreas potencialmente disponibles para expansión de la frontera agrícola.

Las tierras en pastos ocupan el 35.11% de la superficie del país equivalente a 40.083.171 ha. pero las tierras potencialmente aptas para pastos en Colombia sólo constituyen el 16.8% de su territorio; lo anterior indica que grandes extensiones están sien-

TABLA 5. Extensión de los Diferentes Paisajes

Paisajes		Superficie (Ha.)	%
Planicies	Marinas	1.136.610	1.0
	Eólicas	2.264.650	2.0
	Aluviales	29.421.125	17.0
	SUBTOTAL	22.822.385	20.0
Altiplanos	Planos	84.125	0.1
	Disectados	630.900	0.5
	SUBTOTAL	715.025	0.6
Altillanura	Plana	18.892.275	16.5
	Disectada	27.232.225	23.9
	SUBTOTAL	46.124.500	40.4
Colina		7.633.700	6.7
	SUBTOTAL	7.633.700	6.7
Serranías		3.006.850	2.6
	SUBTOTAL	3.006.850	2.6
Cordillera		31.613.291	27.7
	SUBTOTAL	31.613.291	27.7
Aguas y zonas urbanas		2.259.049	2.0
	SUBTOTAL	2.259.049	2.0
TOTAL		114.174.800	100.00

Nota: Por razones de escala fue necesario agrupar ciertas unidades, por lo cual las cifras de algunos paisajes no coinciden con las presentadas en el mapa 1:500.000.

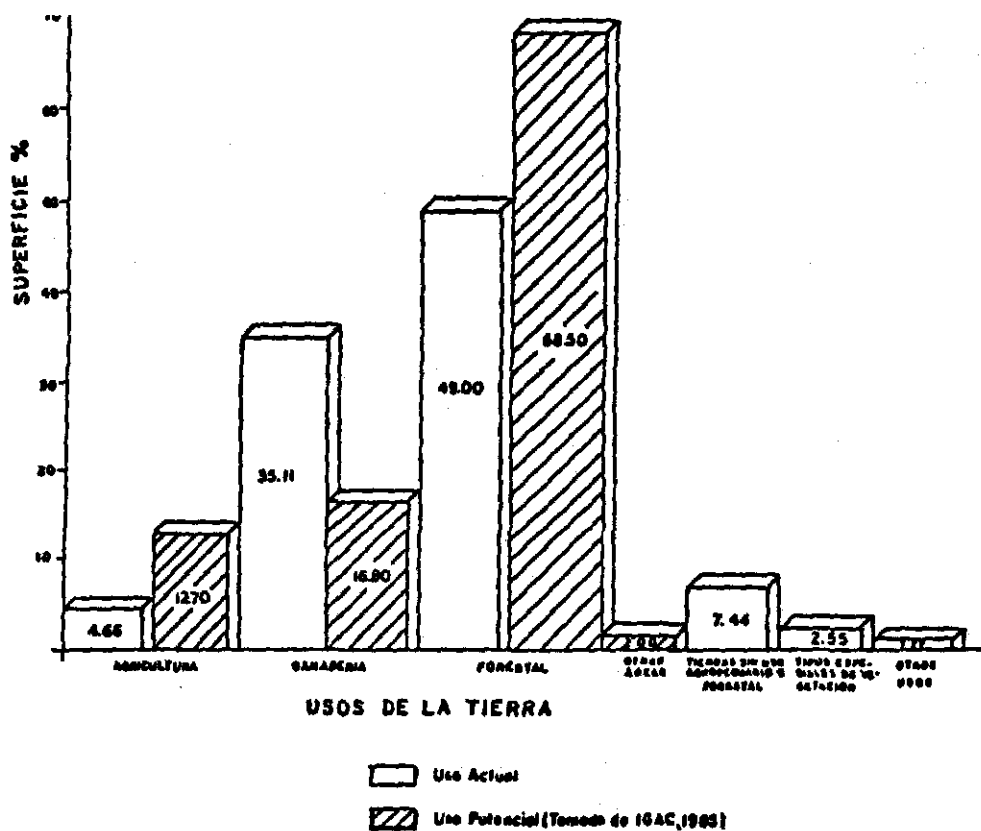


FIGURA 2. Comparación entre el uso actual y el uso potencial de las tierras en Colombia. IGAC. Uso actual de las tierras en Colombia.

TABLA 6. Intensidad actual de la erosión en Colombia

Intensidad	Area afectada (Ha.)	% co relación a superficie del país
Muy severa	829.575	0.73
Severa	8.875.575	7.79
Moderada	14.706.795	12.90
Ligera	26.337.546	23.11
Muy ligera	5.657.950	4.96
Sin erosión	55.508.310	48.53
Otras áreas*	2.259.049	1.98
TOTAL	114.174.800	100.00

* Corresponde a ciénagas, pantanos, ríos y zonas urbanas.

FUENTE. ICA-IGAC. Suelos y bosques de Colombia. 1988.

do usadas en áreas no aptas para esta actividad.

De las áreas dedicadas a pastos únicamente el 4.5% corresponde a pastos manejados, con una extensión de 5.187.603 ha. No obstante, el potencial para este uso es del 7.3%, lo cual demuestra un déficit significativo en esta actividad o un potencial de más de tres millones de hectáreas para pastos mejorados.

De lo anterior se puede concluir que las tierras dedicadas a pastos se han incrementado a costa de las tierras agrícolas o forestales.

Se estima que las tierras con vocación forestal en Colombia cubren el 68.5% de su territorio. Al comparar este porcentaje con el correspondiente al uso actual en bosques (49%), resulta una diferencia de 19.5%, indicativa de que el área con potencial apto para esta actividad ha disminuido por deforestación con fines agropecuarios.

Considerando la importancia de los procesos erosivos en Colombia, en la Tabla 6 se presentan cifras indicativas de la intensidad actual de la erosión en Colombia, encontrándose en resumen que cerca del 52% del área territorial está actualmente afectada por procesos de erosión de diferentes intensidades.

En la Tabla 7 se presentan las áreas sin y con problemas de erosión en las diferentes regiones naturales. El 86% de la Región Andina presenta problemas de erosión y sólo un 14%, limitado a los altiplanos, no presentan el fenómeno erosivo, pero presenta problemas de degradación estructural por uso inadecuado de maquinaria. La Orinoquia presenta problemas de erosión en un 62% de su área, gran parte localizada en el Piedemonte por mal manejo y la restante de origen geológico. La Región Caribe presenta problemas erosivos en cerca del 57% de su territorio, especialmente de origen eólico e hídrico y también por inapropiada mecanización. La Amazonia y Andén Pacífico presentan problemas de erosión en un 18% y 23% de su extensión, especialmente circunscrito a las áreas intervenidas por el hombre.

En cuanto a los recursos fitogenéticos, el país por su ubicación geográfica, condiciones climatológicas, sistemas montañosos y tipos de suelos, presenta diversos ambientes y nichos ecológicos, que originan una gran diversidad de especies vegetales de importancia económica y social, muchas de las cuales son subutilizadas o se desconoce su uso potencial.

Aun cuando se ha identificado plenamente el número de las especies promisorias existentes en Colombia, se sabe que en los países de la Región

TABLA 7. Áreas sin y con erosión en las Regiones Naturales de Colombia

Región Natural	Área (ha)		% con relación a la región natural	
	Sin	Con	Sin	Con
Caribe	4.362.900	5.764.537	43.08	56.92
Andina	4.681.475	29.944.819	13.52	86.48
Orinoquia	8.784.925	14.308.989	38.04	61.96
Amazonia	32.713.725	7.455.387	81.44	18.56
Pacífica	4.965.285	1.478.116	77.06	22.94
TOTAL	55.268.910	58.915.898		

FUENTE. ICA-IGAC. Suelos y bosques de Colombia. 1988

Andina hay alrededor de 90 a 100 especies promisorias de uso alimenticio.

Las plantas nativas están en peligro de extinción por la expansión de las zonas urbanas, la presión colonizadora, el incremento de áreas de cultivo y la adopción de variedades mejoradas.

El ICA cuenta con colecciones de más de 18.000 ejemplares entre nativos y exóticos, las cuales constituyen el acervo genético para los programas de mejoramiento.

El deterioro, el uso inapropiado y el manejo inadecuado de los recursos naturales que se reflejan en la problemática descrita anteriormente, inciden directamente en la magnitud del área apta para fines agrícolas, en la productividad de los suelos, en la producción y productividad de los cultivos y ganados, en la disponibilidad y calidad de las aguas para riego y en la manifestación biológica de los recursos genéticos, cuyos efectos negativos se manifiestan en los siguientes aspectos socioeconómicos:

- Incremento en los costos de producción agropecuaria, al aumentar los requerimientos de insumos tales como fertilizantes, enmiendas, pesticidas y correctivos.
- El déficit de agua altera la fisiología normal de las plantas reduciendo su eficiencia productiva y su capacidad de utilización de otros insumos.
- Las semillas disminuyen su capacidad de expresión de su potencial genético.
- Incremento en los precios de los productos agropecuarios.

La tecnología que se genere para solucionar o prevenir los problemas relacionados con los recursos naturales para la producción agropecuaria, tienen como objetivo aumentar el área aprovechable para fines agrícolas; incrementar los rendimientos y reducir los costos de producción de cultivos y ganados; proteger y conservar los ecosistemas y mejorar la eficiencia de utilización de los recursos disponibles para la producción.

MARCO DOCTRINARIO

Con el fin de afrontar la problemática en el desarrollo y manejo de los recursos naturales, es necesario

definir un marco doctrinario en el que se determinen los elementos conceptuales que orienten las acciones investigativas hacia la solución de los problemas.

A continuación se puntualizan estos elementos conceptuales:

- Enmarcarse dentro de las políticas gubernamentales e institucionales sobre el manejo de los recursos naturales.
- Reconocer los recursos naturales como elementos básicos para la producción agropecuaria.
- Caracterizar, evaluar y clasificar apropiadamente los recursos naturales.
- Mantener, proteger, conservar y mejorar los recursos naturales de acuerdo con el mandato de la nueva Constitución Nacional.
- Crear una conciencia conservacionista, para producir en forma sostenida.
- Crear una infraestructura humana, física y financiera que permita la ejecución de la investigación.
- Generar, adoptar, actualizar y transferir conocimientos y tecnologías apropiadas para un desarrollo sostenido del sector agropecuario.
- Integrarse al movimiento mundial de aprovechamiento racional de los recursos naturales sin deterioro ambiental.

PROYECCION

Consecuente con la problemática existente en los recursos naturales para la producción agropecuaria y acorde con las funciones de competencia del ICA y con su actual estructura orgánica, la Sección de Recursos Naturales orientará sus programas en las siguientes áreas: Clima, suelos, aguas, recursos fitogenéticos, zonificación agroecológica y ordenamiento territorial.

Clima

- Se requiere establecer modelos de predicción climática para precipitación, evapotranspiración, ba-

lances hídricos y erosividad de las lluvias; caracterización agroclimática.

Suelos

Se hace necesario adelantar:

- Estudios sobre las propiedades físicas que afectan el desarrollo radicular y toma de nutrientes por las plantas.

- Estudios sobre erodabilidad, pérdidas, conservación y recuperación de áreas erodadas.

- Estudios de caracterización y desarrollo de prácticas de campo sobre suelos y aguas en condiciones semiáridas y áridas.

- Estudios sobre propiedades químicas, disponibilidad y dinámica de nutrientes; elementos en exceso; correctivos y enmiendas, uso eficiente de fertilizantes; desarrollo de metodologías analíticas para suelos, aguas y plantas.

- Estudios mineralógicos asociados con propiedades físicas y químicas del suelo.

Estudios sobre microbiología de suelos: rizobios, micorrizas, azolla y descomposición de la materia orgánica.

Agua

Se propone llevar a cabo los siguientes estudios:

- Determinación y evaluación de fuentes de suministro de agua.

- Determinación de requerimientos hídricos para cultivos de las diferentes zonas agroecológicas.

- Determinación de parámetros hidrodinámicos para toma de decisiones en riego y drenaje.

- Modelos de optimización de uso y manejo de aguas

de riego.

- Diseño de sistemas para riego y drenaje.

Recursos Fitogenéticos

Tres temas deben priorizarse:

- Introducción y conservación de especies promisorias para la producción agrícola nacional.

- Evaluación del estado actual del germoplasma de las especies cultivadas y conservación de las colecciones.

- Utilización de los recursos genéticos a través de fitomejoramiento y biotecnología.

Sistema de información georeferenciada del ICA

En este campo se deben emprender los siguientes trabajos:

- Zonificación y caracterización agroecológica.

- Estudios sobre aptitud y manejo.

- Sistematización de la información.

Labranza

Esta área debe abordar dos campos concretos:

- Labranza apropiada para diferentes condiciones edafoclimáticas y socioeconómicas.

- Diseño de implementos agrícolas apropiados para incrementar la eficiencia del uso de los recursos naturales.

ESQUEMA ESTRATEGICO

En la Figura 3 se esquematiza la estrategia operacional de la Sección Nacional de Recursos Naturales.

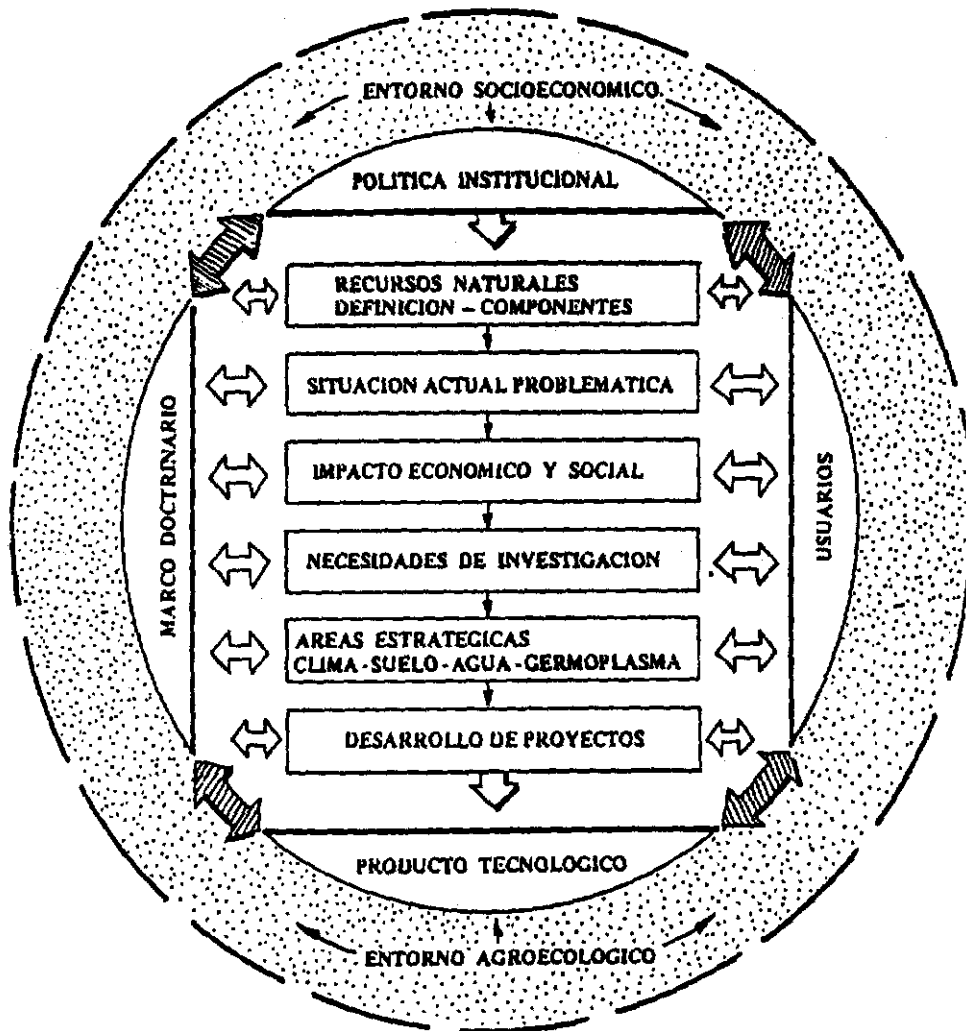


FIGURA 3. Esquema estratégico operacional de los recursos naturales para la producción agropecuaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. COMITE DE INVESTIGACION DE LA AMAZONIA. ASESOR DE COLCIENCIAS. 1986. Elementos para una política de investigación sobre la Amazonia colombiana. Bogotá. (Documento de Trabajo). 22 p.
2. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA; INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 1988. Suelos y Bosques de Colombia.
3. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA; INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. 1985. Zonificación agroecológica de Colombia. Memoria Explicativa. 60 p.
4. NAVAS A. J.; AMEZQUITA C. E. 1990. Plan nacional de manejo y conservación de suelos, Colombia. 26 p.

5. NAVAS A. J.; ESCOBAR A.C.; AMEZQUITA C. E. 1990. Evaluación del potencial erosivo en la lluvia en el CI Macagual, Piedemonte Amazónico, Caquetá, Colombia. 10 p.
6. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION, FAO. 1990. Desarrollo rural sostenible en ecosistemas frágiles en América Latina y el Caribe. XXI Conferencia Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
7. RESTREPO J; NAVAS A. J. 1982. Conservación de suelos de la Orinoquia: La erosión física y química al establecimiento de praderas con diferentes niveles de labranza. *In: Suelos Ecuatoriales*, 12(2): 146-160.