

Manejo de la Fertilidad del Suelo en Agroecosistemas de los Andes Tropicales / Manejo Integrado de Plagas (MIP) vs. Manejo Sostenible de Suelos (MSS)

Walter Bowen/Javier Franco
Moderadores temáticos

Ana María Ponce/Musuq Briceño
Equipo de moderación técnica

**Síntesis de la conferencia electrónica realizada del
24 de noviembre al 5 de diciembre de 2003**

Organizada por:



Consortio para el Desarrollo
Sostenible de la Ecorregión
Andina



Agricultura Sostenible
Campesina de Montaña

MOSAndes
(Proyecto CYTED XII.4)

2003

CONVOCATORIA

Comité Organizador del Foro
InfoAndina-Foros@cgiar.org

Estimados colegas, bajo la iniciativa de la red MOSAndes, y ASOCAM, la red de proyectos de Agricultura Sostenible Campesina de Montaña financiado por COSUDE, y el apoyo técnico de InfoAndina, red de información de CONDESAN, tenemos el gusto de convocar un foro electrónico dirigido no solamente a científicos sino también a actores del desarrollo interesados en la problemática del manejo integrado de los suelos y las plagas que afectan los ecosistemas en los Andes.

Audiencia:

El foro está dirigido a una amplia audiencia de científicos y de la sociedad civil: agrónomos, ecólogos, ministerios de agricultura, agencias financieras e instituciones de formulación de políticas de desarrollo, estudiantes, redes agropecuarias, productores de semilla, investigación y extensión en sistemas agropecuarios, Sociedad Latinoamericana de Ciencia del Suelo, Unidad de investigación Seq-C (IRD, Montpellier), FAO (ex-Fertisuelos, Bolivia), microbiólogos, empresas comercializadoras de productos orgánicos, especialistas en ecofisiología, agronomía, ecología funcional, agroclimatología, universidades.

Organización:

El Foro Electrónico tendrá una duración de 2 semanas, entre el 24 de noviembre y el 5 de diciembre 2003.

Contenido:

Manejo de la fertilidad del suelo en agroecosistemas de los Andes tropicales

El manejo de fertilidad de suelos abarca las vías de intensificación y sostenibilidad de los sistemas de cultivo, el manejo integrado de nutrientes (orgánicos y minerales) en sistemas de cultivo, ecotecnologías, adaptación y validación de modelos de simulación biofísicos y de ayuda a la decisión en las condiciones andinas.

En los Andes tropicales, especialmente en el altiplano central, es posible establecer los pasos para definir reglas sobre el uso del suelo y supervisar el estado de los recursos suelo y agua.

El debate pretende responder preguntas pendientes de investigación, con una colección de casos exitosos sobre modelos, resultados, experiencias concretas de desarrollo e investigación que apoyen la toma de decisiones sobre el manejo de suelos.

Sus objetivos son:

- Lograr la participación de los integrantes de MOSAndes en los temas científicos priorizados.
- Presentar MOSAndes a un mayor número de profesionales como la base de una red científica que podría ser una antena del TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), para los agro-ecosistemas de montañas tropicales.

- Identificar contactos, equipos, laboratorios dentro y fuera del núcleo aprobado en cada país andino para ser miembro de MOSAndes, que pudieran aportar conocimientos y experiencias sobre las 4 temáticas priorizadas por MOSAndes, con trabajos ya publicados, artículos científicos por publicar, proyectos en curso o planeados de investigación y extensión. Un producto podría ser canalizar publicaciones potenciales, seleccionadas a partir del foro, en revistas internacionales o números especiales de estas revistas.

La red MOSAndes y CONDESAN buscan desarrollar sinergias entre proyectos y actores de la región, y a través de este debate apoyar el intercambio de experiencias y casos exitosos sobre el manejo de suelos.

Debate Manejo Integrado de Plagas vs. Manejo Sostenible de Suelos

El Manejo Sostenible de Suelos (MSS) y el Manejo Integrado de Plagas (MIP) constituyen dos pilares importantes para el logro de una agricultura sostenible. Sin embargo, un documento publicado por ASOCAM (Agricultura Sostenible Campesina de Montaña) somete a discusión la tesis de que el sistema formal debería apoyar con más urgencia las acciones de MIP y que los donantes deberían colocar más fondos en iniciativas a favor de este tema.

Con esta tesis no se pretende discutir la importancia relativa de los dos temas (se considera que ambos son importantes) y tampoco conceptos como el manejo integrado de cultivos (MIC) que integran los dos temas. Lo que se quiere expresar es que actualmente la inversión de una unidad de dinero en MIP tiene un mayor potencial de lograr un impacto positivo que la colocación de la misma unidad de dinero en MSS.

El objetivo del debate es reflexionar hacia dónde -MIP o MSS- deberían dirigirse con mayor urgencia los esfuerzos de apoyo institucional para contribuir al logro de una agricultura sostenible.

Aparte del documento base de ASOCAM se aceptan ponencias que serán seleccionadas por un Comité Científico y distribuidas en la agenda del foro. Los participantes inscritos al inicio del foro podrán solicitar comentarios durante el debate.

TEMA 1

MANEJO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN AGROECOSISTEMAS DE LOS ANDES TROPICALES

Autor	Título	Página
Documento base	"Manejo de la fertilidad del suelo en agroecosistemas de los Andes tropicales"	7
P. Ruiz	"Uso de hongos formadores de micorrizas arbusculares, solubilizadores de fósforo y cianofitas en la recuperación de suelos alterados de la zona andina"	13
R. Pineda	"A propósito de Ecología, Agricultura y Fertilizantes"	15
W. Bowen y R. Jaramillo	"Modelos de dinámica de nutrientes en el suelo y en la planta"	24
J. Gálvez	"Evaluación del estado actual de la vegetación y recuperación de especies silvestres endémicas o amenazadas de la microcuenca Susuco"	34

Documento base presentado por la red MOSAndes para el debate del tema:

MANEJO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN AGROECOSISTEMAS DE LOS ANDES TROPICALES

Antecedentes:

El seminario internacional sobre "Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes", que tuvo lugar en La Paz en 1993, reunió equipos de disciplinas muy diversas de Bolivia y Perú sobre la dinámica de las diferentes funciones del descanso de la tierra (Hervé D., Genin D., Rivière G. (eds.) 1994. Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes. ORSTOM-IBTA, 356 p.). En esta fecha, no se tenía contacto todavía con el ICAE de la Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela), que trabajaba sobre la fertilidad del suelo en los sistemas de cultivo con descanso largo en los páramos (Sarmiento L., Monasterio M., Montilla M., 1993. Ecological bases, sustainability, and current trends in traditional agriculture in the venezuelan high Andes. Mountain Research and Development 13 (2), 167-176). Los dos equipos se unieron en el proyecto europeo Tropandes "Fertility management in the tropical andean mountains: agroecological bases for sustainable fallow agriculture", que finalizó en diciembre 2002, pero siguen juntos, con nuevos socios, en MOSAndes una red andina apoyada por el CYTED (España).

Durante estos diez últimos años, varias tesis han explorado el tema (entre las cuales: Sarmiento L. 1995. Restauration de la fertilité dans un système agricole à jachère longue des hautes Andes du Venezuela. Thèse doctorale en Ecologie, Université de Paris XI, 237 p. Pestalozzi H. 2000. Sectoral fallow systems and management of soil fertility: the rationality of indigenous knowledge in the high Andes of Bolivia. Mountain Research and development, 20 (3): 64-71).

Dentro de la red MOSAndes, hay ahora nuevos socios y también nuevas temáticas de investigación que valdría la pena identificar, coordinar y proyectar hacia un funcionamiento de red más perenne que podría asociar no solamente científicos sino también actores del desarrollo. Por estas razones, se propuso organizar un forum electrónico sobre las actividades de MOSAndes, con el apoyo técnico de InfoAndina y gracias al apoyo financiero del CYTED.

Objetivos:

1. Hacer participar a todos los integrantes de MOSAndes en los temas científicos priorizados al inicio de la red.
2. Presentar a MOSAndes un mayor número de profesionales como la base de una red científica perenne que podría ser una antena del TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility), para los agro-ecosistemas de montañas tropicales.
3. Detectar personas, equipos, laboratorios dentro y fuera del núcleo aprobado en cada país andino como eventuales miembros de MOSAndes, que pudieran aportar conocimientos y experiencias sobre las 4 temáticas priorizadas por MOSAndes, con trabajos ya publicados, artículos científicos por publicar, proyectos en curso o planeados de investigación y extensión. Un producto podría ser canalizar publicaciones potenciales, seleccionadas a partir del foro, en revistas internacionales o números especiales de estas revistas.

Organización:

- A. Vías de intensificación y sostenibilidad de sistemas de cultivo.
- B. Manejo integrado de nutrientes (orgánicos y minerales) en sistemas de cultivo.
- C. Ecotecnologías.
- D. Adaptación y validación de modelos de simulación biofísicos y de ayuda a la decisión en las condiciones andinas.

A- Vías de intensificación y sostenibilidad de los sistemas de cultivo

El análisis se centra sobre los sistemas de cultivo en los cuales la papa encabeza la rotación, desde sistemas bajo lluvia con un largo descanso pastoreado, predominantes en los Andes centrales secos, hasta sistemas con descanso corto o sin descanso y finalmente sistemas muy intensivos, irrigados y con más de una cosecha por año, frecuentes en los Andes del norte húmedos.

CONCIERNE: agrónomos, ecólogos, ministerios de agricultura y agencias de desarrollo, estudiantes.

PUNTOS DE INTERES: Tipología, zonificación y extensión de los sistemas de cultivo con papa, determinantes de las sucesiones de cultivo e incidencia del trabajo del suelo, determinantes y sostenibilidad de las diferentes vías de intensificación.

REDES: CIP, productores de semilla, investigación y extensión en sistemas agropecuarios (IESA-AL), congresos de cultivos andinos.

A1- La vegetación natural está pastoreada extensivamente por ovinos, vacunos o caballares. Gracias a una roturación que permite extraer o incorporar la vegetación presente, el terreno puede ser cultivado periódicamente un máximo de tres años consecutivos. ¿Es preferible cultivar estos espacios o mantenerlos en pastoreo extensivo?

A2- A tres años de cultivo siguen diez años de descanso: ¿En qué condición se puede pasar de 3 a 4 o 5 años de cultivo? ¿Con qué consecuencias se puede reducir el descanso de 10 a 5 años y menos aún? ¿Con qué velocidad y en qué extensión se observa esta reducción? ¿En qué condición se puede sustituir la vegetación del descanso por especies forrajeras como alfalfa, leguminosas nativas o mezclas de gramíneas con leguminosas? En tal caso, ¿este campo forrajero tiende a perennizarse como tal o sigue incorporado en una rotación de cultivos?

A3- ¿En qué condición se puede conseguir más de una cosecha por año? ¿Mediante riego?, ¿Con qué especies de ciclo corto, con qué necesidades de fertilización y riesgos de plagas y enfermedades?

A4- ¿Sistemas de cultivo menos intensivos pueden coexistir con sistemas de cultivo más intensivos? ¿En qué condiciones? Abandono de sistemas de cultivo exigentes en trabajo y aparición de sistemas de cultivo exigentes en capital.

B- Manejo integrado de nutrientes (orgánicos y minerales)

CONCIERNE: especialistas del suelo, en particular microbiólogos, encargados de laboratorios de suelo, agrónomos, especialistas de materia orgánica, proyectos de desarrollo, universidades.

PUNTOS DE INTERES: Secuestración del carbono, efectos precedente y siguiente, reducción del uso de fertilizantes químicos, manejo de defecaciones animales e incorporación de biomasa vegetal, caracterización de los abonos y enmiendas orgánicos, cinéticas de mineralización de las materias orgánicas, balances de C, N, P en rotaciones de cultivo, a escala de la unidad de producción familiar y de microcuenca.

REDES: Sociedad Latinoamericana de Ciencia del Suelo, Unidad de investigación Seq-C (IRD, Montpellier), FAO (ex-Fertisuelos, Bolivia) etc.

B1- ¿Con qué métodos se puede superar la heterogeneidad del suelo y el grado de precisión de los análisis de laboratorio para comparar estados del suelo en el tiempo y detectar efectos cumulados: estudios sincrónicos, diacrónicos, comparación de parejas de parcelas, experimentaciones de larga duración, elementos marcados? ¿Existen experiencias concluyentes al respecto?

B2- ¿Cuáles podrían ser indicadores de degradación de la fertilidad del suelo?

B3- ¿Cómo definir y garantizar la calidad de las enmiendas y de los abonos orgánicos (abonos verdes, defecaciones animales, compost etc.)? ¿Cuáles son las experiencias de valorización de los efluentes sólidos o líquidos de la crianza industrializada de bovinos, porcinos o aves?

B4- Ciclos de C, N, P, a lo largo del descanso y de la sucesión de cultivos.

B5- ¿Cuáles son las interacciones entre los componentes de la fertilidad del suelo: físico, químico, biológico?

B6- Papel de la microbiota del suelo y en particular de las micorrizas y de la biomasa microbiana sobre la disponibilidad de nutrientes.

B7- ¿Qué combinaciones de abonos químicos y orgánicos permiten poner a disposición de los cultivos, a lo largo de la sucesión, los nutrientes en el momento que los requieren?

B8- ¿Qué usos integrados de nutrientes son realmente manejables por los agricultores?

C- Ecotecnologías

CONCIERNE: Microbiólogos, empresas comercializadoras de productos orgánicos.

PUNTOS DE INTERES: Fijación de nitrógeno, barbechos mejorados con leguminosas y abonos verdes, biofertilizantes (micorrizas, cianobacterias), biorremediación (degradación de sustancias contaminantes), biopesticidas, biofumigantes, micorrizas. Mercado de ecotecnologías e interés del sector empresarial en desarrollar estas tecnologías, relaciones entre los especialistas y el mundo empresarial.

REDES: RELAR.

C1- Por su costo de obtención o sus dificultades de empleo, ¿el uso de ecotecnologías se encuentra limitado a unos cultivos con alto valor agregado, como frutas o flores, o se puede pensar en un uso generalizado y masivo?

C2- ¿Cuáles son las posibilidades de fabricación local de biopesticidas?

C3- ¿Qué modalidades de inoculación o de difusión son de menor costo y de uso más adecuado para los productores?

C4- ¿Cómo se pueden extender las capacidades de fijación de nitrógeno a ambientes más fríos, suelos más ácidos o salinos?

C5- ¿Qué enseñanzas se puede sacar de la experiencia de instalación de una planta de producción de biofertilizante micorrílico por la Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela) y el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (La Habana, Cuba)?

D- Adaptación y validación de modelos de simulación biofísicos y de ayuda a la decisión en las condiciones andinas

CONCIERNE: ecofisiología, agronomía, ecología funcional, agroclimatología, universidades.

PUNTOS DE INTERES: Adaptación a contextos de altura, temperaturas bajas, rango muy elevado entre temperatura diurna y nocturna, pedregosidad del suelo, muy bajo contenido inicial de nitrógeno. Modelos de elaboración del rendimiento de los principales cultivos andinos: papa (y tubérculos andinos), cebada (o trigo, avena), quinua, haba, lupinus, alfalfa, tomando en cuenta (1) intercepción de la radiación solar, (2) agua en el suelo, (3) déficit de nitrógeno, (4) déficit de fósforo, (5) déficit de macronutrientes. Modelos de funcionamiento del descanso y de las rotaciones de cultivo (interacciones clima-suelo-planta) que toman en cuenta la provisión por el suelo de: (1) agua, (2) nitrógeno, (3) fósforo. ¿Qué objetivos para la modelización, qué aplicaciones para la extensión, qué faltas de conocimiento, qué mejoramientos en la interactividad y la convivialidad? PLATAFORMAS Y MODELOS: DSSAT, WEPP, CENTURY, modelos manejados en Tropandes: LINTUL, SAHEL, MOMOS, FAPROM. Lenguajes: Fortran, Vensim, C++, Objetos etc.

D1- Funcionamiento de una cobertura vegetal "natural", como la vegetación del descanso.

D2- Funcionamiento de una cobertura forrajera sembrada, alfalfa u otra.

D3- Ciclos de cultivo, tomando en cuenta las sucesiones de cultivo.

D4- Conjunto del agroecosistema, con comunicación entre los sub-modelos.

Reflexiones del moderador sobre el tema 1

Walter Bowen

International Fertilizer Development Center (IFDC)

Ecuador

¿Por qué estamos aquí?

¡Sólo una semana para tratar una variedad compleja de temas relacionados con el tratamiento de la fertilidad del suelo en los agroecosistemas andinos, sin duda esto será un reto! ¿Qué podemos esperar, concientizar posiblemente, en este tema de gran variedad en un período tan corto?

Para mí, nuestro mayor logro no necesita ser más que un intercambio abierto y estimulante de ideas con respecto al manejo sostenible de la fertilidad del suelo en los Andes. La semana será especialmente útil si todos estamos mejor informados sobre QUIEN está trabajando DONDE y en QUE, incluyendo COMO cuando sea posible. Es mi esperanza que muchos de ustedes participen en la discusión, compartiendo con todos sus experiencias así como sus pensamientos en cómo mejorar y aumentar la productividad de los suelos andinos. A manera de introducción y para empezar nuestro diálogo esta semana, ofrezco las siguientes observaciones generales sobre el tratamiento de fertilidad del suelo. Estas observaciones son complementarias a las preguntas planteadas para la discusión en el documento de Mosandes.pdf ofrecido en el sitio web.

Observaciones generales con respecto al tratamiento de fertilidad del suelo

Un suministro fiable de los nutrientes de planta y de la adopción de técnicas para administrar eficazmente estos nutrientes son fundamentales para la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Las fuentes de nutrientes pueden incluir materias orgánicas, por ejemplo, residuos de cosechas, abonos verdes, estiércol animal y desechos agroindustriales, así como los materiales 'inorgánicos' en forma de fertilizantes minerales. Un concepto que promueve el uso de las fuentes orgánicas junto con el uso oportuno, estratégico de los fertilizantes minerales se denomina comúnmente manejo nutricional integrado.

El manejo nutricional integrado representa un enfoque sostenible y ecológicamente sólido para administrar los sistemas de explotación agrícola. Mientras que los fertilizantes minerales facilitan el manejo económico de nutrientes específicos, las fuentes orgánicas mejoran las propiedades físicas y biológicas del suelo así como agregan los nutrientes. Para tener éxito, sin embargo, el manejo nutricional integrado debe basarse en una comprensión cuantitativa de lo siguiente:

- las necesidades de nutrientes de cultivos (nota: a medida que el rendimiento esperado aumenta, también lo hará la demanda nutricional),
- la capacidad de suministro de nutrientes del suelo, y
- la capacidad de suministro de nutrientes de las fuentes agregadas de nutrientes.

Para los agricultores andinos, la lejanía de muchas zonas montañosas y los costos de transportar el fertilizante a estas áreas requieren que todos los nutrientes sean usados lo más eficientemente posible. Esto quiere decir que los agricultores necesitarán acceso no sólo a las

mejores formas y grados del fertilizante disponible, sino también a la información necesaria para administrar eficientemente tanto las fuentes orgánicas como las fuentes minerales de nutrientes.

Quizás una manera de enmarcar nuestras discusiones sea examinar más estrechamente lo que realmente se necesita para proporcionar a los agricultores el conocimiento y las herramientas que requieren para administrar los insumos nutricionales. Por ejemplo, debemos considerar las siguientes preguntas (entre otras esbozadas en el documento Mosandes.pdf):

- Los sistemas agrícolas en los Andes varían desde la subsistencia a los sistemas comerciales con insumos altos. ¿Qué conocemos –y todavía necesitamos comprender– sobre administrar el Foro Electrónico MIP–MSS: Manejo de la fertilidad del suelo en agroecosistemas de los Andes tropicales / MIP vs. MSS y los insumos nutricionales en sistemas tan diferentes? En los sistemas de subsistencia el fertilizante se usa muy poco, mientras quizá haya abuso o uso desequilibrado en los sistemas comerciales.
- ¿Dónde en los Andes usan los agricultores la prueba de suelos para guiar las aplicaciones nutricionales? Si los agricultores están usando tales servicios, ¿cuán confiables son las recomendaciones? (¿cuánta correlación de pruebas de suelo y “calibración” se hizo y cuando se hizo?)
- La agricultura en los Andes, como ocurre en todas partes, tendrá que depender de los insumos nutricionales. ¿Qué debe hacerse para hacer más eficaz el uso de los nutrientes, se trate de fertilizante orgánico o mineral? ¿Qué fuentes nutricionales alternativas pueden ser viables? ¿Qué acerca de los biofertilizantes?
- La degradación del suelo es un asunto serio en las laderas andinas. ¿Si los sistemas de cultivo reducidos se convierten en más ampliamente adoptados, cómo puede modificarse para tales sistemas el manejo de fertilidad del suelo?
- ¿Cómo pueden colaborar más eficazmente los investigadores, los agricultores y otros que trabajan en los Andes?

USO DE HONGOS FORMADORES DE MICORRIZAS ARBUSCULARES, SOLUBIZADORES DE FOSFORO Y CIANOFITAS EN LA RECUPERACION DE SUELOS ALTERADOS DE LA ZONA ANDINA

Pedro O. Ruiz
AndeStudio S.A.
Perú

En la zona andina existen muchas áreas abandonadas e improductivas debido al manejo inadecuado del terreno, en donde los suelos han sido desprovistos de la cobertura vegetal y expuestos a los efectos erosivos de las lluvias. Como consecuencia de esto, el suelo superficial se pierde rápidamente, en especial el que se encuentra en áreas de laderas. El suelo que se pierde contiene precisamente una diversidad de microorganismos benéficos, tales como hongos formadores de micorrizas, bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos solubilizadores de formas complejas de fósforo y otros, además de materia orgánica. Todos estos componentes juegan un rol fundamental en los procesos de disponibilidad de nutrientes para las plantas. Resultados de investigación en ultisoles de la amazonía peruana, muestran el efecto negativo de la pérdida de suelo en áreas de laderas, sobre los hongos micorrícos arbusculares y bacterias fijadoras de nitrógeno y en el crecimiento de plantas.

En el caso de la minería a tajo abierto en la zona andina, el suelo superficial es removido, quedando el área expuesta a procesos de erosión y acidificación continua, perdiendo de esta manera su capacidad de soportar el crecimiento de plantas.

Bajo estas condiciones, se hace imprescindible para los programas de revegetación y/o recuperación de suelos, la introducción de poblaciones microbianas benéficas y de materia orgánica con el fin de acondicionar el suelo para el crecimiento sostenido de especies vegetales.

Se vienen conduciendo ensayos preliminares en áreas de minería a tajo abierto en la Región Huaraz, utilizando un producto formulado bioactivador de suelos que consiste en una mezcla de hongos micorrícos arbusculares, hongos solubilizadores de fósforo, algas clorofitas y cianofitas y un concentrado orgánico de nutrientes. El producto en referencia fue aplicado al suelo juntamente con una mezcla de semillas de especies gramíneas, leguminosas y herbáceas, de procedencia alpina, desarrolladas para revegetación y adaptadas a condiciones de temperatura y altitud, similares a las prevalentes en la zona. El uso de estas especies se debió a la falta de disponibilidad de semillas de especies de altura nativas. Cabe mencionar que esta tecnología se viene utilizando con éxito en diversos programas de revegetación en zonas alpinas.

En el Perú, la investigación en cuanto a microorganismos benéficos del suelo es muy escasa o nula. Como se mencionó, otros países de Europa y los EE.UU. han desarrollado tecnologías en base a microorganismos del suelo con resultados exitosos. En América Latina, investigadores en Colombia, Brasil, Venezuela y Cuba entre otros, han entendido el rol crucial de las poblaciones microbianas del suelo en diferentes proyectos de revegetación, reforestación y/o recuperación de áreas degradadas en ecosistemas diversos. Es tiempo que en el Perú se den los pasos decisivos para desarrollar este tipo de tecnologías, como la producción de inoculantes y su

manejo adecuado, en base a una investigación consistente. Estas tecnologías, además de ser ambientalmente limpias, pueden tener un gran significado para el uso eficiente de los nutrientes del suelo y por ende, en la recuperación de áreas improductivas y/o degradadas y en la producción sostenida de alimentos en la zona andina.

A PROPOSITO DE ECOLOGIA, AGRICULTURA Y FERTILIZANTES

Ricardo Pineda Milicich

Centro de Investigación y Promoción del Campesinado, CIPCA

Piura, Perú

La agricultura debe satisfacer las demandas alimentarias de la población minimizando al mismo tiempo el potencial de producir daños al ambiente. No existe otro camino: o los agricultores conciernen con el ecosistema y lo respetan manteniéndolo y mejorándolo, o lo degradan ateniéndose a las consecuencias. Un grave problema constituye el control de plagas y enfermedades con el uso indiscriminado de pesticidas, particularmente en los países en desarrollo. El control integrado de plagas es una alternativa que busca la eliminación específica de la plaga sin dañar a los demás inquilinos del ecosistema. Sin embargo, la propuesta agroecológica no consiste en destruir plagas, sino en impedir que éstas se presenten.

Dentro de este contexto, es pertinente destacar la teoría de la Trofobiose que indica que las actividades vitales de la planta están relacionadas directamente con la nutrición. En el caso particular de la presencia de plagas, se considera que en el metabolismo de las plantas actúan alrededor de 80 enzimas y cada una de ellas actúa sobre una determinada estructura química. A su vez, cada una de dichas enzimas requiere de un determinado micronutriente como activador. Si todo funciona bien, no se presentan problemas. Sin embargo, si se presentan deficiencias de algún micronutriente (hierro, cobre, boro, etc.), una o varias enzimas no actúan. Si esto sucede, el metabolismo se atasca, es decir, se empiezan a acumular determinados compuestos que se convierten en focos de atracción y propagación de una plaga determinada. En otras palabras, las plagas son sólo consecuencia de desequilibrios nutricionales. El secreto para el control de plagas estaría entonces en mantener dicho equilibrio, es decir en la adecuada fertilización de los cultivos.

La propuesta agroecológica concede un gran ventaja cuando arremete indiscriminadamente contra los agroquímicos, puesto que dentro de éstos también se colocan a los fertilizantes manufacturados, fertilizantes minerales y otros (como los reguladores de crecimiento) que de ninguna manera tienen el mismo grado de peligrosidad que los pesticidas. Estos últimos son venenos que han sido diseñados para matar y que deben ser utilizados con extrema precaución y solamente cuando son estrictamente necesarios.

En cambio, los fertilizantes sintéticos son substancias que han sido diseñadas para nutrir (alimentar con el aporte elementos esenciales) y, por lo tanto, no tienen el estigma de cuna que tienen los pesticidas. Es cierto que los fertilizantes tienen también el potencial de causar daño (mucho menos que los pesticidas) y solamente si se someten a mal manejo (como todo en la vida).

Es necesario hacer una clara diferenciación entre los pesticidas y los demás agroquímicos, especialmente los fertilizantes minerales, que de ninguna manera pueden estar metidos en el mismo saco.

Los fertilizantes minerales

La gran mayoría de los fertilizantes minerales (manufacturados o minados de depósitos naturales) no dejan residuos tóxicos en el suelo o en la planta, como sucede con los pesticidas. Es conocido que los fertilizantes minerales pueden ejercer algún daño a la semilla en germinación, a las raicillas de las plántulas y a la población microbiana, debido a efectos secundarios de acidez, alcalinidad o salinidad. Sin embargo, éstos son efectos localizados y transitorios que no significan peligro si las aplicaciones de fertilizantes son correctas en términos de dosis, localización, fraccionamiento, época y forma. Las aplicaciones exageradas de fertilizantes minerales (y orgánicos), durante algún tiempo, acumulan en el suelo, en forma iónica, la fracción nutritiva no absorbida por la planta (el nitrato por ejemplo). Esta fracción acumulada se convierte en contaminante, porque está **fuerza de lugar** (definición ecológica de contaminante).

El uso de fertilizantes minerales tiene un efecto transitorio en la población microbiana del suelo, como el efecto de otras prácticas de manejo. Por ejemplo, el simple hecho de voltear la tierra (arado, etc.) y dejar expuestos directamente al sol los microorganismos, produce la muerte de éstos en proporciones extraordinarias. Luego estos microorganismos se vuelven a propagar casi con la misma velocidad, al recobrar condiciones adecuadas de humedad, temperatura, pH etc.

Estas son contingencias en la dinámica del suelo. En nuestros países, la propuesta de una agricultura ambientalmente responsable está aún en su fase eruptiva, de consolidación. Por ello es importante aclarar todos los conceptos para garantizarle una pubertad saludable y una madurez tranquila y no generar posiciones contrapuestas e inflexibles, que pudieran no hacerla viable en la práctica. La mayoría de los suelos tropicales son muy pobres en materia orgánica y de baja fertilidad. En estas condiciones, la utilización de materiales orgánicos es indispensable y obligatoria. Sin embargo, en muchas ocasiones se pierde de vista el principal objetivo de la utilización de residuos orgánicos, que es el de enriquecer el suelo con materia orgánica y no la de satisfacer las necesidades de nutrientes de los cultivos. Es ampliamente reconocida la importancia de la contribución de la materia orgánica al mantenimiento de la fertilidad y a la sostenibilidad de la productividad del suelo. La materia orgánica incrementa la habilidad del suelo para retener nutrientes, reduce la compactación, incrementa la capacidad de retención de agua, mejora la capacidad tampon del suelo y no permite cambios rápidos de pH y es una fuente de energía para los microorganismos. El manejo apropiado del suelo, que permita mantener o incrementar los niveles de materia orgánica es un factor crítico para lograr una producción sostenible de alimentos.

Desafortunadamente, es imposible utilizar solamente materiales orgánicos para satisfacer las necesidades nutricionales de los cultivos. Nunca se logaría satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas, ya que no existe la suficiente cantidad de materiales orgánicos para lograr este cometido. Simplemente, es imposible pensar en sustituir los fertilizantes minerales por fertilizantes orgánicos. Teóricamente, se podría dejar de usar fertilizantes minerales cuando se pueda garantizar suficiente abastecimiento de nutrientes para las plantas por otros medios distintos, sin atentar contra la producción. En el caso del nitrógeno se puede recurrir parcialmente a la fijación microbiana del nitrógeno atmosférico por medio de las leguminosas. En el caso de otros nutrientes, aun no existen opciones a la vista.

Particularmente, en el caso de una agricultura intensiva de altos rendimientos, necesaria para satisfacer las demandas alimentarias actuales, como se indicó anteriormente, es obligatorio

utilizar todo el material orgánico posible para enriquecer el suelo con materia orgánica. El poder incrementar, o al menos mantener, el contenido de materia orgánica en el suelo mantiene la fertilidad gracias a las diversas cualidades benéficas que la materia orgánica entrega al suelo. Este conjunto de cualidades permite que se manifieste mejor el efecto del uso de fertilizantes minerales en la nutrición de la planta.

Por lo tanto, no es un pecado contra la agroecología la propuesta de la fertilización organomineral. Al mezclar abonos orgánicos y minerales, se propicia una beneficiosa asociación. Los fertilizantes minerales enriquecen nutritivamente a los orgánicos, y éstos protegen a los primeros de pérdidas por lixiviación, volatilización y fijación, disminuyendo la posibilidad de contaminación.

Lo mineral, lo químico y lo orgánico

Un craso error en agroecología es el creado recelo o temor a lo mineral, a lo químico, a lo sintético. No hay, ni puede haber, antagonismo entre lo mineral y lo orgánico, entre lo químico y lo biológico, entre lo sintético y lo natural. El universo, la tierra, la naturaleza y el hombre, en su constitución física, son fundamentalmente minerales.

Dentro de la enormidad del universo, lo orgánico sólo existe en una fracción pequeñísima de la tierra. Las tres cuartas partes de superficie de la tierra están ocupadas por agua (mineral). De los aproximadamente 14.000 Km. de diámetro que tiene el planeta, sólo algunos centímetros de la corteza terrestre contienen minúsculas cantidades de materia orgánica. En la atmósfera, la cantidad de materia orgánica es insignificante.

En la constitución de cualquier ser vivo (hombre, animal o planta) predomina el constituyente mineral. Si se toma una lombriz o una semilla de maíz y se las somete a alta temperatura se obtiene simplemente agua (mineral) que se evapora, CO₂ (mineral) y compuestos volátiles que se gasifican y residuos de cenizas (minerales).

¿Qué es entonces lo orgánico? Es una forma de organización transitoria de lo mineral, es un acomodo de elementos minerales en una estructura **orgánica**, vigente mientras el ser **orgánico** viva. Cuando el organismo muere, **las cosas vuelven a su lugar**, la materia orgánica se mineraliza, los elementos salen de su posición orgánica y retornan a su mundo mineral, lo cual obedece a la entropía, ley fundamental de la termodinámica.

La teoría de la nutrición de la planta por compuestos orgánicos (humus) pasó a la historia hace 150 años. La dinámica de la nutrición mineral de las plantas no admite discusión alguna. Las plantas toman **sus alimentos** del suelo en estado mineral (iónico).

El nitrógeno y el nitrato

El caso del nitrógeno, el elemento más importante en la constitución de cualquier organismo vivo, es interesante para explicar este proceso. El hábitat natural del nitrógeno es la atmósfera (en estado mineral). El 78% del aire que respiramos es nitrógeno. Sin embargo, las plantas están imposibilitadas de usar ese nitrógeno directamente, y el que ingresa al suelo como constituyente del aire, se pasea por las narices de cada pelo radical, sin que la planta lo pueda incorporar, y vuelve a salir tan campante. Es como cuando una persona hambrienta mira, a través de los gruesos vidrios de un escaparate, una exhibición de los más ricos potajes.

Las leyes de la naturaleza son inviolables, y ellas han establecido que el nitrógeno adopte la forma ión nitrato mineral (NO_3^-), para que pueda ingresar a las plantas a través de las raíces. Después, ya dentro de la planta, se inicia un proceso metabólico que transforma el nitrato en formas proteicas y otros compuestos nitrogenados. Igual como sucede con el nitrógeno, todos los demás elementos esenciales los toma la planta del suelo. Todos deben llegar a estados iónicos minerales para lograr el derecho de admisión dentro de la planta.

La principal fuente nitrogenada natural en los suelos agrícolas son los residuos orgánicos (animales y vegetales) ya que no existen minerales primarios nitrogenados. Dichos residuos orgánicos deben cumplir, obligatoriamente, con el ritual de mineralización hasta llegar a amonio (NH_4^+), forma de nitrógeno mineral producto final de la descomposición de los compuestos nitrogenados de los residuos orgánicos. Luego el amonio pasa a nitrato por medio del proceso de nitrificación para que el nitrógeno pueda ser absorbido por la planta (las posibilidades de ingreso de otras estructuras químicas nitrogenadas son muy restringidas y en proporciones muy pequeñas).

Cuando este nitrato se acumula en cantidades excesivas en el suelo, la planta no tiene la capacidad para admitirlo y tiene que desplazarse a algún otro sitio. En estas condiciones se acumula un gran contingente de nitratos **desocupados** que siguen el camino fácil de la **delincuencia**, se filtran a través del perfil del suelo y van a parar a los niveles freáticos. Si estos nitratos **desocupados** van a parar a un pozo que abastece de agua potable pueden volverla tóxica, si la concentración alcanza niveles superiores a 10 partes por millón. Por esta razón, es tan importante el manejo del nitrógeno, provenga éste de fuentes minerales o de fuentes orgánicas.

Otro de los mitos de la agroecología es que el nitrógeno proveniente de los residuos orgánicos no contamina y, como se ha visto, esto no es verdad. Los procesos de erosión y escorrentía superficial arrancan de su sitio partículas de suelo con nitratos (y otros nutrientes). Luego estas partículas llegan a lagos o ríos, donde alimentan a las algas y promueven un gran incremento de la población microbiana (bacterias). Este incremento en la actividad biológica extrae oxígeno del agua y al perderse el oxígeno disuelto, los peces y otras formas de vida acuática empiezan a morir. Por otra parte, los nitratos pueden también reducirse en el propio suelo al dar marcha atrás en el proceso de nitrificación y generar formas de nitrógeno gaseoso que se liberan a la atmósfera llegando hasta la capa de ozono. Esto se produce cuando se desarrollan condiciones anaeróbicas en un suelo que tiene abundancia de nitratos. De esta forma, estos gases colaboran con la poco laudable acción de los clorofluorocarbonos en la perforación de la capa de ozono.

Estas formas de nitrógeno pueden también combinarse con el agua y formar ácido nítrico para así contribuir a la no menos deseable formación de las lluvias ácidas, que destrozan los bosques y los monumentos históricos, entre otras cosas. Son varias las maldades atribuidas a los nitratos **desocupados**, sin embargo éstos son los mismos nitratos que de haber tenido la oportunidad de ingresar en la planta, habrían pasado a constituir proteínas para nutrir a niños hambrientos de tantas partes del mundo. Entonces, la pregunta es: ¿son realmente malos los nitratos?, ¿son realmente malos los fertilizantes nitrogenados minerales (sintéticos) que son fuente importante de nitratos?

Esos mismos nitratos **descarriados** que pueden llegar a producir los males antes mencionados, proceden en muchos casos de abonos orgánicos y no de abonos minerales sintéticos. La población pecuaria que produce grandes cantidades de estiércol genera abundante cantidad de nitratos. Los residuos de corral se acumulan en ciertos sitios, concentrando de esta forma también nitratos. Por ejemplo, se sabe que hace pocos años la población de porcinos en Holanda era casi igual al número de sus habitantes, algo así como 14 millones de personas. En estos casos, los volúmenes tan enormes de estiércol son la mayor fuente de nitratos y no precisamente los fertilizantes minerales.

La utilización de fertilizantes minerales como fuente de nitrógeno es completamente viable si se hace un buen trabajo con las dosis, fraccionamiento, época de aplicación, etc. De esta forma se logra minimizar el riesgo de producir nitratos **descarriados** y se consigue el objetivo principal de la fertilización que es introducir el nitrógeno en la planta donde realmente debe estar. Como se ve, los fertilizantes minerales no son la causa de todos los males como frecuentemente se señala.

La urea

Es también importante discutir el caso particular de la **temida** urea (carbamina o carboxidiamida). Esta es una molécula orgánica sintética que no forma electrolitos y que se disuelve manteniendo su estructura molecular. Por esta razón, no tiene influencia en la conductividad eléctrica del suelo (no es una sal).

Con la ayuda de la enzima ureasa, presente en todos los sistemas agrícolas, y en presencia de agua, la urea se convierte en el suelo en carbamato de amonio [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{NCOONH}_4$]. Este carbamato de amonio es un compuesto inestable que se descompone en anhídrido carbónico (CO_2), amoníaco (NH_3) y agua (H_2O). Si el suelo está seco, estos tres compuestos van a la atmósfera. Si existe humedad suficiente, el amoníaco se convierte en hidróxido de amonio ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4\text{OH}$), el cual al ionizarse da lugar al ión amonio (NH_4^+) y al hidroxilo (OH^-), que es el responsable del efecto alcalino inicial de la urea.

El ión amonio es el antecesor casi inmediato de nuestro amigo el nitrato (existe una forma iónica intermedia que es el nitrito, NO_2^-). Bajo condiciones adecuadas de aireación, humedad y actividad microbiana, el amonio pasa a nitrato y queda presto a seguir el camino hacia las proteínas, si ingresa a la planta; o puede seguir los torcidos vericuetos ya mencionados anteriormente, si no tiene la fortuna de ingresar en la planta.

¿Qué sucede con los otros componentes de la urea? El anhídrido carbónico se combina con el agua y forma ácido carbónico, que ejerce un pequeño efecto acidificante, por ser un electrolito débil de bajo grado de ionización, que es superado por el efecto alcalinizante de OH^- procedente del hidróxido de amonio, el cual es un electrolito fuerte, de alto grado de disociación iónica. Al dissociarse el ácido carbónico produce también el ión carbonato que puede combinarse con algún catión dominante en el medio (solución o coloide suelo), como por ejemplo el calcio, y formar carbonato de calcio que es un constituyente natural, normal, y de efecto benéfico en el suelo, salvo cuando se presente en cantidades extremadamente altas.

Una vez conocidos los cambios de la urea en el suelo y detallados los productos de su descomposición cabe preguntarse ¿dónde está el poder letal de la urea? ¿dónde están los residuos tóxicos? Por ningún lado, como claramente se ve de la explicación anterior. Es

conocido que la urea se utiliza también como fuente de proteína, en la alimentación de rumiantes. Los microorganismos presentes en la panza de los rumiantes pueden transformar la urea en proteína.

La urea tiene un efecto alcalinizante inicial en el suelo, que es transitorio debido a la formación de hidróxido de amonio, como ya se explicó anteriormente. Luego, al continuar el proceso de nitrificación (oxidación microbiana del amonio, NH_4), el efecto final es acidificante porque el hidrógeno se libera al transformarse el NH_4 en nitrato (NO_3). Este efecto acidificante es de gran importancia en suelos alcalinos porque reduce el pH de dichos suelos, particularmente cuando el poder tampón (amortiguador) es bajo en suelos de textura gruesa y pobres en materia orgánica. La urea contribuye a la acidificación del suelo, de igual manera que lo hacen otras fuentes minerales y orgánicas de nitrógeno, debido a que la nitrificación es un proceso natural que produce acidez.

Salinización

Otro mal atribuido a los fertilizantes minerales es su contribución a los procesos de salinización del suelo. Efectivamente los fertilizantes minerales son en su gran mayoría sales, y por lo tanto, tienen influencia en la salinización. Pero en realidad ¿cuánta influencia tienen? La pregunta es: ¿cuánto fertilizante mineral se aplica a una hectárea de suelo, en una campaña agrícola?

Asumamos que se use una dosis común de 300 Kg. Esta cantidad, en los dos millones de Kg. que pesa en promedio una hectárea de suelo, significa un incremento de salinidad de 0.015%, en el peor de los casos. En comparación, ¿cuánta sal se incorpora mediante el agua de riego? Se considera que el agua de riego es de buena calidad cuando tiene una conductividad eléctrica de 0.5 mmhos/cm (320 ppm de sales). Si se aplica un volumen de riego de 10000 m³, esto quiere decir un aporte de 3200 Kg. de sal por hectárea. En muchos casos, este aporte es en su mayoría cloruro de sodio puro (sal común), predominante en muchas aguas de riego.

Esto representa un incremento de 0.16% en la salinidad del suelo, lo que es 10 veces más que el causado por el fertilizante del ejemplo anterior. Así pues, el verdadero riesgo de salinización en terrenos irrigados está en el mal uso del agua y en la deficiencia de los sistemas de drenaje y no en la aplicación de fertilizantes minerales.

Lo orgánico y lo inorgánico

Retomando al asunto de lo orgánico e inorgánico, se debe dejar en claro que la "teoría del humus" en la nutrición de las plantas pasó a la historia hace mucho tiempo (antes se creía que inclusive el CO_2 lo tomaban las plantas del humus). La importancia del humus, y de la materia orgánica en general, no ha disminuido y por el contrario su presencia es cada vez más valorada y reconocida como fundamental en la dinámica del sistema suelo-agua-planta.

No existe, ni puede existir, antagonismo o confrontación entre lo mineral y lo orgánico. El agua y el aire, constituyentes y medios indispensables de la vida, son minerales. Si al hombre le quitamos lo que tiene de agua y de huesos (minerales), ¿cuánto quedaría de lo "**orgánico**"?

Cuando se condena a la urea porque es un fertilizante "mineral", no se repara en que la urea es estrictamente una carboxidiamida, que tiene exactamente los mismos componentes principales de la proteína: carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno (la química orgánica es la química del carbono).

Cuando se glorifica al humus de lombriz porque es un fertilizante "orgánico", no se repara en que su contenido porcentual mineral (ceniza), en la mayoría de los casos, es superior a su contenido de materia orgánica. Como se ve, todo es relativo y, por lo tanto, lo mineral y lo orgánico no se pueden separar en bandos contrapuestos, entre los que se debería escoger. Lo orgánico y mineral no son más que cuentas de un mismo collar.

Lo químico y lo biológico

Otra confrontación estéril es la que se pretende establecer entre lo "**químico**" y lo "**biológico**"; lo biológico sería lo "bueno" y lo químico lo "malo". Los viejos alquimistas de la Edad Media, empecinados en obtener la piedra filosofal y el elixir de la juventud (riqueza y vigor), mezclaron de todo, obteniendo menjurjes de diversa composición. Muchos de ellos pagaron con su vida tan loable empeño, pero al fin y al cabo, fueron los precursores de una nueva ciencia que habría de revolucionar al mundo: la química. A su vez, los químicos de los siglos XVII, XVIII y XIX fueron los padres de la agronomía. Cómo desconocer los gigantescos aportes de Bacon, Van Helmont, Boyle, Woodward, Wallerius, Boussingault, Von Liebig, y tantos otros, que sentaron las bases científicas de las ciencias agronómicas modernas (Fitofisiología, Edafología, etc.). Los químicos desentrañaron el misterio del átomo. La clasificación periódica de los elementos, hecha por Mendeleyev, es uno de los más grandes logros científicos de la humanidad.

La química explica todos los procesos biológicos. Todas y cada una de las reacciones de los procesos metabólicos, de cualquier ser vivo, son reacciones químicas.... bioquímicas si se quiere, pero químicas en esencia. Hasta aquí por lo menos está lo comprobado, sin entrar a especulaciones de si el pensamiento o los mismos sentimientos sean resultados de reacciones químicas, como ya sostienen algunos.

Cualquier ser vivo, que eche raíces, que se arrastre, que camine en dos u ocho patas, o que vuele, etc., todos, materialmente, no son otra cosa que un reactor químico. La absorción de los nutrientes por las raíces de las plantas, la digestión de los animales, la purificación de la sangre en los pulmones, y para no tener que seguir enumerando ejemplos, la fotosíntesis, el milagro que permite la continuidad de la vida en la tierra, no son otra cosa que puras reacciones químicas. Bio-físicoquímicas si se quiere, pero químicas en esencia.

Entonces, no tiene sentido asociar lo químico con lo malo. La química es la ciencia que estudia la transformación de las sustancias. Como no hay nada que permanezca inestable, como todo se transforma, la química engloba toda esta transformación.

Pero, ¿es la química impoluta? Tampoco se puede asegurar esto. La química, como toda ciencia, es neutra en su calidad ética. Los seres humanos (algunos seres humanos) han usado y pueden seguir usando la química para causar daño. Tal como se ha usado la física, la religión, la libertad, o el propio nombre de Dios. No se debe generar en nuestros jóvenes, en nuestros agricultores, ni en nadie en realidad, un sentimiento de repulsión hacia la química: "es pura química" (frase muy usada cuando el vino es malo, por ejemplo), "no les apliques químicos a tus plantas porque las vas a matar" (refiriéndose a los fertilizantes), etc.

Lo sintético y lo natural

La tercera confrontación estéril es la que se plantea entre lo "**sintético**" y lo "**natural**": lo sintético es malo, mientras que lo natural es bueno.

En agroecología se vienen dando etapas, lo que es inevitable en todo proceso evolutivo. En un inicio jugaron su rol los Torquemadas de la ecología, quienes a manera de Pedro el Ermitaño levantaron el pendón de la Gran Cruzada contra los infieles contaminadores del medio ambiente. Esto fue necesario y saludable, porque había que remecer al mundo y despertarlo de su letargo. Había que frenar al caballo desbocado de la más crasa irracionalidad en el uso de los recursos y de los insumos agrícolas (destrucción de bosques, irrigaciones sin drenaje, aplicaciones masivas de pesticidas, laboreo exagerado del suelo, etc.).

En esa época los planteamientos de la agroecología fueron terminantes, intransigentes, sin concesiones. De entonces data la aversión a lo mineral, lo químico, lo sintético, lo artificial. Por ejemplo, hubo un agroecólogo japonés que consideraba anti-agroecológico que se confinaran los animales en establos, para de allí recolectar el estiércol y luego aplicarlo en el campo. No sabemos si este buen señor estaba solamente contra del estiércol o contra el método de obtenerlo, porque consideraba que confinar a los animales en un espacio cerrado (establo) es algo artificial. Quizás lo que pretendía es que se amaestrase a cada animal para que cada uno de ellos fuera a depositar sus deyecciones al pie de cada planta.

Casos como éstos, que ahora pueden hacernos sonreír, fueron en su momento propuestas agroecológicas, de las que aún quedan rezagos. Por ejemplo, en una reciente reunión de agroecología, un respetable agroecólogo moderno dijo que la lombricultura no le hacía ningún favor a la agroecología, iporque las lombrices deberían estar en el suelo y no confinadas en lechos de crianza!

Al comienzo de esta secuencia evolutiva de la agroecología se planteaba la proscripción total de todos los fertilizantes minerales, sin distinción. No quedaba monigote con cabeza. Luego, cuando las aguas fueron tomando su nivel normal, cuando se empezaron a desnudar muchos fantasmas y se descubrió que éstos no eran tan fieros como se los pintaba, se los fue pasando a través de un tamiz de condescendencias más permeable. Por ejemplo, se demostró que la roca fosfórica, siendo un fertilizante mineral, no tenía un efecto especialmente contaminante en el suelo y por lo tanto podía pasar al bando de los buenos. Entonces, se concluyó que aun cuando la roca fosfórica es mineral, al ser natural estaba a salvo del veto. En cambio los sintéticos (caso de la urea) aún siguen vetados.

Entonces surge la pregunta: ¿qué es sintético? Obviamente es lo que resulta de una acción de síntesis o de sintetizar. ¿Qué es esto último? Lo que ocurre segundo a segundo, en todo orden de cosas en la naturaleza. La síntesis es el camino hacia el orden, hacia lo organizado, hacia lo orgánico. Lo contrario es la desintegración, la destrucción, el caos.

En la síntesis se emplea trabajo, se almacena energía. Como se dijo anteriormente, la fotosíntesis es el milagro más asombroso y extraordinario de la naturaleza. Pero, ¿en qué consiste? No es más que la síntesis de la glucosa a partir de agua, anhídrido carbónico y energía radiante. Luego, a partir de la glucosa, el bebé de la cadena, prosigue la síntesis de los polisacáridos, el almidón, los aminoácidos, las proteínas, hasta las estructuras más complejas que conforman la células y luego los tejidos y luego los órganos de las plantas.

La síntesis es unión. La fecundación de un óvulo por un espermatozoide también es una forma de síntesis, y eso es vida. El hombre ha sintetizado muchos compuestos de gran beneficio para la humanidad, como la penicilina y la insulina. Pero también ha sintetizado los gases asfixiantes

de la guerra. No son entonces ni la síntesis, ni los sintéticos los perjudiciales, sino el hombre, alguna colectividad en particular cuyas acciones pueden ser nocivas.

Por ello es muy importante establecer la diferencia entre el sujeto y el objeto. Los objetos, las herramientas, las tecnologías, los sintéticos, son éticamente neutros. Las acciones, las actitudes, los usos y manejos, son los que pueden ser buenos o malos. Es muy importante que esto sea comprendido bien por los estudiantes y por los agricultores para no crear fobias contra los objetos, conceptos o términos.

Se debe liberar nuestra mente de prejuicios, de dogmas, de ideologías, y estar en condiciones de analizar y juzgar la tecnología con racionalidad y objetividad lógica. Sólo el conocimiento de la naturaleza de las cosas, de los fenómenos, de las causas, y de los efectos, nos permitirá tomar decisiones correctas, tanto en agroecología como todo en la vida.

MODELOS DE DINAMICA DE NUTRIENTES EN EL SUELO Y EN LA PLANTA

Walter Bowen y Raúl Jaramillo

Centro Internacional de la Papa (CIP) e IFDC

Quito, Ecuador

Introducción

Los esfuerzos científicos para cubrir la creciente demanda de alimentos de la población, evitando el continuo deterioro del ambiente, precisan de un método que reconozca lo complejo del mundo real. Esta complejidad surge tanto de consideraciones de naturaleza físico-químico-biológicas, como también de factores socioeconómicos, culturales y políticos. Lo complicado e intrincado de la realidad ha contribuido a confundir, tanto a los responsables de tomar decisiones como a los científicos, lo que ha resultado con frecuencia en una imposibilidad para definir claramente los problemas y buscar soluciones. Se ha logrado éxito al interior de algunas disciplinas específicas en el entendimiento de procesos y conceptos básicos, pero estos conocimientos dispersos no se han integrado y más aún, se ha avanzado muy poco en la generación de herramientas que permitan estimar las consecuencias del uso de tecnologías agrícolas en el medio ambiente o la productividad.

Un método que incrementa la comprensión de los conceptos básicos y que al mismo tiempo organiza este conocimiento dentro de un marco dinámico y cuantitativo, es comúnmente conocido como Análisis de Sistemas o Investigación de Sistemas (Systems Analysis o Systems Research). Una parte de esta metodología, que es consecuencia de los avances tecnológicos de la computación y de la ciencia de la informática, son las herramientas de apoyo para la integración del conocimiento adquirido en el ámbito disciplinario. Estas herramientas incluyen los modelos de simulación del crecimiento de las plantas y de los procesos del suelo, los modelos de sistemas sociales y económicos, los Sistemas de Información Geográfica (GIS), y los sistemas de manejo de base de datos. Cuando todos estos medios, basados en la computación, son usados para auxiliar a los responsables de tomar decisiones, con frecuencia se les denomina Sistemas de Apoyo para la Toma de Decisiones.

Antecedentes sobre simulación de sistemas

Un sistema puede ser definido como un conjunto limitado de objetos y de las interacciones que se presentan entre ellos. Un modelo no es más que la descripción de un sistema, a diario nosotros empleamos modelos conceptuales para nuestra comunicación, por ejemplo, cuando afirmamos que llueve o no, en realidad estamos usando un modelo verbal (conceptual) para definir un estado del sistema "clima" que nos rodea. Un modelo matemático, generalmente con fines científicos o de administración, va más allá. Su objetivo es cuantificar las relaciones e interacciones que se presentan al interior de un sistema. Este tipo de modelos usualmente se presenta como un conjunto de ecuaciones en la forma de un programa de computadora. Los modelos computacionales del sistema suelo-cultivo-atmósfera pueden hacer una contribución valiosa para profundizar en el entendimiento de los procesos que determinan la respuesta de un cultivo y mejorar nuestra habilidad para predecir el desempeño de un cultivo en diferentes áreas, bajo diferentes situaciones de manejo o de clima.

Una simple ilustración de cómo las actividades de experimentación y simulación pueden enlazarse se muestra en la figura 1. En la parte superior de la figura, se observa que nuestro modelo conceptual de un sistema de cultivo, nos provee con hipótesis que pueden ser probadas de modo experimental en el campo. Si se tiene la capacidad de describir nuestro modelo conceptual en términos cuantitativos, se puede entonces producir un modelo matemático que puede ser introducido en un programa de computadora y obtener así un estimado simulado. El modelo puede ser simple y describir solamente un proceso, o puede ser muy grande, compuesto de numerosas ecuaciones que presenten la interacción de varios procesos, tales como la fotosíntesis, fenología, partición del carbón, disponibilidad de agua del suelo, y el crecimiento y desarrollo de la planta en función de los déficits de agua y de nitrógeno.



Figura 1. Esquema del proceso interactivo para el desarrollo y validación de modelos apoyado en la información de experimentos de campo y su utilidad en el manejo de sistemas agrícolas (basado en Keen y Spain, 1992).

Independientemente de la complejidad del modelo, es siempre posible comparar los resultados simulados con los datos medidos, y determinar qué tan correctamente el modelo imita la realidad. Cuando existen discrepancias con los datos medidos y los simulados, se debe determinar el por qué, lo cual puede involucrar experimentación futura y refinamiento subsecuente del modelo conceptual y matemático. Este proceso representa un ciclo clásico de investigación, pensado no solamente en mejorar nuestro entendimiento, sino también en proveer de modelos dinámicos que nos apoyen en la toma de decisiones.

Una vez que se tiene un modelo suficientemente probado, se tiene entonces una herramienta poderosa de análisis, la cual permite evaluar diferentes estrategias de manejo, contestando a la pregunta ¿Qué pasa si....? Por ejemplo, qué cultivares se desempeñan mejor en un sitio determinado, ¿podemos ajustar las fechas de siembra y cosecha, para aprovechar de las condiciones climáticas? ¿cómo podemos optimizar el manejo del riego y la aplicación del nitrógeno desde una perspectiva económica y de sostenibilidad?

Los objetivos primarios de un modelo de ciencia son tres: (i) mejorar nuestro *entendimiento* de un sistema o probar teorías científicas, (ii) *predecir* el resultado de una combinación de situaciones en un sistema o (iii) *controlar* el sistema estudiado y producir resultados anticipados. El proceso inicial de simulación empieza con la selección del acercamiento adecuado de modelaje, lo cual está en función de los objetivos y el tipo de usuario. Los modelos se han clasificado de distintas maneras, las cuales no se profundizan aquí (Addiscott, 1993).

Un aspecto práctico importante es si existe o no la cantidad adecuada de datos para alimentar y evaluar un modelo. Maloszweski y Zuber (1992) mencionan que los modelos con una gran cantidad de parámetros generalmente proveen una mayor resolución de procesos complejos y emparejados, que aquellos modelos con menos cantidad de parámetros. De todos modos, los modelos más complejos no siempre son los mejores en términos de precisión o exactitud debido a la pobre aplicabilidad en un medio con pocos datos disponibles (van der Perk, 1997; Wagener et al., 1998). Además, esta disponibilidad de datos usualmente disminuye al ir a mayores escalas, el proceso de agregación y de obtener promedios puede conducir a serias malinterpretaciones de valores (Stoorvogel et al., 1999).

El papel de los modelos de simulación de cultivos en la investigación

Para entender cómo funcionan los ecosistemas, los científicos necesitan tener acceso a herramientas tales como los modelos de simulación del crecimiento de cultivos. Conceptualmente, una estrategia de investigación basada en el desarrollo, evaluación y uso de los modelos del crecimiento de cultivos permite enfatizar la investigación basada en los procesos y en el estudio de mecanismos, en lugar del método de prueba y error de la experimentación de campo.

Los modelos de simulación son un importante medio para aumentar la eficiencia de la investigación ya que éstos pueden auxiliar a los investigadores en la asimilación del conocimiento adquirido mediante la experimentación y proporcionan un marco de referencia para aportaciones de carácter multidisciplinario; asimismo, promueven el método de sistemas para la solución de problemas y facilitan una organización sistemática del conocimiento existente sobre cultivos y recursos naturales.

El valor de los modelos de simulación para incrementar la eficiencia de la investigación solamente podrá visualizarse si el método de modelación se constituye como una parte integral de la investigación. Se requiere que la investigación y el desarrollo de modelos caminen simultáneamente; mientras que los nuevos conocimientos son utilizados para refinar y mejorar los modelos, los modelos son usados para identificar fisuras en el conocimiento, lo cual a su vez puede contribuir a establecer prioridades en la investigación (Figura 1).

Para tener éxito, el método de modelación requiere que su progreso se evalúe regularmente, asimismo es necesario un continuo refinamiento de objetivos y prioridades. También se necesita de un equipo de investigadores e instituciones comprometidas con el desarrollo de programas (software) y estándares de datos, los cuales faciliten el entendimiento funcional de cómo operan los ecosistemas.

El propósito de este trabajo es describir brevemente un conjunto comprensivo de modelos de simulación y sus demandas en términos de datos de entrada, así como algunos esfuerzos recientes para evaluar y aplicar estos modelos en los Andes.

Un sistema de apoyo para decisiones de transferencia de agrotecnología (DSSAT)

Desde 1983, un grupo internacional de científicos cooperantes han desarrollado modelos de simulación de cultivos enfocados a proporcionar estimaciones realistas del comportamiento de los cultivos bajo diferentes estrategias de manejo y condiciones ambientales. Estos modelos utilizan un juego estándar de datos de acceso (inputs) y producen un juego estándar de datos de salida (outputs); aún cuando ellos describen los procesos de crecimiento de diferentes maneras, todos utilizan los mismos procedimientos para simular los procesos de suelo, agua y nitrógeno (Jones et al., 1994; Bowen et al., 1998; Jones et al., 1998). Estos modelos se han combinado en un paquete, como parte de un programa de enlaces (software shell) conocido como Sistema de Apoyo para Decisiones de Transferencia de Agrotecnología (DSSAT, su sigla en inglés). El DSSAT permite que los usuarios puedan:

1. ingresar, organizar y almacenar datos sobre cultivos, suelos, clima y precios;
2. retraer, analizar y desplegar datos;
3. validar y calibrar modelos de crecimiento de los cultivos;
4. evaluar diferentes estrategias de producción en un lugar dado o dentro de una región; y
5. analizar el riesgo asociado a la variabilidad del clima (Jones et al., 1998).

Actualmente, el DSSAT incluye modelos para simular el crecimiento de 16 cultivos, entre otros fréjol, soja, arroz, trigo, papa, yuca y caña de azúcar (Tabla 1). El DSSAT y los modelos de cultivos han sido evaluados, modificados y mejorados continuamente. La versión más reciente del DSSAT puesta en circulación (Versión 3.5) contiene versiones mejoradas de los modelos, un programa para el manejo de archivos del clima, así como mejores programas de análisis, incluyendo la capacidad para simular y analizar rotaciones de cultivos de largo plazo (Tsuiji et al., 1994; Bowen et al., 1998; Jones et al., 1998).

La aplicación potencial de los modelos del DSSAT, la manera en que los procesos son simulados, así como los requerimientos de acceso de datos para correr los modelos son cubiertos en los programas de entrenamiento conducidos anualmente por los creadores de los modelos (Tsuiji, 1998).

Simulando el crecimiento de los cultivos a niveles crecientes de complejidad con DSSAT

Los modelos del DSSAT son capaces de simular resultados a medida que se incrementa el nivel de complejidad (Figura 2). Los más simples o de primer nivel asumen que el crecimiento está limitado solamente por la cantidad de radiación, temperatura y por el potencial genético; se asume que el agua y los nutrientes no son limitaciones, la simulación a este nivel proporciona una estimación del rendimiento potencial. El segundo nivel asume que el desarrollo del cultivo puede ser limitado por la disponibilidad del agua, pero los nutrientes no son limitaciones. El tercer nivel incluye la disponibilidad de nitrógeno como una posible limitación; mientras que el cuarto nivel incluye la disponibilidad del fósforo, además de las restricciones de los niveles anteriores. Al aumentar el nivel de complejidad en la simulación del crecimiento de un cultivo, la demanda de datos de acceso también aumenta (Figura 2). Los requerimientos de información

son acumulativos, por lo tanto, los datos necesarios a un nivel también lo son al nivel superior. Para todos los niveles de complejidad, los modelos de simulación requieren valores diarios de radiación solar, temperaturas máximas y mínimas del aire y precipitación pluvial. Estas cuatro variables determinan los procesos que son descritos dentro de los modelos.

El nivel de complejidad al que un usuario quiera simular dependerá de los objetivos, así como de la disponibilidad de datos de acceso. Por ejemplo, un modelo puede ser usado para comparar el rendimiento potencial de diferentes cultivares de fréjol basándose en la radiación, temperatura y fotoperíodo en diferentes sitios. En este caso, el usuario asume que el agua y los nutrientes existen en cantidades suficientes; por lo tanto, cualquier diferencia en rendimiento se atribuye solamente a una interacción entre el genotipo y el ambiente. Para simular el rendimiento potencial, los únicos datos de acceso requeridos son las variables de clima, fecha de siembra, población de plantas, espacio entre surcos y un conjunto de parámetros específicos para cada cultivar; no se requiere información del suelo. Sin embargo, cuando se amplía el objetivo, se requerirán datos del perfil del suelo, para incluir en la simulación el efecto de la disponibilidad del agua y de los nutrientes (N y P) sobre el rendimiento, o de otros componentes tales como la fijación de nitrógeno o la absorción del fósforo (Figura 2).

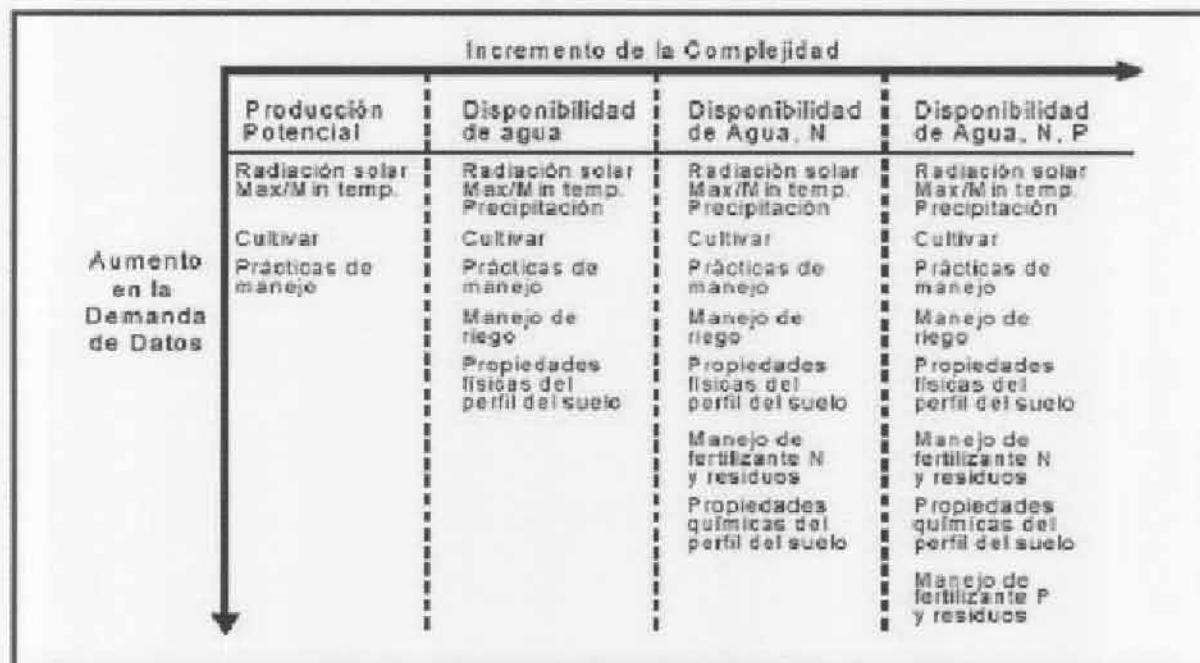


Figura 2. Los datos necesarios para correr los modelos de simulación de cultivos de DSSAT aumentan cuando se incrementa la complejidad de las simulaciones.

Concepto del conjunto de datos mínimos

El nivel de simulación que probablemente interesa más, es el de mayor complejidad, es decir aquel que incluye al agua y al nitrógeno (los modelos de la versión 3.5, no poseen todavía un submodelo para fósforo incorporado; una versión del trabajo se está evaluando). Algunos de los modelos de cultivos de DSSAT, tales como CROPGRO, incluyen opciones para simular fotosíntesis a nivel hoja, la intercepción de la luz por el follaje de los surcos contiguos, la dinámica del nitrógeno del suelo, la absorción del nitrógeno, la fijación de nitrógeno y el daño causado por las plagas (Batchelor et al., 1993; Boote et al., 1998).

El mejoramiento y las pruebas de los distintos submodelos, requieren de experimentos de campo bien conducidos. Los datos pueden provenir de ensayos previos o de experimentos implementados con este fin específico. Se utiliza la información para correr el modelo, así como para probar su validez contra datos de experimentos reales. Consecuentemente surge la pregunta, ¿qué clase de datos se necesita?

Varios esfuerzos anteriores para la elaboración y ensayo de modelos han ayudado a definir un conjunto de datos mínimos sobre suelo, clima, cultivos y manejo que es esencial para la interpretación efectiva de los experimentos de campo (Hunt and Boote, 1998). La definición de estos conjuntos de datos mínimos ayuda a (1) obtener la documentación adecuada de los experimentos de campo y (2) proporcionar datos experimentales para el desarrollo y prueba de los modelos. Lo que sigue a continuación es una breve descripción de los principales componentes de estos conjuntos de datos mínimos.

Tabla 1. Principales modelos de cultivos incluidos en la versión 3.5 del DSSAT.

Modelo de cultivo	Cultivo simulado
CERES-Generic	Maíz, Trigo, Cebada, Mijo, Sorgo
Ceres-Rice	Arroz (de secano y de inundación)
CROPGRO	Soja, Maní, Frijol, Garbanzo, Tomate, Pasto
OILCROP-SUN	Girasol
SUBSTOR-Potato	Papa
CROPSIM-Cassava	Yuca
CANEGR0	Caña de azúcar

VARIABLES DEL CLIMA

Se requiere de una estación meteorológica ubicada cerca de los experimentos de campo con el fin de registrar datos diarios de precipitación pluvial, temperatura máxima, temperatura mínima y radiación solar. Estas variables constituyen el motor de los modelos. La radiación recibida también puede medirse con el número de horas de sol. En la mayor parte de las áreas, una estación meteorológica dentro de una distancia de 500 metros puede proporcionar medidas confiables. A distancias mayores los patrones de lluvia pueden ser significativamente diferentes. Una alternativa para registrar la lluvia, en caso de que la temperatura y la radiación fueran medidas a una distancia mayor de 500 metros, es colocar un pluviómetro en el mismo lugar del experimento.

CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL DEL SUELO

Los modelos simulan los procesos del suelo basándose en propiedades definidas por los diferentes horizontes del suelo, hasta por lo menos la profundidad máxima de enraizamiento. Las propiedades más importantes de cada horizonte incluyen: la profundidad desde la superficie del suelo hasta el límite inferior de cada horizonte, el punto de marchitamiento permanentes (PMP), la capacidad de campo (CC), la densidad aparente, el contenido de carbón y nitrógeno, el pH del suelo y el fósforo aprovechable. Las constantes de humedad PMP y CC son mejor estimadas en el campo; sin embargo, se pueden obtener estimaciones iniciales a partir de la textura, la densidad aparente y el contenido de carbón orgánico.

Coeficientes específicos del cultivar

Los modelos simulan el efecto de la temperatura y del fotoperíodo durante el desarrollo vegetativo, el desarrollo reproductivo y los procesos de crecimiento. Para lograr lo anterior se proporcionan coeficientes específicos del cultivar, los cuales describen la sensibilidad a la temperatura y el fotoperíodo para cada cultivar, y definen los valores de inicio para la germinación, la floración (o iniciación del tubérculo) y la madurez fisiológica.

También se dan otros coeficientes específicos, tales como la tasa de aparición de las hojas, el tamaño promedio de las hojas, el espesor de las hojas, la tasa de aparición de las flores, la tasa de aparición de vainas, la tasa de crecimiento de la semilla individual y la cáscara, así como el número de semillas por vaina (Boote et al., 1998). Estos coeficientes son por lo general calculados de la información de experimentos de campo, en los cuales las condiciones de crecimiento han sido optimizadas. Si éstos son calculados cuidadosamente, los coeficientes de los cultivares podrán ser los mismos para todas las localidades.

Variables de las prácticas de manejo

Enseguida se definen algunas de estas prácticas de manejo:

- Fecha de siembra, profundidad de siembra, población de plantas y distancia entre surcos.
- Fechas de riego, cantidad de agua aplicada y clase de sistema de riego.
- Fecha de aplicación del fertilizante nitrogenado, cantidad aplicada, método de aplicación, profundidad de aplicación y clase de fertilizante nitrogenado.
- Cantidad de residuos del cultivo anterior, contenido de nitrógeno y fósforo de los residuos, profundidad de incorporación y fecha de incorporación.
- Fecha de aplicación del fertilizante fosfórico, cantidad aplicada, método de aplicación, profundidad de aplicación y clase de fertilizante fosfórico.
- Contenido total y soluble de P₂O₅ de la roca fosfórica cuando se usa como fuente de fósforo.

Condiciones iniciales

Los modelos necesitan iniciar la simulación con algunas estimaciones iniciales del agua del suelo, nitratos, amonio y fósforo disponibles. En lo posible, estas variables deben ser medidas a diferentes profundidades al momento de la siembra o con anterioridad a ésta. Por ejemplo, las condiciones iniciales podrán ser determinadas para cada capa de suelo de 10 a 15 cm hasta una profundidad de 120 cm. Si estas variables son medidas, deberán registrarse las fechas en que las muestras de suelo fueron tomadas, así como los intervalos de profundidad correspondientes.

Variables medidas

Los datos anteriores son suficientes para correr el modelo, sin embargo, para probar críticamente la eficiencia de un modelo se requieren datos adicionales. Esta información adicional comprende mediciones hechas durante el curso de los experimentos y pueden incluir variables tales como la acumulación de biomasa, el contenido de agua del suelo o el contenido de nitrógeno de la planta durante varias fechas del ciclo del cultivo. Estas mediciones, así como muchos otros valores medidos pueden ser comparados con los resultados simulados (output) para evaluar la eficiencia del modelo.

Ejemplos del uso de DSSAT en la región andina, el caso del nitrógeno

SUBSTOR (Ritchie et al., 1995), otro de los modelos integrados en la familia DSSAT, se ha empleado en la comparación del desempeño de variedades y en la eficiencia en el uso de nitrógeno en varias localidades andinas.

Al igual que todos los modelos de DSSAT, SUBSTOR incorpora herramientas que nos permiten añadir el efecto del manejo y clima en el balance de nitrógeno. Para comprobar la validez del uso de SUBSTOR en la región andina, se estudió el ajuste de las predicciones del rendimiento simulado y medido en varias localidades en la subregión (Yauri, 1997; Clavijo, 1999). Los resultados, resumidos en la figura 3, muestran que el modelo estimó de una manera realista rendimientos que se ubicaron en el rango de 16 hasta 56 t/ha.

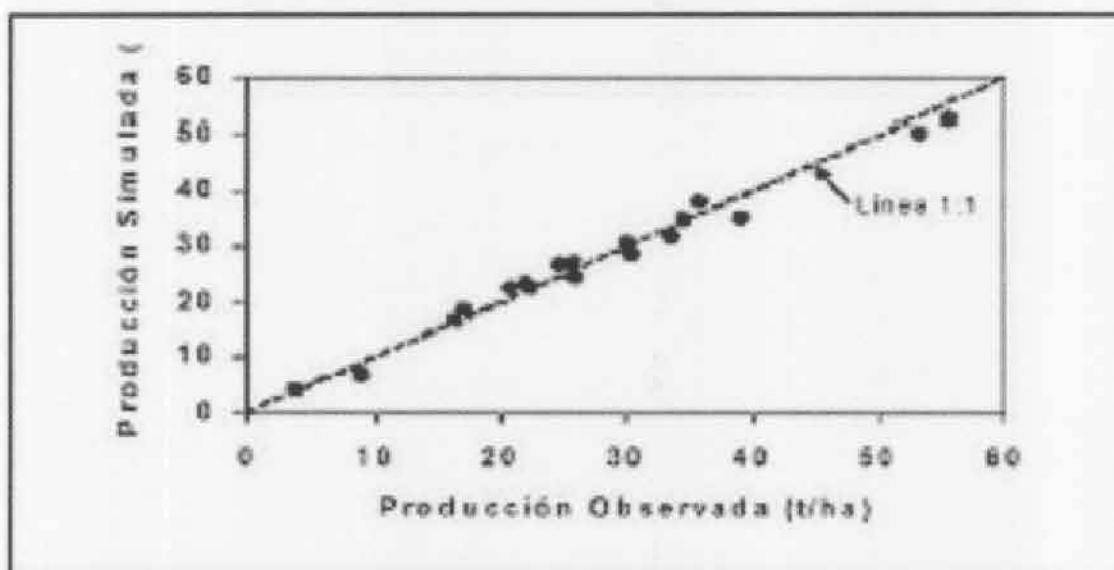


Figura 3. Relación entre la producción simulada con SUBSTOR-Papa y la observada en el peso fresco de tubérculos para distintos sitios en Bolivia, Ecuador, Perú y Venezuela.

Con una herramienta válida es posible estimar los resultados de distintos escenarios, por ejemplo, se ha simulado los efectos de dos fuentes de nitrógeno: abono verde (4.5 T/ha, 2.5% contenido de N) y de 250 Kg. de N aplicados como urea, con el fin de estimar las potencialidad de estas fuentes al interior de un período de 19 años en la localidad de Huancayo, Perú (Bowen et al., 1999). Los resultados sumados de la simulación del rendimiento de tubérculos frescos, se presentan en la figura 4, a manera de un gráfico de probabilidades acumuladas.

Se demuestra que el rendimiento es mucho mayor con la aplicación de la urea, pero así mismo se observa que en un 15% de las temporadas evaluadas, no existió respuesta a la aplicación de urea, debido a la falta de agua.

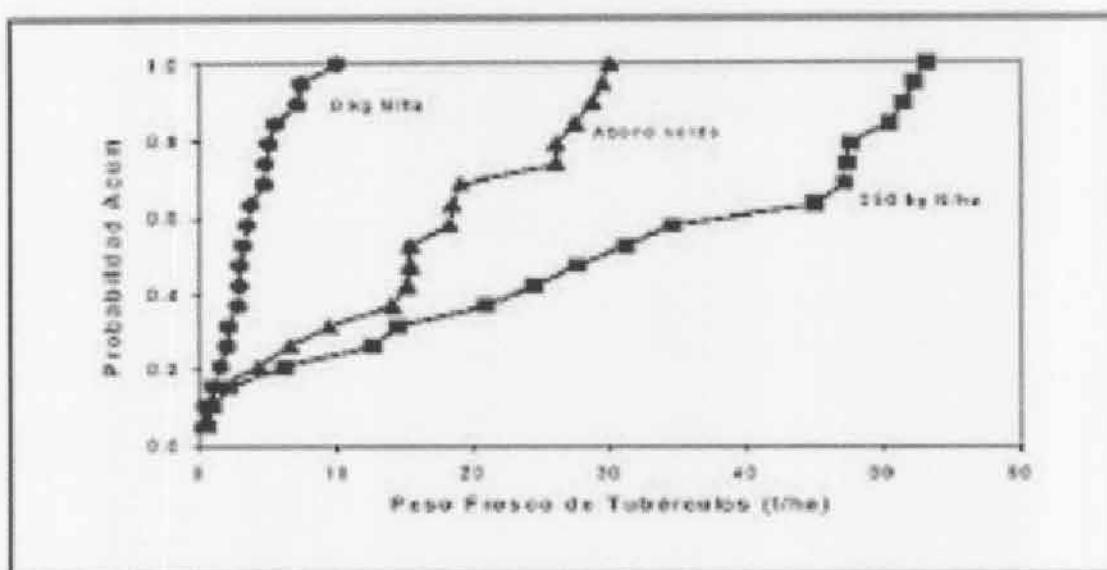


Figura 4. Distribuciones de probabilidad acumulada para el rendimiento en peso fresco de tubérculos de tres fuentes de nitrógeno, resultado de la simulación de 19 temporadas en Huancayo, Perú.

Conclusiones

La agricultura en la región andina se enfrenta constantemente a nuevos retos, debido a cambios en las políticas macroeconómicas, al crecimiento de la población, a los niveles reducidos de producción de las zonas altas y a los límites en la sostenibilidad de los recursos naturales utilizados. Conocer en detalle la dinámica y efectos de los principales factores involucrados en el desarrollo, y elaborar alternativas viables de progreso para las zonas rurales andinas; conservando los recursos naturales mediante su uso racional, son aspectos de especial importancia y deben ser prioridades de actualización profesional.

Para este propósito, la simulación es una de las herramientas de mayor utilidad. Los modelos de simulación debidamente evaluados y validados mejoran la eficiencia en los procesos de investigación, transferencia de tecnología y desarrollo agrícola, permitiendo extrapolar resultados a otras localidades con similares características. Establecidos dentro de un sistema integral de manejo de información, los modelos pueden utilizarse para un análisis efectivo en aspectos relacionados a la producción, la asignación de recursos, el riego, la calidad ambiental y el uso de la tierra.

Referencias

- Addiscott, T. M. 1993. Simulation modelling and soil behavior. *Geoderma* 60: 15-40.
- Batchelor, W. D., J. W. Jones, K. J. Boote and P. H.O 1993. Extending the use of crop models to study pest damage. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering* 36(2): 551-558.
- Boote, K. J., J. W. Jones, G. Hoogenboom and N. B. Pickering 1998. The CROPGRO model for grain legumes. p. 99-128. In G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom, and P.K.Thornton (eds) *Understanding options for agricultural production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Bowen, W.T., P.K. Thornton, and G. Hoogenboom. 1998. The simulation of cropping sequences using DSSAT. p. 317-331. In G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom, and P.K.Thornton (eds)

- Understanding options for agricultural production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Bowen, W., H. Cabrera, V. Barrera, and G. Baigorria. 1999. Simulating the response of potato to applied nitrogen. p. 381-386. CIP Program Report 1997-1998. International Potato Center, Lima, Peru.
- Clavijo, N. 1999. Validación del modelo de simulación del sistema DSSAT en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum L.*) en las condiciones del catón Montufar, provincia del Carchi. 85 p. Riobamba, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
- Hunt, L. A. and K. J. Boote. 1998. Data for model operation, calibration, and evaluation. p. 9-41. In G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom, and P.K.Thornton (eds.) Understanding options for agricultural production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Jones, J. W., L. A. Hunt, G. Hoogenboom, D. C. Godwin, U. Singh, G. Y. Tsuji, N. P. Pickering, P. K. Thornton, W. T. Bowen, K. J. Boote and J. T. Ritchie. 1994. Input and output files. p. In DSSAT v3 Vol 2-1. G. Y. Tsuji, G. Uehara and S. Balas. Honolulu, University of Hawai.
- Jones, J. W., G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, L. A. Hunt, P. K. Thornton, P. W. Wilkens, D. T. Imamura, W. T. Bowen and U. Singh. 1998. Decision support system for agrotechnology transfer:DSSAT v3. p. 157-177. In G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom and P. K. Thornton (eds) Understanding Options for Agricultural Production. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Keen, R.E., and J.D. Spain. 1992. Computer simulation in biology: a BASIC introduction. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Ritchie, J. T., T. S. Griffin and B. S. Johnson. 1995. SUBSTOR: functional model of potato growth, development and yield. p. 401-435. In P. Kabat (ed) Modelling and parameterization of the soil-plantatmosphere system. Wageningen Press, The Netherlands.
- Stoorvogel, J. J., L. Kooistra and J. Bouma. 1999. Spatial and temporal variation in nematocide leaching, management implications for a Costa Rican bana plantation. p. 281-289. In Assessment of non-point source pollution in the vadose zone. Washington, DC, American Geophysical Union. Geophysical Monograph 108.
- Tsuji, G. Y. 1998. Network management and information dissemination for agrotechnology transfer. p. 367-383. In G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom and P. K. Thornton (eds) Understanding Options for Agricultural Production. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Van der Perk, M. 1997. Effect of model structure on the accuracy and uncertainty of result from water quality models. Hydrological Processes 11: 227-239.
- Wagenet, R. J., J. Bouma and J. L. Huston. 1998. Conceptual and methodological aspects of assessing pesticide environmental impact in developing areas. p. 41-64. In C.C. Crissman, J.M. Antle, and S.M. Capalbo (eds) Economic, environmental and health tradeoffs in agriculture: Pesticides and the sustainability of Andean potato production. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Yauri, H. 1997. Validación de un modelo para simular el crecimiento del cultivo de papa. p. 98. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria.

EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA VEGETACION Y RECUPERACION DE ESPECIES SILVESTRES ENDEMICAS O AMENAZADAS DE LA MICROCUENCA SUSUCO

John Gálvez
Fundación Ecológica Alpacamac
Ecuador

El Cantón Sozoranga, al igual que otros cantones fronterizos del sur de Ecuador, por sus condiciones climáticas adversas, su topografía irregular y distanciamiento geográfico, es considerado como uno de los cantones más pobres y vulnerables. Por otra parte es uno de los cantones de la provincia de Loja menos atendidos por el Estado.

El personal técnico de la Fundación "ALPACAMAC", conjuntamente con el Municipio del Cantón Sozoranga y los miembros de las comunidades beneficiarias del proyecto, en vista de que es una necesidad prioritaria proteger la vertiente de la microcuenca Susuco, se ha visto en la obligación de contribuir a dar solución al problema de degradación que enfrenta la microcuenca. Esta microcuenca abastece de agua a la parroquia Sozoranga (beneficiaria indirecta), conformada por 200 familias, y a la comunidad de Susuco, conformada por 70 familias y también, a la producción agropecuaria. En primer lugar, se recabó información con apoyo y participación de las familias comunitarias y los gobiernos locales. Para el levantamiento de la línea de base se usaron metodologías validadas por otros organismos y preparadas para el efecto por el equipo Técnico de la Fundación "ALPACAMAC", como encuestas, sondeo rural rápido, reuniones participativas y entrevistas semiestructuradas. Una vez identificados los principales problemas sociales, ambientales y económicos de la microcuenca, se formuló la propuesta.

El proyecto tiene como eje principal manejar y conservar adecuadamente la vegetación natural protectora de la microcuenca Susuco y recuperar aquellas áreas alteradas, mediante la reforestación con especies nativas de importancia económica; y las amenazadas o endémicas de la zona, con la participación activa y directa de la comunidad. Se ha logrado el apoyo mayoritario de los propietarios del terreno para implementar sistemas agroforestales con especies de uso múltiple como forrajeras, frutales, y forestales nativas de valor ecológico y comercial con el fin de aliviar las presiones o amenazas antrópicas sobre la vegetación protectora de la microcuenca y como una estrategia de conservación y protección de los recursos suelo, agua y vegetación de la microcuenca. Esta práctica permitirá que los propietarios de los terrenos participen activamente en cada una de las actividades descritas en la propuesta y ayuden a conservar y recuperar la vegetación protectora que aún existe. Así mismo se capacitará a todas las familias participantes en recolección de semillas y establecimiento de viveros agroforestales para la producción de plantas forestales, frutales y hortalizas¹. Esto permitirá incentivar el trabajo de los miembros de la comunidad y mejorar su dieta alimenticia familiar.

¹ Las plantas de hortalizas y frutales que se propagarán en los viveros de la comunidad servirán sólo para mejorar y diversificar la dieta alimenticia como una compensación a los trabajos realizados para proteger y recuperar la vegetación protectora de la microcuenca.

Eje temático al que se aplica

Manejo y conservación de especies y ecosistemas amenazados con fines de protección y conservación.

Actividad elegible bajo la que se enmarca

1. Supervisión, vigilancia y manejo de poblaciones amenazadas de extinción.
2. Manejo y recuperación de especies y variedades silvestres endémicas.

Localización (Parroquia, cantón, provincia)

Susuco-Sozoranga, Sozoranga, Loja

Ecorregión (es)/Formación (es) vegetal (es) en las que se intervendrá

Según Sierra et al, 1999 el sector pertenece a la formación natural bosque de neblina montano desde los 1500 hasta los 2000, y bosque semideciduo montano bajo desde los 1200 hasta los 1500 m de altitud.

Resumen del proyecto

El presente proyecto tiene como finalidad conservar y manejar adecuadamente los recursos naturales existentes en la microcuenca Susuco perteneciente al cantón Sozoranga, ya que en la actualidad debido a técnicas inadecuadas de uso y aprovechamiento de los recursos naturales, se puede observar que existe pérdida de la vegetación natural, bajo rendimiento de la productividad agrícola, pérdida de la fertilidad del suelo, presencia de plagas y enfermedades, contaminación ambiental y disminución del caudal de agua. Por tal razón, la presente propuesta toma en cuenta la participación activa y directa de la comunidad en todas y cada una de las actividades planteadas por el proyecto. Para lograr este propósito se utilizarán metodologías fáciles y prácticas para organizar y capacitar a la gente y de esta manera enfrentar los problemas existentes actualmente en la comunidad y contribuir a mejorar sus condiciones de vida.

Descripción del proyecto

Descripción del problema

Los problemas de la microcuenca de Susuco son un inadecuado manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, falta de capacitación a los miembros de la comunidad, pobreza, migración, condiciones climáticas adversas, uso inadecuado de los suelos, malas prácticas de conservación de suelos, que causan graves daños sociales al desarrollo humano y ambiental de la biodiversidad, afectando su microcuenca. Por tanto, la presente propuesta se ejecutará utilizando normas y procedimientos que impidan destrucción del medio ambiente, del suelo, animales y de los productos alimenticios.

Las personas involucradas en el proyecto se hallan conscientes de las ventajas que brinda la microcuenca, cuyo caudal de agua abastece a la población de Sozoranga, comunidad de Susuco, con agua para consumo humano, para los animales y para el riego de cultivos.

Destinatarios indirectos

Se beneficiarán en forma indirecta, aproximadamente 200 familias pertenecientes a la Parroquia Sozoranga básicamente al asegurarse un caudal de agua para el consumo humano puesto que

el caudal de agua originado en la microcuenca Susuco abastece de agua a la población de Sozoranga y otras comunidades adyacentes; también concientizará a los pobladores de ésta comunidad para que aprovechen sólo la cantidad necesaria del líquido vital y no la desperdicien por un mal manejo de las llaves de paso del agua.

Objetivos

1. Determinar el estado de conservación, diversidad y usos de la vegetación de la microcuenca Susuco que contribuya a orientar la intervención de proyectos de conservación y desarrollo en el área.
2. Implementar sistemas agroforestales comunales para la producción de especies silvestres endémicas o amenazadas con fines de recuperación de áreas alteradas de la microcuenca.
3. Concientizar y capacitar a los pobladores locales para que valoren la importancia de conservar especies vegetales silvestres para asegurar la protección de la flora y fauna, suelos y recurso hídrico a largo plazo.

Información sobre medio ambiente natural

- Según Sierra et al, 1999, el sector pertenece a la formación natural **bosque de neblina montano** desde los 1500 hasta los 2000, y **bosque semideciduo montano bajo** desde los 1200 hasta los 1500 m de altitud.
- El sector donde se realiza el estudio es parte del centro de endemismo tumbesino, de gran riqueza florística, la misma que será estudiada para conocer si existen especies amenazadas, de ser así se utilizarán las categorías de amenaza empleadas por la UICN.
- La microcuenca en estudio es de gran importancia debido a que presta servicios ambientales a la comunidad de Susuco y su parroquia abasteciéndola de agua para el consumo de sus pobladores durante todo el año, la misma que se encuentra muy amenazada por la tala excesiva y la conversión de bosques en pastizales. Frente a este problema, el Municipio del Cantón Sozoranga y la Comunidad de Susuco han solicitado a la Fundación Allpacamac el manejo adecuado y en conjunto de esta microcuenca con el fin de asegurar la supervivencia de los recursos agua, suelo, vegetación y fauna y mejorar la calidad de vida de la población local, lo cual contribuirá a disminuir la migración y la pobreza despertando un mayor interés en hacer producir sus tierras.
- De acuerdo al diagnóstico realizado en la zona, existe un uso inadecuado del suelo debido a malas prácticas agrícolas, también se ha destruido, en su mayor parte, la cubierta vegetal dejando sólo relictos de bosque en quebradas, hondonadas, cresta y filos de difícil acceso con pendientes muy fuertes, con la consiguiente disminución de los caudales de agua y una fuerte erosión de suelos debido a la escorrentía de las aguas de lluvia. Todo esto ha disminuido la productividad agrícola y aumentado los niveles de pobreza y baja educación, obligando a los pobladores a migrar a otros lugares dejando sus campos y familias abandonadas, lo cual significa un daño no sólo social sino también ambiental para la zona.

Resultados alcanzados

Resultados para el objetivo 1

1. Documento técnico que contiene:
 - Análisis de la diversidad florística (parámetros ecológicos).

- Análisis del estado de conservación, fragmentación y nivel de presión de los bosques resaltando las zonas de mayor importancia ecológica, por su biodiversidad y singularidad.
 - Integración de información ecológica y socioeconómica.
 - Dos talleres de socialización de resultados.
2. Mapa de cuencas hidrográficas y red hídrica.

Resultados para el objetivo 2

1. Establecimiento de dos viveros comunales agroforestales comunitarios en plena producción de especies endémicas amenazadas y adicionalmente plantas frutales y hortalizas, con participación local de la gente. Para este resultado se tuvo la participación directa de hombres, mujeres y niños lo cual es fundamental para la sostenibilidad del proyecto.
2. Mediante la reforestación de las áreas alteradas de la microcuenca con especies nativas se ha protegido la vertiente de agua.
3. Se ha mejorado la dieta alimenticia de las familias mediante la diversificación de los cultivos de sus huertos.
4. Implementación de sistemas agroforestales en las propiedades de cada una de las familias beneficiarias, con los que se cubren las necesidades básicas (leña, postes, forraje) y se garantiza la protección de la vegetación natural.
5. Mejoramiento de la productividad de los cultivos mediante la aplicación de técnicas de conservación de suelos y sistemas agroforestales.
6. Folletos divulgativos sobre experiencias del establecimiento de viveros agroforestales.
7. Afiche divulgativo indicando especies silvestres de flora o fauna de importancia, endémicas o en peligro de extinción y los trabajos con la comunidad.

Resultados para el objetivo 3

1. Las familias de la comunidad están conscientes de la importancia de conservar los recursos agua, suelo y vegetación y de proteger especies endémicas o amenazadas, lo cual incide positivamente sobre la conservación de la microcuenca Susuco.
2. Los hombres y mujeres de la comunidad obtendrán conocimientos básicos para producir plántulas en viveros y reforestar la microcuenca, garantizando el mantenimiento del caudal de agua, la sobrevivencia de las comunidades y la presencia de flora y fauna a largo plazo.
3. Promotores comunales capacitados, responsables de llevar a la práctica las actividades de conservación y desarrollo de la comunidad una vez que se haya terminado el proyecto.
4. Familias capacitadas en la conservación y manejo adecuado de los recursos naturales y organización comunitaria.
5. Compromisos con ONGs y OGs que intervienen en el área para la coordinación de actividades e intercambio de experiencias.
6. Los profesores colaboran y participan en la capacitación de los niños.
7. La mayor parte de los niños están conscientes de la importancia de conservar los recursos naturales renovables existentes.

Relación del proyecto con la estrategia nacional ecuatoriana del PPD/FMAM, la estrategia nacional de desarrollo sostenible y la estrategia nacional de biodiversidad y otros convenios internacionales de los cuales el país es signatario

Eje temático del proyecto

Manejo y conservación de especies y ecosistemas amenazados con fines de protección y preservación.

El presente proyecto se enmarca directamente en las políticas nacionales y del PPD, por contribuir a conservar y utilizar sustentablemente los recursos naturales de esta zona, ubicada en el centro de endemismo tumbesino, que es una zona de interés mundial para la conservación, y persigue mejorar la calidad de vida de las comunidades campesinas en forma sostenible y equitativa mediante acciones estratégicas que apunten a resolver sus principales problemas como pobreza, migración, baja producción y diversificación agropecuaria, carencia de riego, deforestación, mal uso de suelos, carencia de servicios básicos, bajo desarrollo educativo y falta de asistencia técnica y crédito. (Plan estratégico de desarrollo del Cantón Sozoranga, 2001.)

Para el desarrollo del presente proyecto se tomará en cuenta la participación equitativa de hombres y mujeres, los mismos que tendrán acceso en igual proporción a todos los beneficios de capacitación y producción generados por el proyecto. Esto hará posible que las futuras generaciones mantengan por tradición la conservación de los recursos vegetales y valoren la importancia de la protección de los suelos y la disponibilidad de agua para su sobrevivencia.

Por otro lado, mediante la capacitación y producción de plantas de uso múltiple en vivero comunal se garantizará una mayor y mejor producción y diversificación agrícola, lo cual incentivaría a los campesinos a seguir cultivando sus tierras y disminuir la migración; también asegura –en parte– la alimentación a largo plazo, ya que el principal problema de esta zona es la pobreza, que se manifiesta en los altos niveles de desnutrición, especialmente de los niños (70%) lo cual está ligado a los bajos niveles de alimentación.

Las metodologías para la ejecución del proyecto permitirán que tanto los técnicos como las y los campesinos compartan una relación equitativa y de respeto sobre los conocimientos locales.

El proyecto apoyará mediante incentivos e iniciativas artístico-culturales con enfoque ecológico, el fortalecimiento de sus tradiciones y costumbres y el mejoramiento de su capacidad socio-organizativa y de gestión de sus recursos naturales.

**Comentarios al tema:
MANEJO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN
AGROECOSISTEMAS DE LOS ANDES TROPICALES**

Preguntas a P. Ruiz sobre el uso de hongos formadores de micorrizas arbusculares

Maria Scurrah
Grupo Yanapai
Concepción, Perú

Me gustaría preguntar si el autor está usando microorganismos (micorrizas arbusculares y cianofitas) de suelos de la misma zona de Huaraz y si existen diferencias según la altura en que se encuentren y cómo analiza los suelos para ver qué especies de algas y hongos tiene como indicador de suelos sanos versus suelos degradados.

Respuesta a las preguntas de M. Scurrah

Pedro O. Ruiz
Andestudio S.A.
Perú

Las especies de hongos micorrícticos que estamos usando son *Glomus etunicatum*, *Glomus claroides* y *Glomus intraradices*. Las cepas fueron colectadas en Alemania. De acuerdo con la literatura, estas especies de hongos son cosmopolitas y están asociadas con la mayoría de especies vegetales.

Junto con la micorriza, también se aplican hongos solubilizadores de fósforo del género *Penicillium* cuyas cepas fueron aisladas en Canadá y se encuentran también en muchos suelos del mundo. Los suelos donde realizamos ensayos de revegetación son de minería a tajo abierto. Se trata de subsuelos donde prácticamente no existe el componente biológico.

Las micorrizas constituyen un componente clave para el funcionamiento del ecosistema. Lo que queremos hacer es formar suelo para dar las condiciones necesarias para una colonización natural de especies nativas de plantas. Cabe

indicar que el producto formulado que estamos usando también contiene un concentrado orgánico de nutrientes de lenta liberación, incluyendo fósforo. No hemos hecho comparaciones con cepas nativas.

La pérdida de suelo superficial, especialmente en laderas, afecta en gran forma el contenido de nutrientes, materia orgánica y poblaciones microbianas benéficas (hongos micorrícticos y bacterias fijadoras de nitrógeno). Resultados obtenidos en un ultisol de la zona de Yurimaguas, comparando diferentes sistemas de uso del suelo en una ladera expuesta a erosión pluvial, muestran efectos negativos sobre estos microorganismos (Ruiz, Tesis Ph.D 1994, NCSU).

Los resultados se obtuvieron a través de un bioensayo utilizando una especie indicadora donde se midió la colonización con micorrizas en las raíces y la presencia de nódulos de Rhizobium en suelos bajo diferentes usos. Para la zona de Huaraz no hemos hecho esta prueba.

Estoy de acuerdo que lo mejor sería utilizar material nativo, sin embargo, en el Perú nadie está haciendo o no existe presupuesto y/o facilidades para la investigación en micorrizas para proyectos de recuperación de suelos erosionados y/o revegetación.

Esto implicaría el aislamiento de cepas nativas de hongos y su multiplicación para la producción de inoculantes; la determinación de la capacidad de suelos bajo uso diferente, especialmente los alterados, para colonizar especies de plantas con micorrizas, a través bio-ensayos; y la medición del grado de colonización en las raíces y en el suelo (rizosfera) a través de la observación en laboratorio de las diferentes estructuras del hongo, entre otras. Sería del caso, entonces, buscar apoyo en este sentido.

Comentario a la Inquietud de M. Scurrah

Dr. Javier Franco Ponce

Coordinador MICC y LDP Fundación PROINPA

E-mail: jfranco@proinpa.org

Le puedo comentar que en Bolivia con el apoyo de la comunidad europea se están efectuando estudios de prospección de hongos y bacterias en suelos bajo diferentes sistemas de producción. Los sistemas considerados son la producción de papa con la aplicación de altos insumos (fertilizantes químicos y plaguicidas comerciales) y la tradicional (abonos orgánicos y no uso de plaguicidas). Los microorganismos aislados serán identificados y mantenidos en una colección para su posterior evaluación en parcelas de agricultores.

Este proyecto cuenta con la participación activa de personal de países latinoamericanos (Ecuador, Cuba) y europeos (Bélgica, Francia e Irlanda) y esperamos contar una historia diferente en aproximadamente dos años.

Comentarios sobre el manejo nutricional integrado y su conocimiento y aplicación en el campo

Martin Fischler

ATICA/INTERCOOPERATION

Cochabamba/Bolivia

1. El concepto es muy lógico, debe contribuir a bajar costos de producción, y el uso de fuentes orgánicas tiene un efecto positivo más allá de aumentar tan sólo los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, hay pocas recomendaciones específicas sobre cómo combinar a nivel de campo fuentes orgánicas e inorgánicas de nutrientes.
2. En vez de buscar las mejores combinaciones, hay muchas instituciones que por filosofía/ideología promueven el uso único de fuentes orgánicas que a menudo por sí solas no logran satisfacer el requerimiento nutricional de los cultivos. Esta posición se justifica si se trata de una agricultura orgánica certificada con mercado, pero no para autoconsumo o mercados locales, donde no se reconoce el

producto orgánico con un diferencial de precio.

3. El potencial de los abonos verdes como fuente orgánica en el caso de Bolivia parece sub-exploitada. Además, se promueven tecnologías poco apropiadas, como por ej. haba como abono verde: el agricultor quiere cosechar el grano, y le duele incorporar la haba en estado de floración percibiendo que se pierde una cosecha.

**Comentario sobre el caso de R. Pineda:
Ecología, agricultura y fertilizantes**

Conrado A. Surber

Interandes-Corp, para el Desarrollo Sostenible
Suiza

Los saludo desde Suiza, felicitándolo por el excelente artículo referente a "Agricultura, Ecología y Fertilizantes".

Respecto al tema "suelos" y "absorción de nutrientes", me permito referirme al uso de micorrizas en calidad de ecológicos bioactivadores del suelo, de empleo en suelos disturbados (minería) y suelos degradados/en peligro de erosión.

Desde hace 2 años, venimos introduciendo en el Perú la tecnología de la firma suiza "GeoVerde" (www.geoverde.ch) en el campo de la minería, con resultados muy prometedores. Estamos llanos igualmente a colaborar con entidades internacionales (como el CGIAR) y nacionales dedicadas al agro, a fin de llevar a cabo los necesarios ensayos para validar el beneficio/costo de esta nueva tecnología, principalmente pensando en el plusvalor de productos ecológico-orgánicos en los mercados internacionales.

Pd: ...permítanme un breve comentario histórico. El gran inquisidor Torquemada fue bastante posterior (S. XVI) al primer cruzado Pedro el Ermitaño (S. XIII si mal no recuerdo), por ello el primero no podría haberse referido al segundo.

Comentarios sobre la primera semana del foro dedicada al manejo de la fertilidad del suelo

Javier Franco Ponce
Fundación PROINPA
Cochabamba-Bolivia

Con sorpresa y preocupación he notado una participación limitada en esta primera semana, desconozco las razones, pero de existir, sería importante conocer sus comentarios.

Espero con mucho optimismo su participación en la siguiente semana, en la que debatiremos el tema "Manejo Integrado de Plagas (MIP) vs. Manejo Integrado de Suelos (MSS)" cuyos temas están disponibles en la página web del foro para que puedan leerlas, analizarlas y enviar sus argumentos a favor o en contra de la propuesta que exponen los autores.

No nos defrauden, estas oportunidades hay que utilizarlas, esperamos su participación y ya estaremos intercambiando opiniones, criterios y experiencias.

* * * * *

Comentario a la contribución de J. Franco

Braulio Vitorino
Profesor Investigador de la UNSAAC
Cusco, Perú

Entiendo que la conversión de los insectos en plagas es por el equivocado manejo de los recursos de los agroecosistemas que, precisamente, se originan en los países desarrollados y cuya tecnología ha sido implementada en los países en desarrollo (Revolución Verde).

El mundo no puede cerrar los ojos ante este hecho. Las causas de la degradación de los suelos agrícolas son por la aplicación de estas tecnologías netamente productoras, rompiendo el equilibrio entre los componentes del ecosistema natural con los monocultivos y uso de agroquímicos. Se ha ignorado las estrechas interacciones entre los componentes del agroecosistema.

Se han aplicado tecnologías distintas a medios distintos, desdeñando los conocimientos tradicionales desarrollados durante miles de

años. Se está destruyendo el manejo sostenible de los recursos que aún subsisten en las comunidades al borde de la supervivencia. El uso de los recursos naturales debe ser racional y la ciencia debe apoyar con sus conocimientos e investigación *in situ*.

El MIP, al principio fue rechazado por las grandes compañías de agroquímicos, pero no tardaron en darse cuenta de que con el MIP se puede hacer también buen negocio, ellos saben por dónde soplan los vientos. Es así que actualmente promueven el uso de plaguicidas orgánicos menos dañinos, pero siguen siendo plaguicidas de alto costo que matan a buenos y malos. No cambia nada, el medio ambiente sigue en deterioro.

Entonces, la causa de la degradación de los suelos es por el manejo irracional y por consiguiente aparecen problemas sanitarios. Primero se deben regenerar los suelos y los insectos no serán plagas. La agricultura ecológica y el desarrollo rural sustentable es la alternativa para tal objetivo. La sobreexplotación de los suelos ha provocado la baja en su producción, allí es donde se tiene que actuar. Si se recupera la fertilidad del suelo y se maneja de acuerdo a los principios ecológicos, estaremos intentando hacer, lo que no se hace hasta ahora. Estamos siendo indolentes frente a una realidad impostergable.

* * * * *

Síntesis de la primera semana

Walter Bowen
Moderador temático

Con el apoyo inicial del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), se está formando una red científica para el mejor manejo de los suelos andinos (MOSAndes).

El objetivo general de MOSAndes es desarrollar las bases teóricas y el conocimiento empírico necesarios para entender los mecanismos ecológicos que regulan la fertilidad de los suelos andinos tropicales y como estos mecanismos son modulados por los ejes de variación propios de la región (gradientes climáticos, altitudinales, edáficos, topográficos, de intensidad de manejo, etc.). El objetivo final es contribuir a la

formulación de estrategias de manejo adecuadas para la región andina.

Los objetivos específicos son:

- Sentar las bases para un manejo integrado de nutrientes que permita una modernización más racional de los sistemas agrícolas.
- Analizar los sistemas agrícolas con descansos largos, que constituyen la forma tradicional más común de manejo agrícola en los Andes, dilucidando las causas de la pérdida de la fertilidad durante el periodo de cultivo y los mecanismos de su recuperación durante el descanso, así como las posibles estrategias para optimizar el funcionamiento de estos sistemas en cuanto al uso de nutrientes.
- Analizar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y los requerimientos del cultivo a lo largo de las rotaciones más comúnmente practicadas en la zona, con el fin de proponer estrategias de optimización.
- Analizar el efecto del reemplazo de sistemas naturales por agroecosistemas o de un tipo de agroecosistema por otro sobre el funcionamiento y la estabilidad funcional y estructural de los suelos.
- Validar, mejorar y adaptar algunos modelos de la serie DSSAT a las condiciones andinas, recolectando información a lo largo de una serie de gradientes ambientales.
- Desarrollar y evaluar ecotecnologías tales como el mejoramiento de barbechos por la introducción de leguminosas y otras especies y el uso de biomejoradores (biofertilizantes, biorremediadores, biopesticidas y biofumigantes), que permitan resolver algunos de los problemas de la agricultura andina.

Grupos que trabajan actualmente en MOSAndes

- Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia (Ruth Sivila).
- Fundación PROINPA, Cochabamba, Bolivia (Noel Ortúñoz).
- Proyecto de Suelos y Nutrición Vegetal, CIAT, Cali, Colombia (Edmundo Barrios).

- Departamento de Microbiología, Biología y Química, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia (Amanda Varela).
- Departamento de Biofertilizantes, Instituto de Ecología y Sistemática, Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente (IES-CITMA), Cuba (Ricardo Herrera).
- Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Santiago de Compostela, España (María José Acea).
- CIP/IFDC/ILRI/IRD, Perú y Ecuador (Walter Bowen).
- ICAE (Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas), Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela (Lina Sarmiento).

Entonces, la idea de este foro electrónico era buscar nuevos socios y también nuevas temáticas de investigación que valdría la pena identificar, coordinar y proyectar hacia un funcionamiento de red más perenne que podría asociar no solamente científicos sino también actores del desarrollo. Lamentablemente, hubo poco participación en la discusión durante esta semana. Por ejemplo, a pesar de empezar el lunes con unas reflexiones efectuadas por el moderador, no hubo comentarios sino hasta el miércoles. Y sólo se hicieron cinco comentarios durante el resto de la semana.

Una razón que explicaría la poca participación activa puede ser la falta de una mayor motivación antes del inicio mismo del foro. También, puede ser que un foro necesite más de una semana para realmente lograr una discusión activa. Lo bueno es que más de 220 especialistas de 24 países de América Latina y del resto del mundo fueron inscritos, y ahora todas saben de MOSAndes y sus objetivos.

No parece que haya falta de interés en el manejo sustentable de los suelos en los Andes, el conocimiento de cómo manejar mejor los suelos andinos va siempre en aumento a través de una fuerte colaboración entre agricultores, investigadores y actores de la sociedad civil.

* * * * *

Tema 2

MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS (MIP) VS. MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS (MSS)

Autor	Título	Página
Documento base	" <i>¿Qué es más urgente Manejo Integrado de Plagas (MIP) o Manejo Sostenible de Suelos (MSS)?</i> "	45
S. Sherwood	" <i>El ser humano en lucha contra su propia naturaleza: batallas de conocimientos entre los campesinos y científicos</i> "	66
R. García; Y. Araujo; J. Salas y otros	" <i>Desarrollo de epifitotías de roña de la papa debido a cambio de fertilidad de suelos paperos en el estado Mérida y alternativas de manejo</i> "	74
C. Calle	" <i>MIP vs. MSS o MIP bajo MSS</i> "	78
K. Gallagher	" <i>Trabajo global de la facilidad de MIP en Zimbabwe</i> "	81

Documento base presentado por ASOCAM, para el debate del tema:

¿QUE ES MAS URGENTE, EL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS O EL MANEJO SOSTENIBLE DE SUELOS?

Una reflexión sobre los retos para la producción campesina y las necesidades de apoyo institucional

Adrián Maître¹, Jeffery W. Bentley² y Martín Fischler³

1. Introducción

Este documento se basa en la experiencia de trabajo de los autores en varios países de América Latina⁴ la cual fue desarrollada durante varios años en el contexto del apoyo institucional al campesinado y compartida con colegas de la región misma. Una parte del trabajo se ha desarrollado con proyectos de investigación agrícola aplicada, la mayor parte, sin embargo, en el marco de programas de desarrollo rural y extensión agrícola.

Se trata de reflexionar hacia dónde deberían dirigirse con mayor urgencia los esfuerzos de apoyo institucional para contribuir a la difusión de una agricultura sostenible. Se quisiera invitar a reaccionar, de igual manera, a colegas del nivel técnico y a representantes de los donantes. El documento busca aportar a la discusión estratégica sobre la mejor manera de apoyar institucionalmente la agricultura campesina sostenible en el ámbito tecnológico.⁵

2. La tesis

El manejo sostenible de suelos (MSS) por un lado y el manejo integrado de plagas (MIP)⁶ por el otro lado, constituyen dos pilares importantes de la agricultura sostenible.⁷ Sin embargo,

¹ Antropólogo, Suiza, adrian.maître@deza.admin.ch

² Antropólogo, Bolivia, bentley@albatros.cnb.net

³ Agrónomo, Bolivia, fischler@entelnet.bo

⁴ Bolivia, Colombia, Ecuador, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Perú. La experiencia se ha desarrollado inicialmente en el marco de actividades del CIAT y de la EAP y posteriormente de INTERCOOPERATION y del CABI. Sin embargo, las opiniones aquí expresadas son personales y no reflejan necesariamente la posición de las instituciones mencionadas.

⁵ La presente reflexión sobre qué ámbito requiere con mayor urgencia apoyo institucional –MSS o MIP–, siendo ambos ámbitos importantes, cobra importancia no solamente a la luz de la relación inversión-impacto en el pasado, sino también en vista de las actuales y futuras tendencias de apoyo a la investigación y el desarrollo tecnológico en la agricultura tropical. En términos generales, para los países del trópico y también para el caso particular de América Latina, dicho apoyo ha quedado estancado y no se ha podido reducir la brecha entre los países desarrollados y aquellos en vía de desarrollo (ver Pardey y Beintema 2001 y Beintema y Pardey 2001.)

⁶ Aunque difiere conceptualmente de MIP, no se quiere excluir el manejo de plagas bajo enfoque de la producción orgánica.

⁷ Ver Pretty y Hine 2001.

consideramos más urgente que el sistema formal⁸ apoye las acciones de MIP y que los donantes coloquen más fondos en iniciativas a favor de este tema.

MSS	MIP
Importante, pero no urgente para el apoyo institucional	Importante y urgente para el apoyo institucional

Con esta tesis no pretendemos contribuir a una discusión sobre la importancia relativa de los dos temas (decimos que ambos son importantes). Ni queremos desconocer que se está trabajando en el "manejo integral de cultivos" (MIC) el cual abarca tanto al MSS, como al MIP. Lo que sí queremos expresar es que, **actualmente, la inversión de una unidad de dinero en MIP tiene un mayor potencial de contribuir a un impacto positivo que la colocación de la misma unidad de dinero en MSS.**

3. ¿En qué se basa la tesis?

A continuación, presentamos 7 argumentos. Los primeros 4 enfocan la temática desde el punto de vista del manejo sostenible de suelos, los siguientes 3 parten de un análisis del MIP. La Figura 1 presenta la tesis con sus argumentos de manera gráfica. Luego, en el Anexo, se presentan casos que sustentan los 7 argumentos presentados.

- Justificación de MSS con datos de diagnósticos exagerados:** Los diagnósticos sobre la situación de los suelos pueden haber sido exagerados en muchos casos. Funcionarios de proyectos de conservación de suelo a menudo reportan tasas de erosión sobreestimadas, y frecuentemente asignan la causa de la erosión al supuesto mal manejo por los campesinos. Además, los diagnósticos se basan muchas veces en apreciaciones técnicas y no incluyen el punto de vista campesino.
- Énfasis en prácticas físicas de conservación de suelo con poca innovación institucional y poca adopción campesina:** Por el lado de las medidas promovidas, hubo (y de cierta manera todavía hay) demasiado énfasis en la implementación de prácticas físicas con un enfoque en el control de erosión, con uso (y abuso) de incentivos directos. Hay poca adopción de estas prácticas por los productores ya que apuntaban inicialmente a un objetivo definido por el sistema formal (conservar el suelo), mientras a los campesinos les interesa más prácticas que aportan a la fertilidad del suelo, a la supresión de malezas y que permiten ahorrar mano de obra o reducir gastos monetarios.
- Impacto del uso no adecuado de fertilizantes químicos:** Los pequeños agricultores de América Latina aplican fertilizantes según recomendaciones generales y con base a su propia experiencia empírica, sin basarse en el análisis de suelo y las decisiones de manejo de cultivo (variedad, densidad de siembra, tipo de fertilizante). A menudo, los pequeños productores aplican cantidades de fertilizantes por debajo de las recomendaciones, lo que no tiene consecuencias ambientales graves (como las hubo en ciertos países industrializados por la sobre fertilización).

⁸ Entendemos por sistema formal la investigación y extensión realizada por instituciones internacionales (como el CGIAR) y nacionales, más los proyectos de cooperación bilateral. Típicamente, este sistema es financiado por fondos públicos.

4. **Innovación formal y campesina en MSS:** Mientras no hubo mucha innovación⁹ en el sistema formal, los campesinos sí han venido haciendo aportes al manejo sostenible de suelo. Existe una capacidad innovadora y adaptadora grande, basada en un saber local de suelo. Este saber local se moviliza sobre todo en sistemas de producción rentables, donde luego crece el interés en preservar la productividad de este recurso o para mejorar suelos marginales (aplica con tenencia de tierra segura, no en el caso de arrendatarios).
5. **El diagnóstico en el tema de la fitoprotección sigue siendo alarmante:** En el caso de las prácticas actuales de la fitoprotección, los riesgos son considerables y pueden manifestarse a corto y largo plazo en los siguientes ámbitos: salud humana (en las personas que aplican productos y en consumidores), el medio ambiente, la resistencia genética de las plagas a los plaguicidas y la consiguiente ineficiencia del control.
6. **Necesidad de soluciones MIP frente a la demanda de productores y la solución "única" promovida por el agronegocio:** Las tecnologías iniciales (plaguicidas sintéticos) –por más riesgoso que haya sido su uso en términos de medio ambiente y salud– apuntaron a lo que los campesinos buscaban: reducir la pérdida de cosecha, a un costo aceptable. Todo indica que para el campesino, el costo variable del uso de plaguicidas es relativamente bajo en comparación con el costo de perder lo que la familia campesina ya había invertido en el cultivo (preparación del suelo, semilla, fertilizante, control de malezas). El éxito en la difusión de la tecnología no obedecía solamente a las prácticas agresivas de mercadeo, sino también a la aceptación de la tecnología por los productores. A diferencia del MSS, donde intervino el sistema público de extensión, este tema fue dejado en manos de la industria química. Pero los efectos ambientales y de salud humana que ha generado esta tecnología, deben tomarse en cuenta. Los sistemas de extensión deberían atender con mas fuerza este tema, promoviendo soluciones diferenciadas y sostenibles de manejo y control de plagas.
7. **Innovación formal y campesina en MIP:** El conocimiento campesino en los temas de plagas, enfermedades y fitoprotección es limitado y hay poca innovación. En cambio, en el sistema formal, a partir de la introducción del concepto de MIP, han habido innovaciones relevantes:
 - a. Aportes genéticos a la estrategia MIP (sobre todo en enfermedades fungosas y virales); uso de enemigos naturales (especialmente hongos e insectos); el concepto de umbral de acción; una visión sistémica; métodos de masificación como las "escuelas de campo con agricultores" (ECAs).
 - b. Dichas innovaciones muestran un potencial para el corto y mediano plazo, debido en parte a la presión de la opinión pública de reducir el uso de plaguicidas y el crecimiento de mercados para productos agrícolas orgánicos o libres de plaguicidas.

En resumen, el MSS recibió mucho dinero, hizo relativamente poca innovación, los diagnósticos iniciales del problema han sido a menudo exagerados, pero los campesinos pueden hacer (y han hecho) aportes sustanciales y cuando no observan las recomendaciones técnicas de fertilización, los riesgos son de bajo a mediano. En cambio en MIP, si no hay apoyo y liderazgo institucional, los avances van a ser mínimos, por:

⁹ Nos referimos a innovaciones con una posterior difusión, no a pruebas a nivel de campos experimentales o prácticas restringidas a las fincas de pocos agricultores "líderes".

- la complejidad del tema el cual requiere **conocimientos** específicos
- el alto grado de **riesgos** al no implementarse las recomendaciones técnicas sobre uso de plaguicidas y
- la existencia de un actor (el "**agrobusiness**")¹⁰ que se está ocupando del tema y lo lleva en ciertas direcciones.

Al dar prioridad en los próximos años al MIP, el MSS no quedaría desamparado: existen muchas iniciativas locales, campesinas y se puede fomentar todavía más la transferencia horizontal de experiencias y prácticas campesinas.¹¹

Fig. 1. Presentación de los siete argumentos de manera gráfica



¹⁰ Agronegocio

¹¹ Al parecer, el mercado de los fertilizantes está saturado. Los pequeños productores no representan un segmento de mercado promisorio. Ellos hacen un uso reducido de los fertilizantes químicos y hay alternativas (abonos orgánicos, abonos verdes). Por otro lado, el agronegocio está actualmente investigando variedades genéticamente modificadas para ser resistentes a herbicidas y a plagas insectiles.

Casos y evidencias a favor de la argumentación

Acerca de los diagnósticos de suelo

Justificación de MSS con datos de diagnósticos exagerados: Los diagnósticos sobre la situación de los suelos pueden haber sido exagerados en muchos casos. Funcionarios de proyectos de conservación de suelo a menudo reportan tasas de erosión sobreestimadas, y frecuentemente asignan la causa de la erosión al supuesto mal manejo por los campesinos. Además, los diagnósticos se basan muchas veces en apreciaciones técnicas y no incluyen el punto de vista campesino.

El caso de la zona frijolera de San Gil (Santander, Colombia)

- Diagnóstico inicial:

- En los años 1950s, los especialistas de suelo Irusta y Fortoul (1961) realizaron un amplio estudio de suelo en la hoy zona frijolera de San Gil. Ellos llegaron a la conclusión de que los suelos de esta zona **no eran aptos para el uso agrícola** y recomendaron el uso forestal y solamente en pequeñas manchas un uso agrícola con medidas de conservación de suelo.

- La evolución posterior del uso de suelo:

- 30 años después, los habitantes de la zona establecieron un sistema de producción basado en el cultivo de fríjol, bajo la modalidad de monocultivo, con uso de tractores (arado de vertedera) y la aplicación de **gallinaza** (entre 2 y 3 t/ha, en ambas siembras del año).
- Varios especialistas que visitaron la zona ya en su época frijolera, diagnosticaron que los fenómenos erosivos presentes en la zona (cárcavas, erosión laminar) eran consecuencia del actual **mal manejo del suelo** por los agricultores y pronosticaron la desaparición del cultivo en algunos años, debido a que los productores estaban comprometiendo la sostenibilidad del sistema.
- Mientras tanto, la región experimentaba un **crecimiento económico** sin precedentes, el valor de la producción total de fríjol alcanzaba y superaba los US\$3 millones por año (resultado económico del trabajo de aproximadamente 2,500 familias). La consolidación de dos cooperativas agrícolas estuvo ligado estrechamente a este fenómeno y se ha generado empleo rural en una escala significativa para la región.

- La visión de los campesinos:

- En la experiencia de los campesinos, los suelos donde hoy siembran fríjol, antes no tenían utilidad, ya que en la época de la producción de caña, bajo esquemas semi-feudales, y en la siguiente época de producción de tabaco, bajo esquemas agroindustriales, la caña y el tabaco tuvieron que ser sembrados en las vegas –tierras planas a los lados de los ríos– o en suelos fértiles en las pendientes entre la meseta de suelos infértilles y los ríos Chicamocha, Suárez y Fonce.
- La **innovación campesina** de utilizar la gallinaza en el cultivo de fríjol (que fue impulsada por un comerciante local) permitió valorizar el recurso suelo y cultivar unas 3,000 hectáreas nuevas, nunca antes cultivadas.

- Desde el punto de vista de los campesinos, estaban "arreglando estas tierras"¹² y no degradándolas lo que se reflejaba también en un incremento exponencial del valor de la tierra. La experiencia, sin embargo, motivaba a varios agricultores a desarrollar **modelos locales de un futuro uso de suelo**, procurando mantener la recién ganada productividad del mismo (Maître, 1994). Además, iniciaron **trabajos locales para evitar el arrastre** por lluvia de suelo, semillas y gallinaza, mediante zanjas de desviación (Maître y Martínez, 1994), no para "combatir la erosión", sino para evitar pérdidas económicas a corto plazo.

Tasas de erosión

En cuanto a las estimaciones de tasas de erosión, muchas veces los datos son exagerados debido al uso de metodologías inadecuadas, la dificultad de interpretación y la extrapolación de datos obtenidos en pequeñas parcelas y conclusiones rápidas en favor de la implementación de proyectos de conservación (Scoones *et al.*, 1996; Herweg y Ostrowski, 1997). Un ejemplo es el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y su versión revisada (USLE y RUSLE), diseñada para medir la erosión en zonas templadas la cual, al aplicarla en zonas más lluviosas, arroja tasas de erosión mucho más arriba de lo real (cuadro 1.1).

Cuadro 1.1: Estimación de pérdida de suelo afectada por el tamaño de la minicuenca y la práctica de manejo durante la estación húmeda de 1995, Los Espabeles, Honduras.

Práctica de Manejo	Pérdida de suelo (t/ha)		
	USLE	RUSLE	Real
Mulch	294	34	0,5
Corte y quema	1019	112	92
Barreras vivas y mulch	447	52	0,7
Barbecho descubierto	1898	927	761

Fuente: Modificado de Thurow & Smith (1998)

Acerca del énfasis en prácticas físicas de conservación de suelo

Enfasis en prácticas físicas de conservación de suelo con poca innovación institucional y poca adopción campesina: Por el lado de las medidas promovidas, hubo (y de cierta manera todavía hay) demasiado énfasis en la implementación de prácticas físicas con un enfoque en el control de erosión, con uso (y abuso) de incentivos directos. Hay poca adopción de estas prácticas por los productores ya que apuntaban inicialmente a un objetivo definido por el sistema formal (conservar el suelo), mientras a los campesinos les interesa más las prácticas que aportan a la fertilidad del suelo, a la supresión de malezas y que permiten ahorrar mano de obra o reducir gastos monetarios.

Limitado éxito de programas de conservación de suelo

A pesar de décadas de esfuerzos, pocos programas de conservación de suelos y agua han logrado éxito en prevenir la erosión y degradación de suelos a largo plazo (Shaxson *et al.* 1989; Hudson, 1991). A menudo se reportan cifras impresionantes de conservación de suelos durante

¹² Análisis de suelo tomados en la zona (en parcelas cultivadas con frijol reiteradas veces vs. parcelas aún sin cultivar), han mostrado, entre otros aspectos, un incremento del P disponible de niveles por debajo de 5 ppm a niveles encima de 30.