José Ramiro Benites Jump / Alexandra Bot

Agricultura de Conservación

Una práctica innovadora con beneficios económicos y medioambientales

Agrobanco, sponsor of official **RTCC** (Responding to Climate Change) publication at:

LIMA COP20 | CMP10
CONFERENCIA DE NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO 2014

Agrosaber línea editorial de Agrobanco

JOSÉ RAMIRO BENITES JUMP
Lima, Perú, 2013

1ª ed., 1ª impresión, noviembre 2014.
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú Nº 2014-17276.
Editado por: Banco Agropecuario. Av. República de Panamá Nº 3629, San Isidro.
Impreso en: Lettera Gráfica S.A.C. Jr. Emilio Althaus Nº 460, Lince.
Noviembre 2014.

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y difusión del material contenido en este producto informativo para fines educativos u otros fines no comerciales, sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor, siempre que se especifique claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción del material contenido en este producto informativo para reventa u otros fines comerciales, sin previa autorización escrita de los titulares de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización deberán dirigirse a José Ramiro Benites Jump, Lima, Perú, o por correo electrónico a jbenitesjump@gmail.com

© JBENITES2013

AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

una práctica innovadora con beneficios económicos y medioambientales

José Ramiro Benites Jump / Alexandra Bot

Agrosaber línea editorial de Agrobanco

A mi esposa, Sara Luz Morales Lavanda por su amor y apoyo. A mi Alma Mater, la Universidad Agraria "La Molina", por convertir mi vocación en la profesión que amo. A los agricultores practicantes de Agricultura de Conservación, en especial, Manoel Henrique "Nono" Pereira y Herbert Bartz, por sus enseñanzas.

ACERCA DE LOS AUTORES

José Ramiro Benites Jump, Ingeniero Agrónomo, Ph.D., tiene más de cuarenta años de experiencia profesional en programas de desarrollo agrícola a nivel mundial, y en la elaboración y ejecución de proyectos de planificación de uso sostenible de recursos naturales a nivel de cuencas y micro-cuencas en zonas áridas, semiáridas y bosques húmedos tropicales. Experiencia en agricultura de secano y de riego en una amplia gama de cultivos: cereales, tubérculos, frutales, hortalizas, algodón y caña de azúcar. Iniciador y promotor del programa mundial "Agricultura de Conservación", que consiste en proteger el suelo con cobertura, labranza cero y rotación de cultivos. Ha trabajado en la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) como Oficial Técnico en la División de Tierras y Aguas y ha sido Representante de FAO en Argentina y El Salvador. Ha participado en trabajos de asesoramiento con el Programa Mundial de Alimentos y organizaciones financieras como el Banco Mundial. Ha sido Director Ejecutivo del Proyecto de Investigación y Extensión Agrícola (PIEA-INCAGRO) en Perú, financiado por el Banco Mundial. El logro principal fue la promoción de la innovación a nivel regional y la difusión del modelo INCAGRO de ciencia, tecnología e innovación, descentralizada, plural y orientada por la demanda y liderazgo a través del sector privado. Ha sido el Líder del Programa de Suelos Tropicales (TROPSOIL) en Yurimaguas, Loreto, Perú, con responsabilidad de conducir y ejecutar proyectos de investigación de campo para el desarrollo de sistemas de agricultura sostenible en los trópicos húmedos. Profesor visitante de la Universidad Estatal de Carolina del Norte. Se ha desempeñado como docente en la Universidad Nacional Agraria de la Molina, dictando los cursos de Agrotecnia y Sistemas de Producción Agrícola, y como Investigador del Proyecto Agronómico del Programa de Maíz.

Alexandra Bot, agrónoma con más de quince años de experiencia en proyectos de desarrollo rural. Trabajó para agencias bilaterales y multilaterales de cooperación en África, Asia y América Latina. Su experiencia incluye, conservación de suelos y agua, investigación y extensión basada en la comunidad, planificación participativa del uso y manejo de tierras y desarrollo de programas de formación de instructores. Actualmente es consultora independiente.

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola en el Perú está influida fuertemente, por conceptos y principios de agricultura, desarrollados en los climas templados Europeos. Los avances en máquinas y equipos desarrollados en Europa, fueron introducidos en nuestro país con clima tropical, sin haber pasado primeramente, pruebas y validaciones críticas. Nosotros sabemos ahora que la labranza no es la práctica de manejo más idónea para ser usada bajo las condiciones tropicales de nuestro país.

Tradicionalmente, las formas de labranza son parte importante de la producción agrícola. El principal motivo para la preparación del suelo, es facilitar la siembra y acelerar el crecimiento de los retoños o plántulas. Además de esto, la preparación de la tierra es considerada necesaria para obtener un cultivo uniforme, sin interferencias de las malezas. Aún en una gran cantidad de lugares en el mundo, el tener un suelo descubierto es considerado agradable a la vista, y un agricultor con campos bien arados, es considerado un buen agricultor.

El paso de la maquinaria, y el continuo uso de los arados y gradas a la misma profundidad y durante periodos de alto contenido de humedad, crea capas compactas subyacentes conocidas como piso de arado o piso de grada. Estas tienen efectos dañinos sobre el desarrollo del sistema de raíces de las plantas, la disponibilidad de oxigeno y el movimiento del agua en el suelo. Las consecuencias son desastrosas. La velocidad de infiltración del agua es reducida drásticamente con un crecimiento simultáneo en la escorrentía superficial, pérdida de suelo, nutriente, materia orgánica, calcio y semillas. La actividad de la biota del suelo es, además, afectada negativamente.

En las últimas décadas, los agricultores han estado expresando su preocupación acerca de la erosión del suelo, la fuerza de trabajo, los costos de los insumos causados por la aradura profunda o pesada. Algunos agricultores han tratado de reducir la intensidad de la preparación de tierra, pero con frecuencia han terminado enfrentando problemas tales como, la baja germinación, la baja productividad y la alta infestación de malezas. Los desarrollos de las investigaciones han resultado en la adaptación de máquinas sembradoras, la rotación con cultivos de cobertura y los herbicidas perfeccionados. Esto ha permitido a los agricultores reducir

e, inclusive, eliminar las actividades de preparación de tierra y, al mismo tiempo, mantener o mejorar los niveles de rendimiento de los campos.

Hasta el momento, existe una opción alternativa para la labranza del suelo, que es la agricultura de conservación, la cual rompe con las anteriores creencias. La agricultura de conservación mantiene las tierras agrícolas del mundo en una forma sostenible. Para poder ser capaz de transferir y llevar a efecto esta tecnología, es necesario comprender todos sus diferentes aspectos técnicos.

La agricultura de conservación (AC) es una forma importante de manejo sostenible de tierras, a condición de que los tres principios básicos – perturbación mínima del suelo (sin labranza), cobertura permanente del suelo y, una rotación de cultivos diversos o intercalados - siempre se respeten.

Se puede practicar en una amplia gama de sitios, en diferentes condiciones socio- económicas y en operaciones agrícolas de diferentes tamaños. La agricultura de conservación tiene ventajas particulares en la lucha contra la erosión y mejora la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. Por lo tanto, es un medio de adaptación al cambio climático, en particular a la evolución de los patrones de lluvia.

Después de una fase de transición, el potencial de rendimiento de la agricultura de conservación es tan alto, sino superior, al de la agricultura convencional de labranza. Puesto que no se necesita la labranza del suelo, se produce un ahorro de energía y de capital. Los costos de producción bajan como resultado de estos ahorros, y la emisión de gases de efecto invernadero se reduce. Por otro lado, al menos durante la fase de transición, puede incurrir en mayores costos de mano de obra para el control de malas hierbas y en el uso de los equipos de siembra directa. Esto hace que la transición sea especialmente difícil para los pequeños agricultores, que a menudo no tienen acceso a fondos para insumos como herbicidas o maquinaria agrícola. Los pequeños agricultores a menudo también carecen de conocimientos especializados; el control de malezas plantea un desafío especial para ellos. Además, con frecuencia utilizan sus residuos de cosecha o rastrojos como alimento para el ganado, lo que hace que sea más difícil mantener la cubierta permanente del suelo. El principio de mantener una rotación de cultivos diversa, también puede ser difícil para los agricultores, si, por ejemplo, no existe un mercado para algunos cultivos anuales.

Se estima que la AC actualmente se practica en alrededor de 125 millones de hectáreas en todo el mundo. El crecimiento de la AC ha sido el más rápido en América Latina, especialmente en Brasil, Argentina y Paraguay, donde la AC representa en la actualidad, casi dos tercios de las tierras de cultivo. Otros países en los que la AC es importante, son los EE.UU., Canadá y Australia.

Se tienen evidencias de investigación que las prácticas de la AC aumentan el contenido de carbono en los suelos, por lo que los agricultores que la practican podrían ser compensados por mitigar el cambio climático. Sin embargo, todavía hace falta una mayor investigación. También se necesita más investigación sobre la adaptación de la AC a las condiciones políticas, económicas y sociales a nivel local, y también a las condiciones ambientales locales. La cuestión de las estrategias compatibles con el medio ambiente, podrían ser empleados para el control de malezas, plagas y enfermedades con mayor eficacia.

En conclusión, la AC representa un reto y una oportunidad para la agricultura peruana. Promover la adopción y la práctica de la AC, puede constituirse en uno de los pilares más importantes de la modernización y de la competitividad de la agricultura del país. El Estado –incluyendo los gobiernos regionales y municipales– tiene un rol muy importante en la gestación e implementación de políticas, estrategias e instrumentos, que garanticen el fortalecimiento de las múltiples y plurales iniciativas de innovación, que puedan provenir desde los productores organizados, las empresas, el sistema educativo y las instituciones públicas y privadas que manifiesten interés por la AC.

Este libro sistematiza los conceptos, principios y resultados alcanzados como resultado de la investigación y testimonios de agricultores, en diferentes proyectos y programas en varios países, con el fin de introducir con éxito la AC en el Perú. Dado que las ventajas medioambientales y económicas de la conversión a la AC sólo se hacen evidentes en el mediano plazo, el libro pretende, también, sensibilizar el cambio de actitud de los agricultores, los tomadores de decisiones, científicos, etc. hacia la AC. El desarrollo de políticas, la formación y el acceso a mecanismos adecuados de promoción y extensión son otras importantes condiciones previas.

PRESENTACIÓN

El libro representa un aporte novedoso para el contexto peruano al exponer los alcances de la agricultura de conservación (AC). La agricultura de conservación comienza con la cosecha, y tiene como principios: proteger el suelo con cobertura, no remover el suelo con labranza y practicar la rotación de cultivos. Los agricultores tienen que conservar los rastrojos en el campo sin incorporarlos y distribuirlos uniformemente por toda la superficie.

Este tipo de agricultura se puede practicar en una amplia gama de sitios, en diferentes condiciones socio- económicas y en diferentes tamaños de operaciones agrícolas. Así tenemos que se estima que AC se practica en alrededor de 125 millones de hectáreas en el mundo, siendo además América Latina la región donde se ha observado la más rápida expansión.

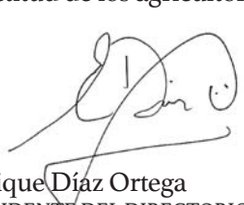
Los potenciales beneficios de la AC son diversos. En primer término, ésta contribuye, a largo plazo, a la conservación del suelo y el agua, mejora la fertilidad del suelo y brinda sostenibilidad ambiental al sistema agrícola y al mismo tiempo aumenta la productividad. La práctica de la AC también disminuye el uso de energía proveniente de combustibles fósiles, de recursos externos como pesticidas y fertilizantes, mejorando de esta manera el aprovechamiento de los recursos disponibles en la finca, la utilización de la mano de obra familiar y una mejora notable de la rentabilidad de la producción de cultivos.

Una variedad de ejemplos ilustran los beneficios medioambientales de la Agricultura de Conservación, su contribución a la mitigación del cambio climático y a la reducción de la erosión. Algunas investigaciones explican cómo la adopción de técnicas de AC reduce las emisiones de CO_2 a la atmósfera, fruto del ahorro energético y del uso eficiente de insumos que se da como consecuencia de las sinergias producidas por la implantación de dichas prácticas de manera conjunta.

Promover la adopción y la práctica de la AC, puede constituirse en uno de los pilares más importantes de la competitividad de la agricultura del país. El Estado –incluyendo los gobiernos regionales y municipales – tiene un rol muy importante en la gestación e implementación de políticas, estrategias e instrumentos, que garantizan el fortalecimiento de las múltiples y plurales iniciativas de innovación, que puedan provenir desde los productores organizados, las empresas proveedoras de servicios para el agro, el sistema educativo y las instituciones públicas y privadas que manifiesten interés de efectuar inversiones por la AC.

De esta forma, la AC representa un reto y una oportunidad para la agricultura peruana. Los agricultores enfrentarían un formidable desafío que es el de cambiar las prácticas agrícolas actuales por las de la agricultura conservacionista y esto significa problemas nuevos – y a largo plazo – que deben ser solucionados. Para alcanzar ese estadío, se requiere administrar apropiadamente la transición, a través de cambios en herramientas y equipos, junto con la nueva dinámica del suelo, las malezas, los cultivos de cobertura y el agua; lo que a su vez demanda de cierto capital de inversión y créditos preferenciales.

Es por las razones expuestas que me complace presentar este libro que sistematiza los conceptos, principios y resultados alcanzados por resultados de investigación, y testimonios de agricultores, en diferentes proyectos y programas en varios países, con el propósito de incorporar eficazmente la AC en el Perú. Dado que las ventajas medioambientales y económicas de la conversión a la AC sólo se plasmarían en el mediano plazo, el libro pretende, sensibilizar el cambio de actitud de los agricultores, los tomadores de decisiones, científicos, etc. hacia la AC.



Enrique Díaz Ortega
PRESIDENTE DEL DIRECTORIO
BANCO AGROPECUARIO

PRESENTATION

The book represents an innovative contribution to the Peruvian context as it presents the scope of Conservation Agrigulture (CA). Conservation agriculture begins with the harvest, and its principles are: to protect the soil with cover, not to remove the soil through tillage and practice the rotation of crops. Farmers have to keep the crop residues in the field without incorporating them and distribute them all over the surface evenly.

This type of agriculture can be practiced in a wide range of places, under different socioeconomic conditions and in different sizes of agricultural operations. Thus, it is estimated that CA is practiced in around 125 million hectares worldwide, and Latin America has been the fastest growing region.

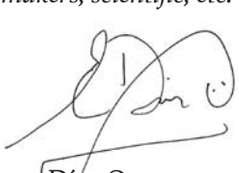
CA has many potential benefits. First of all, it contributes, in the long term, to the conservation of soil and water, improves soil fertility and provides environmental sustainability to the agricultural system and at the same time increases productivity. The practice of CA also reduces the use of energy from fossil fuels, external resources such as pesticides and fertilizers, thus improving the use of the resources available at the property and family labor, and there is a significant increase of profitability of crop production.

A variety of examples illustrate the environmental benefits of Conservation Agriculture, its contribution to climate change mitigation and erosion reduction. Some research results explain how adopting CA techniques reduces atmospheric CO2 emissions, as a result of energy saving and the efficient use of inputs which results from the synergies developed by the implementation of such practices on a jointly basis.

Promoting the adoption and practice of CA may be one of the most important pillars of competitiveness of agriculture in Peru. The State –including regional and municipal governments– has a very significant role in the development and implementation of policies, strategies and instruments that ensure the strengthening of the multiple and plural innovation initiatives, which may come from organized producers, agricultural service providers, the educational system and public and private institutions that express their interest in investing for CA.

CA represents a challenge and an opportunity for Peruvian agriculture. Farmers would face a formidable challenge, which is changing the current agricultural practices for those of conservation agriculture, and this implies new problems that must be solved in the long term. To reach this stage, the transition must be properly administered through changes in tools and equipment, together with the new dynamics of soil, weed, cover crops and water; this requires, in turn, certain investment capital and preferential loans.

For the aforementioned reasons, I am pleased to present this book which systematizes the concepts, principles and results reached as per research results and farmers' testimonials, in various projects and programs in several countries, in order to effectively implement CA in Peru. Given that the environmental and economic advantages of converting into CA would only manifest themselves in the medium term, this book intends to raise awareness about the change of attitude of farmers, decision-makers, scientific, etc. towards CA.



Enrique Díaz Ortega
PRESIDENTE DEL DIRECTORIO
BANCO AGROPECUARIO

PRÓLOGO

El objetivo de este libro, es poner en evidencia cómo la agricultura de conservación (AC) puede incrementar la producción de los cultivos y, al mismo tiempo, reducir la erosión, invertir el proceso de declinación de la fertilidad de los suelos, mejorar el nivel de vida de la población rural y restaurar el ambiente en los países en desarrollo.

La AC se puede definir como un concepto avanzado para una producción agrícola que conserva los recursos naturales mientras que, al mismo tiempo, garantiza una alta productividad y buena rentabilidad económica. La AC se basa en el fortalecimiento de procesos biológicos naturales, encima y debajo de la superficie del suelo, mediante la aplicación de tres principios: una perturbación mínima del suelo o labranza cero, cobertura permanente del suelo y rotación de cultivos. La AC ofrece muchas ventajas para toda clase de tamaño de fincas; sin embargo, sus beneficios son mayores en las fincas de pequeños productores, sobre todo de aquellos que sufren de escasez aguda de mano de obra. La AC combina productividad y protección del ambiente, y funciona en un amplio rango de zonas agro-ecológicas y sistemas de producción. En Brasil a la AC se le conoce como Plantio Direto. En Argentina, Paraguay y Chile se la llama Siembra Directa. La FAO, España, México, Colombia, Venezuela y otros países de Iberoamérica, la llaman Agricultura de Conservación. En Estados Unidos, Canadá, Australia y otros países de habla inglesa la llaman Zero-Tillage, Conservation Tillage, Conservation Agriculture. En algunos países de África la llaman Conservation Farming y en Francia y algunos países de habla francesa, la llaman Semis Direct.

Entre los años 1987 al 2008, cuando el autor trabajaba como Oficial Técnico, del Servicio de Manejo de Tierras y de Nutrición de las Plantas, AGLL, Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, Roma, Italia (Sede FAO), tuvo a su cargo la ejecución de un Programa de Agricultura de Conservación a nivel mundial, con la colaboración de Theodor Friedrich, Thomas Backman, Joseph Kienzle y Manuel Sánchez, además de varios consultores y colegas. El programa apoyó numerosos proyectos de campo a nivel mundial, y produjo numerosas publicaciones sobre la AC en forma de libros, resúmenes de eventos, boletines, manuales, CD-ROM, videos, cartillas y otros.

Este libro es una reorganización y actualización de las experiencias y publicaciones, que, por diferentes motivos, merecen tener una divulgación más amplia y hacerlo accesible a un número más grande de personas, principalmente los técnicos de campo. Muchas de las experiencias que sentaron las bases de los principios

y conceptos de la agricultura de conservación, fueron publicadas entre los años 80's y 90's. De algunas de estas publicaciones se utilizan datos, figuras, detalles constructivos e informaciones de costos, tal como han sido publicadas o con algunas adaptaciones.

La primera investigación sobre los beneficios de los principios de la AC en el Perú se realizó en Yurimaguas, Loreto, entre los años 1982 y 1987, como una alternativa de transición entre la agricultura migratoria hacia una agricultura permanente y sostenible realizada por el autor de este libro en la Estación Experimental "San Ramón", dentro del Proyecto de Suelos Tropicales de la Universidad Estatal de Carolina del Norte y el INIPA, del Ministerio de Agricultura. El trabajo fue publicado en la prestigiosa revista Science:

- Sanchez. P A. and Benites, J.R. 1987. Low-input cropping systems for acid soils of the humid tropics. Science, 238:1521-1527.

Además, por el conjunto de informaciones aportadas, las siguientes publicaciones merecen ser mencionadas:

- Bot. A. and Benites, J. 2004. CDROM No. 22. Training modules on conservation agriculture, CA. FAO. Rome.
- Benites, J. 2007. Effect of No-Till on Conservation of the Soil and Soil Fertility, by No-till farming systems. Editors Tom Goddard Michael A. Zoebisch Yantai Gan Wyn Ellis Alex Watson Samran Sombatpanit Published as Special Publication No. 3 by The World Association of Soil and Water Conservation (WASWC).
- Benites, J. 2007. La diffusione dell'Agricoltura Conservativa in il Mondo. Agricoltura Blu, la Via Italiana dell'agricoltura Conservativa: principi, tecnologie e metodi per una produzione sostenibile. Editor Michele Pisante. Teramo, Italia.
- Benites, J. and M. Pisante. 2005. Integrated soil and water management for orchard development. Role and importance. FAO Land and Water Bulletin 10.
- Bot, A. and J. Benites. 2005. Drought-resistant soils - Optimization of soil moisture for sustainable plant production. FAO Land and Water Bulletin 11.
- Bot, A. and J. Benites. 2005. The importance of soil organic matter - Key to drought-resistant soil and sustained food production. FAO Soils Bulletin 80.
- Shepherd, G., F. Stagnari, M. Pisante and J. Benites. 2007. Annual crop, olive orchard, vineyard, wheat and orchard visual soil assessment guides. FAO.
- García Torres, L., Benites, J., Martinez Vilela, A. and Holgado Cabrera, A. 2003. Conservation Agriculture: Environment, Farmers Experiences, Innovations. Kluver Academic Publishers. Netherlands. 516 p.
- Bot, A. J., U. C. Amado, J. Mielniczuk And J. Benites. 2003. Conservation Agriculture as a Tool to Reduce Emission of Greenhouse Gasses. A Case from Southern Brazil in L. García Torres et.al. Conservation Agriculture Environment Farmers Experiences Innovations Socio Economy Policy, p. 407-416, 2003.
- Benites J. R. and J. E. Ashburner FAO's Role in Promoting Conservation Agriculture in L. García Torres et.al. Conservation Agriculture Environment Farmers Experiences Innovations Socio Economy Policy, p. 139-153, 2003.
- Da Veiga, M., Wldner do Prado, L. and J. Benites. 2003. Latin America Conservation Agriculture network. In L. García Torres et.al. Conservation Agriculture Environment Farmers Experiences Innovations Socio Economy Policy, p. 105-110, 2003.
- Mueller, J.P., D.A Pezo., J. Benites and N.P. Schlaepfer. 2003. Conflicts between conservation agriculture and livestock over the utilisation of crop residues. L. García Torres et.al. Conservation Agriculture Environment Farmers Experiences Innovations Socio Economy Policy, p. 221-243, 2003.

- Benites, J., R. Derprsch and D. McGarry. 2003. Current Status and Future Growth Potential of Conservation Agriculture in the World Context. ISTRO Conference, Australia. P. 120-129.
- Derpsch, R. and, J.R Benites. 2003. Situation of Conservation Agriculture in the World. II World Congress on Conservation Agriculture, Foz do Iguazu, Brazil. P. 125-135.
- Benites, J., A. Castrignanò, M. Pisante and M. Stelluti. Subdividing a Field into Contiguous Management Zones using a Nonparametric Density Algorithm. . II World Congress on Conservation Agriculture, Foz do Iguazu, Brazil. P. 335-338.
- Benites, J. R. 2003. The FAO's Conservation Agriculture Working Group. II World Congress on Conservation Agriculture, Foz do Iguazu, Brazil. P. 272-273.
- Benites, J. R. 2003. Conservation Agriculture Benefits on Water Holding, Carbon Mitigation and Reducing Soil Losses. II World Congress on Conservation Agriculture, Foz do Iguazu, Brazil. P. 16-18.
- Benites, J. and A. Castellanos. 2003. Improving soil moisture with conservation agriculture, LEISA, vol. 19- nº2.
- Benites, J., Vaneph, S. and A. Bot. 2003. Conservation Agriculture: planting concepts and Harvesting Good Results. LEISA, vol. 18- nº3.
- Ashburner, J., T. Friedrich and J. Benites. 2003. Opportunities and Constraints for Conservation Agriculture in Africa. LEISA, vol. 18- nº3.
- Vaneph, S. and J. Benites. 2001. From Zero Tillage to Conservation Agriculture: An unexpected succes, LEISA, ILEA Newsletter for Low External Input and Sustainable Agriculture, vol. 17, no. 3.

La información consultada cubre, entre las diferentes áreas temáticas, un arco de tiempo de 30 años. Treinta años de un esfuerzo sostenido, complejo y cambiante, emprendido por muchos agricultores, técnicos e investigadores, especialmente brasileños, quienes han sido los impulsores de la agricultura de conservación a nivel mundial.

El libro tiene 14 capítulos. En la Introducción se presentan conceptos y un contexto importante para entender y analizar la Agricultura de Conservación. Del capítulo uno al doce se recorre una hoja de ruta de la agricultura de conservación, describiendo sus componentes técnicos y sus efectos sobre la fertilidad y productividad del suelo, el agua, la biodiversidad, el control de plagas (insectos, enfermedades y malezas) y sus impactos socioeconómicos y ambientales. El capítulo 7 describe las herramientas, maquinarias y equipos para la agricultura de conservación.

El capítulo trece sugiere enfoques y estrategias para elaborar y ejecutar proyectos de desarrollo de agricultura de conservación, y propone un plan estratégico para la transición entre la agricultura convencional de labranza, a una agricultura de conservación, así como su institucionalización como requisito fundamental de la promoción, adopción y consolidación del sistema de agricultura de conservación. Por último, en el capítulo 14, se resumen algunas conclusiones.

El libro pretende responder a las necesidades de los tomadores de decisiones, planificadores, técnicos, agricultores, estudiantes, investigadores y docentes, de encontrar de manera conjunta, las vías de solución a los problemas y limitaciones que permitan generar condiciones para un desarrollo rural sostenible, rentable y competitivo de la agricultura peruana, con capacidad de adaptarse al proceso de apertura e inserción en la economía internacional, como parte de la estrategia de desarrollo nacional.

José Ramiro Benites Jump

TABLA DE CONTENIDO

Dedicatoria 3
Acerca del Autor 5
Introducción 7
Presentación 10
Prólogo 13
Agradecimientos 21
Capítulo 1: Agricultura convencional 23
Consecuencias de las prácticas de la agricultura convencional 24
Contra la degradación, mejorando la productividad de la tierra 26
De la erosión del suelo a una productividad estable: la importancia de un mejor manejo de la tierra 27
Capítulo 2: Conceptos y Principios 33
Principios agronómicos de una agricultura sustentable 33
Principios generales de la agricultura de conservación 34
Orígenes de la agricultura de conservación 36
Funciones y Ventajas de la agricultura de conservación 38
Capítulo 3: Cobertura del suelo 41
La importancia de los cultivos de cobertura en la agricultura de conservación 41
'Cultivos de cobertura' vs. 'abonos verdes' 44
Las especies de cultivo de cobertura más comúnmente usadas 45
Resistencia a la descomposición 49
Manejo de residuos y cultivos de cobertura 52
Mezclas de cultivos de cobertura 56
Producción de semillas de cultivo de cobertura en la finca 58
Otras informaciones sobre cultivos de cobertura 60
Capítulo 4: No remover el suelo con labranza 63
Efecto de la labranza convencional en el suelo 63
Degradación de la estructura del suelo o compactación 65
¿Qué es la estructura del suelo y porque es importante para las plantas? 66

El enemigo oculto 67
Efectos de la degradación de la estructura del suelo 70
Cómo determinar la degradación de la estructura del suelo 72
Mejoramiento de suelos con enraizamiento restringido 74
Soluciones mecánicas a la restricción física de las raíces 75
Labranza estratégica 79
Soluciones químicas para el crecimiento restringido de raíces 80
Métodos biológicos para superar las capas restrictivas de raíces 80
Labranza Cero 82
Tráfico controlado 83
Neumáticos flotantes 84

Capítulo 5: Rotación de cultivos 89

Importancia de las rotaciones 89

Capítulo 6: La agricultura de conservación y su integración con la producción animal 97

Conflictos de la cobertura con el ganado 97
Rol de los animales en la finca 100
Requerimientos energéticos para animales 100
Requerimientos de fuerza y potencia de equipo de no labranza de tracción animal 103
Competencia por los residuos de cultivos 106
Alternativas y estrategias complementarias para residuos de cultivos de alimentos 108
Efectos del sistema cultivo-ganado integrado en la producción de leche, carne y granos 127

Capítulo 7: Herramientas, maquinarias y equipos para la agricultura de conservación 135

Manejo de cultivos de cobertura, residuos y malezas 135
Manejo mecánico 135
Manejo mecánico manual 135
Manejo mecánico de tracción animal 137
Implementos tirados por tractor para el manejo mecánico de los cultivos de cobertura 139
Manejo químico de cultivo de cobertura y maleza operado por tractor 144
Siembra directa 146
Plantación con palo o azada manual 146
Sembradora directa manual o plantadora por punzada 147

Plantadoras de tracción animal y de tractor de simple eje 148
Equipo de siembra directa para tractores 156
Otras informaciones sobre sembradoras directas 166
Capítulo 8: Efecto de la agricultura de conservación en la fertilidad del suelo y en la materia orgánica 169
Conceptos básicos del suelo 169
Efecto de la AC en las propiedades físicas del suelo 174
Efecto sobre las propiedades químicas 178
Efecto sobre la fertilidad del suelo 181
Acumulación de nutrientes inmóviles 182
Manejo del nitrógeno 183
Efecto sobre la materia orgánica 187
Liberación de nutrientes de plantas mediante la actividad biológica 188
Como la materia orgánica forma la estructura del suelo 207
Sustancias no-húmicas: significado y función 208
Componentes y función del humus 210
Necesidad de alimentación contínua de la biota del suelo 212
Conclusiones 218
Capítulo 9: Efecto de la agricultura de conservación en la humedad del suelo 223
Manejo de la humedad del suelo 223
Comprensión del movimiento del agua en el suelo 225
Prácticas que reducen el contenido de humedad del suelo 237
Quema de los residuos (del cultivo) 237
Prácticas que aumentan el contenido de humedad del suelo 240
La recolección de agua de lluvias incluye diferentes prácticas 253
Éxitos del manejo de agua en tierras secas 254
Efecto de la AC en la humedad del suelo disponible para las plantas 257
Capítulo 10: Efecto de la agricultura de conservación en el control de plagas y enfermedades 265
Principios del control de plagas y enfermedades 265
Enfermedades 268
Manejo integrado de plagas y enfermedades 274
Capítulo 11: Efecto de la agricultura de conservación en el control de malezas 279

¿Qué es una maleza? 279
Conocimientos básicos en el manejo integrado de malezas 280
Inventario de malezas 282
Bio-Ecología de la maleza 282
Interferencia de maleza 286
Estrategias de control y manejo integrado de malezas 288
Rotación de cultivos 289
Control físico 293
Control químico: uso de herbicida 293
Ventajas de la Agricultura de Conservación para el manejo sostenible de malezas 295
Recomendación adicional sobre manejo de malezas 296
Capítulo 12: Impactos socio-económicos y ambientales de la agricultura de conservación 301
Efectos socioeconómicos 301
Reducción del riesgo 301
Uso de maquinaria 302
Impacto sobre el trabajo 304
Los costos de producción y la rentabilidad de los cultivos 305
Ventajas económicas indirectas 309
Producción y venta de semillas de cultivos de cobertura 311
Nuevas alternativas para obtener ingresos 312
Capítulo 13: Elementos de un programa de agricultura de conservación 323
Estrategia y enfoque 323
Escenarios favorables para la adopción de la agricultura de conservación 323
Entorno institucional y la participación 327
Desarrollo participativo de tecnologías 328
Expansión a nivel mundial del área bajo agricultura de conservación 329
Capítulo 14: Conclusiones 333

AGRADECIMIENTOS

Deseamos dejar constancia de nuestro reconocimiento al Eco. Hugo Wiener Fresco, Ex Presidente de Agrobanco, por motivarnos a escribir este libro. A nuestros colegas de FAO, Theodor Friedrich, Thomas Bachman, Manuel D. Sánchez, Joseph Kinzle, con quienes desarrollamos el Programa de Agricultura de Conservación (AC) a nivel mundial. A nuestros colaboradores, en especial Ademir Calegari, Fátima Ribeiro, Antonio Castellanos, Sandrine Vaneph, Valdemar Hercilio de Freitas, Francis Shaxon y F. Skora por su trabajo en la preparación de materiales de capacitación y divulgación de la AC, a nivel mundial, durante nuestro trabajo en FAO. A los agricultores Manoel Enrique "Nono" Pereira y Herbert Bartz (Brasil), Carlos Crovetto (Chile) y otros hombres de campo por inspirarnos y enseñarnos acerca de las bondades de la AC. Al Sr. Jorge Santa Cruz Díaz, por su trabajo de edición y corrección del borrador del libro.

A todos y todas, muchas gracias por su valiosa colaboración para generar la información utilizada en este libro.

CAPÍTULO 1

AGRICULTURA CONVENCIONAL

Muchos de los problemas más apremiantes de la población rural en el Perú y de su ambiente, están relacionados con el manejo de los recursos agua y suelo. Las prácticas agrícolas tradicionales de la quema y el uso de la labranza del suelo en la costa, sierra y selva del país, dejan los suelos removidos y desnudos ocasionando erosión y pérdida de su materia orgánica (MO) (Young, 2003). Este deterioro ha contrarrestado el aumento en el potencial de producción por mejoramientos genéticos, asociados al elevado uso de insumos químicos (primera revolución verde), obligando a los agricultores a invertir crecientemente en fertilizantes y agroquímicos para tratar de mantener los rendimientos con el resultado de la elevación de los costos de producción y la pérdida de rentabilidad. (Figura 1).

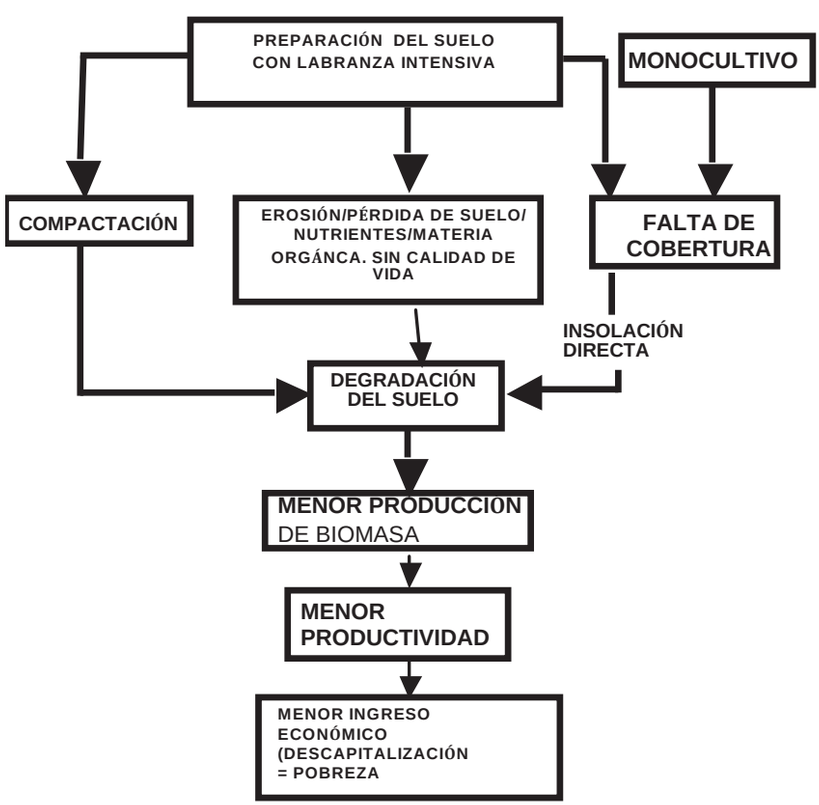


Figura 1. Ciclo no sostenible de la agricultura tradicional.

Este ciclo no sostenible de la agricultura tradicional, induce a una degradación de la calidad de vida debido a la baja productividad del trabajo, y también a una inseguridad alimentaria debido a la baja productividad de los suelos que causa migraciones en gran escala y algunas veces, la competencia violenta por los recursos para satisfacer necesidades básicas.

CONSECUENCIAS DE LAS PRÁCTICAS DE LA AGRICULTURA CONVENCIONAL

La producción agrícola en el Perú está basada en conceptos y principios de clima templado con la utilización de máquinas, equipos y herramientas concebidos en Europa, para una agricultura de labranza intensiva. También se utiliza el barbecho para mantener el suelo libre de vegetación entre la cosecha y la siembra del siguiente cultivo. El barbecho y la labranza se aplica en los climas templados, con el propósito de permitir una mayor acumulación de agua y nutrientes en el suelo, lo cual es un concepto errado. Los avances en máquinas y equipos desarrollados en climas templados, fueron introducidos en las áreas tropicales sin haber pasado primeramente pruebas y validaciones críticas. Ahora sabemos que los arados de rejas y de discos, no son los mas idóneos para ser usados bajo las condiciones tropicales.

El paso de la maquinaria, y el continuo uso de los arados y gradas a la misma profundidad y durante periodos de alto contenido de humedad, crea capas compactas subyacentes conocidas como piso de arado o piso de grada. Estas tienen efectos dañinos sobre el desarrollo del sistema de raíces de las plantas, la disponibilidad de oxígeno y el movimiento del agua en el suelo. Las consecuencias son desastrosas. La velocidad de infiltración del agua es reducida drásticamente con un crecimiento simultáneo en la escorrentía superficial, pérdida de suelo, nutriente, materia orgánica, calcio y semillas. La actividad de la biota del suelo es además afectada negativamente.

En las últimas décadas, los agricultores han estado expresando su pesar/ preocupación por la erosión del suelo, la fuerza de trabajo, los costos de los insumos causados por la aradura profunda o pesada. Algunos agricultores han tratado de reducir la intensidad de la preparación de suelos, pero con frecuencia han terminado enfrentando problemas tales como, la baja germinación, la baja productividad y la alta infestación de malezas. Los desarrollos de las investigaciones han resultado en la adaptación de

máquinas sembradoras, la rotación de cultivos con cultivos de cobertura y los herbicidas perfeccionados. Esto ha permitido a los agricultores reducir e inclusive eliminar, las actividades de preparación de suelos y al mismo tiempo, mantener o mejorar los niveles de rendimiento de los campos.

En los suelos agrícolas del país, los tenores de MO son menores a lo que en muchos países considerarían niveles bajos. Esto obliga a la incorporación de grandes cantidades de estiércol y fertilizantes para mantener la capacidad productiva de los cultivos intensivos.

Información obtenida de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se han hecho ensayos para medir la densidad del suelo después de diferentes niveles de preparación del suelo antes de un cultivo y después de la cosecha, han mostrado que a mayor preparación se tiene una menor densidad inicial, pero una mayor densidad final (mayor compactación). Todo lo anterior lleva a concluir que es necesario adoptar medidas inmediatas para detener el daño que se está causando, y que a nivel mundial existe la tecnología para revertirlo.

Cuadro 1. Ventajas y desventajas de la labranza convencional

LABRANZA CONVENCIONAL	
Funciones:	Desventajas:
▪ preparar un lecho de siembra	▪ pérdida de humedad del suelo
▪ manejar los residuos de cultivos	▪ limita infiltración de agua por el sellado superficial
▪ incorporar fertilizantes y productos agro-químicos	▪ destruye la estructura del suelo
▪ controlar las malezas	▪ incrementa el riesgo de erosión
▪ descompactar las capas densas del suelo	▪ incrementa los costos operacionales
▪ incrementar la infiltración del agua	

CONTRA LA DEGRADACIÓN, MEJORANDO LA PRODUCTIVIDAD DEL SUELO

En el pasado, la conservación de suelos fue considerada como un punto de partida para mejorar los rendimientos de los cultivos. La erosión del suelo fue percibida convencionalmente, como una de las principales causas de la degradación del suelo y como la razón principal de la declinación de los rendimientos en las zonas tropicales. Basados en esas asunciones, las medidas de conservación se dirigieron a tres puntos principales:

- obras físicas para capturar, guiar y prevenir el daño de la escorrentía (Lámina 1);
- presión sobre la población para detener la deforestación y reducir el número de animales en pastoreo;
- planificación de diferentes usos del suelo de acuerdo con la Clasificación de Capacidad de Uso del suelo, basados en la evaluación de distintos grados de peligro de erosión.

Lámina 1
Uso de zanjas conectadas para capturar y guiar el agua de escorrentía y prevenir el daño a los cultivos [FAO]

La experiencia ha demostrado que ninguno de los métodos físicos e institucionales recomendados contra la erosión, fue adoptado en forma masiva por los pequeños agricultores de las regiones tropicales. Dado que la conservación del suelo *per se* no incrementa los rendimientos, y que no es la primera preocupación de los agricultores -si bien puede serlo el mejoramiento de la productividad-, es aconsejable enfatizar las prácticas de buen manejo del suelo y de los cultivos que tienen efectos positivos sobre la conservación.

Esta percepción ha llevado a cambiar el concepto de detener la erosión por el concepto de asistir a los agricultores a obtener una mayor y más estable producción a través de métodos efectivos de conservación. Hay ejemplos de aplicación de estos conceptos que muestran que es técnicamente posible y económicamente lucrativo, desarrollar sistemas intensivos de producción en los trópicos y al mismo tiempo, mejorar la calidad de los recursos naturales y proteger el ambiente. Esto requiere enfocar el manejo de los recursos biológicos junto con las funciones hidrológicas y el reciclaje de nutrientes complementadas, cuando sea necesario, con obras físicas adecuadas -curvas de nivel, terrazas- en las laderas pronunciadas.

Del mismo modo, especialmente en los trópicos áridos y semiáridos,

es oportuno enfatizar con los agricultores el manejo del agua de lluvia como un recurso productivo y no como un medio de salvar el suelo. Al haber una mejor infiltración y un mayor almacenamiento del agua de lluvia, cuando éstas han sido las limitantes, se favorece la producción agrícola y automáticamente, se reduce el movimiento y el transporte del suelo. En este sentido, para fortalecer la disponibilidad de agua y retener la productividad del suelo es importante considerar las prácticas que promueven la captura del agua de lluvia en el suelo antes de considerar aquellas que se dirigen al control de la escorrentía, que son complementarias en esa secuencia, pero que no son alternativas competidoras.

En las zonas con altas precipitaciones y tendencia a la inundación de los suelos, la conservación del agua y suelo requieren un manejo cuidadoso de la estructura del suelo y de la cubierta vegetativa para fortalecer la infiltración y mantener el drenaje superficial e interno.

El hecho de facilitar a los agricultores la posibilidad de un mejor manejo y cuidado de sus suelos, produce una respuesta más efectiva que los esfuerzos aislados para combatir la erosión. Esto reconoce a su vez, los deseos de los agricultores de elevar los rendimientos y sus ingresos a medida que se estabiliza o se invierte el proceso de agotamiento, y también ofrece oportunidades a los gobiernos para armonizar ciertos objetivos nacionales -mejor manejo de los recursos naturales y desarrollo de la agricultura sostenible- con el objetivo principal de que la familia rural cuente con medios de vida más seguros. Sin embargo, este enfoque requiere muchos ajustes a ser discutidos ampliamente (Hinchcliffe *et al.*,1995).

DE LA EROSIÓN DEL SUELO A UNA PRODUCTIVIDAD ESTABLE: LA IMPORTANCIA DE UN MEJOR MANEJO DE LA TIERRA

El concepto actual del suelo, conocido como una fina capa de material en la zona externa de la litósfera e inmediatamente debajo de la atmósfera, está cambiando hacia el concepto de una entidad viva que engloba la dinámica del crecimiento de las raíces y la fauna del suelo, la temperatura, la humedad y la oxidación-reducción, y tiene una profunda significación para el manejo práctico y los estudios ecológicos. Los nutrientes que el suelo pierde a través de la producción, la erosión y la lixiviación, deben

ser reemplazados y la disponibilidad de todos esos nutrientes debe ser restaurada. El enfoque más amplio de la agricultura conservacionista abarca no sólo el contenido de nutrientes de los suelos sino también su estructura y estado biológico que son determinantes para la sostenibilidad de la productividad.

En muchos casos, pueden ser necesarios cambios en las prácticas de manejo de suelos y labranza, rotación de cultivos y épocas de siembra, medidas de conservación de suelos, uso estratégico de materiales orgánicos y uso correcto de fertilizantes inorgánicos para enfrentar los requerimientos de los agricultores en cuanto a combinaciones de cultivos, suelos, disponibilidad de material orgánico y oportunidades de mercado.

Un enfoque simple del uso sostenible e integrado de los recursos naturales, requiere un paradigma centrado en el papel del usuario y en el significado de la dinámica y arquitectura del suelo, sobre o debajo la superficie, así como en el aumento de la sinergia entre las fuerzas locales, internas y externas. A medida que los agricultores aplican las técnicas de manejo y tienen más y mejores conocimientos para trabajar junto al mundo biológico, encuentran formas para reducir la adquisición de insumos externos.

Tradicionalmente, el concepto de la fertilidad del suelo estuvo representado principalmente como el componente químico de las relaciones entre el suelo y la planta, y las interacciones entre la nutrición y la absorción de la planta. En comparación, el equilibrio entre las propiedades biológicas, química, física del suelo y su capacidad productiva, se refleja en el rendimiento de las especies cultivadas.

El buen manejo del suelo se dirige a la diversidad como en los ecosistemas naturales. Estos ecosistemas naturales consisten de muchas especies de plantas y animales diferentes que interactúan una con otra. El resultado de esta red de interrelaciones, da elasticidad al ecosistema permitiéndole resistir a disturbios tales como lluvias erráticas, y ataques de pestes y enfermedades. En las situaciones agrícolas, la diversificación de especies, variedades y razas reduce la vulnerabilidad a los disturbios externos, no solo climáticos sino también económicos. El cultivo de distintas especies permite también un mejor uso de la variación ambiental –por ejemplo, suelos con diferencias de fertilidad- y permite hacer numerosas combinaciones útiles. En los ecosistemas naturales, estas combinaciones útiles se han desarrollado naturalmente, a lo largo de los siglos, pero en los

agro-ecosistemas, son los agricultores quienes crean esas combinaciones.

El mejor manejo del suelo busca aplicar la similitud entre los ecosistemas manejados y los naturales usando un vasto rango de cultivos, de nutrimentos y de tecnologías de manejo del suelo, del agua y de las pestes. La posibilidad de autoregeneración del suelo y de su agricultura, pueden llevar a una alta producción siempre que los agricultores sean participantes de primer plano, en todas las etapas del desarrollo de la tecnología y de la extensión agrícola.

El éxito resultante del mejor manejo del suelo en los sistemas agrícolas mas comunes radica sobre todo, en el grado en que los agricultores son capaces de incluir en sus prácticas de trabajo los cinco siguientes mecanismos que se encuentran normalmente en los ecosistemas de los bosques de zona húmeda y subhúmeda, que no han sido alterados por el hombre (Mollison y Slay, 1991):

- una cobertura continua de plantas vivas, la que junto a la arquitectura del suelo facilita la infiltración del agua de lluvia;
- una pequeña capa de hojas o residuos en descomposición, para proporcionar una fuente continua de energía a los macro y microorganismos;
- las raíces de diferentes plantas distribuidas a través del suelo a distintas profundidades, lo que permite una buena absorción de nutrimentos y una interacción activa con los microorganismos del suelo como las micorrizas y las bacterias nitrificantes (Rhizobium);
- un período de liberación de nutrimentos mas prolongado por parte de los microorganismos, coincidiendo con el período más intenso de demanda de nutrimentos por las plantas;
- los nutrimentos reciclados a las plantas de raíces profundas y a la micro y macrofauna del suelo.

Un buen manejo del suelo considera básicamente que uno de los componentes mas importantes del suelo es su vida, incluyendo bacterias, hongos, algas, protozoarios, nemátodos, escarabajos, ciempiés, termites y lombrices (Benites y otros, 1999). La vida del suelo tiene un papel fundamental en muchos procesos esenciales que determinan la disponibilidad de nutrimentos y agua, y su reciclaje y, por lo tanto, la productividad agrícola. Los agricultores deben crear condiciones favorables para la vida del suelo y manejar la materia orgánica de modo de crear un suelo fértil en el

cual plantas sanas puedan desarrollarse y crecer. Los suelos pueden ser protegidos por una cobertura vegetativa para disminuir el calor del sol, el impacto de la lluvia y la erosión hídrica o eólica. La vida del suelo también necesita ser protegida contra sustancias dañinas hechas por el hombre, tal como los pesticidas, y contra operaciones mecánicas como la labranza. La materia orgánica debe ser proporcionada para alimentar la vida del suelo.

Un mejor manejo del suelo busca aprender de los procesos naturales de reciclaje para prevenir el agotamiento de los recursos naturales (Benites y otros, 1999). Las pérdidas son minimizadas por medio de cultivos de cobertura, control de la erosión, especies de raíces profundas que reciclan los nutrimentos lixiviados de la capa superior de suelo y una mejor recolección, almacenamiento y aplicación de los residuos de los cultivos, de los animales a través de la orina y las deyecciones y los residuos alimenticios domésticos. Los nutrimentos que son exportados bajo forma de productos animales y vegetales, son reemplazados por medio de la fijación simbiótica de nitrógeno, la materia orgánica de diversos orígenes y el uso complementario de fertilizantes y otros suplementos alimenticios. Del mismo modo, los flujos de agua dentro del suelo y en la superficie, son manejados de modo de hacer un uso óptimo de la humedad disponible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Benites J.R., Friedrich T, Bot A. and Shaxson F. (1999). From Soil Degradation to Stable Productivity: The importance ofbetter land husbandry. FAO AGLS Working Paper 8. Land and Water Development Division. FAO. Rome.

Calegari, A., Ribeiro, M., Skóra, F. (2003). CONSERVATION AGRICULTURE:Agronomic principles and its socio-economic an environmental impacts The experience of Brazil. FAO AGLS Working Paper 9. Land and Water Development Division. FAO. Rome.

Hinchcliffe, F. I., Guijt, J.N., Pretty y Shah, P. 1995. New Horizons: the economic, social and environmental impacts of participatory watershed development. Summary Workshop in Bangalore, India, Nov. 28 to Dec 12, 1994. International Institute For Environment And Development (IIED), London Gatekeeper Series SA 50 22p.

Mollison, B. y Slay, R.M. 1991. Introduction of Permaculture. The Tutorial Press, Harare, Zimbabwe. 198p.

Young, H. 2003. SISTEMA DE SIEMBRA DIRECTA ¿Alternativa para la sostenibilidad dela agricultura peruana? INCAGRO, Lima, Perú. No publicado.

CAPÍTULO 2

CONCEPTOS Y PRINCIPIOS

PRINCIPIOS AGRONÓMICOS DE UNA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Una agricultura sustentable mantiene producciones altas indefinidamente, sin dañar el suelo y el medio ambiente. O sea, se procura mantener y/o mejorar la fertilidad del suelo, de manera que las generaciones futuras puedan obtener producciones iguales o superiores a las que se obtienen actualmente, mejorando su calidad de vida. Sin embargo, definiciones de la sustentabilidad que consideran apenas una dimensión (como por ejemplo la fertilidad del suelo), son insuficientes, debiendo siempre estar implícitas las dimensiones medio ambiente, sociales y económicas (Hailu y Runge- Metzger, 1993).

De acuerdo con Stenholm y Waggoner (1990), el término sustentable tiene dimensiones agronómicas, medioambientales, sociales, económicas y políticas. No se trata meramente del conjunto de las mejores prácticas de manejo del suelo, o simplemente, de la reducción del uso de agroquímicos. El nuevo enfoque en la gestión integrada de la fertilidad del suelo, es mucho más amplio y hace hincapié en las interacciones que se producen en el sistema suelo-agua-planta. Éste toma en cuenta la dinámica de los nutrientes, los que aumentan claramente en el sistema integral de agricultura de conservación, que abarca los cultivos de cobertura, siembra directa y rotaciones de cultivos (Figura 2).

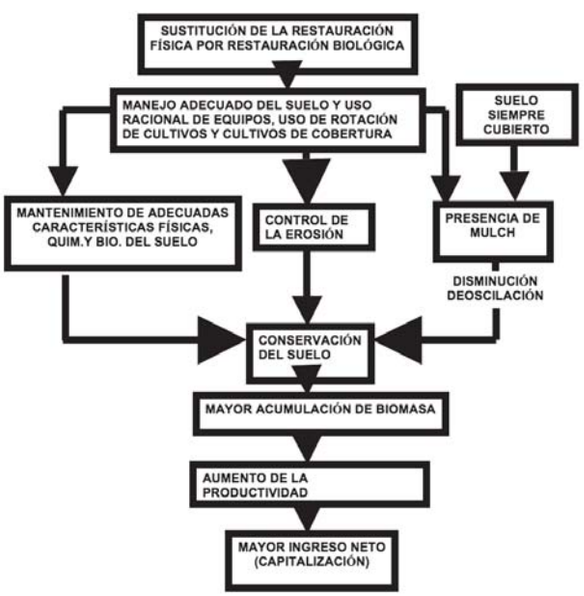


Figura 2. Ciclo sostenible de la agricultura sustentable

PRINCIPIOS GENERALES DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

Existen dos métodos para restaurar el suelo después de una cosecha: uno es la restauración mecánica/física y otro, la restauración biológica. El primero es costoso, tiene efecto a corto plazo, requiere mucha energía en términos de fuerza de trabajo y combustible, consumiendo mucho tiempo.

La restauración biológica del suelo requiere menos energía, trabajo y tiempo, y consiste en:

- mantener el suelo protegido permanentemente con una cobertura de residuos de cosecha;
- eliminar toda perturbación mecánica del suelo por labranza; y,
- usar rotaciones de cultivos comerciales y de cobertura.

Estos son los tres principios fundamentales de la agricultura de conservación. Cada uno es importante en su justa medida. Sin embargo, el poder del sistema es dado por la sinergia entre varios elementos. Los efectos incluyen reducción de la contaminación de suelos y agua y de la erosión del suelo, y a largo plazo, una disminución en la dependencia de factores externos, una mejora en el manejo del medio ambiente, en la calidad y uso del agua, y una reducción de la emisión de gases de efecto invernadero por un menor uso de combustibles fósiles.

En algunas áreas se practica siembra directa y sin labranza en suelos desnudos o con poca cobertura, y generalmente en sistemas de monocultivo, por ejemplo soya. Este sistema de siembra directa no es sustentable y requiere de un alto uso de herbicidas. Necesita ser cultivado con cierta frecuencia para corregir problemas de compactación del suelo. Esta práctica es dependiente no solamente del control químico de malezas, sino también de variedades resistentes a herbicidas y plagas.

La cubierta permanente proporcionada por los cultivos sembrados, los rastrojos o por el «mulch», no sólo protege el suelo del impacto físico de la lluvia y del viento, sino que también estabiliza la humedad del suelo y la temperatura en las capas superficiales. Así, esta zona se convierte en un hábitat favorable para una cantidad de seres vivos, incluyendo raíces de plantas, lombrices, insectos y microorganismos como, por ejemplo, hongos y bacterias. Esta vida del suelo usa la materia orgánica de la cubierta y la recicla en humus y en nutrientes, contribuyendo a estabilizar físicamente, la estructura del suelo, permitiendo

que el aire y el agua se filtren y se almacenen. Este proceso, que es llamado «labranza biológica», incrementa fuertemente la conservación del suelo y agua, y la fertilidad del suelo. Se evita la labranza mecánica para mantener la vida y la estructura del suelo y para reducir la mineralización de la materia orgánica.

Es importante una variada rotación de cultivos para evitar los problemas de plagas y enfermedades, mejorar las condiciones del suelo usando todo su perfil, y las interacciones sinérgicas y complementarias entre las diferentes especies de plantas. Los cultivos de cobertura (leguminosa y no leguminosa) que son parte de la rotación de cultivos, son esenciales para incrementar el contenido orgánico del suelo. La cobertura del suelo también ofrece nuevos hábitat para enemigos naturales de las plagas y de los organismos que producen enfermedades. Esto ofrece una barrera física contra las malezas, y libera sustancias alelopáticas que reducen su germinación.

La adopción de estos componentes también implica cambios en el sistema, como por ejemplo: el uso de equipos desarrollados específicamente para este propósito y las diferentes estrategias para el manejo de la fertilidad del suelo, de las malas hierbas, las plagas y enfermedades. Por lo tanto, la siembra directa es un concepto diferente en la práctica de la agricultura, que necesita, tanto entre los agricultores como en el personal técnico, una visión que es a la vez sistemática, y de mediano y largo plazo.

Los agricultores necesitan crear condiciones favorables para la vida del suelo, y deberían manejar la materia orgánica de modo de crear suelo fértil en el cual se puedan desarrollar plantas fuertes y sanas. En la agricultura tropical de secano, en la cual los agricultores de pocos recursos sufren, por lo general, una fertilidad decreciente del suelo y una disminución de la dinámica del agua en el suelo, la restauración de la materia orgánica es esencial para la estabilización de la producción.

Sin embargo, esto no se obtiene con la mera incorporación de materia orgánica al suelo, ya que bajo las condiciones tropicales, el proceso de degradación es demasiado rápido como para permitir el mejoramiento de las propiedades del suelo a mediano o largo plazo. Mas aún, la incorporación de materia orgánica implica la labranza del suelo, la cual acelera su descomposición y destruye la estructura y los organismos.

La necesidad primaria es alimentar los organismos del suelo -bacterias, hongos, lombrices y otros- y regular sus condiciones de vida al mismo tiempo que se

los protege de los impactos químicos y mecánicos. Por ejemplo, la labranza superficial, la labranza en surcos o la labranza cero, y el manejo superficial de los residuos, han llevado a menudo, a incrementos en la actividad de las lombrices, en comparación con áreas donde la labranza es profunda.

La formación de una cobertura del suelo permanente o semipermanente -con cultivos o residuos de cultivos- proporciona alimentos para los organismos del suelo, protege el suelo de la fuerza destructiva de la lluvia, del viento y del sol, reduce la pérdida de humedad, mejora la infiltración de agua y regula su microclima. Esta práctica debería ser acompañada por otras relacionadas con la agricultura de conservación la cual tiende a minimizar el disturbio del suelo y proteger y alimentar la vida del suelo tales como:

- reduciendo o eliminando las operaciones de labranza;
- usando las rotaciones de cultivo;
- usando fertilizantes en forma apropiada; y,
- confiando en el manejo integrado de plagas y malezas.

ORÍGENES DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

En el Perú, desde la época Pre-Inca se ha practicado la agricultura de conservación, en la que se utilizaban como implementos la kasuna, el allachu, la chakitaclia, el kituchi, y otros para una siembra directa sin remoción del suelo y con el mantenimiento de una cobertura vegetal protectiva del suelo. Estos agricultores amaban sin duda la naturaleza evitando la erosión y ya hacían uso de sistema del riego por gravedad, conduciendo el agua mediante canales especiales. Pero desde 1530, con la colonización, se introdujo una agricultura con conceptos y principios no aptos para el clima tropical del país basada en araduras intensivas con arados de reja y/o vertedera, algunos aperos complementarios, y el empleo de tracción animal como fuerza motriz.

En Estados Unidos de América en la década de 1930, después de las tormentas de polvo producidas por la excesiva labranza convencional y por una prolongada sequía, se inició la búsqueda de una alternativa al cultivo convencional. Se introdujeron sistemas de labranza de conservación, con una protección de la superficie del suelo con los residuos de las cosechas, en una proporción de cerca 30% de cobertura.

Figura 3
Chakitaclia. Extraido de las Crónicas de Felipe wGuamán Poma de Ayala.

Edward Faulkner publicó en 1943, un libro titulado “La insensatez del labrador: una buena razón para adoptar la cero labranza y sus efectos benéficos sobre el suelo y el ambiente”. Al mismo tiempo, una idea similar de cultivar sin labranza, se desarrolló en Japón por Masanobu Fukuoka, “La Revolución de Rastrojos”. Fukuoka todavía continúa enseñando sus principios que están completamente en línea con AC.

En diciembre de 1970, debido a la disponibilidad comercial de herbicidas y en especial de equipos de labranza cero (muy pesados), la siembra directa se vuelve una opción comercial para cultivar con las limitaciones indicadas al inicio de siembra directa sin cobertura y en monocultivo. Los movimientos principales en estos años, tienen lugar en los EE.UU. y en Brasil (promovidos por la compañía británica ICI). En ese periodo FAO y GTZ apoyan los trabajos de la investigación intensiva sobre los conceptos y principios de AC en América del Sur. Como resultado, la agricultura cero labranza se desarrolla y perfecciona en Brasil, convirtiéndose en “Plantio Direto na Palha”, que involucra los tres elementos claves de AC: la labranza cero que no altera el suelo de forma mecánica; siembra directa; cuidadoso manejo de residuos y el uso de cobertura o rotación de cultivos para mantener permanentemente el suelo cubierto, con una selección juiciosa de rotaciones de cultivos. También en esa década aparecen los primeros agricultores pioneros practicantes de AC en Brasil (Bartz, Pereira), Chile (Crovetto) y también en Zimbabwe (Oldreive).

Cuadro 2. Funciones y Ventajas de la agricultura de conservación

AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN	
Funciones:	Ventajas:
▪ conservar el suelo	▪ incrementa la materia orgánica
▪ retener la humedad del suelo	▪ aumenta el agua
▪ mejorar la productividad del suelo	▪ mejora la estructura del suelo
▪ reducir los costos de la maquinaria	▪ incrementa rendimientos del cultivo
▪ reducir las entradas de mano de obra	▪ permite mas tiempo libre para otras actividades
	▪ mayor costo-efectivo

FUNCIONES Y VENTAJAS DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

Los sistemas de la agricultura de conservación utilizan los suelos y cultivos con el objetivo de reducir la excesiva mezcla del suelo y mantener los residuos de los cultivos sobre la superficie del suelo, con el propósito de minimizar el daño al medio ambiente.

En este sentido, esto conllevará a:

- proporcionar y mantener una condición óptima en la zona de raíces a la máxima profundidad posible, para que éstas funcionen mas efectivamente y sin obstáculos, en la captura de altas cantidades de agua y nutrientes deseadas por las plantas;

- asegurar que el agua acceda al suelo de tal forma que: (a) las plantas nunca, o por el más corto tiempo posible, sufran estrés por falta de agua que limitará la expresión de su potencial de crecimiento; y (b) el tránsito del agua residual sea para abajo. hacia el agua subterránea y el flujo de corriente, no por encima de la superficie como escorrentía;

- favorecer el beneficio de la actividad biológica en el suelo con el propósito de: (a) mantener y reconstruir la arquitectura del suelo; (b) competir con los patógenos potenciales que están en el suelo; (c) aportar materia orgánica y varios tipos de humus al suelo;(d) contribuir a la captura, retención, quelación y lenta liberación de los nutrientes de las plantas; y,

- evitar el daño físico o químico a las raíces que pueda interrumpir su funcionamiento efectivo.

Los beneficios de la agricultura de conservación incluyen características agro-ambientales. La pérdida de nutrientes puede ser minimizada por medio del uso apropiado de cultivos de cobertura de raíces profundas, que reciclan los nutrientes lixiviados de la capa superior del suelo, el manejo de la humedad y una mejor recolección, almacenamiento y aplicación de los residuos de los cultivos, del ganado y de las viviendas (residuos de la alimentación). Los nutrientes que son cosechados y removidos pueden ser reemplazados por medio de la fijación simbiótica del nitrógeno, la materia orgánica o el uso complementario de fertilizantes y suplementos alimenticios.

Con el énfasis actual sobre la agricultura de conservación, se ha despertado nuevamente la atención sobre la materia orgánica del suelo. Algunos temas, tales como la fertilidad del suelo y, por lo tanto, la seguridad alimentaria, el almacenamiento de agua, la compactación y la erosión, están directamente relacionados con la materia orgánica del suelo. Otros temas, tales como las enfermedades y las plagas, pueden estar indirectamente relacionados con esto. De esta manera, la construcción y el mantenimiento de la biota del suelo y los buenos niveles de materia orgánica de los suelos, son elementos de importancia fundamental.

El manejo de las plagas también puede obtener beneficios de las prácticas de conservación que fortalecen la actividad y la diversidad biológica y, por lo tanto, los competidores y los predadores así como otras fuentes alternativas de alimentos. Por ejemplo, la población de muchas especies de nematodos –especialmente los patógenos–, pueden ser reducidas significativamente por la aplicación de materia orgánica, la cual estimula la acción de varias especies de hongos que atacan los nematodos y sus huevos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Faulkner, E.H. 1943. Ploughman's folly. University of Oklahoma Press, 1943 - 154 páginas.

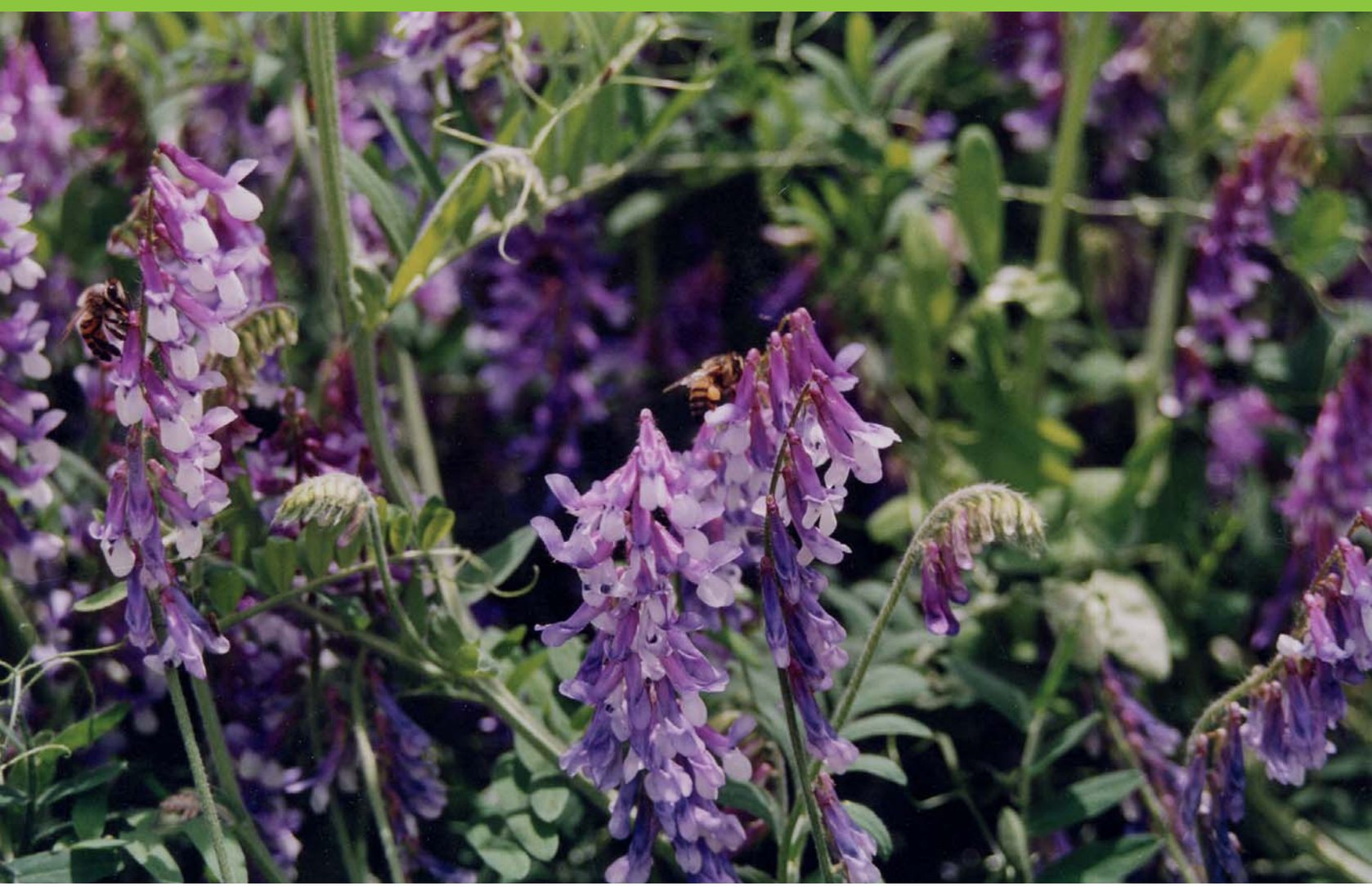
Fukuoka, M. 1987. The One-Straw Revolution: An Introduction to Natural Farming. Germinal - 112 páginas.

García-Torres L, Benites J. and Martínez-Vilela A. 2001. Conservation agriculture, a worldwide challenge. 1st World Congress on Conservation Agriculture, Volume I and II. Life, FAO, ECAF. XUL, Córdoba, Spain. ISBN 84-932237-0-0.

Hailu, Z., and A. Runge-Metzger. 1993. Sustainability of Land Use Systems. The Potential of Indigenous Measures for the Maintenance of Soil Productivity in Sub-Sabaran AjCcan Agriculture. Weikersheim: Margraf.

Stenholm, C.W., Waggoner, D. B., 1990: Low- input, sustainable agriculture: Myth or method? J. .Soil and Water Cons. Vol. 45. N° 1, 1990.

CAPÍTULO 3



COBERTURA DEL SUELO

LA IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA EN LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

Los cultivos de cobertura constituyen un componente fundamental de la estabilidad del sistema de agricultura de conservación. Ellos tienen efectos directos e indirectos en las propiedades del suelo, gracias a su capacidad para promover una biodiversidad aumentada en el agro-ecosistema.

Mientras que los cultivos comerciales tienen un valor de mercado, los cultivos de cobertura son principalmente acrecentados por su efecto en la fertilidad del suelo o como forraje de ganado. En regiones donde son producidas muy pequeñas cantidades de biomasa, como las áreas secas y los suelos erosionados, los cultivos de cobertura son beneficiosos debido a que ellos:

- protegen el suelo en los períodos de barbecho;
- movilizan y reciclan los nutrientes;
- mejoran la estructura del suelo y rompen las capas compactadas y los pisos duros;
- permiten una rotación en un monocultivo; y,
- pueden ser usados para el control de malezas y plagas.

Los cultivos de cobertura que crecieron durante los periodos de barbechos, entre la cosecha y la plantación de los cultivos comerciales, utilizan la humedad que queda en el suelo. Su crecimiento es interrumpido, o bien antes que el siguiente cultivo sea sembrado, o después de la siembra del siguiente cultivo, pero antes de que la competencia entre los dos cultivos, comience. Los cultivos de cobertura energizan la producción agrícola, pero ellos además presentan algunos retos.

Cuadro 3. Oportunidades y retos de los cultivos de cobertura

Oportunidades	Retos
▪ Protegen al suelo ▪ Mantienen nitrógeno en forma orgánica (-NH2) para evitar se pierda en lixiviación ▪ Control del crecimiento de malezas ▪ Repele el surgimiento de plagas en el suelo ▪ Adiciona materia orgánica al suelo y favorece la fertilidad y las actividades de preparación del suelo ▪ Puede solucionar los problemas de compactación ▪ Incrementa la porosidad del suelo y el drenaje interno, y por lo tanto reduce la posibilidad de inundaciones ▪ Las leguminosas incrementan el nitrógeno disponible	▪ Requiere un más alto nivel de manejo ▪ La descomposición de los cultivos de cobertura puede llevar a un déficit de nitrógeno en el comienzo del periodo de crecimiento

Los cultivos de cobertura son convenientes por:

- proteger al suelo, cuando éste no está cultivado;
- suministrar una adicional fuente de materia orgánica para mejorar la estructura del suelo y crear una enriquecida capa arable del suelo;
- reciclar los nutrientes y movilizarlos en el perfil del suelo con el propósito de eliminar capas con lento movimiento de nutrientes, como el fósforo y el potasio;
- hacer "la aradura biológica" del suelo; las raíces de algunos cultivos, especialmente las plantas crucíferas, como el rábano de aceite son esenciales y capaces de penetrar capas compactadas y muy densas (lámina 2), incrementando la capacidad de percolación del agua del suelo; y,
- utilizar fácilmente los nutrientes lixiviados.

Lámina 2
Las raíces de algunos cultivos de cobertura son capaces de romper el piso de arado o las capas compactadas en el suelo.
A. Calegari

Diferentes plantas, con diversos sistemas de raíces, exploran diferentes profundidades del suelo, las que tienen la habilidad de absorber numerosas cantidades de nutrientes, con la producción de distintos exudados de raíces (ácidos orgánicos), resultando en beneficio para ambos, el suelo y los organismos.

La presencia de una capa de mantillo (cubierta muerta del suelo) en la agricultura de conservación, provoca una reducción en la evaporación de la humedad del suelo, a pesar de conducir una más alta infiltración del agua en el perfil del suelo. El porcentaje de agua de lluvia que infiltra el suelo depende de la cantidad de cobertura de suelo proporcionada (Figura 4).

Tanto mediante los efectos de poros dejados por las raíces de las plantas, lombrices de tierra, insectos y otros organismos del suelo, o mediante una mejorada porosidad del suelo y mayor número de agregados mas grandes, en ambos casos, es la materia orgánica acumulada, la que crea las condiciones favorables (ver módulo Salud del suelo y fertilidad). La Figura claramente muestra que en suelos descubiertos (cobertura =0 t ha^{-1}), la escorrentía, y por ende la erosión del suelo, es mas alta que cuando el suelo está protegido con una cobertura.

Los residuos de cultivos dejados en la superficie del suelo, conducen a una más alta agregación del suelo, una porosidad más elevada y a un número superior de macro poros, y por lo tanto, tienden hacia más altas razones de infiltración. Como los cultivos de cobertura producen diversas cantidades

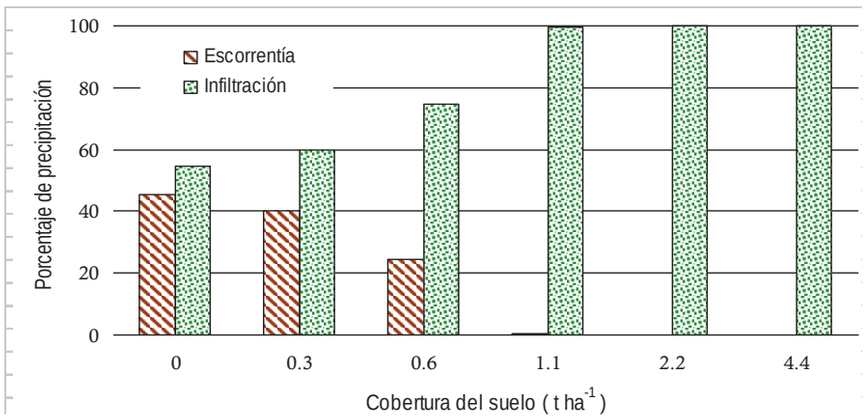


Figura 4
Efecto de la cantidad de cobertura de suelo en la escorrentía e infiltración del agua de lluvia. (Ruedell, 1994)

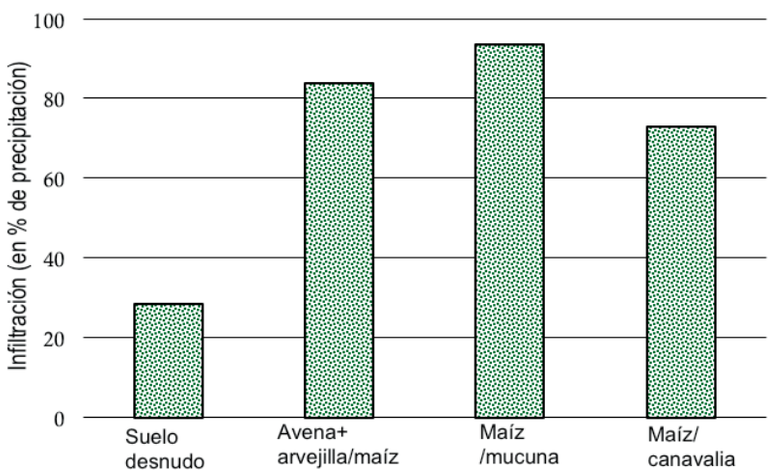


Figura 5
Efecto de diferentes cultivos de cobertura comparado con el suelo descubierto en un sistema de producción de maíz en la infiltración del agua de lluvia (Debarba y Amado, 1997).

de biomasa, la densidad de los residuos varia con los diferentes cultivos, y por lo tanto, la habilidad para incrementar la infiltración de agua (Figura 5).

Los cultivos de cobertura contribuyen a la protección de la superficie del suelo, y por lo tanto, al mantenimiento y/o mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, incluyendo la adaptación de una profundidad de suelo efectiva mediante sus raíces.

La cobertura vegetativa es esencial para la agricultura de conservación, para la protección del suelo contra los impactos de las gotas de lluvias, y para mantener el suelo bajo sombra y con el más alto nivel de humedad posible, para la utilización y por ende el reciclaje de los nutrientes, y para usar su alelopatía en los efectos físicos sobre las malezas, conduciendo a la reducción en el uso de agroquímicos y, por tanto, de los costos de producción.

Solo de esta forma, se logra hacer que la función de los residuos de paja sea como una manta que atenúa la presión ejercida sobre la superficie del suelo por los tractores y las cosechadoras, evitando así problemas de compactación.

'CULTIVOS DE COBERTURA' VS. 'ABONOS VERDES'

Uno de los más importantes componentes en la agricultura de conservación, es el uso de cultivos de cobertura, como fue discutido anteriormente. En la agricultura de conservación, la terminología 'abono verde', no es usada a menudo, aunque generalmente las mismas especies de plantas son usadas por ambas prácticas. El abono verde es considerado como un cultivo en rotación con el objetivo de conservar o restaurar la productividad de la tierra mediante **la incorporación** de la materia vegetativa no descompuesta, en el suelo. En la agricultura de conservación, esto no es lo deseado por dos razones:

1. en los sistemas de agricultura de conservación el suelo no es alterado, o lo es tan poco como sea posible, y lo más importante,
2. cuando la biomasa es incorporada en el suelo, la actividad microbiana se incrementa con el propósito de descomponer el material, resultando en una súbita liberación de altas cantidades de nutrientes que no pueden ser capturados por las plántulas del siguiente cultivo, y por lo tanto, desaparecen del sistema.

La dinámica de la descomposición de los residuos depende, entre otros, de la cantidad de los micro organismos, pero además de la meso y macrofauna en el suelo. La macrofauna está constituida principalmente de lombrices de tierra, escarabajos, termitas, hormigas, milpiés, arañas, caracoles y babosas, etc.

En la agricultura de conservación, la incorporación de los cultivos de cobertura y de los residuos de malezas, desde la superficie del suelo hacia capas mas profundas en el suelo, es un proceso lento y depende mucho de la actividad de estos macroorganismos. La actividad de los microorganismos es regulada por la actividad de estos macroorganismos, porque ellos le suministran a aquellos 'alimentos' y aire a través de sus madrigueras. En esta forma, los nutrientes son liberados

Lámina 3
Los organismos del suelo promueven la incorporación de residuos y al hacerlo, modifican las propiedades físicas mediante la creación de madrigueras.
C. Pruett

lentamente y pueden proveer al siguiente cultivo con nutrientes. Al mismo tiempo, el suelo es cubierto por un largo tiempo y es protegido contra los impactos de la lluvia y el sol.

En comparación, cuando los cultivos de abono verde son mezclados dentro del suelo, una gran cantidad de oxígeno y "alimento" es procesada dentro del suelo, lo que conlleva a un rápido desarrollo de la población de la microfauna. Esta gran población puede descomponer el 'alimento' ofrecido en una forma mas bien rápida, pero en el momento en que el 'alimento' se acaba, los microorganismos mueren, debido a que ellos no pueden sostener su forma de vida. En ese momento, una gran cantidad de nutrientes es liberada, los que si no son tomados por las raíces de las plantas, pueden fácilmente ser perdidos a través de la lixiviación. El tiempo total, después de la incorporación, en que el suelo no está protegido por una cobertura y por lo que es susceptible al proceso de degradación, resulta en erosión.

LAS ESPECIES DE CULTIVO DE COBERTURA MÁS COMÚNMENTE USADAS

Hay varias alternativas de cultivos para ser usados como cobertura vegetativa, como granos, leguminosas y cultivos oleaginosos. Todos ellos son de gran beneficio para el suelo. Sin embargo, algunos cultivos enfatizan ciertos beneficios, lo cual es útil tener en cuenta para cuando se planee el esquema de rotación. Es importante comenzar los primeros años de la agricultura de conservación con cultivos (de cobertura) que dejen una gran cantidad de residuos sobre la superficie del suelo, los cuales se descomponen lentamente (debido a su alta razón de C/N). Los pastos y cereales son los más apropiados para esta etapa, además, porque debido a su agresivo y abundante sistema de raíces, se requiere de un corto tiempo para mejorar el suelo.

En los siguientes años, cuando el suelo muestra una apariencia más saludable, las leguminosas pueden ser incorporadas en la rotación. Los cultivos de leguminosas enriquecen el suelo con nitrógeno y se descomponen rápidamente debido a su baja razón C/N. Más adelante, cuando el sistema está estabilizado, es posible incluir los cultivos de cobertura con una función económica, como por ejemplo, forraje para el ganado.

Cuando un agricultor considera el empleo de cultivos de cobertura, es importante conocer:

- si él necesita tener más beneficios;
- cuál de los cultivos de cobertura disponibles es el más apropiado;
- cuándo sembrar y controlar el cultivo de cobertura;
- si el cultivo de cobertura necesita gran cantidad de agua;
- si es posible controlar el cultivo de cobertura suficientemente, de tal forma que no se convierta en una maleza; y,
- si el cultivo de cobertura aporta los mismos beneficios que una rotación con cultivos comerciales solamente.

A fin de que los cultivos de cobertura sean capaces de integrarse exitosamente, en el sistema de producción actual, es crucial seleccionar las plantas que son adaptadas a las diferentes condiciones de suelo y clima y muestran ventajas que les permiten ajustarse al esquema de rotación. Para esto, no sólo es necesario conocer todos los detalles agronómicos de las especies, sino también, todas las condiciones específicas del sitio donde serán sembradas (suelo y clima) y los objetivos anticipados y condiciones socio-económicas de los agricultores.

Las especies que serán usadas como cultivo de cobertura necesitan ser probadas y validadas por los agricultores en sus tierras con el propósito de familiarizarse con los detalles técnicos de las especies de plantas.

La selección de los cultivos de cobertura puede depender de dos criterios principales, la presencia de altos niveles de lignina y de ácidos fenólicos, los cuales dan a los residuos, una más alta resistencia a la descomposición y por lo tanto, resultan en una protección del suelo por un período más largo. Los siguientes aspectos deben ser considerados cuando se usan cultivos de cobertura:

- La época de siembra: muchas especies muestran latencia o fotoperiodismo. Esto significa que la producción de biomasa depende de, en cuál período del año la planta es sembrada. La siembra debe ser hecha en la época adecuada. Con el objeto de no poner en peligro los siguientes cultivos, es necesario una buena planificación de los cultivos de cobertura.
- Un adecuado espaciamiento/densidad del cultivo de cobertura, es importante con el propósito de crear una rápida cubierta de la superficie para proteger al suelo de la lluvia y el sol, y suprimir las malezas.
- Manejo del suelo: para la siembra del cultivo de cobertura no es necesaria la preparación de la tierra.
- Los cultivos de cobertura pueden ser sembrados, bien usando la siembra directa o diseminando sobre el rastrojo del último cultivo, posiblemente usando un tronco de árbol, un rodillo de cuchillas, una grada de discos dispuesta como un rodillo con el ángulo de ataque de los discos a 0°, o cadenas para poner las semillas en contacto con el suelo. Algunas especies tienen la habilidad de resembrarse ellas mismas, como la arvejilla peluda.
- Calidad de las semillas: como en los cultivos comerciales, las semillas o el material a plantar requieren ser de alta calidad y libre de patógenos para evitar fallas en la germinación por baja calidad de las semillas.

Cuadro 4. Adaptación agro-ecológica de los cultivos de cobertura mas comúnmente usados

NOMBRE CIENTÍFICO	INGLÉS	ESPAÑOL
	Leguminosas adaptadas a tierras bajas húmedas	
Centrosema pubescens	Centro, butterfly pea	Jetirana, bejuco de chivo
Phaseolus mungo	Black gram	
Pueraria phaseoloides	Tropical kudzú	Kudzú tropical
	Leguminosas adaptadas al fuego	
Centrosema pubescens	Centro, butterfly pea	Jetirana, bejuco de chivo
Desmodium adscendens		
Glycine wightii	Glycine	Soya perenne
Macroptilium atropurpureum	Siratro	Siratro
	Leguminosas adaptadas a condiciones frías	
Clitoria ternatea	butterfly pea	Campanilla, zapallito de la reina
Desmodium intortum	Greenleaf desmodium	Pega-pega
Desmodium incinatum		
Glycine wightii	Glycine	Soya perenne
Lotononis bainesii	Lotononis	Lotononis, Miles lotononis
Medicago sativa	Lucerne	Alfalfa
Phaseolus lathyroides	Phasey bean	Fríjol de monte, fríjol de los arrozales
Trifolium spp.	Clover	Trébol
	Leguminosas adaptadas a áreas frecuentemente empantanadas e inundadas	
Lotononis bainesii	Lotononis	Lotononis, Miles lotononis
Phaseolus lathyroides	Phasey bean	Fríjol de monte, fríjol de los arrozales
Pueraria phaseoloides	Tropical kudzú	Kudzú tropical
Vigna luteola	Dalrymplar vigna	
Vigna umbellata	Rice vean	
	Leguminosas que toleran la sequía	
Cajanus cajan	Pigeon pea	Gandúl
Canavalia brasiliensis		
Canavalia ensiformis	Jack bean, sword bean	Canavalia
Clitoria ternatea	butterfly pea	Campanilla, zapallito de la reina
Desmanthus virgatus		
Desmodium uncinatum	Silverleaf desmosium	
Dolichos lablab	Lablab bean	Fríjol caballo, gallinita

Galactia striata		Frijolillo, Galactia
Glycine wightii	Glycine	Soya perenne
Indigofera endecaphylla		Indigo
Leucaena endecaphylla		
Macrotyloma axillare	Archer axillaris	
Stylosanthes guyanensis	Common stylo, tropical lucerne	Alfalfa de Brasil
Stylosanthes hamata	Caribbean stylo, pencil flower	Tebeneque
Stylosanthes humilis	Townsville stylo, wild lucerne	Alfalfa salvaje
Stylozobium spp.	Mucuna, velvet bean	Fríjol terciopelo
Vigna unguiculata	Cowpea	Caupí

Leguminosas adaptadas a la sombra		
Arachis pintoi	Horse groundnut	Maní forrajera
Calopogonium mucunoides	Calapo	Rabo de iguana
Canavalia ensiformis	Jack bean, sword bean	Canavalia
Indigofera spp.		Indigo
Leucaena leucocephala	Leucaena	Leucena, acacia bella rosa, aroma blanca
Pueraria phaseoloides	Tropical kudzu	Kudzú tropical
Trifolium repens	White clover	Trébol blanco

Leguminosas adaptadas a suelos fértiles		
Glycine wightii	Glycine	Soya perenne
Medicago sativa	Lucerne	Alfalfa
Stilozobium deeringianum (= Mucuna pruriens)	Mucuna, Velvet bean	Mucuna, Fríjol terciopelo
Trifolium spp.	Clover	Trébol
Vicia sativa	Common vetch	Arveja común

Leguminosas adaptadas a suelos medios fértiles		
Centrosema pubescens	Centro, butterfly pea	Jetirana, bejuco de chivo
Galactia striata		Frijolillo, Galactia
Macroptilium atropurpureum	Siratro	Siratro
Lupinus albus	White lupin	Lupino blanco
Lupinus angustifolius	Blue lupin	Lupino azul
Lathyrus sativus	Grass pea, chickling pea	Guija
Crotalaria juncea	Sunn-hemp	Crotalaria

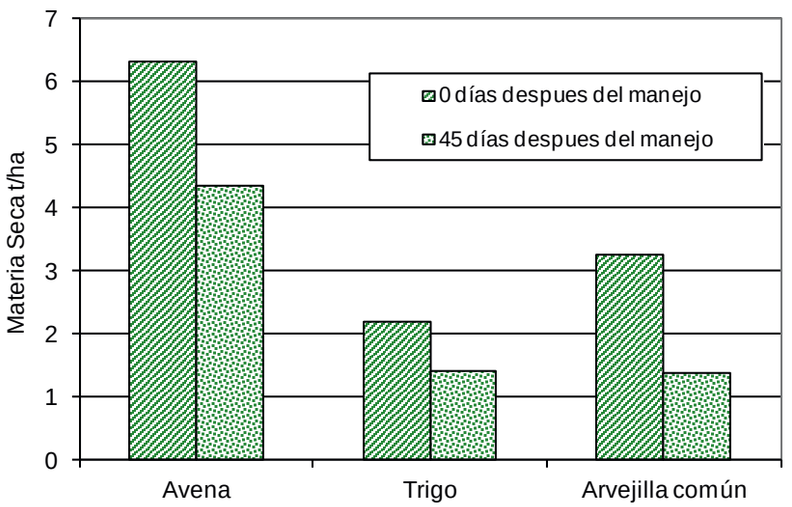
Leguminosas y otras especies tolerantes a suelos de baja fertilidad		
Cajanus cajan	Pigeon pea	Gandul

Calopogonium mucunoides	Calapo	Rabo de iguana
Canavalia brasiliensis		
Canavalia ensiformis	Jack bean, sword bean	Canavalia
Centrosema spp.	Centro, butterfly pea	Jetirana, bejuco de chivo
Desmodium spp.	Desmodium	Pega-pega
Galactia striata		Frijolillo, Galactia
Indigofera spp.		Indigo
Leucaena leucocephala	Leucaena	Leucena
Lotus corniculatus	Birdsfoot trefoil	
Lupinus luteus	Yellow lupin	Lupino amarillo
Macroptilium atropurpureum	Siratro	Siratro
Stylosanthes spp.	Stylo	
Stylozobium aterrimum	Black mucuna	Fríjol terciopelo negro
Teramnus uncinatus		Maní de venado
Vicia villosa	Hairy vetch	Arveja pelluda
Vigna unguiculata	Cowpea	Caupí
Zornia diphlla	Zornia	Zornia, barba de burro
Lollium multiflorum	Italian ryegrass	
Ornithopus sativus	Pink serradella, bird's foot	
Secale cereale	Rye	Centeno
Spergula arvensis	Corn spurry, spurry	Linacilla

RESISTENCIA A LA DESCOMPOSICIÓN

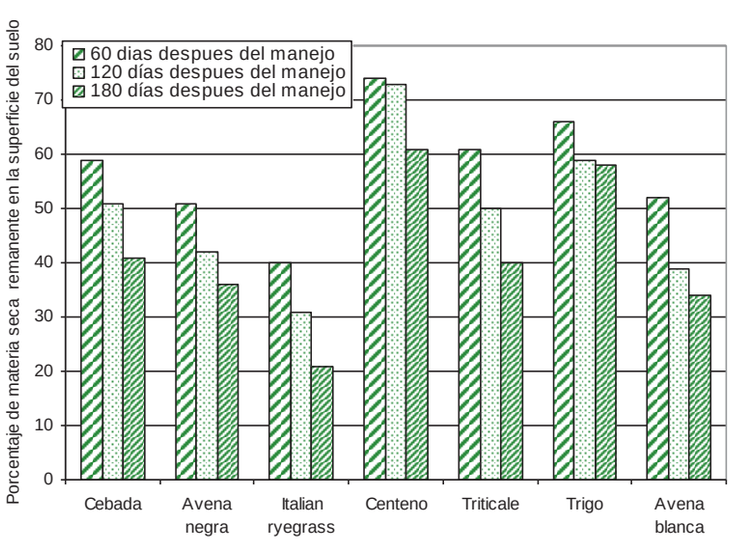
Un factor determinante de la dinámica de descomposición del residuo, es su composición bioquímica. De acuerdo a las especies, sus componentes químicos y el tiempo y forma de manejo de ellas, existen diferencias en la razón de descomposición, como se muestra en la Figura 6. Las especies de granos (avena y trigo) muestran más resistencia a la descomposición que la arvejilla común (leguminosa). Esta última tiene una razón C/N más baja y menos contenido de lignina, y por lo tanto está sujeta a una rápida descomposición.

Figura 6
Reducción de materia seca de diferentes cultivos de cobertura (Ruedell, 1995)



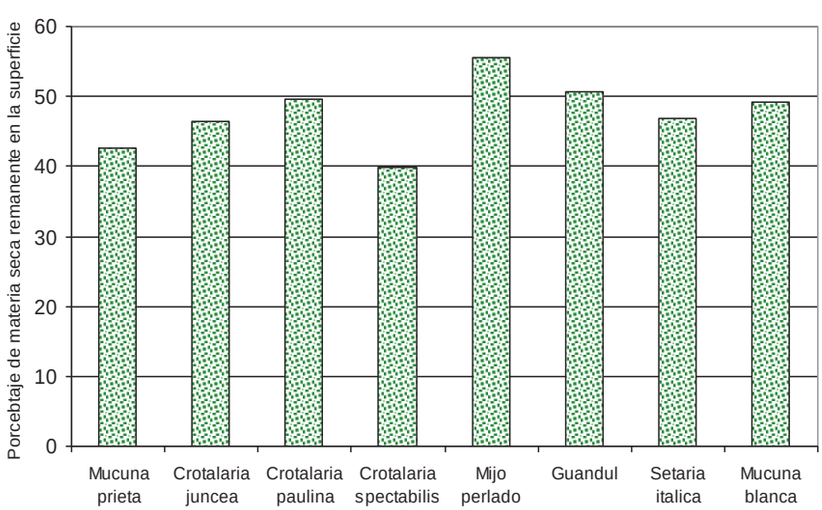
Puesto que uno de los objetivos principales de un cultivo de cobertura, es la protección del suelo, su resistencia a la descomposición debe ser uno de los criterios para seleccionar los cultivos de cobertura. La Figura 8 da una visión general de la resistencia a la descomposición de diferentes cultivos de cobertura de granos. Los residuos del centeno y del trigo son más resistentes a la descomposición, mientras que el raygrass italiano es descompuesto más rápidamente.

Figura 7
Resistencia a la descomposición de siete especies de cultivos de cobertura a tres diferentes tiempos después del manejo (Roman, 1990).



También para los cultivos de cobertura tropicales y subtropicales, la resistencia a la descomposición ha sido investigada, como es mostrado en la Figura 9. El mijo perlado seguido por el gandul, la mucuna blanca y la *Crotalaria paulina*, demostraron superior resistencia y dejaron más cobertura de suelo por un período más largo, comparado con los otros cultivos. Por lo tanto, estos cultivos son más adecuados como un cultivo de cobertura, especialmente durante los primeros años de la agricultura de conservación, que otros cultivos.

Figura 8
Resistencia de los cultivos de cobertura tropicales a la descomposición, 73 días después del manejo de los cultivos de cobertura (Pelá., 1999).



Generalmente, el tipo de cultivo y el manejo posterior, determina la cantidad de residuos producidos, la cobertura de suelo generada y el tiempo que permanece la cobertura sobre la superficie antes de ser descompuesta.

Lámina 4
Fríjol de soya plantado sobre los residuos de un cultivo previo de maíz.
S. Bunning

Cuadro 5 Resistencia a la descomposición

DIFÍCIL DESCOMPOSICIÓN (RESISTENTE)	FÁCIL DESCOMPOSICIÓN (FRÁGIL)
Algodón	Leguminosas
Maíz	Cultivos oleaginosos
Avena	Patata
Sorgo	Remolacha de azúcar
Trigo	Girasol

MANEJO DE RESIDUOS Y CULTIVOS DE COBERTURA

Los sistemas de agricultura de conservación comienzan cada año con la producción y distribución de residuos de cultivos o un cultivo adicional de cobertura.

Erróneamente, se piensa a menudo, que la AC solamente puede ser implementada exitosamente, si los herbicidas son aplicados. Afortunadamente, la creatividad y persistencia de muchos agricultores e investigadores han conducido hasta la situación actual, en la cual existe una gran cantidad de conocimientos y equipos para manejar los cultivos de cobertura sin el uso de herbicidas.

El material vegetativo adecuadamente manejado:

- adiciona materia orgánica, lo cual mejora la calidad de la cama de siembra e incrementa la capacidad de infiltración y retención de agua del suelo;
- fija el carbono mediante la captura del dióxido de carbono de la atmósfera y lo retiene en el suelo;
- amortigua el pH del suelo y facilita la disponibilidad de nutrientes;
- sustenta el ciclo de carbono en el suelo;
- captura el agua de lluvia y por lo tanto aumenta el contenido de humedad del suelo;
- protege al suelo de ser erosionado; y,
- reduce la evaporación.

Los residuos mal manejados:

- provocan un desigual desecamiento del suelo y por ende, una demora en el calentamiento de la cama de siembra o una dispareja germinación del cultivo;
- interfieren con las actividades de siembra y fertilización; y,
- impiden la emergencia de las plántulas.

Los residuos son manejados durante:

- la cosecha;
- la preparación de tierras; y,
- la siembra.

En la agricultura de conservación, los residuos deben ser manipulados desde la cosecha hacia delante. Esto depende del siguiente cultivo de cobertura, si los residuos deben ser o no distribuidos equitativamente sobre la superficie del campo, o dejados intactos, de tal modo que los cultivos de cobertura se trepen hacia arriba como hace la mucuna, que se enrolla en los tallos de maíz dejados en el campo.

Una distribución uniforme de los residuos garantiza condiciones homogéneas de temperatura y humedad. En caso de que los residuos no sean distribuidos más o menos igualmente, sobre la superficie del suelo, esto puede causar los siguientes problemas:

- mala colocación de las semillas durante la siembra, lo que resulta en una germinación dispareja;
- un entorno frío y húmedo alrededor de las semillas, favorece el desarrollo de plagas y enfermedades; y,
- provoca la alelopatía.

El manejo del residuo requiere un buen conocimiento de las características de los residuos, uno más o menos uniforme, distribución sobre el campo, y la modificación del equipo de siembra.

Según Monegat (1991), es importante escoger el momento preciso en el cual la cobertura vegetativa tiene que ser controlada, debido a que la mayoría de las especies utilizadas, pueden regenerarse si su crecimiento es interrumpido prematuramente.

En otros casos, las semillas maduras de los cultivos de cobertura pueden germinar si se permite que las plantas maduren, como puede suceder con la avena, el centeno, el chicharo, las *Vicias* o arvejas y el rábano de forraje. Hay, sin embargo, especies y rotaciones donde los cultivos de cobertura son dejados madurar a propósito, para establecer un banco de semillas, el cual permitirá al cultivo de cobertura, crecer automáticamente una vez que es cosechada las semillas de los cultivos que dan dinero.

El mejor momento para controlar la mayoría de las especies de cultivos de cobertura, es en la floración completa, cuando ellas han acumulado el máximo de biomasa. En el caso de las leguminosas, las vainas de la primera floración deben estar ya formadas pero no maduras todavía. Las *Vicias* deben tener algunas vaínas maduras. La avena y el centeno pueden ser mejor manejadas en el estado lechoso. El rábano de caballo puede ser cortado en cualquier estado de crecimiento, pero en los sistemas de siembra directa o labranza mínima, las semillas deben estar verdes e inmaduras fisiológicamente para evitar la germinación de las nuevas plantas. Ambas *Crotalaria* y gandul, necesitan ser controladas antes de la floración debido a su alta razón de recrecimiento y excesivo desarrollo de leña en los tallos.

Lámina 5
Un agricultor usando un trineo para manejar el cultivo de cobertura de mucuna.
A. Calegari

Lámina 6
Chapear o guadañar es una forma común de manejar el cultivo de cobertura en América Latina.
FAO

El más adecuado modo para manejar los cultivos de cobertura depende de la finalidad del cultivo de cobertura y de las posibilidades del agricultor. En caso de cobertura vegetativa muerta o mantillo, debe cubrirse el suelo tanto tiempo como sea posible. La mejor forma de manejar la biomasa es usando un rodillo de cuchillas, cadenas, un trineo o herbicidas.

Cuando el proceso de descomposición tiene que empezar inmediatamente para liberar los nutrientes, es recomendable cortar o guadañar el cultivo de cobertura. En algunos casos puede ser necesario completar el proceso con herbicidas.

Las investigaciones muestran que el período entre el corte/manejo del cultivo de cobertura y la siembra del cultivo comercial (maíz, fríjol, soya, etc.), define el nivel de producción del cultivo (Figura 9). Esto está relacionado con algunas de las sustancias que son liberadas durante la descomposición de los cultivos de cobertura. Esto es llamado alelopatía. En general, el manejo de los cultivos de cobertura de leguminosas y de rábano de caballo, diez días antes de de la plantación de maíz, da muy altas respuestas en los rendimientos. Hay ejemplos que muestran rendimientos del maíz que fueron 1.5 ton por hectárea más, comparada con maíz sembrado en el mismo día del manejo.

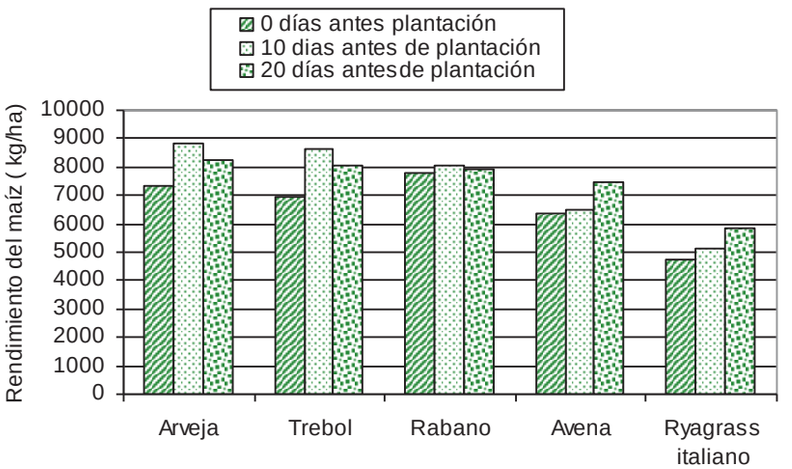


Figura 9
Rendimientos del maíz relacionado al momento del manejo del cultivo de cobertura (Ruedell, 1995).

Lámina 7
Efecto alelopático de avenas (residuos) en la germinación de malezas; en este caso *Cyperus rotundus.*
A.J. Bot

El rábano de caballo muestra la menor fluctuación en el rendimiento, en relación al manejo del cultivo de cobertura. El rendimiento del maíz en coberturas de especies de pastos, como la avena y el raygrass italiano, aumenta cuando son dejados más días entre el manejo del cultivo de cobertura y la siembra del maíz. Esto obviamente está relacionado a una reducción de la inmovilización del nitrógeno y a los efectos alelopáticos fuera de tiempo, y diferentes niveles de lignina y hemicelulosas.

En caso de una siembra directa sobre el cultivo de cobertura, es recomendado sembrar 8-12 días después del manejo del cultivo de cobertura para cultivos de cobertura con razón C/N de baja a media (12-22), y de 12 -20 días para cultivos de cobertura con alta razón C/N (>24).

MEZCLAS DE CULTIVOS DE COBERTURA

El mezclado de los cultivos no es una práctica agrícola nueva. Por generaciones, los agricultores han sembrado maíz y fríjol en asociación en áreas tropicales, y en áreas templadas las leguminosas son sembradas dentro de pastos con el objetivo de mejorar el área de pastoreo.

Las asociaciones de cultivos tienen numerosos beneficios en los sistemas de producción. El efecto de la disponibilidad del nitrógeno en cantidades apropiadas y en el momento adecuado para los subsecuentes cultivos, y

el proporcionar una cobertura del suelo por un período mas largo, son algunos de los impactos positivos de las mezclas de los cultivos de cobertura. Los residuos de cultivos pueden ser una fuente efectiva de nitrógeno para los cultivos de granos, como el maíz, el sorgo y otros con una alta demanda de nitrógeno, garantizando que, la liberación de nutrientes de los residuos, sea sincronizada con la demanda del cultivo comercial. Por consiguiente, la asociación de cultivos ideal es la única que ofrece suficiente residuos para abastecer 'una piscina' de N mineral proveniente de la descomposición para atender al cultivo comercial. La estrategia, para las asociaciones de cultivos, es buscar por especies de diferentes familias que tienen diferentes razones C/N y contenidos de lignina, y que son capaces, tanto de suministrar los nutrientes, como de proveer la cobertura de suelo por un largo tiempo.

Las mezclas pueden ser hechas de cereales/pastos y leguminosas, cereales/pastos y cultivos oleaginosos o inclusive mezclando 2-3 o más especies, que además presentan un importante impacto en el mejoramiento de las propiedades del suelo y que producen una razón C/N que favorece una gradual mineralización del nitrógeno. En general, cuando los residuos de las especies de pastos son mezclados con residuos de leguminosas, no tendrá lugar la inmovilización del nitrógeno, y la gradual mineralización favorece la disponibilidad de nutrientes para absorción de las plantas.

Las mezclas mas comúnmente usadas incluyen:

- Rábano + avena; avena + forraje guisante; avena + arveja; avena +trébol +arveja; centeno +forraje guisante + rábano; avena + forraje guisante + rábano para áreas templadas y subtropicales.
- Mijo +sorgo; mijo +*Crotalaria juncea*; gandul + sorgo; caupí + mijo; sorgo + *Crotalaria juncea* para regiones tropicales.

La siembra mezclada es otra forma de cultivos mezclados. Por ejemplo, el maíz puede ser mezclado con gandul y Crotalaria juncea, ambos plantados cuando el maíz ha alcanzado una altura de 30 cm usando la misma máquina que se usó para plantar el maíz. Otra mezcla es maíz plantado con Stilozanthes; en este caso, ambos son sembrados en el mismo momento. En América Latina una práctica muy común incluye la mezcla de maíz con Mucuna o Canavalia. En ambos casos, plantados después de 80-100 días de instalado el maíz. Después de la cosecha del maíz estas especies aceleran su desarrollo, produciendo un crecimiento por doquier de los residuos del maíz. Los cultivos subsecuentes pueden incluir fríjoles, sorgo o girasol.

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DE CULTIVO DE COBERTURA EN LA FINCA

La producción en la finca de las semillas de los cultivos de cobertura, es un requerimiento básico para los sistemas de la agricultura de conservación, que permite al agricultor, generar el máximo de cobertura de suelo. En general, la compra de las semillas de cualquier tipo de cultivo de cobertura, no es realista por el alto costo (Monegat, 1991), o no disponibilidad de las semillas.

Un agricultor debe comenzar su propia producción de semillas obteniendo pequeñas cantidades de una o más especies. El proceso de producción debe de fundamentarse en los siguientes criterios:

- producir sólo las cantidad que son necesitadas a nivel de finca, con un margen de seguridad de 10-20%;
- cada año, definir y reservar un área especifica en la finca con el único objetivo de producir semillas; y,
- producir más de una especie, para disminuir los riesgos.

La producción de semillas con fines comerciales usualmente no es factible debido a las siguientes razones:

- la producción de semillas demanda una cantidad grande de mano de obra;
- ocupa un área que puede ser usada en cultivos comerciales;
- ausencia de infraestructura de tratamiento y comercialización;
- bajos precios; y,
- restricciones legales para la producción de semillas.

Muchos agricultores enfrentan serios problemas en la producción de sus propias semillas. Una de las razones es que la producción de semillas requiere más atención que la producción de granos. En general, los siguientes aspectos deben ser considerados:

- evitar áreas con alta incidencia de malezas;
- evitar suelos muy fértiles por leguminosas;
- reducir la densidad de plantación en la producción de semillas, comparada a las plantas usadas como cultivo de cobertura;
- si el suelo es muy fértil, o no fue protegido con cultivos de cobertura, es mejor cortar o pastorear el cultivo antes de la floración;

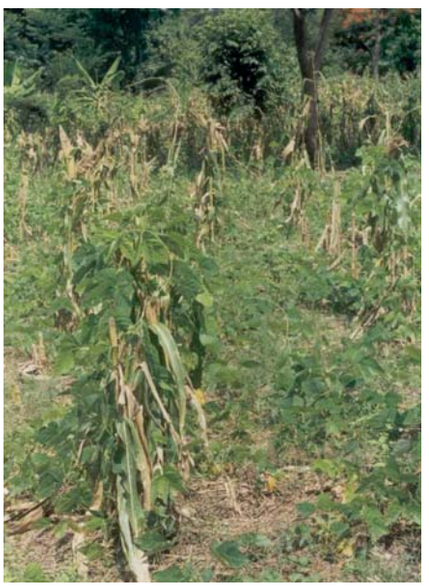


Lámina 8
La mucuna usa los tallos inclinados de maíz para trepar por ellos.
A.J. Bot

- período apropiado de plantación;
- para evitar las incidencias de plagas y enfermedades, es importante cambiar el área de producción de semillas cada año; y,
- periódicamente comprar nuevas semillas, intercambiar con los vecinos o cambiar especies.

Para plantas con tallos trepadores, tales como algunas legumbres, un apoyo evitaría la incidencia de enfermedades y por lo tanto, resultaría en más altos rendimientos y semillas más saludables. Los medios de soporte pueden incluir:

- los tallos de maíz inclinados hacia abajo o los tallos de sorgo cosechado, cortar a 1-1.5 m;
- plantas de apoyo asociadas, como el gandul, la sesbania, el lupino, etc.;
- tallos secos de yuca;
- árboles esparcidos; y,
- paredes y cercas.

Al igual que en la producción de granos, siempre usar semillas saludables para la plantación. Si hay riesgo de incidencia de enfermedad, las semillas deben ser tratadas antes de la plantación; algo que es recomendable (desde el punto de vista de costo-eficiencia), cuando el cultivo es usado como cobertura solamente.

El ciclo completo (desde la plantación a la cosecha) puede variar para las mismas especies y en el mismo año, debido a:

- el fotoperiodismo;
- el clima: temperatura y lluvias; y,
- la fertilidad del suelo: el suelo pobre tiende a acelerar el ciclo de crecimiento de algunas especies, como Lathyrus, arvejas, guisante de campo, frijoles, serradella y lupinos, pero puede echar abajo el desarrollo de, por ejemplo, la avena negra.

Antes de su almacenaje, las semillas necesitan ser secadas, preferiblemente en el sol o en la sombra, hasta un nivel de humedad del 8-12%. Un modo práctico para determinar este nivel, es poner a prueba las semillas entre los dientes. Las semillas requieren ser limpiadas de desechos y polvo. Asimismo, otras semillas, o cuando los cultivos están creciendo juntos, las diferentes semillas deben ser separadas. El almacenaje a nivel de finca

debe ser hecho en tinas, botellas, papel, algodón o recipientes plásticos, cajas de madera, etc. Cuando las semillas son susceptibles a los ataques de insectos durante el almacenaje, las hojas de *Eucalyptus* o cenizas pueden ser mezcladas con las semillas.

OTRAS INFORMACIONES SOBRE CULTIVOS DE COBERTURA

Una gran cantidad de información está disponible en Internet. Para aquellos que tienen acceso a los sitios web de Internet la siguiente información puede ser útil.

Centre d'Information et d'Echanges sur les Plantes de Couverture en Afrique (**CIEPCA**) (Centre for Cover Crops Information and Seed Exchange in Africa).
CIEPCA – IITA; 08 B.P. 0932 Cotonou, République du Bénin
Tel: (229) 35 01 88; Fax: (229) 35 05 56; E-mail: ciepca@cgiar.org.

Their electronic biannual and bilingual (English and French) 'CIEPCA newsletter' and 'Mucuna news' (only in English) are available through their website at: http://ppathw3.cals.cornell.edu/mba_project/CIEPCA/home.html.

CIAT-Uganda is in the process of developing Extension Brochures on Mucuna, Canavalia, Tephrosia and Crotalaria, as announced on the website:
http://ppathw3.cals.cornell.edu/mba_project/CIEPCA/exmats/exmat.html
The Mucuna flyer is finalized and can be downloaded or printed from:
http://ppathw3.cals.cornell.edu/mba_project/CIEPCA/exmats/mucuna.pdf.

ILEIA: The Centre for Research and Information on Low External Input and Sustainable Agriculture can be accessed through their website:
http://www.ileia.org/default.asp.

Their quarterly newsletter is also available on the Internet and some articles on cover crops are mentioned below:

- Between love and despair: http://www.ileia.org/2/11-3/11-3-4.htm\
- Aggressive colonizers work for the farmers: experiences from South-East Asia: http://www.ileia.org/2/11-3/11-3-10.htm
- Green manures, a new chance for small farmers: http://www.ileia.org/2/11-3/11-3-16.htm
- An Odyssey of discovery: principles of agriculture for the humid tropics: http://www.ileia.org/2/11-3/11-3-18.htm

- Legumes for sustainable food production in semi-arid savannahs: http://www.ileia.org/2/11-4/11-4-18.htm
- Edible cover crops: http://www.ileia.org/2/12-2/12-2-30.htm
- Achieving sustainability in the use of green manures: http://www.ileia.org/2/13-3/13-3-12.htm
- Monocultures towards sustainability: http://www.ileia.org/2/16-4/04-05.PDF
- Reducing food poverty with sustainable agriculture: new evidence: http://www.ileia.org/2/17-1/21.PDF.

CIMMYT together with IDRC and Rockefeller Foundation has produced a book on the use of mucuna in Latin America: "Cover crops in hillside agriculture. Farmer innovation with Mucuna." The whole document is downloadable at: http://www.idrc.ca/books/focus/841.

Cover crop database of UC Davis California at: http://www.sarep.ucdavis.edu/ccrop/.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Debarba, L. and T.J.C. Amado. 1997. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do brasil com características de sustentabilidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo 21, p.473-480.

Monegat, C. 1991. Plantas de cobertura do solo. Características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó. 337pp.

Pelá, A., M.S. Silva, L.A. de M. Costa, C.J. da Silva, C. Zucarelli, L.D. Decarli and U.F. Matter. 1999. Avaliação da resistência a decomposição de dez espécies de plantas de cobertura visando o plantio direto. In: Revista Plantio Direto. Vol 53: 26.

Roman, E.R. 1990. Effect of cover on the new development of weeds. In: Proceedings of International workshop on conservation tillage systems: Conservation tillage for subtropical area. Passo Fundo. p.258-262.

Ruedell, J. 1994. Pesquisa em plantio direto na palha e sua importância. In: IV Encontro nacional de plantio direto na palha. Cruz Alta. p.90-105.

Ruedell, J. 1995. Plantio direto na região de Cruz Alta. FUNDACEP. 134pp.

CAPÍTULO 4

NO REMOVER EL SUELO CON LABRANZA

EFECTO DE LA LABRANZA CONVENCIONAL EN EL SUELO

En la agricultura convencional, la remoción del suelo con la labranza es considerada una de las operaciones más importantes para crear una estructura favorable del suelo, preparar el lecho de las semillas y controlar las malezas. Pero los implementos mecánicos, especialmente aquellos arrastrados por tractores (Lámina 9) destruyen la estructura del suelo al reducir el tamaño de los agregados; actualmente, los métodos de labranza convencional son la mayor causa de pérdida del suelo y de desertificación en muchos países en desarrollo.

Lámina 9
El cultivo continuo daña el ecosistema vital pero frágil de la fauna y la flora del suelo. Bolivia *[R. Jones/FAO/19376*

Generalmente, la labranza es definida por el tipo de actividad que realiza (Friedrich, 2000):

Inversión: este tipo de labranza voltea el suelo en la parte que es trabajada. Las capas superficiales son completamente incorporadas y las capas más profundas del suelo son llevadas a la superficie. El argumento que la aradura controla las malezas no es válido cuando es hecha cada año, ya que la misma cantidad de semillas de malezas es llevada a la superficie.

Mezcla: esta operación mezcla todos los materiales de manera homogénea hasta una determinada profundidad del suelo, la que usualmente es alrededor de 10 cm.

Roturar: este tipo de labranza rompe el suelo abierto, con el fin de aflojar al suelo sin mover los terrones, por ejemplo en las operaciones de descompactación del suelo (subsolación).

Pulverización: esta operación es para desmenuzar los terrones del suelo con el objetivo de formar un horizonte muy fino, es decir, la cama de siembra. Es ejecutada dentro de unos pocos centímetros de la superficie.

Ambos, inversión y mezcla agresiva, afectan la cantidad de residuos que son dejados sobre la superficie del suelo. Los arados y discos voltean el suelo completamente, mientras que los arados de cincel rompen y mezclan el suelo y los cultivadores sólo lo mezclan. Las gradas pulverizan el suelo con el fin de preparar la cama de siembra.

Al menos cuatro tipos de operaciones de labranza pueden ser distinguidas en un sistema convencional (Krause y otros, 1984):

- Limpieza del terreno y manejo de los residuos, incluyendo la quema de la vegetación de barbecho o residuos
- Labranza primaria
- Labranza secundaria
- Actividades de manejo de cultivos, como control de malezas, formación de camellones, rompimiento de costras, etc.

Pero algunas veces la profundidad de labranza o de subsolado es necesaria para romper capas densas y compactadas mas profundas en el perfil.

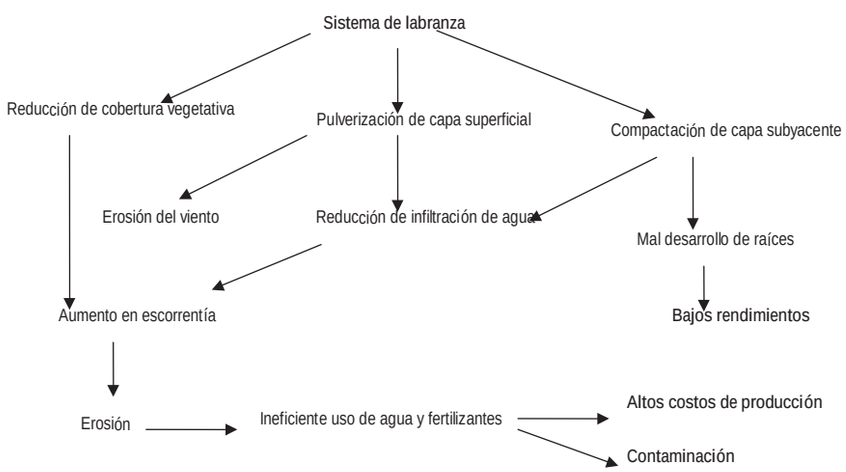


Figura 10
Necesidad de labranza o subsolado

En áreas tropicales y subtropicales, donde el peligro de la erosión por lluvias es alto, los suelos son usualmente pobres y erosionados y las temperaturas son altas y por lo tanto la descomposición es rápida, los sistemas de labranza son usualmente seleccionados con el objetivo de preparar a la parte superior del suelo para crear una muy fina cama de siembra. Y en solo atender este objetivo, los sistemas de labranza que se aplican traen ciertos procesos de degradación con ellos (Figura 9) (Vieira, 1996).

El tipo y número de operaciones de preparación de tierras determina la cantidad de residuos dejados en la superficie del suelo. Por ejemplo, los arados dejan más de 15% sobre la superficie, así como un cultivador deja entre 50 y 70% de los residuos intactos en la superficie.

Cuadro 6 Porcentaje de residuos dejados en la superficie con diferentes actividades de preparación de tierras

TIPO DE PREPARACIÓN DE TIERRAS	RESIDUOS RESISTENTES	RESIDUOS FRÁGILES
Residuos después de la cosecha	80-95	70-80
Arado	0-15	0-10
Arado y cincel	0-10	0-5
Discos (2 operaciones)	15-20	10-15
Cincel (2 operaciones)	30-40	20-30
Cultivador (2 operaciones)	40-50	30-40
Cultivador (1 operación)	50-70	40-60
Siembra directa	80-95	60-80

RECUADRO 1. DESVENTAJAS DE LA LABRANZA

- Pérdida de humedad del suelo
- Limita la infiltración del agua por sellado superficial
- Destruye la estructura del suelo y favorece la compactación
- Incrementa el riesgo de erosión
- Incrementa el costo operacional
- Alta demanda en potencia, tiempo y equipo

DEGRADACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO O COMPACTACIÓN

La degradación de la estructura del suelo (DES), muchas veces llamada compactación del suelo, es estimada como la mas seria forma de degradación del suelo causada por las prácticas de labranza convencional. Sin embargo, de todos los tipos de degradación de tierras, la degradación de la estructura del suelo es reversible y su ocurrencia prevenible o al menos controlable.

La degradación de la estructura del suelo es un problema mundial que abarca todos los suelos y niveles de producción agrícola. Algunos ejemplos del gran costo de la degradación de la estructura del suelo son:

- En un área agrícola de Australia, la cuenca de Murray - Darling, la degradación de la estructura del suelo sola tiene un costo del daño de Aus$ 144 millones (Fray, 1991).
- Las pérdidas del rendimiento del cultivo causadas por la degradación de la estructura del suelo en los E.U. se contabilizan en USD $ 1 billón, anualmente (Lal, 1994).

La degradación de la estructura del suelo no está restringida a las fincas extensas mecanizadas. Los equipos de tiro humano y animal pueden también causar la degradación de la estructura del suelo. Como ejemplos:

- hay informes de degradación de la estructura del suelo en fincas agrícolas de subsistencia tanto en Malawi (Douglas y otros, 1999) como en Bangladesh (Brammer, 2000).
- Las pisadas de caballos y bueyes produce presiones de contacto sobre la tierra de hasta 150 kPa y 250 kPa, respectivamente (Soane y Van Ouwerkerk, 1994). Estas son al menos igual o mayor que un neumático de tractor.

Incrementando significativamente el problema, la degradación de la estructura del suelo es comúnmente estimada como el más difícil tipo de degradación de tierras para localizar y reconvertir. La razón es que la degradación de la estructura del suelo es un fenómeno sub-superficial.

A diferencia de la erosión y la salinización que dan una fuerte evidencia superficial de su presencia, la degradación de la estructura del suelo requiere análisis físicos antes de ser revelada y resuelta su extensión, naturaleza y causa. La combinación del alto costo y la "invisibilidad" hacen de la degradación de la estructura del suelo un gran riesgo en el "desafío de la seguridad alimentaria" global.

Lámina 10
Esta foto muestra un campo, 100% compactado por el pase de ruedas repetido y al azar. El problema fue sólo identificado cuando la capa de erosión removió toda la parte superior del suelo del campo
D. McGarry

¿QUÉ ES LA ESTRUCTURA DEL SUELO Y POR QUÉ ES IMPORTANTE PARA LAS PLANTAS?

La estructura del suelo es la arquitectura del suelo, la forma en que están arreglados las partículas sólidas y los espacios. La descripción de la

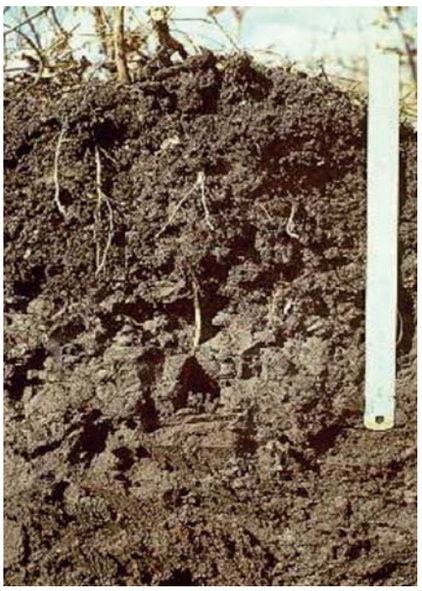


Lámina 11
La capa compactada causada por las ruedas del tractor en la siembra anterior, redujo el rendimiento del cultivo de algodón actual en 50% - unos $1250 / ha perdidos en una temporada.
(*D. McGarry*)

estructura del suelo se refiere al tamaño y forma de las unidades de suelo llamadas agregados ("peds"en inglés) y los espacios de aire (poros) dentro y entre ellos. Los agregados están constituidos de partículas de suelo individuales ligados junto con materia orgánica, arcilla y hierro. Diferentes suelos tienen diferentes tipos de estructuras, formadas en el transcurso de los años como una parte natural de la formación del suelo.

Los espacios de aire entre y dentro de las unidades son los más importantes. No sólo ellos distribuyen el aire, el agua y los nutrientes a través del suelo, sino adicionalmente ellos son usados por las raíces de las plantas para anclar y sostener una planta arriba saludable. Los buenos suelos tienen una mezcla de microporos y macroporos: los macroporos para la entrada de agua y el drenaje, los microporos para el almacenaje del agua.

EL ENEMIGO OCULTO

La degradación de la estructura del suelo es una reducción del espacio poroso entre los agregados. El suelo compactado no proporciona espacio adecuado para el almacenaje o movimiento del aire y el agua del suelo. Lo más importante, los grandes poros continuos del suelo son perdidos o son reducidos en dimensión, lo que conduce a un lento movimiento del agua y una aireación reducida. El crecimiento de raíces y animales del suelo está también restringido.

Las principales causas de la degradación de la estructura del suelo son las fuerzas de los neumáticos agrícolas y los implementos, particularmente en condiciones de suelo húmedos a mojados, cuando el suelo es más frágil para la deformación. Hay un potencial máximo para la compactación del suelo en los sistemas de cultivo convencional, debido a que la mayoría de los cultivos son conducidos en suelo húmedo. Esto es, o bien para matar malezas o para preparar la tierra para la siembra al final de los periodos de barbecho. En ambos momentos, hay un intenso riesgo de compactación del suelo, ya que el suelo húmedo está en una condición degradable y débil.

En los sistemas de cultivo mecanizados el uso continuo de implementos de labranza, especialmente los arados de discos, las gradas de discos, los arados de vertedera y los rotocultores, durante largos periodos de tiempo, frecuentemente repercuten en la formación de pisos de arados densos que contienen pocos poros grandes, suficientes para ser penetrados por las

raíces de los cultivos. Un piso de arado se desarrolla justamente debajo de la profundidad a la cual el suelo es labrado, y con frecuencia tiene superficies superiores lisas con poros sellados, causados por la acción degradante de los arados de vertederas. El grado de compactación depende de la presión ejercida por los implementos en el suelo.

La preparación de las tierras, cuando los suelos están más húmedos que el contenido de humedad óptimo para la labranza, promueve la compactación del suelo, debido a que los suelos son entonces mucho más compresibles. Esto es particularmente probable que ocurra en suelos que tienen deficiente drenaje, o son difíciles de labrar en un estado seco sin reducirse a polvo debido a su consistencia muy dura (p. ej. los suelos pesados). La compactación es también más probable cuando los agricultores usan muchos pases para preparar la cama de siembra, o cuando ellos tienen solo disponibilidad limitada de potencia de tractor y están imposibilitados para usar equipos agregados de gran ancho de trabajo, y por lo tanto producen surcos compactados de ruedas en espacios estrechos de un lado a otro de la superficie del campo. La compactación puede también desarrollarse en el subsuelo por la pasada de maquinaria pesada, como máquinas cosechadoras combinadas y camiones cargados con grano, especialmente en condiciones húmedas. El grado de compactación dependerá de la carga total en el eje de la maquinaria.

Lámina 12
Suelo completamente compactado entre los montículos en una shamba en Uganda.
D. McGarry

La compactación del suelo se puede desarrollar también en la labranza manual. El piso delgado de azadón justo de 2-3 cm de espesor, puede desarrollarse justo debajo de la profundidad de la penetración del azadón y por lo tanto restringir la penetración de las raíces. Cuando los montículos o los camellones son formados cada año, la combinación de cavar con el azadón a la misma profundidad y el tráfico de la gente dentro de los surcos durante las condiciones húmedas puede acentuar la compactación.

La formación de la compactación del suelo en esta forma es típica de la "espiral descendente" de la degradación de tierras con prácticas agrícolas convencionales, necesitando un posterior cultivo para remover la compactación y otras cosas.

La porosidad de la superficie del suelo puede haber sido reducida por la obstrucción de los poros con partículas desprendidas de los agregados del suelo bajo el impacto de las gotas de lluvia, o por la deposición de las partículas desprendidas sobre la superficie del suelo como costras o sellos impermeables.

La formación de costras de suelo no sólo incrementa la pérdida de lluvias, sino puede además severamente restringir la germinación de las plántulas. En situaciones donde el encostramiento necesita una resiembra, habrá costos adicionales de preparación de tierras, siembra y resiembra, junto con la reducción del rendimiento que resulta de la siembra tardía. Los costos del encostramiento pueden ser sustanciales, y así en 1984 en Santa Cruz, Bolivia, el costo de la resiembra de algodón en suelos severamente encostrados fue de $340 ha^{-1}.

El encostramiento y la escorrentía están acentuados por la excesiva labranza, la cual conduce a la pulverización del suelo y la progresiva pérdida de materia orgánica del suelo; esto es perjudicial ya que la pérdida de materia orgánica favorece la desintegración de los agregados del suelo. La facilidad con que son destruidos los agregados del suelo en partículas más pequeñas depende de la estabilidad de los agregados. Los suelos arcillosos, con alto contenido de materia orgánica, generalmente poseen alta estabilidad.

La porosidad del suelo subyacente puede ser naturalmente baja, o puede haber sido reducida por la compactación y las prácticas de labranza que han desestabilizado o destruído los espacios de poros, causando una zona de baja permeabilidad en la base de la capa labrada. El grado al cual la porosidad del suelo es reducida por la labranza, es frecuentemente suficiente para limitar la penetración de las raíces, pero es menos frecuente tan severa para que la permeabilidad al agua sea disminuida significativamente.

Con respecto al rendimiento, la reducción del espacio de poros puede ser al menos tan importante como la pérdida de partículas del suelo. Esta afecta el movimiento del agua y la fuerza de los suelos en la retención de agua, la expansión de raíces y el intercambio gaseoso de O_2 y CO_2 con la atmósfera. Este daño es similar a la pérdida de espacios en un bloque de apartamentos cuando ellos son demolidos: permanece la misma cantidad de material de construcción, pero el valor de la arquitectura es perdido debido a que no hay espacios vacíos usables/habitaciones. No se puede presumir que los suelos poco profundos sean necesariamente más propensos a la escorrentía que los suelos más profundos, ya que la permeabilidad dependerá de la velocidad a la cual el material parental del suelo puede aceptar el agua. Algunos materiales parentales son impermeables, mientras que otros son altamente permeables, debido a su naturaleza porosa o la presencia de muchas grietas y fisuras.

Los suelos compactados son menos productivos, comparados con los mismos suelos con buena estructura, debido a la reducción de la aireación para el crecimiento saludable de las raíces y de la absorción de nutrientes para el máximo rendimiento del cultivo. Esto es particularmente cierto en regiones áridas, y semi-áridas donde las condiciones de estructura de suelo óptimas son requeridas para maximizar, tanto la entrada de agua en el suelo, como el almacenaje de agua durante el barbecho. En temporadas secas, el crecimiento de las raíces debe, además, ser óptimo y una estructura fina es requerida para mejorar la proliferación de raíces y poder absorber completamente las reservas de agua que permitan incrementar la producción de granos y fibras a través de la cosecha.

EFECTOS DE LA DEGRADACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO

La compactación del suelo, debido al colapso o disminución de los espacios de poros, es la causa mas común de restricción física para el crecimiento y desarrollo de las raíces. Una vez que los poros han sido compactados hasta menos de cerca de 0.2-0.3 mm de diámetro, es difícil que las raíces de los cultivos penetren libremente en el suelo.

Aunque la resistencia de las capas compactadas decrece a medida que el contenido de agua aumenta, un alto contenido de agua puede limitar rápidamente el suministro de oxígeno a las raíces, entonces esas raíces se restringen por la falta de oxígeno. Ciertos cultivos, como el algodón y el girasol, parecen ser más susceptibles que otros a las restricciones de las raíces en las capas compactadas.

La compactación a menudo reduce las dimensiones de los poros suficientemente para inhibir la penetración de las raíces, pero no lo suficientemente para afectar el drenaje del agua a través del suelo. Los poros de 0.2-0.3 mm de diámetro pueden restringir las raíces, pero el agua puede drenar por la gravedad a través de los poros tan pequeños como 0.01 mm de diámetro.

Un efecto similar a la compactación puede ocurrir cuando los suelos estructuralmente inestables, conocidos como suelos pesados, caen bruscamente y se convierten en suelos saturados por las intensas tormentas de lluvias para formar capas densas. Cuando se seca la capa densa de suelo, se convierte en muy duro y resistente a la penetración de las raíces.

Lámina 13
El nivel alto de la tabla de agua y las inundaciones restringirán el desarrollo y crecimiento de las raíces y por lo tanto desproveerán cualquier producción de plantas.
FAO

El enraizamiento restringido puede también ser causado por los horizontes densos de formación natural que contienen pocos poros, suficientemente grandes para que las raíces penetren. Estos horizontes pueden ser encontrados en suelos formados por los depósitos aluviales de los ríos, lagos o sedimentos volcánicos y en áreas áridas y semiáridas donde son formados horizontes gipsicos (sulfato de calcio) y calcáreos químicamente cementados.

En algunas situaciones la restricción de las raíces puede ser causada por una fluctuación del nivel de agua (water table en inglés) del suelo. Durante la temporada de lluvia, las raíces de los cultivos son confinadas a las zonas de poca profundidad inmediatamente encima del nivel alto de agua. Si, cuando el nivel de agua cae durante la temporada de seca las raíces del cultivo ya han completado su desarrollo, las raíces permanecerán donde ellas estaban, cerca de la superficie, y sin acceso al agua disponible en el subsuelo más profundo. Las raíces pueden también ser restringidas a bajas profundidades por factores químicos, tales como la presencia de aluminio y manganeso tóxicos, o por severas deficiencias nutricionales en el subsuelo.

Con el acceso de las raíces a suelo de humedad restringida, en capa de suelo poco profunda encima de capa compactada, las plantas tenderán a sufrir estrés de agua después de sólo unos pocos días de tiempo seco.

Los arados de vertederas, rastrillos y cinceles con forma de patas de patos, los cuales ejercen presiones extensas horizontales sobre el suelo, pueden causar el alisamiento de las superficies del suelo. Esto cierra los poros abiertos, rompe la continuidad de los poros dentro del suelo y reduce las tasas de infiltración.

Una reducción del tamaño de los poros reduce enormemente la velocidad a la cual la lluvia puede infiltrarse. Si un poro se convierte diez veces más pequeño, la cantidad de agua que puede fluir a través de él en un tiempo dado será 10,000 veces menor que antes de ser reducido. Esto destaca el efecto perjudicial de la compactación en las tasas de infiltración de la lluvia caída.

La infiltración depende de que haya suficiente porosidad en la superficie del suelo para que la lluvia se infiltre, y en el subsuelo y el material parental (si es barbecho) para que el agua de lluvia se percole. Cuando la porosidad de la superficie del suelo es demasiado baja para aceptar la lluvia caída, o la porosidad del subsuelo es demasiada baja para permitir la percolación

(es decir, la permeabilidad es demasiado baja), entonces la infiltración será restringida y el agua de lluvia se perderá como escorrentía. Una mala comprensión de estas relaciones frecuentemente conlleva a tomar acciones inapropiadas para detener la erosión, tales como la construcción de obras físicas o sobre uso de fertilizante.

Lámina 14
El agua de lluvia que no se infiltra dentro del suelo escurre formando riachuelos en la superficie del suelo.
S.F. Shaxon

CÓMO DETERMINAR LA DEGRADACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO

El estado de la estructura del suelo es un indicador primario de la "salud" de los suelos. El monitoreo de la estructura del suelo le dice a usted si sus prácticas de manejo están mejorando y optimizando el entorno del suelo, o están causando la degradación.

El indicador más obvio del enraizamiento restringido, cuando un cultivo está presente, es la distribución de las raíces del cultivo. Cuando las raíces están físicamente restringidas por una capa densa, conteniendo pocos poros, las raíces individuales a menudo desarrollan patrones de crecimiento característicos, inmediatamente por encima de la capa que restringe el crecimiento. El más común de estos patrones es el cambio abrupto en la dirección del crecimiento, desde la vertical hacia la horizontal, y un engrosamiento de las raíces se despliega justamente encima de los límites de la capa de restricción.

En la agricultura mecanizada, los pisos de arado son usualmente formados a 12-30 cm de profundidad, dependiendo del implemento usado y su normal profundidad de trabajo. Las capas densas formadas naturalmente, pueden ocurrir a cualquier profundidad. El momento óptimo para observar las raíces es después del florecimiento cuando la mayoría de las raíces tendrán completamente desarrollado su crecimiento.

Lámina 15
Crecimiento típico de raíz de soya en suelo compactado. Desarrollo de pocas raíces verticales y bastantes raíces laterales.
D. McGarry

Cuando no hay cultivo sembrado, es mucho más difícil identificar la existencia de capas potenciales restrictivas de raíces en el suelo. Sin embargo, el patrón de enraizamiento de las malezas, bien arraigadas o no, que permanecen en el campo después que el cultivo ha sido cosechado, puede ser usado para revelar la existencia de capas restrictivas al crecimiento de las raíces.

Cuando no hay ningún cultivo ni maleza, un indicador útil es la presencia de la capa densa de suelo de alta resistencia y conteniendo muy pocos

Lámina 16
Sólo después de excavar un agujero en el suelo, la capa compacta "invisible" aparece clara. En este caso es una capa compactada desarrollada naturalmente mediante la dispersión en la capa arable.
D. McGarry

poros visibles. La presencia de capas densas es a menudo revelada, cuando en el hoyo que se cava con una pala o azada se encuentra un incremento abrupto de la resistencia, lo que significa que se alcanzó la capa densa. Sin embargo, un súbito incremento de la resistencia del suelo puede también ser experimentado cuando el suelo cambia de húmedo a seco. Para evitar este problema, es aconsejable humedecer el suelo hasta 30 cm de profundidad dos días previos a llevar a cabo el examen del campo.

Físicamente las capas densas pueden ser identificadas por la carencia de poros visibles. El poro más pequeño visible a simple vista (0.1 mm de diámetro) coincide razonablemente bien con los mas pequeños poros dentro de los cuales las raíces seminales de cereales (0.1 a 1 mm) y las raíces de las dicotiledóneas (0.3 a 10 mm) pueden penetrar. Cuando la densidad de los poros visibles observados en fragmentos de la capa densa, desde un agujero en el suelo, es menor que aproximadamente seis en un área de 10 cm x 10cm, la restricción de las raíces es probablemente muy severa, y las respuestas a romper la capa dura son presumibles.

Otros indicadores de las capas potencialmente restrictivas de raíces que pueden ser usados en el campo, en la ausencia de un cultivo, son la resistencia determinada con el penetrómetro, y la densidad aparente determinada en muestras de un suelo no alterado de un volumen conocido. Los valores de la resistencia crítica del penetrómetro y la densidad aparente, a los cuales

las raíces de la mayoría de los cultivos anuales son restringidas, han sido establecidos para suelos de diferentes texturas.

MEJORAMIENTO DE SUELOS CON ENRAIZAMIENTO RESTRINGIDO

El tipo de solución a ser aplicada dependerá de la causa de la restricción de las raíces. La causa más frecuente es la compactación del suelo debido a la ausencia de poros que sean lo suficientemente grandes para ser fácilmente penetrados por las raíces, o los cuales puedan ser suficientemente ensanchados por el crecimiento de las raíces. Esta condición ocurre en las capas densas, tales como los pisos de arados formados por la labranza, pero además naturalmente ocurren capas densas como las encontradas en los suelos pesados. La restricción al enraizamiento puede ser superada, al menos temporalmente, mediante medios mecánicos y biológicos. Adicionalmente, para erradicar las causas de la restricción de las raíces es importante dar los pasos para evitar futuros retornos del problema mediante, por ejemplo, la introducción de la agricultura de conservación, donde las capas densas han sido formadas por la labranza.

Las causas menos comunes del enraizamiento restringido son restricciones químicas debido a la presencia de concentraciones tóxicas de aluminio o manganeso, alta salinidad o severa deficiencia de nutrientes, especialmente de fósforo. Una ausencia de oxígeno debido a las fluctuaciones del nivel de agua puede también restringir el desarrollo de las raíces. Mientras el nivel de agua es alto, el desarrollo de las raíces para la mayoría de los cultivos será restringido al suelo inmediatamente arriba del nivel superior del nivel de agua, pero el cultivo no sufrirá por una ausencia de humedad. Si el nivel de agua entonces cae relativamente rápido, a un nivel sustancialmente mas bajo, por ejemplo en el florecimiento, cuando el cultivo aun tiene que alcanzar la madurez fisiológica pero las raíces han cesado de crecer, las raíces pueden ser dejadas varadas en el suelo seco sin acceso a la humedad en las capas más profundas.

Las causas de un enraizamiento restringido dadas arriba pueden, donde sea apropiado, ser superadas mediante la aplicación de cal, o cal y yeso que es más móvil, para erradicar las toxicidades de aluminio y manganeso; la percolación para reducir los riesgos de salinidad; los fertilizantes para rectificar las deficiencias nutricionales; o el drenaje para remediar la ausencia de oxígeno debido a la fluctuación del nivel de agua.

Lámina 17
Subsolador montado en tractor, usado para romper capas compactadas.
T. Friedrich

SOLUCIONES MECÁNICAS A LA RESTRICCIÓN FÍSICA DE LAS RAÍCES

Tradicionalmente, los métodos mecánicos son usados para romper las capas restrictivas de raíces naturalmente densas o compactadas con el fin de crear poros más grandes a través de los cuales las raíces pueden penetrar. Esto es usualmente cumplido por el implemento ligeramente levantado y rompiendo la capa densa o compactada. La operación puede ser llevada a cabo encima del total del campo, o solamente a lo largo de las hileras donde el cultivo ha de ser plantado. Esta última, conocida como subsoleo en hilera, es mucho más rápida y requiere menos potencia de tracción, pero el cultivo debe ser sembrado con precisión directamente sobre las hileras removidas. El método mas apropiado dependerá de la profundidad de la capa restrictiva de raíces, de su espesor y dureza, y de la fuente disponible de potencia.

Las capas restrictivas de raíces poco profundas, como los pisos de arado son típicamente producidos de 5 a 8 cm de profundidad, y el medio más fácil de romperlos es con los subsoladores tirados po r bueyes o los arados de cincel montados sobre tractor. La mayoría de los agricultores que descansan en la labranza manual, probablemente tendrán que usar aperos manuales para romper los pisos de azada mediante los métodos tales como la doble excavación, la cual es muy intensiva y laboriosa. Para romper las capas compactadas en la temporada seca, cuando el suelo estámuy duro, pueden requerirse herramientas robustas diferentes de aquellas que el agricultor normalmente usa para la labranza, tales como, la piocha, la piqueta, la azada de tres picos (jembe) o una barreta larga.

Las capas limitantes de raíces más profundas, tales como los pisos de arados, son formados a partir del límite inferior de profundidad a la cual el suelo es labrado, y usualmente ocurre en los 20-25 cm del perfil superior del suelo. Los pisos de arados formados por los implementos tirados por animales pueden ser disgregados usualmente haciendo dos pases de subsolador tirado por animal, mientras que aquellos formados por implementos tirados por tractor, o montados sobre tractor, generalmente requieren un subsolador montado sobre tractor o un “paraplow”.

Los paraplows son similares a los subsoladores excepto que la púa o brazo esta inclinada lateralmente en la dirección de movimiento, lo cual permite que el suelo fluya por encima de la pata. Ellos son preferibles a los subsoladores, ya que ellos arrastran muy pocos terrones de suelo a la

superficie, requieren menos fuerza de tracción y causan menos incorporación de los residuos de la superficie, los que idealmente deben ser dejados sobre la superficie. Los arados de discos son menos apropiados debido a que ellos invierten el suelo, incorporan la mayoría de los residuos del cultivo y malezas y traen terrones del subsuelo hacia la superficie, por lo que necesitan una labranza adicional.

Si la capa restrictiva de raíces tiene que ser desintegrada en todo el campo, entonces como una regla obligatoria, el subsolador o el paraplow debe penetrar hasta 1.5 veces la profundidad del limite inferior de la capa restrictiva de raíces, y el espacio entre brazos o púas no debe ser mayor que este valor. Por ejemplo, si la capa restrictiva de raíces se encuentra a 10-24 cm de profundidad, los brazos del subsolador o el paraplow deben penetrar hasta 36 cm y el espacio entre los brazos debe ser no más de 36 cm. Si los brazos son espaciados mas ampliamente, hay una probabilidad que la capa restrictiva de raíces no sea completamente removida en la región media de la distancia entre los brazos que han pasado. Para evitar la compactación de las ruedas del tractor, los brazos deben ser posicionados inmediatamente detrás de la huella del tractor. Para un subsolado en el surco, los brazos necesitan sólo penetrar hasta el limite inferior de la capa restrictiva de raíces, y el espaciado de los brazos debe coincidir con el espacio entre hilera planeado del cultivo.

El subsolado debe ser llevado a cabo perpendicular a la dirección normal de labranza, y el suelo debe estar seco a la profundidad de subsolado para obtener buen rompimiento. Si el suelo está húmedo o mojado, no habrá rompimiento, solamente la formación de canales abiertos donde las puntas del subsolador han pasado.

La compactación del subsuelo a 40 cm de profundidad y mayor, es causada por la pasada de equipos muy pesados con altas cargas axiales de al menos 6 toneladas, tales como cosechadoras combinadas y camiones cargados con grano. A esta profundidad el uso de subsoladores convencionales para aflojar las capas profundas compactadas, es difícil y costoso, debido a la necesidad de muy alta potencia de tracción. Los subsoladores vibratorios o balanceantes, en los cuales los puntos del subsolador vibran o se balancean usando la potencia desplegada por los tractores pueden trabajar hasta 80 cm de profundidad, pero requieren una potencia de 75–100 HP. Nuevos implementos han sido desarrollados empleando cuchillas de movimiento elíptico o azadones rotatorios, los cuales utilizan un mecanismo rompedor- aflojador para desintegrar las capas compactadas. Ellos pueden ser usados a profundidades de 60 hasta 120 cm y en suelos de más alto

contenido de humedad que los subsoladores convencionales, pero son muy caros y requieren alta potencia de tracción.

El rompimiento y levantamiento de las capas restrictivas de raíces por medios mecánicos crea espacio de poros más grandes a través de los cuales las raíces pueden penetrar, permitiendo que ellas alcancen y tomen ventajas de la humedad del suelo y los nutrientes almacenados en las capas más profundas. Consecuentemente, los cultivos son capaces de hacer más eficiente el uso de la lluvia. El principal efecto del subsolado es usualmente la promoción del crecimiento más profundo de las raíces, pero si las capas restrictivas de raíces son tan densas que es además limitado el movimiento del agua, el subsolado puede también facilitar la percolación del agua de lluvia dentro de capas mas profundas.

El desarrollo de un enraizamiento mejorado muchas veces aumenta los rendimientos de los cultivos y los pastos. En el Distrito de Babati , Tanzania, el rompimiento de los pisos de arados mediante el subsolado ha casi triplicado los rendimientos del maíz y cuadruplicado la producción de materia seca de maíz. Los rendimientos aumentados por el subsolado son mas probables en áreas donde los rendimientos están limitados por la lluvia, y mientras mas seca sea la temporada mayor será la probable respuesta al subsolado.

El subsolado en hileras, especialmente cuando este es combinado con la siembra en una simple pasada, es particularmente beneficioso para los suelos pesados que después de encontrarse saturados con la lluvia, se secan, al formar rápidamente capas restrictivas a raíces. Esta técnica tiene mas probabilidad de éxito cuando está asociada con la siembra de precisión y el tráfico controlado, en el cual el movimiento de todas las ruedas de la maquinaria es restringido a vías permanentes. Los beneficios del subsolado son probablemente los mayores cuando inmediatamente es seguido por el establecimiento de un cultivo de cobertura denso con un fuerte sistema de enraizamiento que ayude a estabilizar los nuevos espacios de poros creados. El cultivo de cobertura debe entonces ser seguido por un sistema de agricultura de conservación, en el cual la ausencia de labranza reduce la posibilidad de fomentar la compactación.

La principal desventaja del rompimiento mecánico de las capas de suelos restrictiva de raíces es el alto requerimiento de potencia, ya sea manual, animal o mecánica. Ya que la mayoría de los agricultores no tienen acceso a más de lo que ellos usan para la preparación de tierras, el proceso es inevitablemente lento.

Algunos suelos se convierten tan extremadamente duros durante la temporada de seca, que la potencia de tiro normal de los agricultores es incapaz de penetrar el suelo con el fin de romper la capa restrictiva de raíces. Es entonces necesario esperar por el comienzo de las lluvias para humedecer y aflojar el suelo para que sea posible romper la capa compactada, pero esto puede coincidir con el tiempo crítico de preparación de tierras y plantación. Este problema puede suceder igualmente a agricultores que usan tracción animal o tractores, como los que usan herramientas manuales como fuente de energía. Las operaciones de subsolado son inefectivas cuando las capas compactadas o densas están mojadas o muy húmedas, ya que no tendrá lugar el efecto de rompimiento y ocurrirá una aún mayor compactación.

Lámina 18
Severa escorrentía en áreas de terrazas cultivadas en Brasil.
A. Calegari

Los agricultores muchas veces carecen de los implementos necesarios, ya sean picos o azadones para agricultores que usan potencia manual, cinceles para agricultores con tracción animal, o subsoladores o paraplow para los agricultores mecanizados. El uso de implementos normales de preparación de tierras generalmente no será satisfactorio. Por ejemplo, los arados de discos pueden ser usados para romper el piso de arado, pero ellos además incorporan los residuos de los cultivos y malezas, cuando idealmente estos deben ser dejados como una capa protectora sobre la superficie del suelo.

El uso repetido, especialmente de gradas de discos pesadas, puede producir un piso compactado casi impermeable en solo unas pocas temporadas. Estos pisos han sido la causa de la erosión y la escorrentía severa y cada vez mas acelerada de millones de hectáreas en Brasil, antes de que el uso del equipo de discos fuera abandonado en favor de la labranza mínima con púas, y subsecuentemente sustituidos por el sistema de AC.

Cuando residuos voluminosos de cultivo son dejados sobre la superficie, especialmente los residuos resistentes del maíz, el sorgo y el algodón, el funcionamiento de los subsoladores y paraplows es considerablemente estropeado a menos que ellos fijen discos de corte frontal.

Si el subsolado es seguido por una labranza convencional, los efectos beneficiosos persistirán solo probablemente por 2 ó posiblemente 3 años y entonces el subsolado tiene que ser repetido regularmente. La velocidad con la cual la capa restrictiva de raíces se forma de nuevo dependerá del número de labranzas y otras operaciones de campo, el contenido de humedad del suelo en el momento de estas operaciones y la susceptibilidad

Lámina 19
Un ejemplo de labranza estratégica en la caña de azúcar en Bundaberg, Australia. Después de 7 u 8 cosechas, la cepa vieja de caña de azúcar es removida por un desbroce de los tocones y renuevos de los camellones de surcos usando un motocultor para desmenuzar toda la cepa vieja. Este procedimiento es seguido por tres cinceles subsoladores en "V" que profundizan sólo en el camellón. En esta forma las entre hileras densas se mantienen sin tocar y el camellón es preparado para plantar de nuevo caña de azúcar.
D. McGarry

del suelo a la compactación. Los suelos limosos y fino-arenosos y aquellos con imposibilidad de drenaje, son los más susceptibles a la compactación.

La adopción de los métodos mecánicos para vencer la restricción física de las raíces será favorecida donde los rendimientos están muchas veces limitados por la poca lluvia. Bajo tales condiciones es importante lograr que toda la lluvia posible sea almacenada dentro del perfil del suelo y que las raíces de los cultivos tengan acceso a toda la humedad del suelo almacenada. Los métodos mecánicos serán favorecidos donde los agricultores tengan acceso a tractores y subsoladores o paraplows, y donde la tierra no puede ser sacada de producción y colocada bajo barbecho por 2 ó 3 años. Otros métodos de soluciones mecánicas para prevenir y recuperar las capas de suelo restrictivas de raíces, se incluyen en labranza estratégica.

LABRANZA ESTRATÉGICA

La labranza estratégica es un tipo de labranza mínima que en ciertos cultivos tiene un sitio en conseguir un sistema de Agricultura de Conservación realizable. Hasta la fecha, la aplicación está restringida a la producción de caña de azúcar y de cultivos de raíces.

La finalidad con la labranza estratégica es concentrar toda la labranza sólo en el área de la hilera y dejar la entre hilera sin alterar. Esto continúa la lógica de los sistemas de tráfico controlado, donde los campos agrícolas están demarcados dentro de las zonas de crecimiento de las plantas y las zonas de tráfico. Cada uno es mantenido separado y tratado diferenciadamente, ya que cada uno se convierte óptimo por su uso específico: crecimiento del cultivo en suelo bien estructurado y todo el tráfico sobre vías bien compactadas.

Los resultados han demostrado que:

- la labranza convencional fue considerablemente ineficaz en la eliminación de las cepas viejas entre hileras del campo de caña de azúcar
- la labranza convencional requirió el doble de combustible y una tercera parte mas de horas de tractor que el procedimiento de la labranza estratégica
- el rendimiento de caña y el contenido de azúcar de la planta de caña de azúcar no fueron reducidos por los métodos de labranza estratégica de remoción de las cepas. En realidad en una de las parcelas experimentales el tratamiento de la labranza estratégica mejoró el rendimiento.

La labranza estratégica tiene buen potencial para reducir los altos costos establecidos sin efectos negativos en la producción. El cultivo de solo un área de hilera consigue un resultado mejor (físicamente) y más eficiente en el costo, con la ventaja adicional que la alta densidad del "camino"de la entre hilera es mantenida, lo que es una característica muy atractiva para la cosecha en suelo mojado.

Lámina 20
Aplicación superficial de cal para ajustar la acidez del suelo.
A. Calegari

SOLUCIONES QUÍMICAS PARA EL CRECIMIENTO RESTRINGIDO DE RAÍCES

El crecimiento de las raíces es a veces restringido por condiciones químicas del suelo no favorables, como son las deficiencias nutricionales severas, la toxicidad de manganeso y aluminio y la salinidad. El nutriente que mas comúnmente restringe el desarrollo de la raíz es el fósforo y la aplicación de fertilizantes de P, para las deficiencias de fósforo de los suelos, frecuentemente estimula el enraizamiento más profundo que permite al cultivo acceder más a la humedad del suelo y por lo tanto incrementar la productividad.

La aplicación de cal, sin o con yeso, reducirá las concentraciones de aluminio y/o manganeso hasta niveles no tóxicos y entonces se estimulará el enraizamiento más profundo. La mayor solubilidad del yeso comparado con la cal, hace que el primero sea más conveniente para suelos con problemas de toxicidad de aluminio o manganeso en el subsuelo, mientras que la cal poco soluble es más efectiva en la capa superficial del suelo. Cuando altas concentraciones de sal inhiben el desarrollo de las raíces en suelos irrigados, deben ser aplicadas abundantes cantidades de agua suficientes para lavar las sales fuera de la zona de enraizamiento del cultivo.

MÉTODOS BIOLÓGICOS PARA SUPERAR LAS CAPAS RESTRICTIVAS DE RAÍCES

El método principal de restauración de la porosidad de las capas restrictivas de raíces, es utilizar las raíces de la vegetación natural o de cultivos de cobertura plantados para actuar como subsoladores biológicos, penetrando los horizontes densos restrictivos de raíces. La estabilidad de los canales de raíces creados por las raíces de las plantas será mayor que aquella de canales formados por métodos mecánicos, porque la liberación de sustancias orgánicas de las raíces estabiliza las superficies internas de los canales. Una vez que las raíces se han muerto y contraído, estos poros serán lo suficientemente grandes y estables para permitir que penetren las raíces del cultivo subsiguiente.

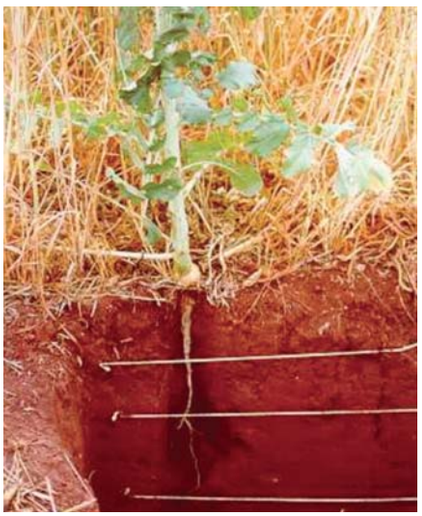


Lámina 21
Ejemplo de una raíz de rábano claramente visible penetrando en el suelo. El tamaño de la raíz principal ya indica lo beneficioso del rábano como una "herramienta" biológica de descompactación". Cuando es practicada la AC, esta raíz podrida dejará un bioporo en el suelo a través del cual el agua de lluvia puede infiltrarse fácilmente.
A. Calegari

La tierra puede ser dejada en barbecho por 2-3 años para regenerarse con arbustos naturales o vegetación forestal. Alternativamente, las especies seleccionadas a plantar que son efectivas en la regeneración de la estructura del suelo pueden enriquecer al barbecho natural. Un cultivo de cobertura puede ser sembrado para que sirva como un barbecho plantado. Las especies promisorias de cultivos de cobertura que han dado muestras de ser potenciales subsoladores biológicos son los pastos Hierba Bahía (*Paspalum notatum*), *Festuca elatior,* Hierba Guinea (*Panicum maximum*), la alfalfa (*Medicago sativa*), el gandúl (*Cajanus cajan*) y caupí (*Vigna unguiculata*).

El rábano forrajero (*Raphanus sativus*), y los arbustos fijadores de nitrógeno *Tephrosia vogelii, Sesbania sesban* y *Gliricidia sepium* han sido también identificadas como de uso potencial. Algunas malezas con raíces principales pronunciadas, tales como *Amaranthus* sp., pueden tener potencial para actuar como subsoladores biológicos, como los granjeros de Mennonite, Bolivia que han observado mucho mas altos rendimientos en suelos compactados después de altas infestaciones con *Amaranthus*.

Los métodos biológicos son generalmente mucho más baratos de implementar y sus beneficios son de mas larga duración que los métodos mecánicos. Una ventaja importante de los barbechos vegetativos, es que ellos mejoran enormemente la fertilidad física, química y biológica del suelo debido a la gran cantidad de materia orgánica producida y adicionada al suelo. Tres barbechos pueden ser beneficiosos en suministrar la leña de combustible, los materiales de construcción y otros productos, siempre que la recolección de estos materiales no reduzca los efectos beneficiosos del barbecho en la fertilidad química del suelo.

La principal desventaja es los 2 ó 3 años requeridos para los barbechos naturales cuando las tierras están fuera de producción mientras tienen lugar la recuperación. Una desventaja de los tres barbechos es la dificultad de retornar al cultivo anual después de un periodo de barbecho, debido al problema de la extracción de las raíces de los árboles y mientras más largo sea el periodo de barbecho más difícil será el problema. Sin embargo, la extracción de las raíces de *Sesbania* después de 2 años de barbecho, no ha sido un problema en Zambia. Además, es necesario proteger la vegetación del pastoreo de ganado, la quema y la cosecha durante los 2-3 años del periodo de barbecho, lo cual puede causar costos adicionales para el cercado.

Lámina 22
Un sistema de agricultura de conservación depende de la tecnología de siembra directa. En este caso una plantadora fertilizadora de tres hileras. Las semillas y el fertilizante son dejados caer en una ranura que es abierta en la cobertura del suelo.
T. Friedrich

Los barbechos plantados con cultivos de cobertura con raíces principales largas pueden ser difíciles debido a la ausencia de semillas disponibles y su costo, ya que una población alta es necesaria para asegurar una adecuada densidad de raíces principales para la penetración de la capa restrictiva de raíces. Para capas restrictivas de raíces muy densas, inclusive la *Cajanus cajan* puede tener sólo un efecto limitado.

El uso de barbechos de cultivos de cobertura es muchas veces un proceso rápido, el cual posibilita que la tierra sea más rápidamente retornada a la producción. Los barbechos naturales en el que hay una regeneración de la vegetación de árboles, tienen mas probabilidad de ser adoptados por los agricultores, los que desean cambiar el uso de sus tierras de área recuperada a forestales o cultivos de árboles perennes.

Los factores que acentúan los métodos biológicos son:

- Cero labranza
- Tráfico controlado
- Neumáticos flotantes

LABRANZA CERO

La cero labranza, siendo uno de los componentes de la agricultura de conservación, es comúnmente promovida y practicada para el control de

la erosión. Sin embargo, la cero labranza es también una herramienta vital en prevenir la compactación del suelo, ya que ella reduce grandemente la incidencia del contacto del metal con el suelo. Es obvio que el cultivo es mas fácil cuando es realizado en suelos húmedos (menos requerimiento de potencia, menos uso y desgaste del equipamiento, y mas rápido). Desafortunadamente, estas son las condiciones del suelo en que está mas en peligro la degradación de su estructura.

La práctica de agricultura de conservación reduce enormemente el riesgo de cultivar en un suelo con contenido de agua inadecuado, lo que consecuentemente produce la compactación del suelo, mediante la eliminación de las operaciones de labranza, excepto la de siembra.

Particularmente en suelos limosos y arenosos los niveles aumentados de materia orgánica son importantes para incrementar la fertilidad del suelo y la capacidad de retención del agua, lo que reduce el riesgo de la compactación del suelo. Inclusive muy pequeños incrementos en la materia orgánica pueden reducir la compactibilidad mediante el incremento de la resistencia a la deformación y/o mediante el incremento de la elasticidad del suelo.

Los cultivos de cobertura y de rotación hacen más que incrementar los niveles de materia orgánica y reducir el riesgo de erosión. Ellos, además, proporcionan tipos de raíces que se alternan y patrones en el suelo que, similares a los macroporos de las lombrices de tierra, rompen las capas compactadas y acentúan la infiltración del agua. Adicionalmente, la alfombra de residuos amortigua el efecto de compactación de la maquinaria pesada en la superficie del suelo.

TRÁFICO CONTROLADO

La finalidad con el tráfico controlado es mantener las ruedas de todos los equipos que trabajan dentro del campo siempre en las mismas trayectorias o rutas, año tras año, y mantener estas zonas de tráfico separadas de las zonas de cultivo, y manejar cada zona separadamente. El tráfico aleatorio por un amplio número de tractores y equipos de ruedas, tiene un potencial para cubrir más de un 100 por ciento de un campo en una temporada.

Al igual que en la labranza cero, el tráfico controlado es una herramienta vital para conseguir la Agricultura de Conservación, principalmente por

el permanente control de la localización de la compactación en un campo agrícola. El tráfico ocasional es reemplazado por senderos permanentes para ruedas, denominados "vías". Un vigoroso apoyo e impulso a la aceptación y uso del tráfico controlado son cosas prácticas y novedosas dentro de la finca.

El tráfico controlado y la AC trabajan muy bien juntas. La compactación del suelo puede continuar siendo un problema bajo la cero labranza, pues aunque por un lado el suelo no es rutinariamente aflojado por la labranza, por otro lado el suelo continúa siendo traficado por un amplio rango de equipos potencialmente muy pesados en condiciones de suelos de húmedos a mojados.

Confiando exclusivamente en el potencial de formación de porosidad de las lombrices de tierra y otra macrofauna del suelo, aunque ello ocurre en mayor número bajo la AC, es considerado como un escenario de alto riesgo que el número de animales de la fauna del suelo sea severamente afectado por el clima, los productos químicos dentro de la finca y los ciclos de los cultivos. Por ello, un sistema más sostenible usaría la sinergia de la AC con el tráfico controlado, como es practicado en estos momentos en algunas fincas de Australia. En ese sistema, el tráfico controlado restringe la compactación producida por el tráfico a las vías, por lo tanto un completo beneficio es obtenido de la condición mejorada de la estructura del suelo y la situación de la materia orgánica beneficiada, que incluye la actividad de las lombrices de tierra obtenidas de la labranza cero.

Lámina 23
El cartel en la puerta de la granja de Trevanna Downs, al norte de Goondiwindi, Australia. El granjero ha logrado una combinación de trabajo de cero labranza y tráfico controlado y está obteniendo los beneficios de una excelente capacidad de retención del agua en sus suelos, ha mejorado la materia orgánica, más cosechas garantizadas y generalmente un sistema agrícola más predecible y remunerador.
D. McGarry

NEUMÁTICOS FLOTANTES

Los neumáticos flotantes son un importante recurso para enfrentar la degradación de la tierra y ayudar a los usuarios de la tierra a lograr la Agricultura de Conservación. El rol principal de los neumáticos flotantes es reducir la compactación del suelo inducida por el tráfico. Sin embargo, ellos han mostrado que mejoran también tanto el rendimiento del cultivo como los márgenes de ganancia de la finca.

Los neumáticos de la agricultura convencional compactan el suelo principalmente mediante las tensiones normal y cortante. Hay seis factores bien documentados inherentes en el diseño de los neumáticos de flotación que proporcionan muchas respuestas a la capacidad compactadora de los neumáticos agrícolas:

- **Baja presión de inflado** – los neumáticos flotantes comúnmente ruedan hasta un quinto de la presión de inflado de los neumáticos agrícolas normales.

- **Baja presión promedio sobre el suelo** – considerado el factor más importante en la reducción de la capacidad compactadora de los neumáticos. Bajo ciertas condiciones la presión sobre el suelo está relacionada a la presión de inflado del neumático. Los neumáticos flotantes están diseñados para rodar a presiones bajas de inflado.

- **Baja carga del neumático** – considerado el segundo factor más importante en la determinación de la capacidad compactadora del neumático. La amplia huella pareja de la goma asegura que la carga del equipo es distribuida ampliamente, reduciendo la presión de contacto sobre el suelo por unidad de área.

- **Baja rigidez del neumático** – los neumáticos flotantes están diseñados con una pared del neumático más resistente y gruesa que los neumáticos de la agricultura convencional, asegurando una distribución uniforme de la presión y una flexibilidad incrementada (sin hinchamientos y agrietamientos, sin que salte el anillo de las llantas)

- **Bajo deslizamiento de la rueda** – particularmente en la AC hay menos requerimiento para la fuerza de tracción. La mayoría de los neumáticos son ahora neumáticos de rodamiento, ya que la necesidad de fuerza tractiva ha sido grandemente reducida por la eliminación de las operaciones de rotura, subsoleo y cultivo.

- **Bajas bandas de agarre** – vinculado a la menor necesidad de tracción en la AC, los neumáticos flotantes tienen solo pequeñas bandas u orejas de agarre al suelo. Un estudio australiano de la compactación producida por neumáticos de cosechadoras que tienen bandas de agarre pronunciadas, mostró que la compactación bajo estas bandas fue significativamente mayor (hasta un 17 por ciento más) que los neumáticos sin área de agarre, y que el efecto se extendió hasta 15 cm de profundidad.

Los neumáticos flotantes proporcionan más que una reducción de la compactación. Dos ejemplos han demostrado que usando neumáticos flotantes vinculados a la combinación de baja presión sobre el suelo,

distribución uniforme de la presión y mejoramiento de la puntualidad, se incrementa el rendimiento y se mejoran los márgenes de ganancia de la finca.

Un estudio de tres años en un campo cultivable (60 ha) con suelos limosos arcillosos en Holanda demostraron que la comparación de un sistema de neumático flotante completo en toda la finca con el sistema usado comúnmente de tráfico de alta presión sobre el suelo llevó a un incremento promedio del rendimiento de 4 por ciento para cultivos de raíces. El análisis de los márgenes brutos y la rentabilidad demostró una "mejor rentabilidad" anual con los neumáticos flotantes Esto fue a pesar de los altos precios de compra de los neumáticos flotantes. Los rendimientos incrementados y los bajos costos corrientes pagaron los neumáticos.
Un estudio de 14 años en 3,200 ha de tierra cultivable en Alemania mostró un 30 por ciento de incremento en el rendimiento promedio de cultivos de granos desde que usan neumáticos flotantes. El beneficio particular fue en la puntualidad que ellos le proporcionaron a las operaciones en primavera.

Por lo tanto, es importante seleccionar las prácticas de preparación de tierras que protejan los recursos naturales y al mismo tiempo mejoren la productividad y reduzcan los costos de producción. En los sistemas de la agricultura de conservación, las prácticas de preparación de tierras son reducidas a casi no labranza del todo.

La práctica de labranza cero o no labranza es aquellas actividad en la cual las semillas son enterradas dentro del suelo con la menor alteración posible del suelo. Esto significa plantar y sembrar dentro de los residuos de los cultivos previos y las malezas. Por lo tanto, los agricultores, extensionistas e investigadores, han estado desarrollando no solo instrumentos y equipos para sembrar dentro de residuos, sino además herramientas e implementos para manejar los residuos de cultivos y la vegetación de barbecho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brammer, H. 2000. Ploughpans and tillage problems. In Agroecological aspects of agricultural research in Bangladesh. p.151-158. Dhaka: UPL.

Douglas, M.G. S.K. Mughogho, A.R. Saka, T.F. Shaxson, G. Evers. 1999. Report on an investigation into the presence of a cultivation hoe pan under smallholder farming conditions in Malawi. Investment centre division FAO/World Bank cooperative programme. Washington, D.C.: World Bank.

Fray, P. 1991. On fertile ground? The sustainable agriculture debate. Habitat Australia 19:4-8.

Lal, R. 1994. Minimum tillage systems. In Subsoil management techniques, Advances in Soil Science, p.1-33. Eds. N.S. Jayawardane and B.A. Stewart. London: Lewis Publishers.

Soane, B.D. and C. van Ouwerkerk. 1994. Soil compaction problems in world agriculture. In Soil compaction in crop production, p. 1-21. Eds. B.D. Soane and C. van Ouwerkerk. Netherlands: Elsevier Science.

CAPÍTULO 5

ROTACIÓN DE CULTIVOS

IMPORTANCIA DE LAS ROTACIONES

Normalmente, en los agros sistemas los procesos de liberalización y absorción de nutrientes ocurren separadamente en tiempo, resultando una baja eficiencia en su uso. En los sistemas de agricultura de conservación, un nuevo balance es creado entre las propiedades del suelo (químicas, físicas y biológicas) y el ecosistema en su conjunto (suelo, agua y planta) y por ende se promueve un mejor balance entre la mineralización, la inmovilización, la disponibilidad y pérdidas, resultando en una estabilidad biológica del suelo superior.

Las rotaciones de cultivo incrementan los rendimientos del cultivo, adicionan materia orgánica al suelo y mejoran la fertilidad del suelo. Los cultivos difieren por la cantidad y calidad de los residuos que ellos producen, y por lo tanto, por el efecto en las propiedades del suelo. Por ejemplo, los cultivos leguminosos y oleaginosos producen menos residuos que se descomponen más rápido, tienen una razón C/N mas baja y son mas fáciles de manejar durante la siembra directa, comparados con los cereales.

Las rotaciones de cultivo pueden incluir cultivos comerciales y de cobertura. La rotación mas ideal en la agricultura de conservación es aquella en la cual los cereales y pastos son diversificados con leguminosas, crucíferas, *Malváceas* y otras. Este tipo de rotación proporcionará:

- interrupción de ciclos de plagas y enfermedades,
- producción de diferentes cantidades y tipos de residuos,
- facilitar el manejo del residuo,
- mejorar los ciclos nutrientes, y
- variar las épocas de siembra.

Durante el planeamiento de una rotación de cultivo en la agricultura de conservación: alternar un cultivo de granos con uno de leguminosas u oleaginoso; alternar un cultivo que produce gran cantidad de residuos con uno que produce pocos residuos y determinar si el cultivo es comercial y su costo-efectividad.

El maíz, el fríjol, la soya, el girasol, el maní, el arroz, el algodón y el trigo, son cultivos que usualmente muestran buenos rendimientos cuando crecen en rotación. El maíz, el trigo y el arroz son recomendados crecer en rotación con cultivos bien adaptados a circunstancias frías, como son la arveja, el lupino, guisante de campo y rábano, o con cultivos tropicales como la *Crotalaria juncea*, el gandul o la mucuna. Para la soya, el maní y el girasol, la rotación de cultivos con cultivos de cereales, como las avenas negra y blanca, el centeno o mezclas de avena + arveja, avena + rábano de aceite, avena +guisante de campo, o cultivos de ciclo corto como *Setaria itálica*, mijo perlado y sorgo, son recomendados. El girasol puede, además, ser rotado con leguminosas y otras especies que mejoran la fertilidad del suelo.

La rotación más común en el trópico es:
Rábano aceitero/maíz – avena negra/soya - trigo/soya.
En áreas infestadas de nemátodos son sugeridas las siguientes rotaciones:

- Avena negra o mijo perlado/algodón – avena negra o mijo perlado/soya – mijo perlado/soya.
- Avena negra o mijo perlado/algodón – avena negra o mijo perlado/ soya/rábano aceitero/ maíz.

En regiones subtropicales las siguientes rotaciones son recomendadas:

- Lupino/maíz – avena negra/soya - trigo/soya.
- Arveja/maíz – avena negra/soya - trigo/mijo/soya.
- Avena negra/soya – avena negra/guisante de campo/maíz – rábano de aceite + avena negra/soya.
- Avena negra/frijoles – rábano de aceite + avena negra/maíz - avena negra +guisante de campo/soya.

En las regiones templadas se recomiendan las siguientes rotaciones:

- Trigo/soya - arveja/maíz – avena negra + rábano de aceite/maíz.
- Cebada/soya - arveja/maíz.
- Triticale/soya - arveja/maíz.
- Trigo/soya – avena negra de pasto +arveja de pasto/maíz.
- Trigo/soya - arveja/maíz o sorgo – rábano de aceite +avena negra/frijoles.
- Trigo/soya - colza (*Brassica* sp.)/soya o cebada/soya - arveja o rábano de aceite/maíz.
- Trigo/soya - trigo/soya – avena blanca/soya - arveja/maíz o sorgo.

Las validaciones con maíz, soya y fríjol realizadas en el Estado de Paraná de Brasil (Derpsch y Calegari, 1992) muestran que los rendimientos difieren, dependiendo del cultivo de cobertura anterior:

- para maíz, los mas altos rendimientos fueron obtenidos en cultivos de cobertura de lupino blanco y arveja peluda (6.4 y 6.3 t ha^{-1} respectivamente); estos fueron superiores a los rendimientos obtenidos después de los cultivos de cobertura como trigo, avena, centeno, *Lathyrus* o girasol.
- el rendimiento de la soya se incrementó en un promedio de 770 kg ha^{-1} hasta 2.7 t ha^{-1} después de un cultivo de cobertura de avena negra, comparado con todos los otros cultivos de cobertura.
- el rendimiento del fríjol incrementó desde un 85 % y 67 % después de cultivos de cobertura de avena negra y rábano de aceite, comparado con el barbecho.

Las investigaciones de agricultores en la misma región prueban que los cultivos de cobertura de lupino blanco y ambas arvejas, peluda y común, cuando son sembradas antes del maíz, suministran un equivalente de 90 kg ha^{-1} de nitrógeno (Derpsch y Calegari, 1992; Calegari, 1995).

La combinación de rotación de cultivos con cultivos de cobertura y siembra directa da altos rendimientos de maíz, comparado con el barbecho y los sistemas de labranza convencionales, como es mostrado en la figura 10.

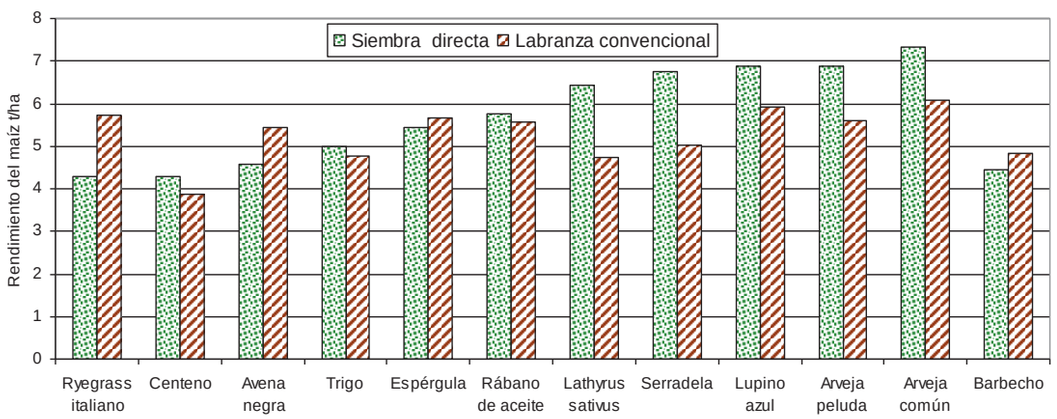


Figura 11
Rendimiento de maíz relacionado a cultivos de cobertura previos y al manejo del suelo (Calegari, 1998)

En los sistemas donde el *Lathyrus*, serradela, lupino azul o arvejas común y peluda son usadas como cultivos de cobertura y la siembra directa es aplicada sin el uso de fertilizantes químicos, el rendimiento del maíz es incluso más alto que el sistema de labranza convencional en el cual se aplicaron 90 kg de N (ver además el módulo Salud y fertilidad del suelo). Los sistemas de siembra directa dan un rendimiento mas alto del maíz en todos los cultivos de cobertura, excepto para el raygrass italiano, la avena negra, espérgula y barbecho.

Como el sorgo, el mijo, la *Crotalaria juncea*, el gandul de ciclo corto, el fríjol lablab, etc. son especies de extremadamente rápido crecimiento, ellas son muy útil como cultivos de cobertura entre dos cultivos comerciales, o en situaciones donde hay escasez de agua. Estos cultivos pueden hacer uso de la humedad remanente en el suelo para crear biomasa y morirán naturalmente con la ausencia de agua, pero la biomasa protegerá al suelo

Lámina 24
Un nuevo cultivo de tabaco sobre los residuos del cultivo de cobertura mucuna. El sistema agresivo de raíces de las plántulas de tabaco a menudo impide la siembra directa del tabaco.
V.H. de Freitas

cuando las próximas lluvias comiencen y por lo tanto se incrementará la infiltración de agua en el suelo. Más agua habrá disponible para el siguiente cultivo comercial y por ende más biomasa será creada. Esta situación puede ser el comienzo del ciclo de una agricultura de conservación.

Otros cultivos como el maíz, los frijoles y la soya, pueden además estar creciendo en rotación con cultivos de cobertura, como por ejemplo, los vegetales, el tabaco, la caña de azúcar y la yuca.

Generalmente, una rotación de especies de diferentes familias y con diferentes necesidades nutricionales es recomendable. El nitrógeno es usualmente más consumido por los vegetales verdes; mientras que las raíces, tubérculos, bulbos y rizomas necesitan más potasio y las legumbres extraen más fósforo desde el suelo. Por lo tanto, con el propósito de alcanzar un balance en el suelo, es recomendable seguir el cultivo de coliflor, brócoli, col, lechuga y espinaca con leguminosas como guisantes, fríjol verde o fríjol seco. Estos restaurarán y mejorarán el suelo de tal forma que vegetales de raíces y tubérculos como la zanahoria, la remolacha, el rábano, la cebolla, etc. puedan producirse bien en subsecuentes cultivos. (Calegari y Peñalva, 1999).

Como se ha analizado antes, los cultivos de cobertura tienen además un efecto residual en los subsecuentes cultivos de vegetales, como es mostrado en la figura 11, donde los rendimientos de cebollas son comparados en relación a diferentes cultivos de cobertura. Como resultado, las siguientes rotaciones son practicadas por los agricultores, dejando opciones de acuerdo a los intereses de los agricultores:

Lámina 25
Un agricultor costarricense siembra pimientos con una capa viviente de maní (maní) de caballo (*Arachis pintoi*) entre las hileras.
A.J. Bot

Lámina 26
Producción de vegetales en pequeña escala sobre residuos de cultivo de cobertura.
A.J. Bot

- Cebolla/maíz/avena: maíz es sembrado después de la cosecha de cebolla; durante el segundo manejo de malezas en el cultivo del maíz , la avena es diseminada a una densidad de 80 kg ha^{-1}. La ventaja de este sistema es dos cosechas comerciales por año, pero consecuentemente depende del nitrógeno aplicado como fertilizante químico.
- Cebolla/maíz/avena + arveja común: como arriba; la densidad recomendada es de 50 kg ha^{-1} de avena y 30 kg ha^{-1} de arveja común. La ventaja de este sistema es el reciclaje/ aprovisionamiento de parte del nitrógeno por la leguminosa.
- Cebolla/maíz/rábano de aceite: el rábano de aceite es diseminado a una densidad de 10 kg ha^{-1} cuando el cultivo del maíz está a la mitad de su crecimiento. La rápida descomposición del rábano de aceite es compensada por la baja descomposición del cultivo de maíz que mantendrá el suelo cubierto por un tiempo mas largo.
- Cebolla/mucuna: la mucuna es plantada cuando la cebolla es cosechada a una densidad de 70 kg ha^{-1}. Este sistema es prácticamente independiente de los fertilizantes químicos.

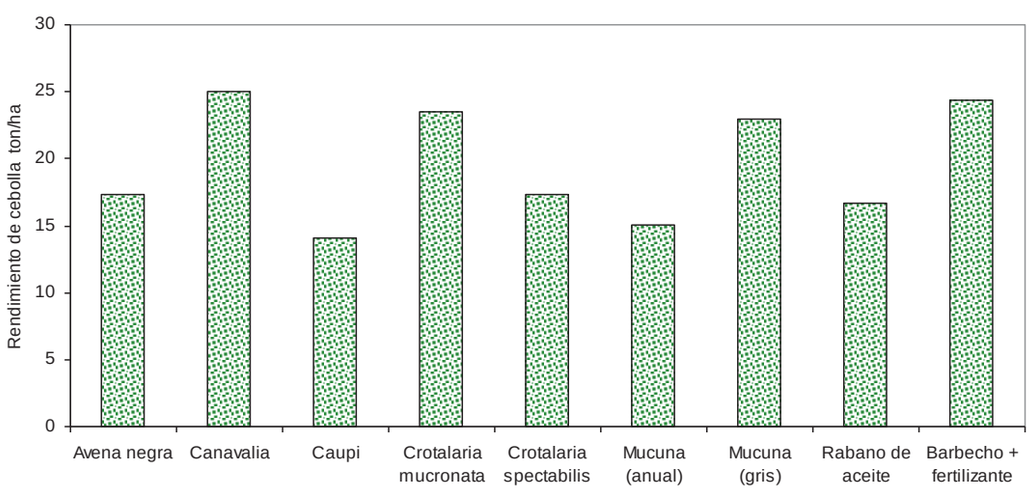


FIGURA 12
Rendimiento de bulbos de cebolla comercial (4-8 cm) relacionado con diferentes cultivos de cobertura (E.E. Ituporanga (1989), citado por Calegari y otros, 1993)

Otro cultivo con una buena respuesta a los cultivos de cobertura es la caña de azúcar. Especialmente los cultivos de cobertura de *Crotalaria* spp. Mostró de un 7 a 9 % de incremento del rendimiento comparado con el

período de barbecho precedente al cultivo de la caña de azúcar (Caceras y Alcarde, 1995).

Además la yuca puede ser mezclada o rotada con diferentes cultivos de cobertura (avena negra, arvejas, centeno, guisante de campo, *Canavalia*, gandul o maní de caballo). En este caso, la yuca es plantada en doble hileras y entre las dobles hileras es sembrado el cultivo de cobertura bien en 1 ó 2 hileras. El único cultivo que no es recomendable rotar con la yuca ,es el rábano de aceite con el objetivo de evitar problemas de pudrición de raíces (*Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., etc.) (Florentin y otros, 2001).

Para la rotación con especies de pastos y ser capaces de integrar el ganado con la producción vegetal, ver el módulo Integración de sistemas cultivo-ganado.

Independiente de los sistemas de labranza, la rotación de cultivo es siempre una buena práctica. En ausencia de labranza es aún más importante para romper los ciclos de plagas.

Figura 13
Ejemplo de rotación de cultivo

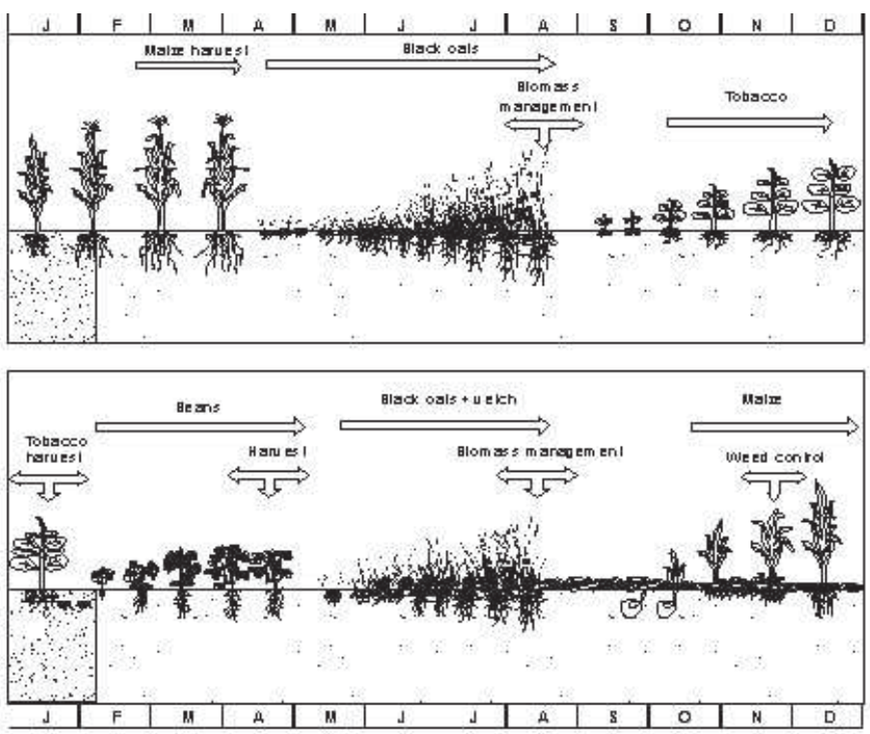


Lámina 27
Cebollas directamente plantadas con un microtractor sobre residuos de maíz.
V.H. de Freitas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Caceras, N.T. and J.C. Alcarde. 1995. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açucar (*Saccharum* spp.). *Revista Stab* Vol.13

Calegari, A. 1995. Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná. IAPAR Circular 80, Londrina. 118pp.

Calegari, A. 1998. Espécies para cobertura do solo. In: *Plantio direto. Pequena propriedade sustentável. Darolt, M.R. (Ed.)* IAPAR Circular 101

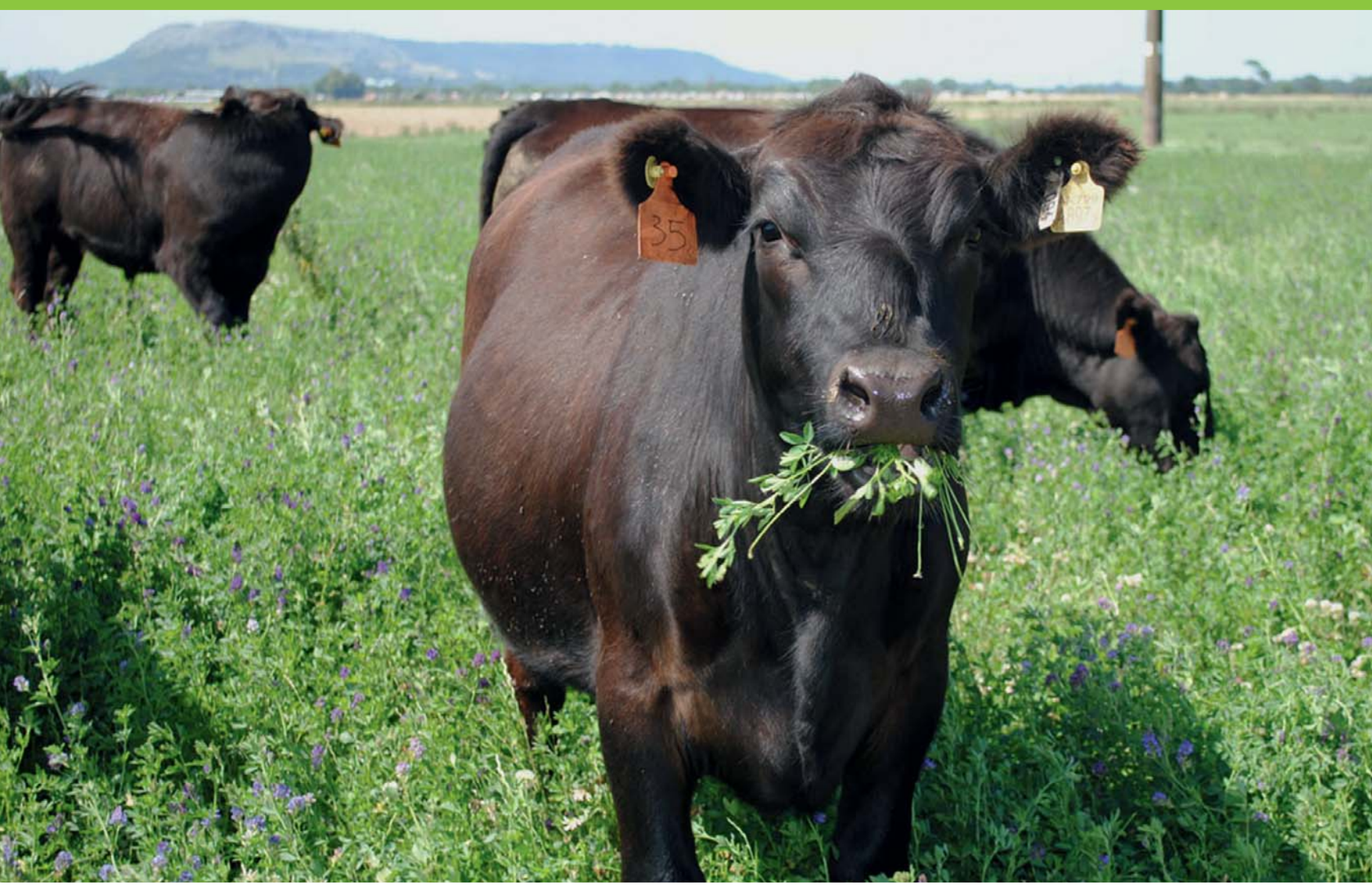
Calegari, A. and M. Peñalva. 1999. Rotación de cultivos y abonos verdes. In: *Abonos verdes como integrantes de sistemas de producción hortícola y frutícolas. Peñalva, M and Calegari, A. (Eds.)* Uruguay. p.44-56.

Calegari, A., A. Mondardo, E.A. Bulisani, L.P. Wildner, M.B.B. da Costa, P.B. Alcântara, S. Miyasaka and T.J.C. Amado. 1993. Adubação verde no sul do Brasil. AS-PTA, Rio de Janeiro. Second Edition, 346 pp.

Derpsch, R. and A. Calegari. 1992. Plantas para adubação verde de inverno. IAPAR Circular 73. 80pp.

Florentin, M.A., M. Peñalva and A. Calegari. 2001. Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Pequeñas propiedades. Proyecto Conservación de suelos, MAG-GTZ, Paraguay. 84pp.

CAPÍTULO 6



LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN Y SU INTEGRACIÓN CON LA PRODUCCIÓN ANIMAL

CONFLICTOS DE LA COBERTURA CON EL GANADO

Desarrollada en una situación en la que sólo cereales fueron producidos con estrictos cultivos de cobertura en rotación, la agricultura de conservación ahora incluye los sistemas cultivo-ganado completamente integrado. La utilización de los cultivos de cobertura como forraje para el ganado ha conducido a un número de modificaciones en el sistema de producción desde el punto de vista técnico, económico y social.

Los sistemas agrícolas que exitosamente integran las empresas de cultivo y ganado, emergen para ganar muchas posibles sinergias que impactan directamente a la producción y a la eficiencia agro-ecológica. Los animales rumiantes son especialmente deseables debido a su habilidad para convertir forraje, residuos de alimentos y cultivos altos en celulosa, en productos de fibra y alimentos útiles. Tales animales proporcionan al sistema diversificación, reciclaje de nutrientes, rotaciones de cultivo que mejoran el suelo, potencia y transportación y actúan como "cuentas de ahorro" biológicas para los agricultores durante los períodos de estrés. Sin embargo, aún con el potencial arriba mencionado para las sinergias, si el sistema es manejado con excesivo favoritismo hacia el cultivo o hacia los animales, las sinergias se pierden y se producen efectos perjudiciales.

La determinación de considerar al ganado como parte componente del sistema agrícola crea un conflicto inmediato, porque los recursos del sistema deben ser usados para asimilar la actividad de animales. Por ejemplo, una vaca de 410-kg tendrá un consumo diario para su mantenimiento de materia seca (MS) de aproximadamente el 1.5 – 2% de su peso corporal (PC). Es decir, un requerimiento diario de una cantidad de 8.2 kg o cerca de 3.0 ton anuales. Esto da alguna idea de la magnitud del requerimiento de biomasa anual, pero ninguna idea dirigida a las necesidades especificas de nutrientes del animal o a la estrategia para su utilización. La demanda de nutrientes del animal para llevar a cabo funciones productivas tales como trabajo, reproducción y crecimiento, requerirá más del sistema. No es solo hacer que los requerimientos de consumo aumenten hasta 2.5 -3 % del peso corporal, sino, además, que los requerimientos nutritivos de la ración sea considerablemente mayor que para el mantenimiento. Los animales que son mantenidos en pobre condición corporal o son incapaces de reproducirse, o constituyen un pequeño o ningún valor para la empresa o el sistema en general.

La exacta naturaleza del conflicto entre la producción de cultivos y el ganado, depende del sistema de producción que se trate. Puede ser debido a:

- Un excesivo consumo de residuos por los animales, es mantenido por los agricultores. El ganado puede o no puede tener acceso a las tierras comunales de pastoreo. Si la tenencia de la tierra es segura y el ganado no depende de la tierra comunal, puede ser posible solucionar el conflicto mediante cambios técnicos en el sistema de producción.

Lámina 28
El ganado suelto muchas veces resulta en un conflicto sobre los recursos.
FAO

- Un excesivo consume de residuos por el ganado propio de los pastores (y a veces por los agricultores). Mas complejo, porque los productores de plantas y los agricultores mixtos, enfrentan problemas con los pastores.

La transformación de los productos agrícolas primarios y semi-productos en productos animales, a menudo resulta en mayores beneficios económicos para el agricultor, debido a que tienen más alto valor agregado. Es claro, sin embargo, que esta interacción cultivo-animal no es siempre posible o deseable, pero en muchos casos es una excelente alternativa para mejorar la estabilidad económica de la finca y su eficiencia total. Sin embargo, la asociación incrementa la complejidad del sistema agrícola y algunos aspectos necesitan ser trabajados fuertemente, si se espera lograr una eficiencia máxima en el uso de los recursos y la conservación del medio ambiente.

La meta es satisfacer los requerimientos de los animales y mantener un nivel aceptable de cubierta vegetativa sobre la tierra, que es asignada para la alimentación del ganado. Las estrategias de utilización: pastoreo, cero pastoreo (estabulación mas corte y llevar), o las combinaciones de estas que deben ser lo suficiente flexibles para ajustarse a las necesidades de cada situación de finca. Igualmente importante es un análisis preciso del sistema agrícola que identifique todas las fuentes de entrada de alimentos, internas y externas. Por ejemplo, en muchas agriculturas mixtas las situaciones de entrada de alimentos, desde afuera de los límites de la finca,

son críticas. Por ejemplo, estos nutrientes importados pueden venir de pastizales o forraje coleccionado de las tierras del campo, de los pastizales comunales, de laterales de carreteras y de bosques forestales. Si estas entradas ''libres'' provocan una gradual deficiencia de nutrientes en las tierras del campo o en las tierras comunales de pastoreo, o si ellas provocan una severa degradación de la tierra por erosión, todas estas acciones deben ser tomadas en cuenta en el momento de la formulación de las estrategias de conflictos ganado-cultivo.

Durante la transición de la agricultura convencional a la de conservación, especialmente en el manejo de las fincas mixtas, hay algunos aspectos que necesitan ser resueltos a fin de lograr una transición paulatina y una eficiente integración con el mínimo de impacto en el medio ambiente.

En cortas palabras, los siguientes aspectos son importantes para la integración de los sistemas cultivo-agricultura en la agricultura de conservación:

- el manejo de pastos y animales con pastoreo rotacional, consiguiendo una producción óptima de leche por animal y por área y reducir a un mínimo el impacto por el pisoteo de los animales;

- abandonar el área 45-50 días antes de la siembra de cultivo anual con el fin de permitir la regeneración de los pastos, la acumulación de la materia seca en la superficie del suelo y la recuperación de la densidad del suelo;

- conservación de un mínimo de 2-3 ton de materia seca después del tratamiento de los residuos sobre la superficie del suelo;

- conservar el forraje como ensilaje o heno para los días muy húmedos y lluviosos, cuando los animales no pueden entrar a los campos o en los periodos secos, cuando la calidad del forraje es baja;

- usar máquinas de siembra que tengan un disco que corte la capa superficial, la cual ha sido compactada por el pisoteo del ganado;

- la producción incrementada en áreas de pasto puede estar relacionada con el incremento de la actividad biológica mediante el reciclaje de los nutrientes en la orina y heces de los animales.

ROL DE LOS ANIMALES EN LA FINCA

Lámina **29**
Mulo tirando un trineo para manejar el cultivo de cobertura.
FAO

Una de las razones del éxito de la no labranza en los pequeños agricultores en Brasil, fue la tradición de usar la fuerza animal en las operaciones agrícolas. Ya desde los comienzos del siglo 20, cuando los agricultores llegaron de Europa al Estado de Paraná para la búsqueda de madera, la fuerza animal, especialmente los caballos, han sido usados para un número de operaciones que van desde el transporte hasta la aradura de tierras. Históricamente, cada nueva actividad económica en la región, como la papa, el tabaco, los frijoles, la cebolla y otros más, generó un equipo de tiro animal específico, diseñado en conjunto por el agricultor y el artesano. Cuando el movimiento de no labranza comenzó, a mitad de los ochenta, había una larga y acumulada experiencia de los agricultores en la selección, la alimentación, el entrenamiento y mantenimiento del animal de tracción. Sin duda, este fue el factor principal para la rápida adopción de la no labranza en la región.

Un importante cambio, que puede suceder cuando se está convirtiendo hacia la agricultura de conservación, es la modificación de las necesidades de tracción animal cuando son eliminadas las prácticas de aradura, gradeo y cultivo que consumen tiempo. Los animales domesticados pueden mantenerse como transporte para las personas y los materiales, o sus funciones pueden ser dirigidas hacia los propósitos productivos (leche, carne, y fibra).

En países donde la AC es practicada, los animales son transformadores de productos agrícolas primarios en productos de valor agregado, lo que resulta en altos beneficios para los agricultores y empresarios rurales. Este no siempre es el caso de los E. U. y en Europa, donde las fincas tienden a ser mas especializadas bien, por cultivo o por ganado.

REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS PARA ANIMALES

El efecto positivo de la no labranza en las condiciones de trabajo del animal, debido al pequeño número de operaciones y la demanda total de energía, permite un trabajo más continuo durante más tiempo sin perjuicios. El sistema de no labranza redujo el requerimiento energético del animal en

Lámina 30
Una vez que se han introducido en los cultivos de cobertura altos y erectos, los animales se adaptan en su trabajo.
A. Calegari

cerca del 80 por ciento, comparado con la labranza convencional. (Ralisch *et al*., 1998). La siembra fue la operación más consumidora de potencia, la cual representa el 60 por ciento de la potencia de la aradura.

Lámina 31
Los burros y mulos pueden necesitar algún tiempo para estar listos para su uso en el trabajo. Esto requerirá las orientaciones de parte del agricultor.
A.J. Bot

Sin embargo, algunos problemas pueden surgir cuando usamos la tracción animal para la no labranza. Durante el manejo de algunas especies de cultivos de cobertura como la avena, el nabo, el centeno y el millo, con el rodillo de cuchillas, la grada de disco o el pulverizador, hay algunas dificultades para conducir a los animales contra las plantas erectas debido, en general, a que ellas son tan altas que los animales se vuelven temerosos al caminar a través de las plantas. Sin embargo, esto puede ser solucionado después de cierto entrenamiento. Otro problema es la presencia de de insectos, especialmente las abejas en el momento del florecimiento de algunos cultivos de cobertura, las cuales pueden atacar a los animales durante la operación. Hay que tener cuidado para evitar esta situación y escoger las horas mas calurosas del día para trabajar. Es interesante observar cómo algunos agricultores han diseñado sistemas rápidos de desconexión de los arreos del animal cuando aparece un ataque de abejas.

Debido a la presencia de capa de cobertura, el principal problema con la mecanización del animal en la no labranza es la dificultad para el animal y el operador para ver los surcos abiertos por la sembradora y por lo tanto mantener el alineamiento para las siguientes hileras del cultivo. Este problema puede ser solucionado con un segundo hombre que guía al animal por su cabeza y va controlando la distancia desde la hilera de siembra anterior.

Como en la labranza convencional, la mecanización de la no labranza con tracción animal requiere diferentes especies de animales para diferentes condiciones de trabajo. En general, la selección de especies de animal está influenciada, principalmente, por factores del entorno ambiental, tipo de equipo, requerimientos de la operación y aspectos culturales.

La pendiente de las tierras y la presencia de tocones de árboles, residuos de raíces y piedras son los más importantes factores del entorno que requieren el uso de los bueyes. Los bueyes son los más apropiados para trabajar en pendientes empinadas de hasta 80 por ciento. (Schmitz y otros, 1991), y están habituados a caminar entre tocones y piedras. Ellos son recomendados tanto para trabajos pesados como ligeros.

Los caballos y mulos tienen más alta velocidad de tracción y pueden desarrollar más potencia que los bueyes, aunque ellos tienen menos fuerza de tracción. Ellos son recomendados para aquellos trabajos donde el requerimiento de fuerza de tracción, no es una restricción, y para pendientes de hasta 50 por ciento. El animal puede soportar una jornada de trabajo de hasta cuatro horas. Cuando el área a cultivar requiere más tiempo de trabajo, es común cambiar de animales. Los mulos son, en general, mas ligeros que los caballos, tienen menos potencia disponible y, a diferencia de los caballos, no son dóciles de manejar.

Los mulos, caballos y bueyes, pueden trabajar simples o en parejas con el equipo de no labranza de acuerdo a la fuerza de tracción requerida. Hay ventas comerciales de equipos de tracción animal pesados para el manejo de cultivo, siembra, y pulverización, diseñados para ser tirado por un par de bueyes y equipados con un asiento para el operador.

A pesar de los factores arriba mencionados, el aspecto cultural es más importante en lo relacionado a la selección de las especies de animales para la tracción. En comunidades donde el animal de tracción tiene una larga tradición, la selección depende de factores como, precios, disponibilidad en la región, resistencia a enfermedades, disponibilidad de forraje, entorno del ambiente (temperatura, pendiente, obstrucciones, condiciones de superficie) etc. En general, el equipo común se adapta bien a la capacidad de tracción de las especies seleccionadas.

Donde la tracción animal es rara vez usada, se debe analizar con cuidado la adecuación entre el equipo y las especies de animales. El equipo debe

ser seleccionado, acorde principalmente con el tipo de suelo, condiciones topográficas y requerimientos del agricultor.

REQUERIMIENTOS DE FUERZA Y POTENCIA DE EQUIPO DE NO LABRANZA DE TRACCIÓN ANIMAL

Hay muchos factores que influyen en la fuerza de tiro requerida para un equipo de no labranza, tales como el tamaño, tipo de surcadores, peso y profundidad de operación; humedad y tipo de suelo; cantidad y tipo de paja, obstáculos y topografía (Starkey, 1989).

La capacidad de tiro del animal es influenciada por muchos otros factores como, edad, salud, alimentación, peso, horas de trabajo, velocidad, temperatura, topografía, tipo de suelo y tiro vertical. Esto es porque es muy difícil definir exactamente cuáles son los requerimientos de potencia y tiro del equipo de no labranza y seleccionar la mejor especie de animal para un tipo especifico de equipo o viceversa.

El Cuadro 7 presenta los rangos de valores de algunos parámetros de tracción para las principales especies de animales usadas en el Estado de Paraná considerando las velocidades promedio y las jornadas diarias de 6 a 8 horas.

Cuadro 7 Parámetros de tracción de especies de animales comúnmente usadas en el Estado de Paraná

ESPECIES	PESO (KG)	CAPACIDAD DE TIRO (H HA^{-1})	VELOCIDAD MEDIA(M/S)	POTENCIA (KW)
Caballos	3000-6000	400-750	1.0	0.40-0.75
Bueyes	4000-8000	500-1000	0.7	0.35-0.70
Mulos	2500-5000	300-600	1.0	0.30-0.60

El Cuadro 8 indica los requerimientos de fuerza de tiro y potencia para el manejo de residuos y siembra. Los requerimientos de potencia son diferentes entre las especies de animales debido a las diferentes velocidades promedio de cada especie.

Los datos son presentados como un rango de posibles valores obtenidos en pruebas de campo y la gran variabilidad en los requerimientos de tiro para las diferentes sembradoras es debida a las muchas posibilidades de las condiciones de trabajo del suelo, los parámetros de diseño y los ajustes del equipo.

Cuadro 8 Requerimiento de fuerza de tiro y capacidad de campo de algunos equipos de siembra de no labranza y potencia requerida por las principales especies de animales para operar con ellos.

			Tipo de sembradora directa	
Parámetro	**Grada de disco**	**Rodillo de cuchillas**	**Grahla Azul/ IAPAR**	**Fuçador**
Modelo	8 discos (18"ø)	1m ancho (6 cuchillas)	Mafrense, Ryc, Iadel, Triton	Werner, Fitarelli, Picetti
Fuerza[1] (N)	1,140–1,320	630–1,300	680–1,300	450–1,210
Capac.[2] (h ha^{-1})	5	6	Maíz 9 Fríjol 12	Maíz 9 Fríjol 12
Potencia requerida (KW)				
Caballos	1.2-1.3	0.6-0.7	0.7-1.3	0.5-1.2
Bueyes	0.8-0.9	0.4-0.5	0.5-0.9	0.3-0.9
Mulos	1.2-1.3	0.6-0.7	0.7-1.3	0.5-1.2

[1] Ralisch y otros. (1998) y Ribeiro y otros. (2001); [2] Godfrin, 1999

Mientras mayor sea el contenido de arcilla del suelo, el contenido de humedad, la superficie de compactación y la cantidad de paja sobre la superficie, mayor será el requerimiento de fuerza de tiro de la sembradora de no labranza. Sin considerar las condiciones de suelo, algunos modelos de sembradoras como Iadel y Picetti, son diseñadas para incrementar su peso y la alteración del suelo y consecuentemente, la fuerza de tiro. Los ajustes de la sembradora, especialmente la profundidad de aplicación del fertilizante, puede alterar significativamente la fuerza de tiro en las máquinas con púas o brazos largos.

Lámina 32
En pendientes inclinadas, se debe tener cuidado cuando los arneses de pecho son usados.
A.J. Bot

Comparando la disponibilidad de potencia animal (Cuadro 7) y la potencia requerida del equipo (Cuadro 8), es posible hacer un análisis preliminar de cuántos animales son necesarios para operar un equipo, durante una jornada diaria, de acuerdo a las especies. Por ejemplo, un rodillo de cuchillas puede ser tirado por justamente un caballo debido a que la disponibilidad de potencia promedio es cercana a la requerida, pero si el caballo es uno ligero, la jornada debe ser disminuida en 50 por ciento (3 a 4 horas/día) o un par de animales debe ser usado. Lo mismo se aplica en los bueyes, pero en los mulos, dos animales deben ser usados cualquiera que sea su peso.

Las sembradoras basadas en el diseño Gralha Azul/Iapar requiere al menos dos caballos para las condiciones promedio de peso del animal y requerimiento de potencia. Para peso medio de los animales y condiciones de trabajo suaves, justo puede usarse un solo animal con pequeña reducción en la jornada. El mismo equipo puede ser tirado por un buey pesado o dos: medio y ligero, en condiciones medias de trabajo.

Los mismos sistemas de arreos (arneses) usados en el equipo de labranza convencional han sido usados para la no labranza. Sin embargo, algunos equipos como el rodillo de cuchillas y el distribuidor de fertilizantes, requieren que se le presten atención para evitar accidentes especialmente con caballos con arnés de pecho en pendientes empinadas. El riesgo es que el equipo puede correrse y alcanzar a los animales y hacerles heridas. En estos casos, el equipo debe de pararse junto con el animal(es). Para garantizar una segura operación se pueden fijar barras largas de tiro como las que se usan en las carretillas, y el arnés con correas fijadas al trasero del animal.

Lámina 33
Tradicionalmente, los residuos de cultivos son movidos del campo para servir a múltiples propósitos en la finca.
FAO

COMPETENCIA POR LOS RESIDUOS DE CULTIVOS

Las prácticas de la agricultura de conservación requieren un nivel decisivo de residuos de cultivos y de cultivos de cobertura, para mantener o mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas y prevenir la degradación de la tierra. En muchas áreas del mundo, los cultivos y los animales compiten por los mismos recursos, y requieren apropiado manejo para satisfacer los objetivos de la agricultura de conservación. La integración sinérgica de los cultivos y animales, ofrece numerosas ventajas.

Los sistemas agrícolas que integran exitosamente las empresas, cultivo y ganado, se levantan para obtener sinergias que impactan directamente la producción y la eficiencia agro- ecológica. Sánchez (1995) ha estudiado de nuevo el caso de la integración de animales (principalmente rumiantes) con cultivos perennes. Algunas ventajas enumeradas incluyen: la diversificación de ingresos mediante productos de animales (leche, carne, fibra, cuero y estiércol), control de malezas, control de erosión del suelo, rendimiento incrementado del cultivo principal y el ingreso durante el periodo "inicial" para los cultivos de árboles.

La competencia por residuos de cultivo y cultivos de cobertura entre los animales y el reciclaje *in situ,* representa una generalizada y seria amenaza para conseguir los beneficios de la agricultura de conservación.

Lámina 34
Las partes gustables y no gustables del maíz, están siendo separadas y enviadas, respectivamente, al ganado vacuno y al campo.
P. Mueller

Tradicionalmente, los residuos de cultivos han sido usados para múltiples propósitos, o sea, combustible, material de construcción, capa de cobertura, alimento y cama de animales (Smil, 1999), la mayoría de los cuales están en conflicto con su uso para el mejoramiento del suelo. Entre estos, el uso asociado con los animales (alimento y cama de animales) es probablemente el más ampliamente generalizado entre los países desarrollados.

La extracción de los residuos de cultivo por o para los animales, ya sea mediante el pastoreo o el corte y llevar, es una práctica común en la mayoría de los sistemas cultivo-ganado. En muchos casos, el residuo extraído por los animales es excesivo, dejando insuficiente vegetación para el mejoramiento del suelo y los propósitos de conservación, y por ende comprometiendo la sustentabilidad de los sistemas. Adicionalmente, en algunos sistemas estos residuos pueden tener un alto valor durante largo tiempo como enmiendas del suelo, debido a que muchos residuos de cultivo tienen muy bajo valor alimenticio, y a menudo no reúnen los requerimientos de mantenimiento del animal. Por otro lado, los animales son una parte importante de la producción en los sistemas de fincas mixtas y en la ausencia de alternativas de alimentos, los agricultores usualmente no están dispuestos a abandonar esa fuente de recurso crítico.

Es necesario comprender que la raíz de origen para tales prácticas se encuentra usualmente en los aspectos culturales y socio-económicos. En El Salvador, la agricultura de conservación tuvo éxito sólo cuando ella fue presentada como una parte inseparable de un programa que incluía el mejoramiento de la productividad y los incentivos económicos e institucionales (Calderón y otros, 1991). En Honduras, un sistema agroforestal indígena (Quesungual) ideado y practicado por los pequeños propietarios, fue referido para eliminar la quema, mejorar la humedad del suelo, duplicar rendimientos de productos y prolongar el período de cultivo (Hellin y otros, 1999).

En la zona norte de Tanzania, Este de África, donde los residuos del maíz son transportados grandes distancias para alimentación, ha sido implementado un sistema de empacamiento de hojas y retención de tallos para propósitos de conservación. Ejemplos de integración exitosa de ganado con sistemas de cultivo existen, y estos estudios de casos pueden servir como la base para un esfuerzo concentrado para la búsqueda de posibles soluciones a este importante problema.

ALTERNATIVAS Y ESTRATEGIAS COMPLEMENTARIAS PARA RESIDUOS DE CULTIVOS DE ALIMENTOS

En áreas agrícolas mixtas tradicionales, el uso de los residuos de cultivo puede ser un fuerte impedimento inicial para el cambio suave hacia la agricultura de conservación. Si se alimentan los animales con los residuos de cultivo, puede ser creado un conflicto de intereses cuando los residuos de cultivo son guardados para la protección del suelo o para la acumulación de materia orgánica.

En este caso, hay varias soluciones alternativas cuya viabilidad dependería de las condiciones particulares de cada lugar. Las siguientes son algunas de estas opciones:

- Estimación de la cantidad de residuos de cultivo necesitada para la protección y enriquecimiento del suelo y balancear lo que puede ser usada para la alimentación animal (pastoreo directamente controlado o cortar-y-llevar).
- Establecimiento del doble propósito de los cultivos de cobertura (protección del suelo y forraje) dentro del ciclo de rotación del cultivo.
- Establecimiento de forrajes permanentes adicionales para el pastoreo directo o para cortar-y-llevar.
- Reducción del tamaño del rebaño mediante el entresacado de animales que hace tiempo no son necesitados para la tracción animal.
- Desplazamiento temporal de animales para otras áreas.

El establecimiento de la alternativa y fuentes complementarias de forraje (leguminosas, pastos y forraje de árboles) la aplicación estratégica de fertilizantes inorgánicos y estiércol, la conservación del forraje excedente, la suplementación de nutrientes, el tratamiento de los residuos de cultivos, y el pastoreo controlado, el cero o la combinación de ambos, deben ser lo suficiente flexibles para ajustarse a las necesidades de cada situación agrícola.

Quiroz, y otros. (1997) enfatizaron el uso racional del germoplasma adaptado para incrementar la productividad de animales y la fertilidad del suelo. Por ejemplo, los genotipos mejorados de pastos *(Brachiaria decumbens, B. dictyonuera, B. brizanta, B. humidicola, y Andropogon gayanus*) y leguminosas (*Arachis pintoi, Stylosanthes guianensis*) han sido identificados

Lámina 35
Una pequeña área plantada con *Arachis pintoi* sirve como banco de proteína. Todos los animales pueden pastar en el área por 15 minutos al día.
A.J. Bot

Lámina 36
Conservación de residuos en Etiopia.
J. Ashburner

y están disponibles comercialmente para este propósito. En tierra abrupta, el uso de barreras de erosión vivientes, consistentes en pastos y/o árboles de leguminosas que pueden servir como alimento del ganado es una eficiente estrategia si las especies vegetales seleccionadas son alimentos agradables al gusto de los animales y al mismo tiempo que sirven como barreras de protección contra la erosión (Barber, 1999).

Las leguminosas son particularmente importante en los sistemas agrícolas mixtos, debido a su papel en el reciclaje del nitrógeno y como fuentes de proteínas para la nutrición humana y animal (Devendra, y otros, 2001). No obstante, cuando la tierra es limitada, los agricultores son renuentes a dedicar la tierra a otros cultivos que no sean de producción para establecer forrajes.

La habilidad para conservar y transferir forraje, desde los periodos de excedentes hacia los periodos de déficit, parece ser una lógica estrategia para la eficiencia de la producción. No obstante, los trópicos húmedos brindan desafíos especiales a la práctica de conservación de forraje (heno & ensilaje) debido a las frecuentes lluvias y a la alta humedad durante la temporada(s) cuando el excedente de forraje está disponible para la conservación. Esta tecnología es rara vez adoptada por los pequeños agricultores, quienes la ven como un proceso costoso que requiere maquinaria e infraestructura que no están disponibles para ellos (Quiroz y otros, 1997).

Desarrollar métodos apropiados de conservación de forraje para agricultores pequeños y medianos en combinación con otras estrategias parece ser lo más valedero. Los residuos de cereales contienen altas

concentraciones de material de paredes celulares y lignina asociada. Estos componentes reducen el valor de los residuos como alimentos del ganado. Existen posibilidades de modificar estos componentes mediante tratamiento para que suministren más valor nutritivo. Por ejemplo, la amonificación de los residuos de cereal con tratamiento de úrea (Pezo y otros, 2000) puede incrementar significativamente sus concentraciones de proteínas crudas, la digestibilidad, el insumo y rendimiento del animal. La adopción de estas tecnologías por los pequeños agricultores ha estado limitada, porque algunos de estos materiales requieren el acceso a equipos especializados, asistencia técnica apropiada, crédito, o suministro uniforme de insumos accesibles desde el punto de vista financiero.

Donde el forraje está siendo cortado y llevado al ganado estabulado o confinado, la cantidad de residuos de vegetación del campo puede ser controlada exactamente. Si el rastrojo del cultivo es pastado, el pastor debe mantener el control sobre los animales de tal forma que el residuo remanente necesario sea mantenido. Esto puede ser hecho mediante el control del tiempo permitido de pastoreo en un área dada y autorizando a los animales que consuman las fracciones de plantas que elijan de acuerdo a su paladar. En los sistemas de corte y lleva, las partes no comestibles pueden ser devueltas o bien utilizadas, como parte del compost preparado para mezclar con las excretas del animal. De acuerdo con Sain y Barreto (1996) los agricultores en Guaymango, El Salvador, que permite el pastoreo de los residuos de cultivos, restringen el consumo a cerca del 50 por ciento de la cantidad total disponible. Como promedio los rendimientos de residuos del sistema maíz/sorgo están cerca de 10 t/ha, la cantidad dejada (cerca de 5 t/ha); es bueno un umbral por encima de 3.5 t/ha según ha reportado Barber (1996).

El manejo apropiado de los bovinos es el punto clave para las mejorías de la productividad de la producción de granos e inclusive para el propio ganado, mediante el mejoramiento de las fuentes y calidad de la alimentación, e indirectamente, del suelo. Con el fin de lograr esto, las siguientes prácticas son enfatizadas:

1. Mantener un número de animales acorde con a la disponibilidad de tierra y a la capacidad de producción de forraje, balanceando la producción y el consume de biomasa durante el año, lo que evita el sobre pastoreo y mantiene una cobertura adecuada del suelo.

2. Mejorar el uso de la tierra mediante la asignación de áreas cercadas, para el establecimiento de pastos para cortar, para pastorear, para ensilaje y para heno, y para los corrales.

3. Controlar el pastoreo, con períodos de descanso que permiten recuperar los pastos. Obviamente, la inversión para la división de los pastizales y lograr las fases del pastoreo rotacional tiene dos grandes obstáculos: el alto costo del cercado y la situación socio-económica actual de los agricultores, muchos de los cuales aún no tienen suficiente tierra para mantener sus propios animales y los pastorean a lo largo de los laterales de los caminos, en lotes de tierras baldías "prestadas "de sus vecinos.

ENSILAJE

La producción de leche estable y durante todo el año depende no solo de la genética, higiene y manejo de los animales, sino en una parte importante de la calidad y cantidad de la alimentación. Con el fin de ser capaz de proporcionar a los animales durante todo el año con suficiente forraje de alta calidad, parte de los pastos deben ser conservados como ensilaje y heno.

Hay una necesidad por la tecnología de hacer ensilaje bajo las condiciones locales, especialmente en aquellas áreas que experimentan meses muy secos o donde las condiciones monzonales restringen las prácticas de corte de los forrajes. La necesidad por hacer ensilaje es aún más significante en la alimentación del ganado lechero, donde la demanda de una alimentación uniforme y de alta calidad es de gran importancia.

El ensilaje es un método de preservación del forraje basado en la fermentación espontánea del ácido láctico, bajo condiciones anaeróbicas. Las bacterias epifíticas del ácido láctico fermentan los carbohidratos solubles en agua (CSA) en el cultivo para generar ácido láctico, y para una menor extensión del ácido acético. Gracias a la producción de estos ácidos el pH del material ensilado decrece y es inhibida la descomposición de los micros organismos. Una vez que el material fresco ha sido apilado y cubierto para excluir el aire, el proceso de ensilaje puede ser dividido en 4 etapas (Weinberg y Muck, 1996; Merry, y otros. 1997):

Fase 1, fase aeróbica.
Esta fase sólo toma unas pocas horas en las cuales el oxígeno atmosférico presente entre las partículas de la planta es reducido, debido a la respiración

del material de la planta y los micro organismos aeróbicos y facultativos aeróbicos, tales como los hongos y las entero bacterias.

Adicionalmente, las enzimas de la planta, como la proteasis y la carbohidrasis están activas durante esta fase, con tal que el pH se mantenga inmóvil dentro del rango normal para jugos del forraje fresco (pH 6.5-6.0).

Fase 2, fase de fermentación.
Esta fase comienza cuando el ensilaje se convierte en anaeróbico, y este continúa por algunos días hasta algunas semanas, dependiendo de las propiedades del cultivo de forraje ensilado y las condiciones de ensilaje. Si los procesos de fermentación son exitosos, las bacterias de ácido láctico se desarrollan y por ende se convierten en la población predominante durante esta fase. Debido a la producción de ácidos láctico y otros, el pH disminuye a 3.8-5.0.

Fase 3, fase estable.
Desde el momento en que el aire es impedido de entrar al silo, ocurre muy poco relativamente. La mayoría de los microorganismos de la fase 2 lentamente van decreciendo en número. Los microorganismos tolerantes a algunos ácidos sobreviven este periodo en un estado casi inactivo, otros tales como la clostridia y el bacilo sobreviven como esporas. Las proteasis y las carbohidrasis sólo toleran algunos ácidos y algunos microorganismos especializados, como el *Lactobacillus buchneri* continúan siendo activos a un bajo nivel.

Fase 4, fase de putrefacción aeróbica o fase de alimentación.
Esta fase comienza tan pronto el ensilaje se expone al aire. Durante la alimentación esto es inevitable, pero ésta puede ya comenzar más temprano debido al daño o rotura de la cubierta (por roedores o pájaros). Este proceso de putrefacción puede ser dividido en dos etapas. El principio de la deterioración es debido a la degradación de los ácidos orgánicos preservados por la acción de hongos y bacterias de ácido acético ocasionalmente. Esto causará una elevación del pH, y entonces la segunda etapa de putrefacción es comenzada, la cual está asociada con el incremento de la temperatura y la actividad de putrefacción de los microorganismos, tales como los bacilos. La última etapa, además, incluye la actividad de muchos otros (facultativos) microorganismos aeróbicos tales como mohos y entero bacterias. La putrefacción aeróbica ocurre en casi todos los ensilajes que están abiertos y expuestos al aire. Sin embargo, la razón de putrefacción es altamente dependiente del número y actividad de organismos de putrefacción en el

ensilaje. Las pérdidas por putrefacción de 1.5-4.5 por ciento de materia seca por día, pueden ser observadas en áreas afectadas.

Es esencial tener un buen proceso de fermentación microbiana para producir una alta calidad de ensilaje. Un buen proceso de fermentación no depende solo del tipo y calidad del cultivo de forraje, sino también de la técnica de cosecha y ensilaje.

Para evitar fallos, es importante controlar y optimizar cada fase del proceso de ensilaje. En la fase 1 las buenas técnicas de llenado del silo ayudarán a minimizar la cantidad de oxígeno presente entre las partículas en el silo. Las buenas técnicas de recolección combinado con buenas técnicas de llenado del silo, minimizarán entonces las pérdidas de CSA mediante la respiración aeróbica en el campo y en el silo, y a su vez dejarán más CSA disponible para la fermentación del ácido láctico en la fase 2. Durante las fases 2 y 3, el agricultor no puede controlar activamente el proceso de ensilaje. Los métodos para optimizar las fases 2 y 3 están por lo tanto basados en el uso de los aditivos de ensilaje que son aplicados ya en el momento del ensilaje, y que serán discutidos más adelante. La fase 4 comenzará tan pronto como el oxígeno esté disponible. Para minimizar las pérdidas de putrefacción durante el almacenaje es necesario un silo hermético, y cualquier daño en la cobertura del silo debe ser reparado tan pronto como sea posible. Durante la putrefacción de alimentación por ingreso de aire puede ser minimizado mediante una suficientemente alta razón de alimentación. Adicionalmente, en el momento del ensilamiento los aditivos del ensilaje pueden ser aplicados, ya que son capaces de disminuir las pérdidas de putrefacción.

La microflora del ensilaje juega un rol importante en el resultado exitoso del proceso de conservación. La flora puede dividirse básicamente en dos grupos denominados micro- organismos deseables e indeseables. Los microorganismos deseables, son las bacterias de ácido láctico. Los indeseables, son los microorganismos que pueden causar putrefacción anaeróbica (p ej. clostridia y entero bacteria) o putrefacción aeróbica (p ej. hongos, bacilos, listeria y mohos). Muchos de estos organismos de putrefacción no sólo disminuyen el valor alimenticio del ensilaje, sino, además, tienen un efecto perjudicial en la salud animal/o en la calidad de la leche (p ej. listeria, clostridia, mohos y bacilos).

Los cultivos de forraje frescos tales como el maíz, pastos, leguminosas, trigo y alfalfa, pueden ser preservados mediante el ensilaje. Los pastos tropicales

y leguminosos no son material de ensilaje natural, mayormente debido al corte, ellos tienen una relativamente alta concentración de componentes de paredes de células y un bajo nivel de carbohidratos fermentables comparados con los cultivos de forrajes templados (Catchpoole y Henzell, 1971; Jarrige y otros, 1982). Sin embargo, hay un número de prácticas que contribuyen a mejorar los niveles de carbohidratos fermentables y pueden tener éxito en la producción de un ensilaje de buena calidad.

Estas incluyen:

- Mezclar cultivos de leguminosas con cereales.
- Marchitamiento.
- Aditivos de ensilaje.
- Silos de pequeñas dimensiones.

Los pastos tropicales y leguminosos necesitan ser cortados temprano en el estado vegetativo para el ensilaje, mientras las proteínas y la digestibilidad sean altas. Sin embargo, esto es mitigado por el alto contenido de humedad de las plantas en este estado, lo cual puede afectar adversamente la calidad de la fermentación del ensilaje. Si las condiciones del tiempo lo permite, un rápido secado del material cortado (marchitez) mejorará la calidad del ensilaje.

Los aditivos son usados para mejorar la preservación del ensilaje, asegurando que las bacterias del ácido láctico domine la fase de fermentación. Los aditivos pueden ser divididos en tres categorías generales:

1. estimulantes de la fermentación, tales como inoculantes bacterianos y enzimas,
2. inhibidores de fermentación, tales como los ácidos propiónico, fórmico y sulfúrico, y
3. fuentes de nutrientes o substratos, tales como el grano de maíz, melazas, úrea y anhidro de amonio.

En fincas pequeñas, los aditivos comerciales, que consisten en inoculantes y enzimas, pueden ser demasiados costosos o no disponibles. Es probablemente, por lo tanto, que la tercera categoría de aditivos será la de mayor utilidad para hacer ensilaje en los pequeños propietarios. Posiblemente el más importante beneficio de los aditivos, tales como el grano de maíz o sorgo o harina de yuca, es enriquecer la materia seca en los cultivos cortados tempranamente cuando el contenido de humedad es alto y el rápido secado (marchitez) no

es posible, o donde hay pérdida por infiltración en el ensilaje. Los pastos tropicales han sido exitosos en el ensilaje cuando se le ha suministrado harina de maíz (Onselen y López, 1988), harina de yuca (Panditharane y otros, 1986) y granos de sorgo (Alberto y otros, 1993).

Las melazas es la fuente de carbohidratos más frecuentemente usada y de particular utilidad cuando es aplicada a los cultivos bajos en carbohidratos solubles, como son las leguminosas tropicales y pastos. Buenos ensilajes han sido reportados cuando las melazas fueron aplicadas al 3-5 por ciento (Bareeba, 1977; Sarwatt, 1995). Sin embargo, si el ensilaje procesado tiene muy bajo contenido de materia seca, la mayoría de la fuente de carbohidratos puede ser perdida en la infiltración durante los primeros días de ensilaje en fosos o silos.

Ciertos cultivos son deficientes en componentes esenciales para la dieta de los rumiantes. La calidad nutricional de estos cultivos puede ser beneficiada mediante el suplemento de aditivos específicos en el momento del ensilaje. Los aditivos que han sido usados en este aspecto son el amonio y la úrea para incrementar el contenido verdadero de proteína cruda del ensilaje, y la piedra caliza y el SO_4Mg para incrementar el contenido de calcio y magnesio. Los aditivos arriba mencionados, generalmente no afectan beneficiosamente a la fermentación del ensilaje, pero la úrea y el amonio pueden mejorar la estabilidad aeróbica del ensilaje.

A continuación son presentadas algunas recomendaciones sugeridas de cómo incluir el proceso del ensilaje en la agricultura de conservación:

1. sembrar un cultivo de cobertura que deje al menos de 4-6 ton de materia seca en la superficie del suelo, antes de sembrar el cultivo que se ha de ensilar;
2. usar la fertilización balanceada en el cultivo a ensilar y considerar el uso de abonos orgánicos;
3. usar cultivos de cobertura inmediatamente después que es recolectado el cultivo de ensilaje para utilizar el fertilizante aplicado y restaurar la materia seca que fue removida en el ensilaje;
4. planear esquemas de rotación regularmente y las secuencias de cultivos en las que el ensilaje sea hecho solo una vez cada 2-3 años de la misma área;
5. controlar la altura de las plantas de pastos, lo que conduce a una alta calidad del forraje y una cantidad máxima de acumulación de materia

seca. En el caso del maíz, las plantas pueden ser cortadas debajo de la mazorca, dejando entre 2-3 ton de materia seca por hectárea;

6. abstenerse de hacer ensilaje cuando el suelo esta húmedo a fin de evitar la compactación del suelo;
7. examinar especies recomendadas, las que pueden ser incluidas en la rotación.

Cuadro 9 Especies recomendadas que preceden y suceden al maíz para el ensilaje (Mello, 1998)

CULTIVOS QUE PRECEDEN AL MAÍZ PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA 4-7 T HA^{-1}		CULTIVOS QUE SUCEDEN AL MAÍZ PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA 6-8 T HA^{-1}
	Maíz para ensilaje Producción de materia seca: 8-14 t ha^{-1}	Sorgo + fríjol
Avena + algarroba		*Pennisetum purpureum*
Rábano		Crotalaria
Avena+raygrass italiano		Mucuna
		Fríjol Castor

Producción de heno para vencer las temporadas secas o los periodos muy húmedos para el pastoreo

En los trópicos, las condiciones son duras para el forraje conservado. Las altas temperaturas se combinan con períodos cortos de lluvias en suelos en su mayoría pobres para producir pastos y leguminosas los cuales, a pesar de que son capaces de producir altos rendimientos con buen manejo, aún así se deterioran rápidamente en su calidad nutricional, después de sólo tres meses de crecimiento. Tanto la proteína como la digestibilidad declinan rápidamente en los pastos tropicales después del florecimiento, como los procesos de lignificación en la mayoría de los pastos y leguminosas tropicales. Con el objetivo de recolectar los pastos y leguminosas con alta calidad nutricional, el corte tiene que hacerse en las etapas tempranas de su crecimiento, en realidad mientras las lluvias aún prevalecen.

Una simple forma de conservar el excedente de forraje es la producción de heno. El heno puede ser producido de los residuos del cultivo, como el arroz o el maíz, o usando el abundante recrecimiento de hierbas en los períodos de lluvias. Tanto las especies naturales como las mejoradas pueden ser utilizadas. Preferiblemente, el heno es hecho de pastos de 6-8 semanas de crecimiento, pero siempre antes del florecimiento, a fin de producir heno alto en proteína y digestibilidad.

La práctica de producción de heno consiste en cortar los pastos y leguminosas y dejarlos al sol para que se sequen, hasta que ellos estén fraccionables y crujientes. Esto significa una pérdida de la humedad del cultivo de cerca del 75 por ciento del material fresco. Usualmente, en los trópicos, el material se corta en las horas de la mañana y se deja al sol secando durante el día cuando ha perdido suficiente humedad para ser empacado por la tarde. Es recomendable voltear el material para que la parte que está debajo se seque bien. La velocidad conque el material se seca depende no sólo de la temperatura ambiente y de los rayos del sol, sino también de la humedad relativa y velocidad del aire.

Para facilitar la producción de pacas de heno, el material seco es colocado en hileras. Si la paja de arroz es usada para producir heno, ella es concentrada en el área que es usada para el trillado.

El empacado o embalaje puede ser hecho con equipo especializado. Sin embargo, usualmente éste es un equipo costoso y tiene que ser manipulado en áreas planas. En terrenos inclinados, el embalaje manual es hasta ahora el más eficiente y rápido método de empacar el heno. Para facilitar el embalaje manual puede ser usada una caja especial. En este caso, el material seco (pasto o paja) es colocado en la caja y presionado en tal forma que el aire dentro del material es extraído. Cuando la caja es llenada, la paca es amarrada con cuerdas y extraída de la caja.

El almacenaje es un factor importante en el embalaje del heno. El almacenamiento necesita ser hecho en un lugar seco, y las pacas no deben ser puestas inmediatamente sobre el suelo, sino un poco más arriba para permitir la ventilación del aire. El momento más conveniente para hacer el heno, es al final de la temporada de lluvias, cuando hay suficiente luz solar para secar el material, o directamente después de la cosecha. Es posible que la producción de heno coincida con otras actividades de la finca, pero la cantidad de heno producida es fácilmente controlada.

En terrenos inclinados unas 300 pacas pueden ser producidas, así como en áreas planas es factible producir 500 pacas, considerando que la altura del pasto es 50 cm. Una paca pesa más o menos 12 kg. Con una paca es posible alimentar una o dos vacas al día, dependiendo de la calidad de las áreas de pastoreo.

El pasto usado para el heno no debe estar demasiado maduro. Si está demasiado seco, los animales probablemente no lo coman, y esto significará un gasto de esfuerzo. Por otro lado, si el heno contiene demasiada humedad durante el embalaje, o él adquiere humedad de la lluvia, existe la posibilidad de que comience a fermentarse o descomponerse.

Si la recolección del heno tiene lugar después de la lluvia, no sólo se baja la calidad nutricional sino que en las leguminosas, cuyas hojas probablemente se destruyan durante la recolección, se quedan gran parte de los tallos del heno con una pobre calidad.

EL USO DE ABONOS VERDES Y CULTIVOS DE COBERTURA COMO FORRAJE DE ANIMALES

Además del mejoramiento de las propiedades físicas, químicas, hidrológicas y biológicas del suelo, las especies de abonos verdes y cultivos de cobertura, pueden ser usados exitosamente como alimento animal. Actualmente, la mayoría de las especies de cultivos de cobertura han sido usadas como forraje de animales desde hace mucho tiempo; probablemente ellas fueron usadas como alimento animal antes de que fueran conocidas para mejorar las propiedades del suelo.

La intensificación de los sistemas de producción tiene lugar principalmente a través del uso de cultivos anuales de forraje, como son la avena, el raygrass italiano, el lupino, *Lathyrus* sp., *Pennisetum purpureum* y el sorgo de forraje. Las hierbas perennes como la hierba bermuda, la hierba elefante y la alfalfa son buenas opciones, pero requieren ser exploradas en regiones específicas. Otro aspecto de la intensificación, es la inclusión del ensilaje y el heno en los sistemas de producción para hacer un uso óptimo de los cultivos (Mello, 1998).

Las especies usadas para este doble propósito son ricas en proteínas, fósforo, potasio y calcio, gracias a la capacidad de fijación del nitrógeno o al reciclaje de los nutrientes en el suelo. Estos elementos son requerimientos básicos para la alimentación animal.

Las especies de cultivos de cobertura para doble propósito, pueden ser divididas en tres grupos, acorde con su contenido de proteínas:

Lámina 37
La hierba elefante creció en rotación con otros cultivos. Los residuos son conservados sobre la superficie del suelo.
R. Derpsch

1. gramíneas: contenido de proteínas crudas es bajo, entre 6-8 por ciento;
2. leguminosas: contenido de proteínas crudas es alto, por encima de 16 por ciento;
3. otras: contenido medio de proteínas crudas.

Los cultivos de cobertura, especialmente los forrajes de leguminosas, pueden jugar un rol muy importante en la agricultura de conservación, ya que ellos proporcionan protección alternativa o adicional al suelo, suministran nitrógeno al sistema y ofrecen la posibilidad de compartir los requerimientos de alimentación animal. Esto último es cumplimentado en dos formas, mediante el abastecimiento de forraje suplementario, y por permitir el más extenso uso de los residuos del cultivo, que no son más necesitados, en la alimentación para los propósitos de protección del suelo.

El Cuadro 10 muestra un panorama de las especies más usadas como cultivos de cobertura y como alimento de animal, fundamentadas en investigaciones realizadas en Santa Catarina, Brasil (Calegari y otros, 1993). El Cuadro 10, además, incluye la producción de materia seca, proteína cruda y nutrientes digestibles totales. El Cuadro 11 indica los usos principales de especies comunes de cultivos de cobertura.

Cuadro 10 Los cultivos de cobertura más comúnmente usados en la alimentación animal y su producción de materia seca, proteína cruda y nutrientes digestibles totales (Calegari y otros, 1993)

NOMBRE COMÚN	PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA (T HA^{-1})	PROTEÍNA CRUDA (%)	NUTRIENTES DIGESTIBLES TOTALES (%)
Avena	7.7	8.69	50.9
Raygrass italiano	4.8	6.31	55.7
Centeno	6.2	6.06	49.0
Lathyrus	3.9	16.88	57.5
Fríjol de forraje	3.0	18.06	56.1
Spergula	3.8	10.12	50.7
Rábano	3.5	14.50	57.3
Arvejilla común	3.6	18.75	53.3
Arvejilla peluda	5.0	21.31	53.2
Hierba bermuda	6.0-8.0	9.0-15.0	55-60

	Tallos	Hojas	Tallos	Hojas	Tallos	Hojas
Crotalaria juncea	3.0	2.0	9.5	21.2	40.1	66.6
Canavalia	3.9	3.2	8.8	23.9	42.2	65.0
Gandúl	6.0	1.7	8.7	24.1	33.1	45.6
Mucuna .	2.2-4.5	1.3-3.2	10.8-14.0	25.0-27.6	39.6-46.2	44.8-48.0
Leucaena	3.8-10.5	2.2-5.1	8.4-9.6	22.6-23.6	27.7-30.0	40.5-43.6
Gandúl (variedad tardía)	11.3-17.0	2.8-4.0	8.8-9.6	25.5	29.0-33.1	41.4-42.2
Tephrosia	6.0	1.7	12.2	25.4	40.2	46.1

Algunas de las características del cultivo de cobertura de forraje ideal dentro de la AC son las siguientes:

- Disponibilidad de semillas a bajo costo.
- Fácil y rápido establecimiento.
- Persistencia mínima en el área de cultivo después de su ciclo (bajo riesgo de convertirse en maleza).
- Adecuada fijación de nitrógeno.
- Gustable al paladar.
- Libre de componentes antinutricionales.
- Alto valor nutritivo.
- Facilidad de conservación (heno o ensilaje).

Cuadro 11 Usos principales de cultivos de cobertura como forraje animal (Calegari y otros, 1993)

NOMBRE COMÚN	USO					
	PASTOREO	CORTE	HENO	ENSILAJE	GRANOS	RAÍCES/ VAINAS
Avena	*	*	*	*		
Ryagrass italiano	*	*	*	*		
Centeno	*		*	*		
Lathyrus	*	*	*		*	
Fríjol de forraje					*	
Spergula		*	*			
Rábano		*			*	* (raíces)
Arvejilla común	*	*	*	*		
Arvejilla peluda	*	*	*			
Crotalaria juncea		*				
Canavalia					*	* (vaínas)
Gandul		*	*	*	*	
Mucuna .		*	*	*		
Leucaena	*	*	*	*		
Gandul(variedad tardía)	*	*	*	*	*	

PASTOREO ROTACIONAL Y PASTOS DEGRADADOS

En cómo los animales son manejados y alimentados dentro de una unidad agrícola integrada, tiene una gran influencia la condición en que se encuentra la tierra de siembra y el reciclaje de los nutrientes. Los animales se permiten pastorear o están confinados y alimentados. A menudo una combinación de los dos métodos es común. Por ejemplo, el pastoreo como principal método en las estaciones de humedad adecuada y el confinamiento o estabulación durante la estación(es) seca.

Pastoreo incontrolado: Permitir el libre acceso de los animales a los residuos de cultivos, cultivos de cobertura y/o tierras de hierbas comunales por períodos extendidos o hasta que toda la vegetación de la superficie haya sido consumida, contaminada o pisoteada.

Pastoreo controlado: Control de los períodos de ocupación y de la densidad de pastos de reserva para extraer las cantidades precisas de hierbas mediante prácticas, tales como, la subdivisión del área en cuartones para hacer el pastoreo rotacional, el pastoreo libre, pastoreo amarrado, control de la manada y acorralamiento nocturno.

Mientras mejor sea manejado el pastoreo, se puede tener un mayor impacto en las propiedades físicas del suelo y en el reciclaje de los nutrientes. El pastoreo en altas densidades de reservas de pastos, cuando los suelos están húmedos, o cuando la mayoría de la vegetación ha sido extraída, frecuentemente causa compactación en el suelo. El suelo también se compacta (Compactación del suelo) cuando la tierra es pastoreada con moderadas densidades de reservas por períodos prolongados sin descanso.

Estos efectos pueden ser completamente reversibles bajo el manejo rotacional, cuando el área de pasto cercada tiene suficiente tiempo sin la ocupación de los animales. Debido a que el pastoreo de los animales, tiende a recoger los nutrientes existentes en las hierbas de áreas relativamente extensas y dispersas, y los deposita en áreas concentradas en forma de excretas, el grado de los patrones de control del pastoreo puede tener profundos impactos, en cómo los nutrientes son distribuidos y cuán eficientemente ellos son reciclados.

Idealmente, las vacas lecheras necesitan forraje de alta calidad, y por lo tanto nueva área de pastoreo cada 24 horas. Mediante la división de las áreas de pastoreo, el pastoreo rotacional permitirá el recrecimiento de los pastizales.

Lámina 38
El manejo de las áreas de pastizales puede ser hecho mediante el reemplazo de las especies nativas por unas especies mejoradas.
M. Vieira

Basados en la fertilidad del suelo, las condiciones climáticas y los tipos de especies sembradas, el recrecimiento se producirá durante 4-5 semanas. Fundamentados en la mezcla de cultivos que crecen, los animales necesitan más o menos área para pastar. El Cuadro 12 presenta una visión de algunos de las mezclas de cultivos de cobertura y los requerimientos de área por animal.

Cuadro 12 Requerimiento de área por animal por día para diferentes cultivos de forraje (Mello, 1998)

MEZCLA DE CULTIVO DE COBERTURA	REQUERIMIENTO DE ÁREA (M^2 $ANIMAL^{-1}$ $DÍA^{-1}$)
Avena+raygrass italiano + trébol	80-100
Pennisetum y sorgo	50-60
Hierba elefante	40-60

Muy importante en el manejo de las divisiones o cuartones de pastos, es la recuperación de los pastizales y por lo tanto la altura de crecimiento, a la cual los pastos/ mezclas de forraje pueden ser pastoreados por los animales. Esto varía con la especie de la planta. La avena, por ejemplo, o puede ser pastoreada hasta una altura de 7-10 cm, así como la hierba de elefante no resiste ser pastoreada, si no tiene una altura mayor de 30-40 cm.

Los pastizales y las praderas de hierbas pueden convertirse en degradadas, especialmente aquellas compuestas por especies nativas, las que son manejadas extensivamente. Las características de los pastizales degradados son la alta presencia de malezas, baja fertilidad del suelo y alta compactación del suelo. Un aspecto importante en el manejo del forraje, es el requerimiento de dejar un mínimo de 2.5 - 3 ton de materia seca sobre la superficie del suelo, con el fin de sostener el sistema. En un sistema integrado granos/ganado, los mejores resultados para el mejoramiento fueron obtenidos, mediante la retracción de los animales 30-45 días antes de la siembra del siguiente cultivo comercial. Este intervalo permite una producción de biomasa adecuada antes de la siembra directa del siguiente cultivo. Dos puntos críticos en el manejo del ganado son la retracción de los animales durante los periodos largos de lluvias, cuando los suelos son muy susceptibles a la compactación, y el mantenimiento de una cobertura permanente sobre el suelo para reducir los efectos del pisoteo.

La recuperación de estas áreas puede ser hecha mediante la integración de los cultivos anuales en el sistema de animales. El manejo intensivo y la rotación de pastos y áreas de cultivo, conllevarán a una alta productividad agrícola. Basado en la disponibilidad de mano de obra, el poder de compra y el perfil del agricultor, los pastos pueden ser mejorados gradualmente como se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13 Secuencia sugerida de cultivos en la recuperación de pastizales (Oliveira, y otros, 2000)

	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 4
	Pasto nativo	Pasto nativo	Pasto nativo	Pasto nativo
1er año	avena-soya	Pasto nativo	Pasto nativo	Pasto nativo
2do año	Sorgo-avena-soya	Avena-soya	Pasto nativo	Pasto nativo
3 eraño	Avena-maíz	Fríjol-avena-soya	avena-soya	Pasto nativo
4to año	Pasto mejorado	Sorgo-avena-soya	Sorgo-avena-soya	Avena-maíz
5to año	Pasto mejorado	Pasto mejorado	Avena-maíz	Fríjol-avena-soya
6to año	Pasto mejorado	Pasto mejorado	Pasto mejorado	Sorgo-avena-soya
7mo año	Soya-avena	Pasto mejorado	Pasto mejorado	Pasto mejorado

Si es necesario, los suelos necesitan ser mejorados con cal y fertilizantes, antes de comenzar la rotación. El uso de un arado de cincel para mejorar la aireación en el suelo pudiera ser necesario. Como con la producción de granos, una constante exportación de nutrientes tiene lugar en las praderas de pastos en la forma de leche y carne. Por lo tanto, los pastos necesitan ser tratados como cultivos por lo que también se aplican fertilizantes en las praderas.

CONFINAMIENTO (CERO PASTOREO)

El cortar y llevar se refiere a la extracción de los residuos de cultivos, de cultivos de cobertura y cultivos de forraje, la importación de herbajes de fuera de la finca y otros sub-productos alimenticios. La colección y redistribución del estiércol es un factor crítico.

El confinamiento total o estabulación de los animales con alimentación traída a la facilidad de confinamiento, es muy fuera de lo común para los rumiantes en los paises desarrollados. Sin embargo, este sistema es muchas

Lámina 39
El cero pastoreo permite precisar las cantidades de alimentos y nutrientes, pero demanda mas fuerza de trabajo.
FAO

veces usado con vacuno lechero en las tierras altas del Este de África, y con ovejas y cabras en Benin y sur este de Nigeria (Hart y Knipscheer, 1987; Mdoe y Wiggins, 1997). Este sistema tiene muchos atributos aparentemente positivos:

1. Los animales son completamente confinados de la tierra agrícola y de los frágiles suelos por lo que se evita los impactos negativos de él sobre pastoreo, la compactación, la pérdida de materia orgánica, el sellaje de la superficie, la pobre infiltración del agua de lluvia, la excesiva escorrentía y erosión.
2. El estiércol y el alimento descompuesto y desechado, puede ser acumulado en la instalación de confinamiento para la redistribución en las tierras agrícolas o para la elaboración del compost. En Zimbabwe Murwira y otros, (1995) encontraron que un corral de crianza produce 7 ton de estiércol que se puede recoger por unidad de animal por año, comparados con las sólo dos o tres toneladas que se pueden recoger por el acorralamiento nocturno.
3. El estiércol guardado en montones (desde los establos) pierde menos nitrógeno que dispersado en pequeñas porciones, debido a la menor área de superficie para un volumen dado, pero aún así puede perder hasta el 50 % de su nitrógeno antes de ser diseminado en la tierra. La mineralización del nitrógeno en los montones de estiércol, hace que el nitrógeno esté más fácilmente disponible para los cultivos cuando el estiércol es diseminado (Reynolds y de Leeuw, 1995).
4. La extracción de residuos de cultivos y cultivos de cobertura de la finca, puede ser exactamente controlada una vez que son conocidos los niveles críticos necesitados para el mejoramiento del suelo.
5. La alimentación en la finca puede ser fácilmente complementada con alimentos importados.
6. La rutina del manejo del animal es simplificada.

DESVENTAJAS DEL CERO PASTOREO

Demanda mayor fuerza de trabajo que el pastoreo (acopio de forraje, redistribución de estiércol).

Pérdida de nitrógeno a través de la impregnación de la orina en el suelo subyacente o corriendo fuera del área de confinamiento.

Incremento de la transmisión de enfermedades.

TRATAMIENTO Y RECICLAJE DE DESECHOS

Hay numerosas opciones para recoger, almacenar, procesar y aplicar a las áreas de cultivo y pastos las excretas de los animales dependiendo de los tipos y especies de animales, sistema de crianza (confinamiento o semi-confinamiento) clima, lugar, cultivo, etc. Enfrentando la agricultura de conservación, las opciones son reducidas si son respetados los requerimientos de no alteración del suelo y los deseos de obtener un mínimo de emisión de gas invernadero, de volatilización de nutrientes y de lixiviación.

El manejo de la orina es particularmente importante, debido a su alto contenido de nitrógeno, y con la facilidad que el nitrógeno puede ser perdido a través de la volatilización. El tratamiento de la tierra con estiércol y orina, produjo 52 por ciento más altos los rendimientos de millo comparado con la tierra tratada sólo con estiércol (Bationo y otros, 1995). En Níger, fue calculado que la oveja da un equivalente de 202 kg N/ha por mancha de orina. Adicionalmente, la orina es alta en potasio y puede reducir la toxicidad del aluminio mediante el incremento del pH del suelo. El mismo estudio reportó que siete semanas después de la aplicación de orina, el pH del suelo de las manchas de orina fue 6.8, comparado con el valor de control de 5.5 (Powell y Ikpe, 1992).

La costumbre de usar corrales nocturnos, es un método de pastoreo controlado que concentra los nutrientes en forma de estiércol y orina en un área específica, (usualmente los campos de cultivo o cerca de la casa de los propietarios). Los animales son confinados en una alta densidad durante toda la noche y el herbaje consumido previamente es procesado a través de su tracto digestivo y depositado como excreta (Murwira y otros, 1995). Por este método, los nutrientes pueden ser redistribuidos dentro de la unidad agrícola o importados desde las tierras de pastos del campo, o comunal, fuera de la unidad agrícola. Los corrales nocturnos pueden ser sistemáticamente movidos por los campos de cultivos, para concentrar y distribuir el estiércol inmediatamente, o el estiércol puede ser acumulado en corrales localizados cerca de la casa del propietario para su distribución posterior.

White y otros, (1999) han estudiado la distribución del estiércol y la orina de vacas lecheras, bajo manejo del pastoreo rotacional controlado. Un punto importante esclarecido, es que bajo el manejo del pastoreo

controlado, la distribución de excretas puede ser muy buena, comparable con aquella que podía ser cumplimentada por máquinas o la distribución manual. En este estudio fue determinado que cerca del 85% de las heces y la orina, fueron distribuidas en los cuartones de pastoreo, y el balance (cerca del 15%) fue depositado en áreas de alimentación, salas de ordeño y senderos de tránsito.

Los equipos de inyección sofisticados para los efluentes provenientes del tratamiento y almacenaje de las excretas del animal, pueden ser de poco uso práctico en fincas pequeñas, y otras alternativas necesitan ser buscadas.

El tratamiento de las excretas de animales y otros desechos orgánicos con biodigestores anaeróbicos para la generación de biogás, útil en la generación de electricidad o como combustible para cocinar o calefacción, es una alternativa muy atractiva para los sistemas integrados. En adición a la energía recuperada, los efluentes son muy valiosos como fertilizantes y enmiendas para el suelo.

EFECTOS DEL SISTEMA CULTIVO-GANADO INTEGRADO EN LA PRODUCCIÓN DE LECHE, CARNE Y GRANOS

La producción de leche en sistemas integrados utilizando, durante cierto tiempo en el año, las áreas de cultivos anuales para pastoreo, suplementado con ensilaje y heno, ha demostrado ser económicamente viable y sostenible (Mello, 1998).

Basada en varias investigaciones, el Cuadro 14 muestra el potencial de producción de leche de diferentes cultivos de cobertura, cuando es pastado o convertido en ensilaje o heno.

Cuadro 14 Productividad potencial de un número de cultivos de cobertura usados como pastos, ensilaje o heno (Mello, 1998).

ESPECIE	PRODUCTIVIDAD	
	MATERIA SECA (TON HA^{-1})	LECHE (L HA^{-1})
Avena+raygrass italiano + trébol	5-8	4,000-6,000
Pennisetum purpureum/Sorgo	8-10	5,000-8,000
Hierba bermuda	6-10	8,000-12,000
Hierba elefante	10-30	10,000-12,000
Ensilaje de maíz	10-12	22,000
Ensilaje de triticale	4-5	9,000
Ensilaje de cereales cosechados temprano	4-5	7,000
Heno de alfalfa	8-10	20,000

La mezcla de avena, raygrass italiano y trébol, ofrece un excelente potencial de producción de leche, con 4,000-6,000 litros de leche por hectárea en 140-150 días. De acuerdo con Mello (1998), el momento ideal para que los animales entren en las áreas de pastoreo, es cuando la avena ha alcanzado una altura de 30-35 cm.

La hierba de elefante puede suministrar del 8-14 por ciento de proteína cruda, cuando el pastoreo es comenzado a una altura de 1.3-1.5 m y pastado a una altura de 30-40 cm. Con la rotación diaria, la productividad de leche puede variar desde 10,000-15,000 kg ha^{-1} año^{-1} (Carvalho y otros, 1994). La hierba bermuda ofrece la misma productividad que la hierba elefante. Cuando el pastoreo es comenzado a 30-35 cm de altura, 9-15 por ciento de proteína cruda puede ser obtenida. Los costos de establecimiento y mantenimiento de estos pastos están cerca de U$ 0.015 por litro de leche (Mello, 1998).

El sistema de producción integrado soya-hierba de elefante, produjo un incremento en el peso del ganado de 0.78 kg por día (479 kg ha^{-1}), así como el sistema soya-sorgo incrementó el peso de los animales en 0.71 kg por día (401 kg ha^{-1}).

Como fue discutido en la parte “tratamiento y reciclaje de desechos”, la adición de orina y estiércol al campo resultó en una mayor producción de granos. Las Figuras 10 y 11 indican un efecto similar para las áreas

de cultivos de cobertura pastadas. La úrea en la orina y en una menor magnitud en las heces, puede ser fácilmente tomada por las raíces de las plantas y convertidas en biomasa.

Figura 14
Rendimiento de maíz obtenido en áreas pastadas y no pastadas después de los cultivos de cobertura de avena + algarroba durante dos estaciones de crecimiento (Calegari y Vieira, 1999).

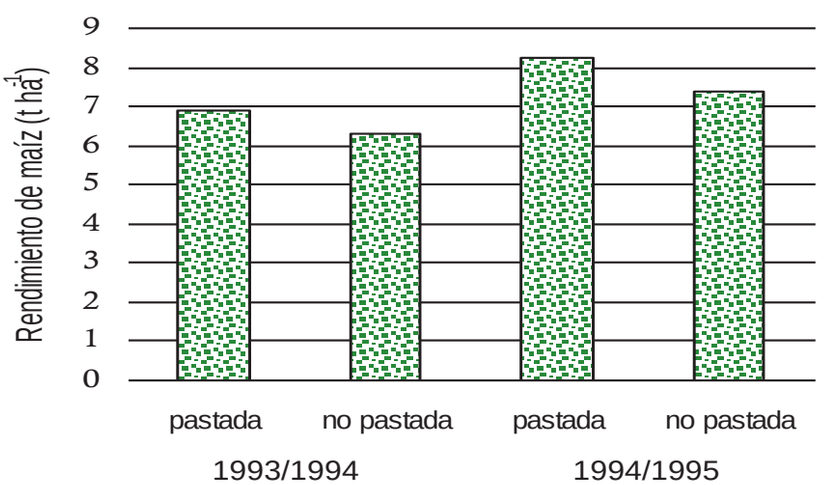
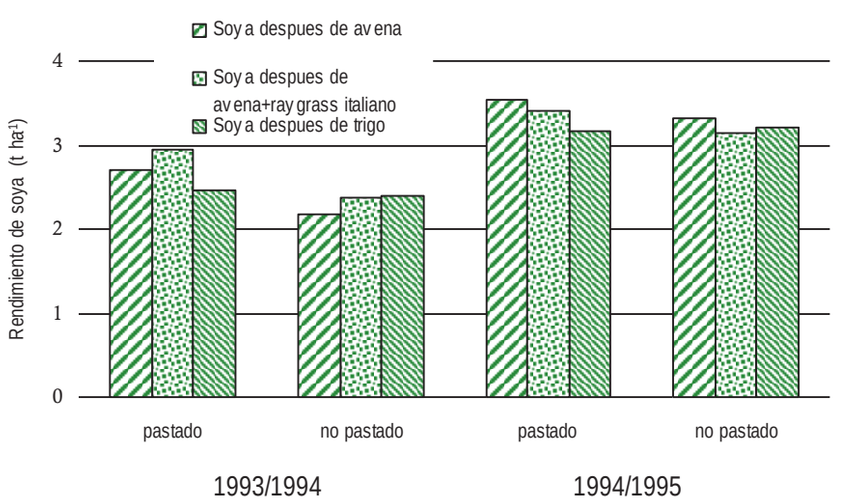


Figura 15
Rendimiento de soya obtenido en áreas pastadas y no pastadas de diferentes cultivos de cobertura durante dos estaciones de crecimiento (Calegari y Vieira, 1999).



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alberto, G., J.S. Portella and O.L.P. de Oliveira. 1993. Effect of addition of ground sorghum grain and of wilting on elephant grass. Grassland and Forage Absts. 65 (2).

Bareeba, F.B. 1977. The ensilage characteristics and nutritive value of maize, amaranthus-enriched maize and sorghum silages preserved with either molasses or formaldehyde. M.Sc. (Agric) Thesis, Makerere University, Uganda.

Bationo, A., A. Buerkert, M.P. Sedogo, B.C. Christianson and A.U. Mokwunye. 1995. A critical review of crop-residue use as soil amendment in the West African semi-arid tropics. In: *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa. Volume II: Technical Papers*. Powell, J.M., Fernández-Rivera, S., Williams, T.O. and Renard, C. (Eds). Proceedings of an International Conference held in Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 November 1993. ILCA, Addis Ababa, Ethiopia. pp305-322.

Barber, R.G. 1996. Linking the production and use of dry-season fodder to improved soil conservation practices in El Salvador. Proyecto CENTA-FAO, GCP/ELS/004/NET, documento de campo Nº 8.

Barber, R.G. 1999. Integrated crop and land management in the hilly terrains of Central America: concepts, strategies, and technical options. Vol. 2. FAO, Rome, Italy. ISBN 92-5-104350-7.

Calderón, F., H. Sosa, V. Mendoza, G. Sain and H. Barreto. 1991. Adopción y difusión de labranza de conservación en Guaymango, El Salvador: Aspectos instrucionales y reflexiones técnicas. In: *Agricultura sostenible en las laderas centroamericanas: Oportunidades de colaboración interinstitucional*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). pp. 189-210.

Calegari, A. and M.J. Vieira. 1999. Técnicas de controle da erosão. In: Uso e manejo de solos de baixa aptidão. C. Castro Filho and O. Muzillo. (Eds.) p53-100.

Calegari, A., A. Mondardo, E.A. Bulisani, L.P. Wildner, M.B.B. da Costa, P.B. Alcântara, S. Miyasaka and T.J.C. Amado. 1993. Adubação verde no sul do Brasil. AS-PTA, Rio de Janeiro. Second Edition, 346 pp.

Carvalho, M., M.J. Alvim, D. Xavier and L. Carvalho. 1994. Capim-elefante: produção e utilização. Coronel Pacheco, EMBRAPA-CNPGL. 227pp.

Catchpoole, V.R., and E.F. Henzell 1971. Silage and silage-making from tropical herbage species. Herbage Abstracts 41,213-221.

Devendra, C., C. Sevilla and D. Pezo. 2001. Food-feed systems in Asia: Review. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 14: 733-745.

Godfrin, C. 1999. Le semis direct dans le petites exploitations du Parana au Bresil. Gembloux, Faculte Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, 65 p.

Hart, R.D. and H.C. Knipscheer, 1987. Characteristics and socioeconomic aspects of small ruminant production systems: an analytical framework. In: *Small ruminant production systems in South and Southeast Asia*. Devendra, C. (Ed). Proceedings of a workshop held in Bogor (Indonesia), 6-10 Oct 1986. Ottawa, Ont. IDRC.

Hellin, J, Welchez, L.A. and I. Cherrett. 1999. The Quesungual system: an indigenous agroforestry system from western Honduras. *Agroforestry Systems*. 46:229-237.

Jarrige, R., C. Demarquilly, and J.P. Dulphy 1982. Forage Conservation. In: *Nutritional limits to animal production from pastures.* Hacker, J.B. (ed.). Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, UK. p. 363-387.
Mdoe, N. and Wiggins, S. 1997. Returns to smallholder dairying in the Kilimanjaro region, Tanzania. *Agricultural Economics*.17: 75-87.

Mello, J.da S. 1998. Integração lavoura-pecuäria em sistema plantio direto. Boletim Técnico 3. Metas. Passo Fundo. 36pp.

Merry, R.J., K.F. Lowes and A. Winters 1997. Current and future approaches to biocontrol in silage. p. 17-27. In: *Proc. 8th Int. Symposium Forage Conservation*, Brno, Czech Republic. V. Jambor, L. Klapil, P. Chromec, and P. Prochazka. (eds) 29 Sept.-1 Oct. 1997. Research Institute of Animal Nutrition, Pohorelice, Czech Republic.

Murwira, K.H., Swift, M.J. and Frost P.G.H., 1995. Manure as a key resource in sustainable agriculture. In: Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed

farming systems of sub-Saharan Africa. Volume II: Technical Papers. Powell, J.M., Fernández-Rivera, S., Williams, T.O. and Renard, C. (Eds). Proceedings of an International Conference held in Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 November 1993. ILCA, Addis Ababa, Ethiopia. P131-148.

Oliveira, E. de, G.B. de Medeiros, F. Marun, J.C. de Oliveira, J.C.G. Sá, A. Colozzi Filho, W.M. Kranz, N.F. da Silva Jr., J.J. dos Santos Abrahão, V.L. Guerini and G.L. de Martin. 2000. Recuperação do pastagens no Noreste do Paraná. Bases para plantio direto e integração lavoura e pecuária. IAPAR, Londrina. 96pp.

Onselen, V. J. van and J. Lopez. 1988. Effect of addition of carbohydrate sources and of a commercial enzymatic product on the chemical and nutritional composition of elephant grass (*Pennisetum purpureum*) silage. Revista da Sociedade Brasiliera de Zootecnia. 17(5): 421-427. (Summary in English).

Panditharane, S., V.G. Allen, J.P. Fontenot and M.C.N. Jayasuriya. 1986. Ensiling characteristics of tropical grasses as influenced by stage of growth, additives and chopping length. J. Anim. Sci. 63(1): 197-207.

Pezo, D.A., Lanting, E.F., C.C. Wong and P.C. Kerridge. 2000. Feed resources for ruminants in smallholder farming systems in South East Asia. *In*: W.W. Stur, P.M. Horne, J.B. Hacker and P.C. Kerridge (eds.). *Working with farmers: The key to adoption of forage technologies*. ACIAR Proceedings No. 95. ACIAR, Canberra, Australia. Pp. 97-111.

Powell, M and Ikpe, F. 1992. Fertiliser factories. ILEIA newsletter vol.8 no.3.

Quiroz, R.A., D.A. Pezo, D.H. Rearte and F. San Martín. 1997. Dynamics of feed resources in mixed farming systems of Latin America. *In*: C. Renard (ed.). *Crop residues in sustainable mixed crop/livestock systems.* CABI, Wallingford, U.K. Pp. 149-180.

Ralisch, R.; Pirot, R.; Araujo, A.G. 1998. Análise da demanda energética de implementos a tração animal nos sistemas convencional e direto. In: *Encontro Latino-Americano sobre Plantío Direto na pequena propriedade 3.* Anais. Pato Branco, IAPAR, 1 CD-ROM.

Reynolds, L. and P.N. de Leeuw. 1995. Myth and manure in nitrogen cycling:

a case study of Kaloleni Division in Coast Province, Kenya. In: *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa. Volume II: Technical Papers.* Powell, J.M., Fernández-Rivera, S., Williams, T.O. and Renard, C. (Eds). Proceedings of an International Conference held in Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 November 1993 (). ILCA, Addis Ababa, Ethiopia. p509-521.

Ribeiro, M.F.S. 2001. Avaliação energética de semeadoras de plantio direto a tração animal. In: IAPAR, Ponta Grossa, PR. Relatório de Projeto 2001. Ponta Grossa.

Sain, G. E. and H. J. Barreto. 1996. The adoption of soil conservation technology in El Salvador: Linking Productivity and conservation. J. Soil and Water Cons. 51:313-321.

Sánchez, M. 1995. Integration of livestock with perennial crops. *World Animal Review* 82: 50-57

Sarwatt, S.V. 1995. Studies on preservation and evaluation of some tropical forage as silage. Ph.D.Thesis. Sokoine University of Agriculture. Tanzania.

Schmitz, H.; Sommer, M. and Walter, S. 1991. Animal traction in rainfed agriculture in Africa and South America. Eschborn, Vieweg, 311 p.

Smil, V. 1999. Crop residues: agriculture's largest harvest. *BioScience.* 49: 299-308.

Starkey, P. 1989. Harnessing and Implements for animal traction. Eschborn, Vieweg, 245 p.

Weinberg, Z.G. and R.E. Muck.1996. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. FEMS Microbiol. Rev. 19, 53-68.

White, S. L., S. P. Washburn, L. D. King, R. E. Sheffield and J. T. Green, Jr. 2001. Spatial and time distribution of dairy cattle manure in an intensive pasture system. Proceedings. XIX Int. Grassland Congr. São Pedro, São Paulo, Brazil. p.340-341.

CAPÍTULO 7

HERRAMIENTAS, MAQUINARIAS Y EQUIPOS PARA LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN[1]

MANEJO DE CULTIVOS DE COBERTURA, RESIDUOS Y MALEZAS

El objetivo del manejo de cultivos de cobertura, residuos y malezas, es preparar el área para plantar las semillas del siguiente cultivo comercial y manejar las malezas de tal forma que ellas no puedan interferir con el desarrollo del cultivo. En los sistemas de agricultura de conservación, este manejo debe de facilitar la penetración del equipo de siembra directa en el campo, sin bloquear el implemento y favorecer la germinación de semillas.

Es deseable que los residuos formen una buena cobertura del suelo, que lo proteja completamente algún tiempo contra los impactos de las gotas de lluvias y que libere los productos químicos alelopáticos para suprimir la germinación de las malezas. La liberación de estos productos químicos debe ser lenta y gradual, hasta que el cultivo comercial sea capaz de competir con la maleza. Uno de los factores que influyen en la liberación de los productos químicos alelopáticos es la descomposición de la materia orgánica (Almeida, 1988).

El manejo del residuo/cultivo de cobertura puede ser hecho bien mecánicamente o químicamente, o la combinación de los dos, dependiendo de las posibilidades del agricultor, la topografía (tierra inclinada o plana), el grado en que el área está invadida de malezas y la etapa de desarrollo del cultivo de cobertura.

MANEJO MECÁNICO

El manejo mecánico del residuo o el cultivo de cobertura puede ser hecho usando machetes, cuchillos u hoz, rodillos de cuchillas, aplastadora, segadoras, etc. o cualquier implemento similar.

- Manejo mecánico manual.
- Manejo mecánico de tracción animal.
- Implementos tirados por tractor para el manejo mecánico de los cultivos de cobertura.

MANEJO MECÁNICO MANUAL

MACHETE O CUCHILLO

La práctica común en Latino América es cortar las malezas y residuos de cultivos previos con un cuchillo o machete antes de la siembra.

1/ Colaboración de Theodor Friedrich, FAO

Los residuos del cultivo anterior son dejados sobre la superficie y el cultivo siguiente es sembrado dentro de él.

RECUADRO 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MACHETE

Ventajas

☺ Fácilmente disponible
☺ Barato
☺ Herramienta común

Desventajas

☹ Pesado y consume tiempo
☹ Recrecimiento de las malezas

Lámina **40**
El uso del machete o el cuchillo, es una herramienta popular para el control de los cultivos de cobertura en América Latina. (*T. Friedrich*)

RODILLOS DE CUCHILLAS O RODILLOS PICADORES

El rodillo de cuchillas es usado para doblar y aplastar la vegetación de cultivo de cobertura o maleza, antes de plantar el cultivo comercial, resultando en la muerte del cultivo de cobertura. Es usualmente conocido como una herramienta para tracción animal o para tractores, pero el mismo principio puede ser aplicado a rodillos pequeños o herramientas similares que son tiradas por fuerza manual. Esta operación es mejor realizarla después de la floración, pero antes de la madurez de las semillas del cultivo de cobertura. En esta forma no hay necesidad de aplicar un herbicida para desecar la cobertura vegetativa, lo que reducirá sustancialmente el costo de producción. En este caso, es importante que el rodillo de cuchillas solo quiebre y aplaste, pero que no corte las plantas del cultivo de cobertura, a fin de que ellas sequen y mueran. Si las plantas son cortadas, el rastrojo que queda puede levantarse otra vez y retoñar de nuevo. La plantación mecánica es además más fácil si los residuos no son cortados porque aun están en contacto con el suelo.

SEGADORAS

Otra forma de cortar los cultivos de cobertura es con el uso de segadoras mecánicas o manuales. En algunos países, la segadora motorizada cargada por el operador se ha convertido en una alternativa al uso del machete. Los resultados son una buena cobertura, porque la mayor parte de la biomasa permanece intacta después que se corta.

Lámina **41**
Una segadora mecánica manual para controlar la vegetación.

Lámina **42**
Rodillo de cuchillas de tracción animal en posición de transporte
(*T. Friedrich*)

MANEJO MECÁNICO DE TRACCIÓN ANIMAL

RODILLOS DE CUCHILLAS O RODILLOS PICADORES

Al igual que en el manejo mecánico manual, se utiliza para doblar y aplastar la vegetación de cultivo de cobertura o maleza, antes de plantar el cultivo comercial, resultando en la muerte del cultivo de cobertura. Esta operación es mejor realizarla después de la floración, pero antes de la madurez de las semillas del cultivo de cobertura. En esta forma no hay necesidad de aplicar un herbicida para desecar la cobertura vegetativa y se reducirá sustancialmente, el costo de producción. En este caso, es importante que el rodillo de cuchillas sólo quiebre y aplaste, pero que no corte las plantas del cultivo de cobertura, a fin de que ellas sequen y mueran. Si las plantas son cortadas, el rastrojo que queda puede levantarse otra vez y retoñar de nuevo. La plantación mecánica es además más fácil si los residuos no son cortados, porque aún están en contacto con el suelo. El abatimiento de residuos o cultivos de cobertura beneficia además, el control de las malezas, en comparación con los residuos o cultivos de coberturas que permanecen erguidos.

El rodillo de cuchillas es una pieza simple y relativamente barata del equipo que puede ser construido en la finca. Éste consiste en un cuerpo cilíndrico que rota libremente con respecto a un eje horizontal. Las cuchillas están dispuestas en la periferia del cilindro, separadas a la misma distancia. La distancia entre las cuchillas determina la longitud de aplastamiento. Las cuchillas alternadas y las cuchillas dispuestas en línea, atacan en un ángulo radial al cilindro, lo que mejora la acción y reduce el efecto al tiro de animales. El cuerpo del rodillo es colocado en una estructura metálica, la cual puede además poseer ruedas de transporte y una protección para el operador. Cuando es tirado, el cilindro rueda sobre las caras de las cuchillas, doblando y aplastando la vegetación (Araújo y otros, 1993).

Un simple rodillo de cuchillas puede ser hecho del tronco de un árbol, con "cuchillas" incrustadas, separadas a una distancia de 22-25 alrededor de su circunferencia. Las cuchillas pueden ser hechas de cintas de acero endurecido, es decir, de hojas de muelles de autos viejos (Bertol y Wagner, 1987).

Se necesita un manejo apropiado del cultivo de cobertura para evitar recrecimientos. En el caso del doblamiento y aplastamiento de la vegetación, es importante que el cultivo de cobertura tenga un estado de desarrollo vegetativo uniforme y que no ocurra el recrecimiento o siembra

después de la operación. Por consiguiente, es recomendado en estos casos, el uso del rodillo de cobertura en las siguientes etapas de crecimiento del cultivo de cobertura (Calegari, 1992):

- para leguminosas: entre la floración completa y la formación de las primeras vainas;
- para especies de pastos: durante la etapa lechosa de las semillas; y
- para otras especies, como el rábano de aceite: entre la floración y maduración de las semillas.

Si son usados cultivos de cobertura mezclados, es importante seleccionar aquellas especies con mas ó menos un ciclo uniforme de crecimiento (Monegat, 1991).

Lámina 43
Rodillo de cuchillas tirado por bueyes, es una herramienta popular en las fincas pequeñas y medias del sur de Brasil.
(*T. Friedrich*)

Lámina **44**
Un trineo tirado por caballos para manejar el cultivo de cobertura *Mucuna*.

Lámina **45**
Un conducto de alcantarilla usado para aplastar el cultivo de cobertura previo a la siembra de cebolla.
(*V.H. de Freitas*)

APLASTADORES

Basados en el principio del rodillo de cuchillas, algunas opciones para doblar y aplastar la vegetación pueden ser ideadas. Básicamente cualquier cosa que es redonda y más o menos pesada, debe clasificar, como los ejemplos mostrados que son usados por los agricultores:

- trineo,
- tronco de árbol sin cuchillas,
- tubos de cemento,
- neumáticos viejos de carros (Paraguay).

SEGADORAS

La siega es menos recomendada para el manejo de los cultivos de cobertura, ya que el rastrojo del cultivo de cobertura puede renacer. Las segadoras de tracción animal son normalmente equipadas con barras de corte que usan cuchillas alternativas. Ellas pueden ser accionadas por las ruedas de apoyo en tierra, la que está sólo disponible para caballos, o ellas pueden usar un pequeño motor de petróleo. Sin embargo, las segadoras de tracción animal son muy raramente usadas para el manejo de cultivos de cobertura.

Lámina **46**
Aplastador de cultivo de cobertura hecho de neumático viejo (*M. Piñalva*)

IMPLEMENTOS TIRADOS POR TRACTOR PARA EL MANEJO MECÁNICO DE LOS CULTIVOS DE COBERTURA

RODILLOS DE CUCHILLAS O RODILLOS PICADORES

Igualmente en este caso el rodillo de cuchillas es usado para doblar y aplastar la vegetación de cultivo de cobertura o maleza antes de plantar el cultivo comercial, resultando en la muerte del cultivo de cobertura. Esta operación es mejor realizarla después de la floración, pero antes de la madurez de las semillas del cultivo de cobertura. En esta forma no hay necesidad de aplicar un herbicida para desecar la cobertura vegetativa y se reducirá sustancialmente el costo de producción. En este caso, es importante que el rodillo de cuchillas sólo quiebre y aplaste, pero que no corte las plantas del cultivo de cobertura, a fin de que ellas sequen y mueran. Si las plantas son cortadas, el rastrojo puede levantarse otra vez y retoñar de nuevo. La plantación mecánica es además, más fácil si los residuos no son cortados, porque aún están en contacto con el suelo. El abatimiento del residuo o el cultivo de cobertura, benefician además el control de las malezas, en comparación con los residuos o cultivos de coberturas que permanecen erguidos.

El rodillo de cuchillas es una pieza del equipo simple y relativamente barata que puede ser construido en la finca. Este consiste en un cuerpo cilíndrico que rota libremente con respecto a un eje horizontal. Las cuchillas están dispuestas en la periferia del cilindro, separadas a la misma distancia. La distancia entre las cuchillas determina la longitud de aplastamiento. Las cuchillas alternadas y las cuchillas dispuestas en línea, atacan en un ángulo radial al cilindro, lo que mejora la acción y reduce el efecto al tiro de animales. El cuerpo del rodillo es colocado en una estructura metálica, la cual puede además poseer ruedas de transporte y una protección para el operador. Cuando es halado, el cilindro rueda sobre las caras de las cuchillas, doblando y aplastando la vegetación (Araújo y otros, 1993).

Un simple rodillo de cuchillas puede ser hecho de un tronco de un árbol, con “cuchillas” incrustadas separadas a una distancia de 22-25 cm alrededor de su circunferencia. Las cuchillas pueden ser construidas de cintas de acero endurecido, es decir, de hojas de muelles de autos viejos (Bertol y Wagner, 1987).

Lámina **47**
Rodillo de cuchilla simple hecho de madera con barras de metal.
(*T. Friedrich*)

Lámina **48**
Rodillo de cuchilla montado en tractor
(T. Friedrich)

Lámina **49**
El rodillo de cuchillas para aplastar y matar cultivos de cobertura, deja los residuos de la planta sobre la superficie del suelo. Es una herramienta esencial para el manejo del cultivo de cobertura.
(R. Derpsch)

Se necesita un manejo apropiado del cultivo de cobertura para evitar rebrotes. En el caso del doblamiento y aplastamiento de la vegetación, es importante que el cultivo de cobertura tenga un estado de desarrollo vegetativo uniforme y que no ocurra el rebrote o resiembra después de la operación. Por consiguiente, es recomendado en estos casos el uso del rodillo de cobertura en las siguientes etapas de crecimiento del cultivo de cobertura (Calegari, 1992):

- para leguminosas: entre la floración completa y la formación de las primeras vainas;
- para especies de pastos: durante la etapa lechosa;
- para otras especies, como el rábano de aceite: entre la floración y maduración de las semillas.

Si son usados cultivos de cobertura mezclados es importante seleccionar aquellas especies con más o menos un ciclo uniforme de crecimiento (Monegat, 1991).

Detalles de construcción para un rodillo de cuchillas (de acuerdo con http://www.rolf-derpsch.com/). El rodillo de cuchillas consiste en un cilindro hueco de acero, 6 mm de espesor de pared, aprox. 115 - 200 cm de ancho y 60 -70 cm en diámetro.
Los extremos son soldados para ser llenados con agua si es necesario.
Aprox. 8 - 12 cuchillas sin filos son colocadas cada 19 cm.
Las cuchillas son de cerca de 7 - 10 cm de alto y son colocadas paralelas al cilindro en un ángulo de 45° ó 90°.
El peso de cada cilindro de 200 cm es aprox. 400 kg vacío y 800 kg lleno de agua.
Tres cilindros son frecuentemente colocados en tal forma que dos corren en el frente y uno en la parte de atrás, permitiendo mayor ancho de trabajo.
Cilindros hidráulicos son montados en la estructura para permitir el levantamiento.
(Derpsch, 2003)

Lámina **50**
Grada de discos modificada para ser usada como rodillo de cuchillas
(T. Friedrich)

Lámina **51**
Un tubo de alcantarillado usado para aplastar el cultivo de cobertura previo para una actual siembra de cebolla
H. de Freitas)

Lámina **52**
Tubos de metal detrás de un tractor para aplastar la cobertura del cultivo

Lámina 53
Chapeadora de tractor usada para cortar residuos de algodón.
(T. Friedrich)

Lámina **54**
Trituradora usada para cortar residuos de algodón.
(*T. Friedrich*)

APLASTADORES

Basados en el principio del rodillo de cuchillas, hay varias opciones para doblar y aplastar la vegetación. Básicamente cualquier cosa que es redonda y más o menos pesada debe clasificar, como los ejemplos mostrados que son usados por los agricultores:

- trineo
- tronco de árbol sin cu chillas
- tubos de cemento
- neumáticos viejos de carros(Paraguay)
- gradas de discos modificada

SEGADORAS

La siega es normalmente no recomendada, ya que el rastrojo del cultivo de cobertura puede renacer. Adicionalmente, los residuos pueden estar sueltos en la superficie y no quedar alineados como es el caso cuando ellos son empujados y aplastados con un rodillo de cuchillas. Esto complicaría la plantación.

Además de las segadoras, la trituradora es otro tipo de máquina usada para el manejo de la capa de cobertura. Ella consiste en cuchillas, rotando verticalmente a alta velocidad alrededor de un eje horizontal. Usualmente ellas reducen la biomasa a pequeños pedazos. Entre las ventajas se incluyen la diseminación bastante pareja de la capa de cobertura, el control de las plagas y enfermedades, y puede facilitar el trabajo de los equipos de siembra. Sin embargo, la desventaja más grande de las trituradoras es que el material picado se descompone más rápidamente, lo que significa que no puede durar tanto tiempo, como sucede con los residuos no cortados en la superficie. Otra desventaja seria es el alto consumo de energía. Por esta razón, las trituradoras deben sólo ser consideradas en casos especiales para el manejo del residuo y el cultivo de cobertura.

En la trituradora se utiliza el mismo principio aplicado a la paja de cereal al ser cosechado por la combinada. Es muy importante que la paja esté igualmente distribuida de un lado a otro del ancho de corte de la combinada.

En muchos casos las combinadas modernas están equipadas con picadores de paja. El picador de paja debe estar colocado de tal forma que toda la paja desmenuzada es distribuida uniformemente, de lado a lado del ancho de corte de la combinada.

Bajo la Agricultura de Conservación es preferible, aún en el caso de la paja de cereal, no cortar sino justamente, diseminar la paja detrás de la cosechadora combinada. Esto ahorra energía y combustible, proporciona una más larga duración a la cobertura del suelo y reduce el peligro del enredamiento – la paja es empujada dentro de la ranura de siembra - durante la plantación. Los diseminadores de paja para las cosechadoras combinadas están comercialmente disponibles o pueden ser fácilmente construidos en la finca.

Lámina 55
Combinada cosechadora con picador de paja
(T. Friedrich)

Lámina 56
Diseminador de paja en combinada
(MAX - Irmãos Thonnigs Ltda.)

MANEJO QUÍMICO

El manejo químico de vegetación de barbecho o cultivos de cobertura, es hecho por pulverización de herbicidas. Los herbicidas son aplicados para desecar o "quemar" la cobertura vegetativa y, por lo tanto, facilitar la plantación ulterior del cultivo comercial. Esta práctica es normalmente llevada a cabo cuando el abono verde/cultivo de cobertura no está todavía en la floración completa, o estado de crecimiento lechoso, y es necesario sembrar el siguiente cultivo, o cuando para el agricultor es demasiado tarde para usar el rodillo de cuchillas.

Diferentes tipos de pulverizadoras han sido desarrollados.

Lámina 57
Diseminador de paja construido por agricultor
(T. Friedrich)

EQUIPOS MANUAL Y DE TIRO ANIMAL PARA MANEJO QUÍMICO DE MALEZAS

La mochila pulverizadora operada por palanca, es probablemente la pulverizadora manual más comúnmente usada. La pulverizadora es llevada en la espalda de la persona y, por ende, es fácilmente transportada alrededor de la finca y usada en diferentes terrenos.

El tanque constituye la parte más grande de las pulverizadoras y puede contener entre 10 y 15 litros de líquido cuando está lleno. Una palanca manual en el lateral del tanque, la que es movida hacia arriba y hacia abajo, es usada para crear la presión requerida (Moeller, 1997). El líquido presurizado es liberado a través de una boquilla en el extremo de una lanza manual y roto, en pequeñas gotas, que forman una pulverización o rociado.

Lámina 58
La mochila pulverizadora es probablemente la pulverizadora más común en el mundo.
(*T. Friedrich*)

Lámina 59
Una mochila pulverizadora adaptada para tracción manual.
(*T. Friedrich*)

Lámina 60
El operador lleva la pulverizadora de bajo volumen de boquilla rotatoria para herbicidas.
(*T. Friedrich*)

Como el uso de la mochila pulverizadora es muy agobiador, debido a su carga caminando largos trechos por largos períodos, otras pulverizadoras han sido desarrolladas, basadas en el mismo principio.

El tanque es colocado sobre el chasis de una carretilla de mano o un bastidor al cual se fijan dos ruedas de bicicletas. Para la tracción humana, el tanque puede contener ente 20-50 litros de líquido. Las ruedas son además, usadas para operar la bomba. Por esto, la palanca está conectada a un pistón hidráulico que es activado por el movimiento de la rueda. Como la pulverizadora no es cargada, sino tirada, el área a pulverizar puede ser extendida mediante el uso de un travesaño o barra, a la cual se fija la manguera que contiene las boquillas. De esta forma, hasta 5 metros de ancho pueden ser tratados al mismo tiempo. La tasa de trabajo se reduce de 5 hasta 0.6 – 1 horas por hectáreas (Araújo y otros, 1999).

La disponibilidad de agua es una seria limitación para la aplicación de herbicidas en algunas regiones. En este caso, las tecnologías de bajo volumen usan pulverizadoras de boquillas rotatorias que son una alternativa viable. Los volúmenes de aplicación necesarios pueden ser reducidos, desde 150-200 l/ha hasta 10-20 l/ha.

RECUADRO 3. DIFERENTES PULVERIZADORAS

- Boquilla hidráulica
- Boquilla rotatoria/bajo volumen
- Punta pulverizadora (boquilla simple)
- Barra pulverizadora
- Pulverizadora protegida/cultivos de hileras

Los limpiadores de malezas son dispositivos relativamente simples para aplicar herbicidas por contacto con las malezas. Importante es usar la concentración correcta del herbicida y que los limpiadores de malezas produzcan un flujo constante de principio a fin de su uso. Como no hay problema con el sentido del movimiento en la aplicación, los limpiadores de malezas pueden ser usados en el control de malezas en la entre hilera sin poner en peligro al cultivo, manteniendo un máximo cuidado de no tocar los cultivos de la hilera.

Aún si sólo pueden ser usados herbicidas de baja toxicidad, la aplicación de productos agroquímicos requiere siempre de máximo cuidado y de operadores experimentados. Las pulverizadoras usadas no deben tener

fugas y estar en buenas condiciones de trabajo, las boquillas regularmente limpias y sustituidas. Los operadores deben estar entrenados en la calibración y manejo de las pulverizadoras, para tener certeza de que un resultado máximo es logrado con un mínimo de herbicidas.

Las pulverizadoras más grandes, las cuales tienen un brazo más largo y pueden contener más líquido, han sido desarrolladas para tracción animal, aunque ellas son adecuadas para áreas planas. Para áreas montañosas, es recomendado usar modelos con una barra de distribución corta.

Más información sobre protección personal mientras se usa productos químicos en el módulo II "Manejo de malezas".

Lámina 61
Limpiadores de malezas
(*T. Friedrich*)

MANEJO QUÍMICO DE CULTIVO DE COBERTURA Y MALEZA OPERADO POR TRACTOR

Para la aplicación de herbicidas, el pulverizador de barra del tractor estándar es el equipo más común. Dependiendo del tamaño, el pulverizador puede ser montado, remolcado o autopropulsado. Para cultivos de hileras, los pulverizadores protegidos o cubiertos, pueden ser usados para aplicar herbicidas entre las líneas sin afectar el cultivo.

Lámina 62
Pulverizadora de barra distribuidora de tracción animal
(*T. Friedrich*)

Usar herbicidas requiere mucho cuidado, conocimientos y experiencia, con el fin de evitar riesgos a la salud humana y al medio ambiente. El equipo pulverizador debe conformarse según normas de seguridad establecidas y estar en condiciones de trabajo seguras. No debe haber ninguna fuga, los controles deben estar trabajando apropiadamente y las boquillas ser chequeadas y reemplazadas regularmente. Los operadores deben ser entrenados y competentes en el uso de pulverizadoras. Una mala aplicación de herbicidas incrementa los costos de producción y puede, incluso, poner en peligro el cultivo.

Lámina 63
Pulverizador de cultivo de hilera protegido para la aplicación de herbicidas entre las hileras del cultivo
(*T. Friedrich*)

Antes de la pulverización, el pulverizador debe ser calibrado apropiadamente, para tener seguridad de que la dosis a aplicar es correcta. Para la aplicación de herbicidas, las boquillas deben ser escogidas para que proporcionen una distribución pareja y buena, a todo lo ancho del nivel de la superficie, proporcionando una buena superposición, aún en alturas variables de la barra y produciendo un espectro basto de gotas para evitar la deriva del rociamiento. Esto se logra usualmente con ventiladores planos, deflector o toberas de chorro a presión. Dependiendo de la boquilla y de

Lámina 64
Pulverizador de barra montado en tractor con funda de aire para reducir la deriva de herbicidas
(T. Friedrich)

Lámina 65
Pulverizador Viejo mejorado con nueva bomba, controles y líneas de pulverización.
(T. Friedrich)

la razón de aplicación requerida, la presión debe ser baja para evitar la formación de pequeñas gotas (1-2 bar).

RECUADRO 4. DIFERENTES PULVERIZADORAS

- Boquilla hidráulica
- Boquilla rotatoria/bajo volumen
- Punta pulverizadora (boquilla simple)
- Barra pulverizadora
- Pulverizadora protegida/cultivos de hileras

Para evitar la deriva del herbicida pulverizado, las barras pulverizadoras pueden ser equipadas con protectores de deriva o fundas de aire.

Donde hay disponibilidad de pulverizadores viejos y obsoletos, pero no en apropiadas condiciones de trabajo, ellos pueden ser mejorados a un bajo costo, mediante el reemplazamiento o sustitución de solamente los componentes técnicos que llevan el líquido. Normalmente el tanque y el bastidor del pulverizador, incluso la barra distribuidora, pueden ser usados. Es aconsejable reemplazar la bomba, mangueras, controles, unidades de filtros y boquillas con sus respectivas líneas.

Lámina 66
Un agricultor en tierras inclinada, del sur de Honduras, usando un palo para sembrar maíz. (*A.J. Bot*)

Lámina 67
"Fríjol tapado" o fríjol difundido, sembrado sobre los residuos de una anterior vegetación en Costa Rica. (*A.J. Bot*)

SIEMBRA DIRECTA

PLANTACIÓN CON PALO O AZADA MANUAL

La siembra directa es practicada en una gran cantidad de lugares en el mundo tropical, aunque la terminología no es usada como tal.

La siembra o plantación con azada manual es hecha en muchas partes de África. La azada manual usada para propósitos de plantación, difiere usualmente de la que es usada para labranza y control de malezas, en que la hoja de la cuchilla es delgada y estrecha. Básicamente estamos hablando de la siembra/plantación directa, si la plantación es hecha sin ninguna preparación de tierras con anterioridad. En América Latina una plantación con palo (huizute - El Salvador) es comúnmente usada para plantar maíz y sorgo y usualmente los frijoles son diseminados sobre la

Lámina *68*
Un Maasai en el Nordeste de Tanzania, evaluando la plantadora manual de punzada.
(*A.J. Bot*)

superficie cubierta, sin ninguna preparación de tierras. Estando seguros de que la semilla cae a través de la capa de cobertura, ésta germina en el suelo húmedo debajo de la cobertura sin problemas.

SEMBRADORA DIRECTA MANUAL O PLANTADORA POR PUNZADA

Con el objetivo de acelerar el proceso de plantación a mano, fue desarrollada la plantadora por punzada (o matraca). Esta es una herramienta sostenida manualmente, que permite plantar al agricultor desde una posición de pie y mas rápido que cualquier otra herramienta manual (promedio de 2 días por hectárea). La herramienta se fabrica de dos palancas largas unidas abajo por una bisagra en forma de V con punta aguzada, con la cual se da la punzada al suelo. La punta aguzada es empujada dentro del suelo. Mediante el cierre de las palancas en forma de V, la punta aguzada es abierta para liberar la semilla dentro del suelo. Al mismo tiempo, nueva semilla, y eventualmente el fertilizante, es cargado dentro del mecanismo dosificador. La plantadora es empujada dentro del suelo en cada paso que da el agricultor, permitiendo un espaciado regular. Las desventajas incluyen:

- ☹ los “brazos” son a veces demasiados débiles y fácilmente averiados por los agricultores mas fuertes;
- ☹ las puntas se cubren y tupen con suelo cuando no esta diseñada apropiadamente o cuando esta manejada y usada en suelos arcillosos muy húmedos.

Hay dos tipos de plantadoras de punzada: con punta ancha y con punta estrecha aguzada. El primer tipo es usado en tierras preparadas, por ejemplo, cuando la línea de plantación es roturada. El segundo, con punta estrecha aguzada, es diseñado para la plantación manual de no-labranza y, por lo tanto, es más recomendada para la agricultura de conservación.

Una de las modificaciones a la plantadora es una segunda caja, opuesta a la caja de semillas que contiene fertilizantes. Esto permite al agricultor plantar y fertilizar en el mismo momento. Si la plantadora está provista con una segunda tolva para aplicar fertilizante y semillas en una operación, ella debe idealmente tener dos tubos y puntas de entrega separados, para asegurar que la semilla y el fertilizante no sean depositados cercanos uno al otro.

Lámina 69
La distancia entre semillas y fertilizante depositados en el suelo por una plantadora manual, de punzada es cerca de 2 cm de ancho y 1-2 cm de profundidad.
(A.J. Bot)

PLANTADORAS DE TRACCIÓN ANIMAL Y DE TRACTOR DE SIMPLE EJE

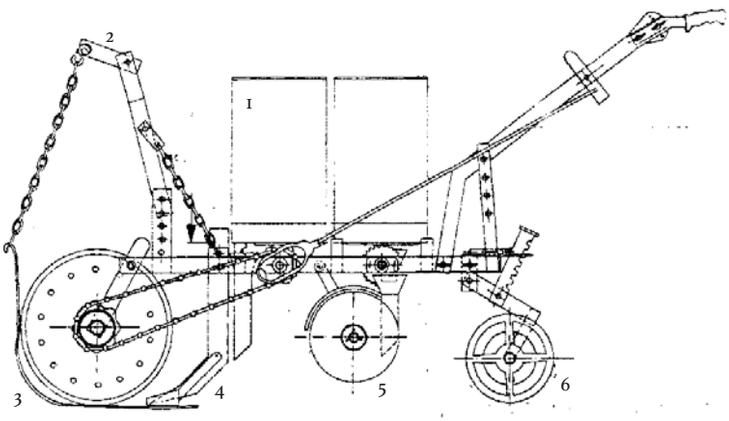
Los implementos de siembra directa para tracción animal y tractores de simple eje, han sido diseñados para manejar residuos sobre la superficie del suelo y al mismo tiempo, colocar las semillas y posiblemente el fertilizante en el suelo. Por lo tanto las sembradoras directas tienen los siguientes elementos de trabajo:

- un disco para cortar (la cobertura), los residuos de cultivos y abrir una ranura en el suelo,
- un abridor de surco para colocar el fertilizante- usualmente un cincel,
- un abridor de surco para colocar la semilla – un cincel o doble discos,
- ruedas para controlar la profundidad de plantación u eventualmente presionar la hilera de semilla, y
- ruedas de presión para cerrar la ranura con el fin de asegurar un buen contacto entre el suelo y la semilla.

La eficiencia del disco que corta la cobertura o los residuos de cultivos depende de varios factores:

- condiciones del suelo: textura, resistencia a la penetración, humedad y porosidad,
- condiciones del residuo y la paja: resistencia a ser cortada, humedad, cantidad y manejo,
- sembradora: peso y dinámica, y
- disco: dimensión, forma y perfil.

Figura 16
Diseño básico de una plantadora directa de tracción animal (Adaptado de Riveira y otros.)



Leyenda

1. Medida y distribución de fertilizantes y semillas
2. Punto de enganche del regulador para transferir peso de la plantadora al disco de corte
3. Disco de Corte
4. Cincel Surcador y tubo fertilizador
5. Disco Surcador tubo de semilla
6. Control de profundidad y rueda de presión

Lámina 70
Disco de corte
(*T. Friedrich*)

Para buenos resultados es recomendado:

- trabajar durante las horas más calientes del día (después de las 10 de la mañana);
- trabajar cuando la paja esté verde o completamente seca, nunca cuando está marchitada;
- operar cuando los niveles de humedad alcanzan el punto de los suelos que están friables o desmenuzables; y,
- cuando se usa tracción animal, nunca tratar de sembrar con más de 5 toneladas de materia seca por hectárea dejada sobre la superficie.

El corte ineficiente conduce a una acumulación de residuos entre las diferentes partes de la sembradora, y resulta en problemas de deposición de la semilla y el fertilizante, es decir, espaciamiento irregular o ausencia completa de semillas (Ribeira y otros, 1999).

Lámina 71
La acumulación de residuos ocurre cuando los residuos están demasiado húmedos o el implemento se ha ajustado inadecuadamente.
(*S. Vaneph*)

El suelo necesita ser lo suficiente firme para facilitar el corte a través de los residuos, de otra manera éstos serán presionados dentro de la ranura, resultando en su enredamiento o embotamiento y mal contacto del suelo con la semilla. El bloqueo del equipo puede además, producirse por el corte no adecuado de los residuos en los suelos blandos (Casão y Yamaoka, 1990). Los discos de corte tienen, o bien caras lisas que facilitan la penetración dentro del suelo, o caras curveadas, si es deseado más movimiento del suelo, por ejemplo, cuando la infestación de Fusarium es esperada y se necesita un suelo más seco, o para mejorar el giro del disco y evitar el bloqueo.

Los abridores de surcos para semilla y fertilizante de plantadoras de tracción animal o de micro-tractor, son usualmente un cincel o azada, doble discos, perforador de inyección rodante. Usualmente el abridor de surco es colocado justamente antes o en la punta de los tubos que dejan caer el fertilizante y las semillas.

El comportamiento del abridor de surco depende de sus características geométricas, la velocidad, la textura y densidad del suelo, la cantidad de residuos y la presión ejercida sobre él por la sembradora. El surcador puede ser formado por:

- una punta de cincel: usada comúnmente en suelos que tienen una alta resistencia a la penetración, pero presentan más problemas con el atascamiento del implemento con los residuos. Y no pueden ser usados en áreas con piedras, troncos o gran cantidad de raíces; los cinceles son preferidos para implementos de tracción animal, ya que ellos requieren menos peso debido a sus características de mejor penetración;
- doble discos, bien del mismo diámetro o no, y colocados en un ángulo formando una "V" uno con otro. El efecto adicional es que los residuos aún no son cortados muy bien, y los cortados por estos discos producen menos obstrucción del implemento. Éste tiene menor capacidad para penetrar el suelo, especialmente en suelos arcillosos (Ribeira y otros, 1999). Los discos de diferentes diámetros y de ejes desalineados, tienen mejor auto limpieza y características de penetración, que aquellos de similar diámetro. Si los abridores de doble discos son usados del todo, los de doble discos desalineados de diferentes diámetros son, por lo tanto, la opción preferida para las plantadoras de tracción animal.

Los siguientes son los tipos de surcadores más comunes creados para plantadoras directas de tracción animal (Baker y otros, 1996):

Lámina 72
Sembradora con abridor de doble discos y ruedas de presión de hierro fundido
(*T. Friedrich*)

1. Ranuras en forma de V;
2. Ranuras en forma de U;

En la agricultura de conservación, las ranuras en forma de V son casi siempre creadas por dos discos que contactan en ángulo en un punto delantero hacia el exterior. El ángulo en V es usualmente 10 grados. Cada uno de los discos en ángulo, empuja toscamente en igual cantidad el suelo hacia los lados, cuando ambos discos están en el mismo ángulo con respecto a la vertical. La más grande ventaja del doble discos vertical es su habilidad para manejar residuos superficiales sin bloqueo. La construcción es relativamente simple y libre de mantenimiento.

Cuando las caras frontales de los dos discos dejan una abertura a nivel del suelo, ésto puede causar problemas con la entrada de residuos. Esto puede evitarse mediante:

- ☺ la colocación de un tercer disco delante, o entre los dos discos en ángulo, lo cual corta los residuos; o,
- ☺ el posicionamiento de uno de los dos discos delante del otro, como ofreciendo un simple filo cortante; o
- ☺ remplazando uno de los dos discos por uno menor; el disco mayor se convierte en el frente principal de corte de los residuos.

Las desventajas de las ranuras en forma de V son:

- ☹ necesita altas fuerzas de penetración,
- ☹ intolerancia a condiciones sub-óptimas del suelo,
- ☹ tendencia a 'plegar' los residuos dentro de la ranura (enredamiento), y
- ☹ tiende a concentrar la semilla y el fertilizante en la base de la ranura si se aplican juntos.

Las ranuras que pueden ser distinguidas de las de forma en V por una base más ancha, son las llamadas ranuras en forma de U. Las ranuras en forma de U están en las plantadoras de tracción animal y de microtractor y están formadas por los siguientes tipos de abridores de surcos:

- Abridores de azada o cincel.
- Abridores con fuerza motriz.

Lámina 73
Los elementos de trabajo de un abridor de surco con fuerza motriz.
(*T. Friedrich*)

Lámina 74
Plantadora con abridor de azada para fertilizar y sembrar después del corte del disco.
(*T. Friedrich*)

Todos estos diseños producen algún aflojamiento del suelo en la superficie, cerca de la ranura que puede ser usado para cubrir la ranura de nuevo. Los abridores tipo azada o cincel, despliegan el suelo hacia arriba; los abridores con fuerza motriz, cortan el suelo con un juego de cuchillas rotatorias; los abridores de surco sacan el suelo fuera de la zona de la ranura.

Lámina 75
Plantadora perforadora de inyección rodante de dos hileras. *Friedrich*)

Los abridores tipo azada se refieren a cualquiera en forma de púa o cincel, el cual es diseñado para penetrar verticalmente en el suelo. La semilla es liberada hacia abajo por la parte de adentro de la cavidad de la propia púa o hacia abajo en un tubo fijado a la púa, el cual es usualmente abierto en la parte trasera. La más grande desventaja de los abridores de azada es el hecho que ellos no manejan niveles parejos de residuos corrientes sin bloqueo, a menos que un disco guía sea colocado delante del abridor de azada para cortar los residuos.

Ventajas de los abridores de azada:

- ☺ bajo costo,
- ☺ penetran mejor el suelo requiriendo menos peso del implemento, lo cual hace que sean los ideales para la tracción animal,
- ☺ no despliegan residuos dentro de la ranura, sino que los 'cepillan' en forma lateral, y
- ☺ no crean superficies embarradas a los lados de los surcos plantados húmedos, creando una mejor cama de semilla.

Lámina 76
Plantadora perforadora de inyección rodante de simple hilera.
(*T. Friedrich*)

Lámina 77
Detalle del interior de una tolva de semillas con platos distribuidores de semillas.
(*V.H. de Freitas*)

Lámina 78
Tanto el plato de semillas como la ranura dosificadora de fertilizante son activados por el movimiento de las ruedas. En este caso una cadena conecta las partes en movimiento.
(*A.J. Bot*)

Desventajas:

- ☹ problemas con piedras y obstáculos,
- ☹ requieren un buen disco de corte para residuos largos,
- ☹ considerable movimiento del suelo dependiendo de la forma y el ancho.

El perforador de inyección rodante es otra forma de abridor de surco. Maneja residuo muy bien, pero tiende a atascarse cuando es usado en suelos adhesivos.

Es recomendado para los cultivos anuales, que el fertilizante sea colocado aproximadamente a 5 cm afuera y bajo las semillas. En una sembradora directa esto debe significar que el dispositivo de roturado para el fertilizante, esté colocado afuera de la línea de trabajo del aparato sembrador. Sin embargo, en sembradoras directas de tracción animal, el fertilizante es colocado debajo de la semilla pero en la misma línea.

Los platos de semillas dentro de las tolvas controlan la densidad de plantación en el campo. Ellos son activados por el movimiento de una de las ruedas mediante una cadena o engrane. La distancia entre el suelo y el tubo, define la precisión de la plantación: si la distancia es más grande, la oportunidad que las semillas se desvíen de la distancia óptima de plantación es mayor.

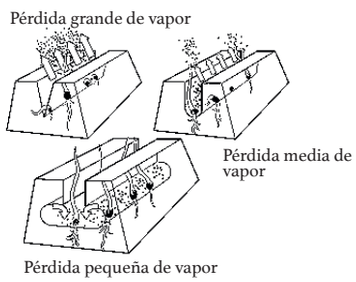
Los platos de semillas en las plantadoras de tracción animal, pueden ser hechos a la medida por los fabricantes de plantadoras. Para reducir el daño a la semilla, el diámetro del plato debe ser lo suficientemente grande, ya que la velocidad de rotación del plato no es demasiado alta. Las plantadoras de tracción animal con discos pequeños ranurados, deben sólo ser usados con bueyes y no con caballos, ya que los caballos tienen más altas velocidades de desplazamiento. La mayoría de las plantadoras de tracción animal modernas, usan ahora discos estandarizados, así como las plantadoras de tractor, las que pueden superar la velocidad de cualquier animal de tiro.

Por un largo tiempo, los científicos han pensado que la mejor cobertura para las semillas fue el suelo aflojado o suelto. Obviamente esta forma de pensar fue derivada de las situaciones con las camas de siembras labradas. Sin embargo, especialmente bajo condiciones de seca, puede ser observado que las semillas debajo de la capa de cobertura, germinan mejor que aquellas cubiertas por suelo suelto. Puesto que bajo las condiciones de

Lámina 79
El plato de semilla de plantadora estándar de tractor en una plantadora simple de tracción animal
(*T. Friedrich*)

labranza (suelo desmenuzado), el sistema de macroporos en la vecindad de las semillas, es completamente destruido, y es alterado el equilibrio de la humedad del suelo y la capilaridad. En un suelo no alterado, el equilibrio de la humedad del suelo está intacto, proporcionando un intercambio óptimo de humedad entre las partículas de suelo y los poros. Esto permite el suministro capilar del agua del suelo a la superficie del suelo, mientras se están reduciendo las pérdidas de evaporación con la capa de cobertura. En la agricultura de conservación, la pérdida de humedad del suelo tiene lugar en la ranura, y dependiendo del tipo de ranura, se pierde más o menos humeda. (Cuadro 15 y Figura 16).

Figura 17
Pérdida de humedad de diferentes formas de ranuras y la posición de la semilla en las diferentes ranuras (Carter, 1994).



Cuadro 15 Efecto de la forma de la ranura en su razón de secado (Baker *et al.*, 1996)

	RANURA EN V	RANURA EN U	RANURA EN T INVERTIDA
Pérdida diaria de humedad relativa del suelo (%)	3.7	2.4	1.7

Cuadro 16 Siembra de trigo y respuesta de plántulas con abridores de siembra directa en suelos secos y de humedad adecuada (Baker y otros, 1996)

	RANURA EN V		RANURA EN U		RANURA EN T INVERTIDA	
	Húmedo	**Seco**	**Húmedo**	**Seco**	**Húmedo**	**Seco**
% emergencia de plántulas	42%	10%	70%	31%	68%	59%
Semillas germinadas que fallaron en la emergencia	58%	72%	30%	22%	32%	23%
Semillas no germinadas	0%	18%	0%	47%	0%	18%

Lámina 80
"Clínica de plantadora" donde la gente aprende y los implementos son ajustados.
(*A.J. Bot*)

Lámina 81
Demostración de una plantadora directa de simple hilera de tracción animal
(*T. Friedrich*)

Lámina 82
Una sembradora de carretilla de dos hileras para tracción animal.
(*T. Friedrich*)

Las ranuras en T invertidas, encierran el vapor de agua dentro de la ranura, lo que hace germinar la semilla. Presionando sobre las semillas en las ranuras en V y U antes de cubrir las semillas, mejora su comportamiento, especialmente en suelos secos.

Las ruedas en la parte trasera del implemento, sirven para presionar el suelo húmedo o el residuo de cobertura sobre la ranura, con el fin de colocar la semilla en estrecho contacto con el suelo. Algunas sembradoras carecen de estas ruedas y en esos casos, es el operador de la plantadora que pone las semillas en contacto con el suelo, caminando sobre la ranura.

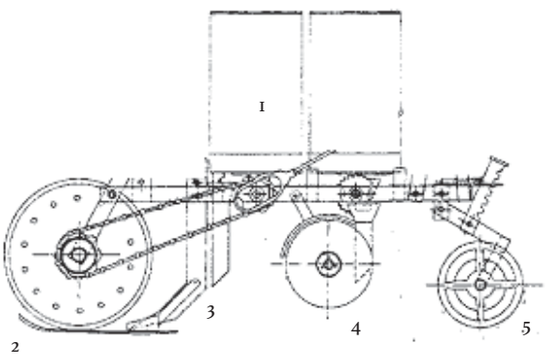
Los residuos superficiales son un recurso importante para promover la emergencia de las plántulas de suelos secos, y es posible obtener más emergencias efectivas de plántulas en suelos secos por la siembra directa, que por la labranza convencional, luego de ser usada la correcta técnica y el equipamiento suministrado.

Las llamadas "clínicas de plantadoras", son encuentros de agricultores y técnicos, donde la gente aprende y el equipo es adaptado y afinado, para trabajar en las diferentes realidades de los agricultores, en diferentes condiciones agro-ecológicas. Las adaptaciones hacen que el implemento sea más estable cuando es usado en pendientes inclinadas, mediante el uso de un par extra de ruedas, adaptando el disco de corte para evitar la incidencia del Fusarium en los frijoles.

Existen prototipos de plantadoras de tracción animal con las que se hacen plantaciones de una sola hilera en un mismo tiempo, pero ahora existen plantadoras que pueden sembrar más hileras. Las versiones multi-hileras pueden incluso llevar un asiento para el operador.

Equipo de siembra directa para tractores

Figura 18
Diseño básico de la sembradora directa (Adaptado de Riveira y otros.)



Leyenda

1. Medida y distribución de fertilizantes y semillas
2. Disco de Corte
3. Abridor de surco y tubo fertilizador
4. Abridor de surco y tubo de semillas
5. Control de profundidad y rueda de presión

Las plantadoras o sembradoras de no labranza tiene todos o algunos de los siguientes componentes:

- tolvas para la semilla y, si es aplicable, para el fertilizante con sus respectivos mecanismos dosificadores y tubos de entrega;
- limpiador de hilera , si es necesario, para remover el exceso de cobertura de la hilera de la planta;
- disco de corte para cortar a través de la cobertura de residuos;
- abridor de surco para fertilizante;
- abridor de surco para semillas;
- rueda de presión fijadora de semilla;
- rueda de cierre o tapado del surco (a menudo en combinación con rueda de control); y
- rueda de presión

Lámina 83
Limpiador de hileras combinado con disco de corte.
(*T. Friedrich*)

Limpiador de hilera

Bajo algunas circunstancias, las sembradoras directas tienen un limpiador de hileras antes o combinado con el disco de corte. Los limpiadores de hileras hacen que la siembra sea más eficiente bajo las siguientes condiciones:

- cobertura pesada o difícil,
- semillas delicadas,
- en climas fríos para calentar el suelo.

Lámina 84
Disco de corte.
(*T. Friedrich*)

DISCO DE CORTE

Un disco de corte es usualmente necesario para hacer un corte limpio, a través de la cobertura de residuos, y evitar la colección de residuos alrededor de los elementos de la plantadora o la presión de los residuos dentro de la hilera de siembra. Ellos son particularmente importantes con coberturas de residuos pesadas y con abridores de surco tipo cincel. La eficiencia del disco que corta los (la cobertura) residuos del cultivo depende de varios factores:

- condiciones del suelo: textura, resistencia a la penetración, humedad y porosidad;
- condiciones del residuo y la paja: resistencia a ser cortada, humedad, cantidad y manejo;
- sembradora: peso y dinámica; y
- disco: dimensión, forma y perfil.

Para buenos resultados es recomendado:

- trabajar durante las horas más calientes del día (después de las 10 de la mañana);
- trabajar cuando la paja esté verde o completamente seca, nunca cuando está marchitada;
- operar cuando los niveles de humedad alcanzan el punto de los suelos que están friables o desmenuzables;
- cuando se usa tracción animal, nunca tratar de sembrar con más de 5 toneladas de materia seca por hectárea dejada sobre la superficie.

El corte ineficiente conduce a una acumulación de residuos entre las diferentes partes de la sembradora, y resulta en problemas de deposición de la semilla y el fertilizante, es decir, espaciamiento irregular o ausencia completa de semillas (Ribeira y otros, 1999).

El suelo necesita ser lo suficiente firme para facilitar el corte a través de los residuos, de otra manera, éstos serán presionados dentro de la ranura, resultando en su enredamiento y un mal contacto del suelo con la semilla. El bloqueo del equipo puede además producirse por el corte no adecuado de los residuos en los suelos blandos (Casão y Yamaoka, 1990). Los discos de corte tienen o bien caras lisas que facilitan la penetración dentro del suelo, o caras curveadas, si es deseado más movimiento del suelo, por ejemplo, cuando la infestación de Fusarium es esperada y es necesitado un suelo más seco, o para mejorar el giro del disco y evitar el bloqueo.

Lámina 85
Plantación de no labranza con abridor de surco tipo azada creando un considerable movimiento del suelo
(T. Friedrich)

ABRIDOR DE SURCO

Un surco puede ser abierto por una punta de cincel, un disco simple en ángulo con el surco, doble discos o por perforador tipo inyección. Usualmente, el abridor de surco es colocado justamente antes o en la punta de los tubos que dejan caer el fertilizante y las semillas.

El comportamiento del abridor de surco depende de sus características geométricas, la velocidad, la textura y densidad del suelo, la cantidad de residuos y la presión ejercida sobre él por la sembradora. El surcador puede ser formado por:

- Una punta de cincel: usada comúnmente en suelos que tienen una alta resistencia a la penetración, pero que resultan en más problemas, con el atascamiento del implemento con los residuos. No pueden ser usados en áreas con piedras, troncos o gran cantidad de raíces; los cinceles son preferidos para implementos de tracción animal, ya que ellos requieren menos peso debido a sus características de mejor penetración.
- Doble discos, bien del mismo diámetro o no, y colocados en un ángulo formando una “V”. uno con otro. El efecto adicional es que los residuos aún no son cortados muy bien, los cortados por estos discos producen menos obstrucción del implemento. El implemento tiene menor capacidad para penetrar el suelo, especialmente en suelos arcillosos (Ribeira y otros, 1999). Los discos de diferentes diámetros y ejes desalineados, tienen mejor auto limpieza y características de penetración que aquellos de similar diámetro.

Lámina 86
Plantación de no labranza con abridores de surco de doble discos creando apenas movimiento del suelo (en la parte derecha del campo plantado con plantadora tipo azada)
(R. Dambros)

Lámina 87
Abridor de surco de doble disco, aquí con discos desalineados para mejorar la penetración.
(*T. Friedrich*)

Lámina 88
Abridor de surco de doble disco con discos desalineados de diferentes diámetros
(T. Friedrich)

- Otros tipos de abridores son los de ranura en T invertida y ranura transversal.

Hay diferentes opiniones acerca de la función de los abridores de surco, las sembradoras y plantadoras directas. Algunos creen que el abridor de surco puede, mientras está colocando la semilla dentro del suelo, al mismo tiempo producir una mejora en la preparación de la cama de siembra en el surco. Las plantadoras para este propósito, usan abridores tipo azada y crean considerable movimiento del suelo. Esto conduce a más altos requerimientos de potencia de tiro, pérdidas de la humedad del suelo y estímulo de la germinación de semillas de malezas. Bajo la AC es por lo tanto, preferible usar abridores de surco que están diseñados para crear un mínimo de movimiento del suelo, independientemente si ellos son del tipo cincel o disco.

Generalmente, hay cuatro formas básicas de ranuras (Baker et al., 1996):

- ranuras en forma de V;
- ranuras en forma de U;
- ranuras en forma de T invertida;
- ranura transversal.

Las ranuras en forma de V son casi siempre creadas por dos discos que contactan en el frente y abren en un ángulo hacia atrás. El ángulo en V es usualmente 10 grados. Cada uno de los discos en ángulo, empuja toscamente una cantidad igual de suelo hacia los lados, cuando ambos discos están en el mismo ángulo con respecto a la vertical. La ventaja más grande del doble disco vertical, es su habilidad para manejar residuos superficiales, piedras y obstáculos menores sin bloqueo. La construcción es relativamente simple y libre de mantenimiento.

Cuando las caras frontales de los dos discos dejan una abertura a nivel del suelo puede causar problemas con la entrada de residuos. Esto puede evitarse mediante:

- ☺ la colocación de un tercer disco delante, o entre los dos discos en ángulo, lo cual corta los residuos; o,
- ☺ el posicionamiento de uno de los dos discos delante del otro como ofreciendo un simple filo cortante; o
- ☺ remplazando uno de los dos discos por uno menor; el disco mayor se convierte en el frente principal de corte de los residuos.

Las desventajas de las ranuras en forma de V son:

- ☹ necesita altas fuerzas de penetración;
- ☹ intolerancia a condiciones sub-óptimas del suelo;
- ☹ tendencia a 'plegar' los residuos dentro de la ranura (enredamiento); y
- ☹ tiende a concentrar la semilla y el fertilizante en la base de la ranura si se aplican en el mismo surco.

Las ranuras en forma de U tienen una base más amplia que la de forma en V. Ellas son creadas por una variedad de diseños de abridores:

- abridores de tipo disco simple en ángulo;
- abridores de azada; y
- abridores de fuerza motriz.

Todos estos diseños producen algún aflojamiento del suelo en la superficie, cerca de la ranura, que puede ser usado para cubrirla. Los abridores de tipo de disco simple en ángulo, raspan el suelo fuera del centro de la ranura. Los abridores tipo azada o cincel, despliegan el suelo hacia arriba; los abridores con fuerza motriz cortan el suelo con un juego de cuchillas rotatorias; los abridores de surco sacan el suelo fuera de la zona de la ranura.

Los abridores tipo azada se refieren a cualquiera en forma de púa o cincel, el cual es diseñado para penetrar verticalmente en el suelo. La semilla es liberada hacia abajo por la parte interior de la cavidad de la propia púa, o hacia abajo en un tubo fijado a la púa, el cual usualmente es abierto en la parte trasera. La más grande desventaja de los abridores de azada, es el hecho que ellos no manejan iguales niveles de residuos corrientes sin bloqueo, a menos que un disco guía sea colocado delante del abridor de azada para cortar los residuos.

Lámina 89
Detalle del abridor de surco de simple disco.
(*T. Friedrich*)

Lámina 90
Abridor de surco tipo azada de alas anchas.
(*T. Friedrich*)

RECUADRO 5 ABRIDORES DE SIMPLE DISCO

Características:
- Produce ranura en forma de U
- Simple y robusto
- Compacto (muchas veces usado para pequeñas sembradoras de grano a voleo)
- Buen manejo de residuos

Desventajas:
- Alta fuerza de penetración requerida
- Considerable movimiento del suelo (dependiendo del ángulo)

Lámina 91
Abridor de surco tipo cincel estrecho para pequeño movimiento del suelo
(T. Friedrich)

Ventajas de los abridores de azada:

- ☺ bajo costo;
- ☺ penetran el suelo mejor, requiriendo menos peso del implemento, lo cual hace que sean los ideales para la tracción animal;
- ☺ no despliegan residuos dentro de la ranura, sino que los 'cepillan' en forma lateral; y
- ☺ no crean superficies embarradas a los lados de los surcos plantados húmedos, creando una mejor cama de semilla.

Desventajas:

- ☹ problemas con piedras y obstáculos;
- ☹ requiere un buen disco de corte para residuos largos; y
- ☹ considerable movimiento del suelo dependiendo de la forma y el ancho.

Lámina 92
Abridor de surco en T invertida
(*T. Friedrich*)

La ranura en forma de T invertida, fue desarrollada como resultado de invertir la parte ancha superior hacia la base estrecha de la ranura en forma de V. El principal objetivo de este desarrollo fue la posibilidad del implemento, de plegar la cobertura de residuo del suelo sobre la ranura, para la conservación de la humedad. El segundo objetivo fue encontrar un diseño que fuera capaz de manejar adecuadamente la colocación del fertilizante, al mismo tiempo de la siembra. El implemento consiste en un cuerpo vertical que se arquea hacia afuera en su base, para formar dos alas que son inclinadas hacia su parte delantera a 5-10°. Un disco en el frente es usado para cortar los residuos. Las principales ventajas incluyen:

- ☺ no compactación del suelo;
- ☺ autotapado de la ranura;
- ☺ mantiene una constante profundidad de siembra, siguiendo estrechamente la superficie del suelo; y
- ☺ capaz de sembrar muy superficialmente, por la inclinación reducida de las alas.

Desventajas:

- ☹ considerable desgaste en suelos arenosos;
- ☹ apertura no adecuada de surco en suelos desmenuzados; y
- ☹ dificultad en el manejo de residuo (requiere un disco de corte).

El abridor de surco de ranura transversal es un desarrollo más adelantado que resulta del abridor en T invertida. Él proporciona casi las condiciones ideales de germinación para la semilla (ver recuadro 6). Consiste en un disco de corte, con dos pequeñas alas fijadas a él en ambos lados. Las alas abren un corte horizontal, en el cual la semilla es colocada en un lado y el fertilizante en el otro, separados por el corte vertical del disco de corte.

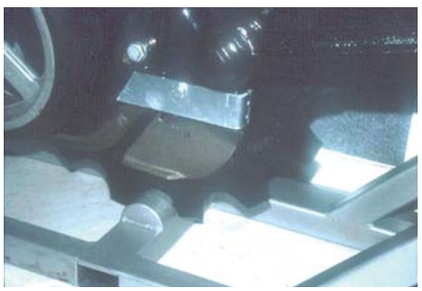


Lámina 93
Detalle de abridor de surco de ranura transversal
(T. Friedrich)

RECUADRO 6. CARACTERÍSTICAS DE LA RANURA TRANSVERSAL

- Condiciones ideales de germinación para la semilla
- Eficiente separación de la semilla y el fertilizante
- Requiere baja fuerza de tiro
- Buen manejo del residuo; no problema de enredamiento
- Considerable desgaste en suelos arenosos
- Costoso

El perforado de inyección rodante es otra forma de abridor de surcos. La semilla es colocada entre los dedos de dos ruedas estrelladas, las cuales están en un ángulo comparable con el abridor de doble disco, perforando dentro del suelo y liberando la semilla. Maneja muy bien los residuos, pero tiende a atascarse cuando es usada en suelos adhesivos.

Lámina 94
Plantadora perforadora de inyección rodante (plantadora de rueda de estrella).
(*T. Friedrich*)

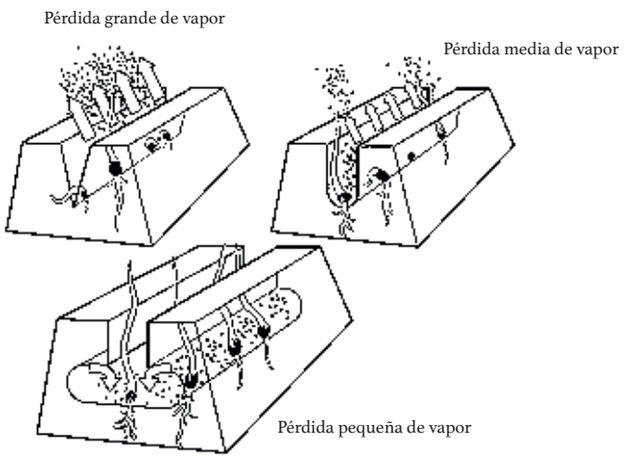
Es recomendado para los cultivos anuales, que el fertilizante sea colocado alrededor de 5 cm a un lado y debajo de las semillas. En una sembradora directa esto debe significar que el dispositivo de roturar para el fertilizante, es colocado fuera de la línea de trabajo que lleva la sembradora. Sin embargo, en muchas sembradoras el fertilizante es colocado debajo de la semilla, pero en la misma línea.

Lámina 95
Detalle de la plantadora perforadora de inyección rodante.
(*T. Friedrich*)

Por un largo tiempo, los científicos han pensado que la mejor cobertura para las semillas fue el suelo aflojado o suelto. Obviamente esta forma de pensar fue derivada de las situaciones con las camas de siembras labradas. Sin embargo, especialmente bajo condiciones de seca, puede ser observado que las semillas debajo de la capa de cobertura germinan mejor que aquellas cubiertas por suelo suelto. Puesto que bajo las condiciones de labranza (suelo desmenuzado), el sistema de macroporos en la vecindad de las semillas, es completamente destruido, alterado el equilibrio de la humedad del suelo y la capilaridad. En un suelo no alterado, el equilibrio de la humedad del suelo está intacto, proporcionando un intercambio óptimo de humedad entre las partículas de suelo y los poros. Esto permite el suministro capilar del agua del suelo a su superficie, mientras se reducen

las pérdidas de evaporación con la capa de cobertura. En la agricultura de conservación, la pérdida de humedad del suelo tiene lugar en la ranura, y dependiendo del tipo de ranura se pierde más o menos humedad (Cuadro 17 y Figura 19).

Figura 19
Pérdida de humedad de diferentes formas de ranuras y la posición de la semilla en las diferentes ranuras (Carter, 1994).



Cuadro 17 Efecto de la forma de la ranura en su razón de secado (Baker *et al.*, 1996).

	RANURA EN V	RANURA EN U	RANURA EN T INVERTIDA
Pérdida diaria de humedad relativa del suelo (%)	3.7	2.4	1.7

Cuadro 18 Siembra de trigo y respuesta de plántulas con abridores de no labranza, en suelos secos y de humedad adecuada (Baker y otros, 1996).

	RANURA EN V		RANURA EN U		RANURA EN T INVERTIDA	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
% emergencia de plántulas	42%	10%	70%	31%	68%	59%
Semillas germinadas que fallaron en la emergencia	58%	72%	30%	22%	32%	23%
Semillas no germinadas	0%	18%	0%	47%	0%	18%

Lámina 96
Una sembradora a chorrillo mecánica de no labranza
(T. Friedrich)

Las ranuras en T invertidas encierran el vapor de agua dentro de la ranura, lo que hace germinar la semilla. Presionando sobre las semillas en las ranuras en V y U, antes de cubrir las semillas, mejora su comportamiento, especialmente en suelos secos.

Las ruedas en la parte trasera del implemento sirven para presionar el suelo húmedo o el residuo de cobertura sobre la ranura con el fin de colocar la semilla en estrecho contacto con el suelo. Algunas sembradoras carecen de estas ruedas y en esos casos, es el operador de la plantadora que pone las semillas en contacto con el suelo, caminando sobre la ranura.

Lámina 97
Sembradora a chorrillo neumática de no labranza, con dos unidades centrales de medición y distribución
(T. Friedrich)

Los residuos superficiales son un recurso importante para promover la emergencia de las plántulas de suelos secos, y es posible obtener más emergencias efectivas de plántulas en suelos secos por la siembra directa, que por la labranza, luego de ser usada la correcta técnica y el equipamiento suministrado.

Diferentes cultivos y semillas requieren diferentes formas de siembra o plantación. Las dos mejores formas son:

1. **Siembra a chorrillo**: la semilla es sembrada en una banda continua dentro de la hilera. Este método es usado para cultivos de granos pequeños, como los cereales. La semilla es dosificada con los rodillos alimentadores de diferentes diseños, o posicionado uno en cada hilera y alimentado por gravedad, o centralmente, con distribución neumática de las semillas en las hileras. Las máquinas para este tipo de siembra, son llamadas sembradoras a chorrillo o sembradoras.

2. **La plantación de precisión**: semillas simples o un número determinado de semillas es colocado a una misma distancia dentro de la hilera. Este

Lámina 98
Pequeña sembradora de precisión de cultivos de hileras
(T. Friedrich)

método es usualmente usado para cultivos en hileras como el maíz, el fríjol, el algodón, el girasol, etc. El número de semillas por agujero de plantación y la distancia de cada colocación de plantación, es determinada por los platos de semillas, los cuales tienen agujeros o cámaras para medir la semilla. La medición bien puede ser mecánica o neumática, donde el aire puede ser vacío o presurizado usado para determinar el número de semillas por posición.

Lámina 99
Siembra chorrillo con plantadora de precisión: en la parte superior los rodillos alimentadores del sistema de medición para la siembra a chorrillo, debajo las cajas para los platos de semillas de la plantación de precisión.
(T. Friedrich)

Hay algunas sembradoras modernas de no labranza, las cuales incorporan los dos sistemas de siembra en una máquina, la siembra a chorrillo y la plantación de precisión, para cultivo en hilera. El agricultor solamente habilita el sistema siembra-chorrillo-con-plantadora con el número deseado de abridores de surcos y los conecta al respectivo mecanismo de medición y dosificación.

Lámina *100*
Detalle del interior de una tolva de semillas de una plantadora de precisión con plato de semillas para distribuir las semillas.
(*V.H. de Freitas*)

Los platos de semillas dentro de las tolvas controlan la densidad de plantación en el campo. Ellos son activados por el movimiento de una de las ruedas mediante una cadena o engrane. La distancia entre el suelo y el tubo define la precisión de la plantación: si la distancia es más grande, la oportunidad que las semillas se desvíen de la distancia óptima de plantación es más grande.

RECONSTRUCCIÓN DE SEMBRADORAS/PLANTADORAS VIEJAS EN SEMBRADORAS /PLANTADORAS DE NO LABRANZA

Las sembradoras y plantadoras de no labranza, frecuentemente son más caras que las convencionales. Por lo tanto, la inversión en la compra de una sembradora/plantadora de no labranza puede crear un serio obstáculo para el proceso de transición hacia la Agricultura de Conservación. En muchos casos, las sembradoras a chorrillo o plantadoras viejas convencionales, pueden ser convertidas a un bajo costo en sembradoras o plantadoras de no labranza, bien por el/la agricultor(a) o por los talleres mecánicos. Para la conversión, el sistema de medición permanece el mismo, la estructura de la plantadora puede tener que ser reforzada, y las partes involucradas con el suelo, a saber los abridores de surco, son remplazados por unidades nuevas de no labranza.

Lámina 101
Modificando una plantadora de precisión convencional para su uso en no labranza: adicionando un disco de corte en el frente y remplazando los abridores de surco para fertilizante y semillas.
(T. Friedrich)

Lámina 102
Modificación de una sembradora a chorrillo convencional para su uso en no labranza: adicionando discos de corte nuevos y abridores de surco y modificando la estructura.
(T. Friedrich)

Lámina 103
La sembradora de chorrillo de arriba después de finalizada la modificación. La reconstrucción fue hecha por un agricultor usando los juegos de modificación.
(T. Friedrich)

OTRAS INFORMACIONES SOBRE SEMBRADORAS DIRECTAS

En estos momentos, ya hay una gran cantidad de fabricantes de equipos de siembra directa que han puesto sus productos junto con la información en Internet. Los Servicios Agrícolas de la FAO intentan brindar tanta información como sea posible junto con su línea de base de datos sobre la Tecnología de Agricultura de Conservación, la cual es accesible a través de: http://www.fao.org/ag/catd/index.jsp.

La base de datos proporciona información de diferentes modelos de equipos de la agricultura de conservación para uso manual, animal y de tracción mecanizada. La información técnica, agronómica y comercial para plantadoras directas y sembradoras a chorrillo, subsoladores, equipos para manejo de residuos y especialmente pulverizadoras desarrolladas, pueden ser vistas desde este sitio. Las direcciones completas son proporcionadas, incluyendo los enlaces directamente a las páginas web de los fabricantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.S. 1988. A alelopatia e as plantas. IAPAR Circular 53. Londrina.

Araújo, A.G., R. Casão Jr., and P.R. A. Araújo. 1993. Recomendações para dimensionamento e construção do rolo-faca. In: Encontro Latinoamericano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade. Anais. IAPAR. Ponta Grossa. p. 271-280.

Araújo, A.G., R.S. Yamaoka and D.A. Benassi. 1999. Máquinas para pulverição em solos de baixa aptidão agrícola. In: Uso e manejo do solos de baixa aptidão agrícola. O. Muzilli and C. Castro Filho (Eds.) IAPAR Circular Técnica 108. p. 154-167.

Baker, CJ., K.E. Saxton and W.R. Ritchie.1996.No-tillage seeding. Science and practice. CAB International, University Press Cambridge. 258pp.

Bertol, O. and O. Wagner. 1987. A knife roller or chopping roller. In: ILEIA Newsletter. Vol. 3:1. p.10-11.

Carter, M.R. 1994. Conservation tillage in temperate agroecosystems. Lewis. Boca Raton. 390pp.

Casão Jr., R. and R.S.Yamaoka. 1990. Desenvolvimento de semeadora-adubadora direta a tração animal. In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Piracicaba. Anais. p. 766-777.

Derpsch, R. and A. Calegari. 1992. Plantas para adubação verde de inverno. IAPAR Circular 73. 80 pp.

Derpsch, R. 2003. No-tillage, Sustainable Agriculture in the New Millennium; internet homepage http://www.rolf-derpsch.com/.

Friedrich, T. 2000. Conceptos y objetivos de la labranza en una agricultura conservacionista. In: Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. FAO. Soil and Water Bulletin 8. Rome. p. 29-37.

Godwin, R.J. 1990. Agricultural engineering in development: tillage for crop production in areas of low rainfall. FAO. Agricultural Services Bulletin 83. Rome. 124 pp.

Krause R., F. Lorenz and W.B. Hoogmoed. 1984. Soil tillage in the tropics and subtropics. GTZ. Eschborn. 320pp.

Moeller, O. 1997. Farmers' Tools. Farmesa, FAO. Zimbabwe. 115 pp.

Monegat, C. 1991. Plantas de cobertura do solo. Características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó. 337pp.

Ribeira, M.F.S., A.G. Araújo, R. Casão Jr. and D.A. Benassi.1999. Máquinas para semeadura direta em solos de baixa aptidão agrícola. In: Uso e manejo do solos de baixa aptidão agrícola. Muzilli and Castro Filho (Eds.) IAPAR Circular Técnica 108. p. 139-152.

Vieira, M.J. 1996. Uso del arado de cincel para la producción agrícola y la conservación de suelos y agua. MAG-FAO, San José, Costa Rica. 41 pp.

CAPÍTULO 8

EFECTO DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN LA FERTILIDAD DEL SUELO Y EN LA MATERIA ORGÁNICA

CONCEPTOS BÁSICOS DEL SUELO

El suelo consiste en 4 componentes:

- materia orgánica (5%)
- agua (25%)
- aire (25%)
- partículas de suelo o material mineral (45%); estas consisten en 3 tipos: ---- arena, limo, arcilla

La proporción de estos tres tipos de partículas determina la **textura** del suelo. Las tres diferentes tipos de partículas difieren en su tamaño y en su habilidad para la retención de nutrientes. La arena forma la partícula más grande y la arcilla la más fina. La retención de nutrientes se refiere a la habilidad de las partículas del suelo para suministrar nutrientes a las plantas: la arcilla puede mantener más nutrientes que la arena y por lo tanto es capaz de liberar más nutrientes para las plantas.

Las partículas de arena, limo y arcilla, se agrupan a la vez en unidades de diferentes tamaños; estos son conocidos como **agregados**. La forma en la cual las partículas están agrupadas es llamada **estructura** del suelo.

La agricultura de conservación no afecta la textura del suelo, pero puede influenciar en la estructura del suelo, la cual es el resultado del agrupamiento de las partículas del suelo.

La materia orgánica del suelo proporciona el "pegamento" para formar los agregados. La materia orgánica existe de partes muertas de animales y plantas. Cuando ella es descompuesta el humus es formado, el cual pega las partículas del suelo juntas dentro de agregados y se forma la estructura del suelo. La materia orgánica es, además, una fuente de nutrientes para las plantas.

El contenido de materia orgánica de los suelos puede variar considerablemente, dependiendo del material parental, las condiciones climáticas y el manejo:

- los suelos ricos en materia orgánica, principalmente en regiones frías, pueden tener de 60-70% de humus
- los suelos forestales contienen materia orgánica por encima de 5%
- los suelos que han sido arados por un largo tiempo y los suelos tropicales, contienen entre 0.5-1.5% de materia orgánica.

Los suelos que tienen una adecuada formación de agregados permiten la circulación del aire y el agua, la penetración de las raíces y evitan la formación de costras en la superficie del suelo. Además, facilitan un buen contacto entre las semillas y el suelo, lo cual permite una buena absorción de agua y por ende una rápida germinación.

La compactación del suelo ocurre cuando las partículas están presionadas unas con otras, lo que reduce el desarrollo de las raíces, el movimiento capilar del agua y la infiltración de agua y aire, y entonces se incrementa la escorrentía y la erosión del suelo por agua. Hay dos tipos de compactación:

1. la compactación del subsuelo
2. la costra superficial

Ellas son inducidas por:

- la excesiva labranza
- la labranza del suelo durante los periodos húmedos
- el tráfico excesivo de máquinas
- los vehículos con gran peso en los ejes
- el pisoteo del ganado

El encostramiento de la superficie es un problema de los suelos con alta cantidad de limo o arcilla, el cual ha sido intensamente labrado y tiene muchas partículas finas en la superficie.

Lámina 104
Un suelo limoso rojo con una fina, estructura granular.
G. Sharp

Con la agricultura de conservación esto no es un problema grande, debido a:

- sin labranza no se forman las partículas finas y entonces no hay formación de costras cuando el suelo está húmedo;
- la cobertura sobre el suelo evita la formación de costras.

En general, para el crecimiento de la planta, el suelo necesita estar suelto, con buena formación de agregados, de tal forma que permita la circulación del aire, el agua y los nutrientes y la penetración de las raíces. Las plantas que crecen en este tipo de suelo, gastan menos energía para el enraizamiento. El agua es necesaria para la germinación de la semilla y el crecimiento del cultivo. La retención del agua en el suelo (módulo Humedad del suelo) depende del tipo de suelo y su manejo. Los suelos altamente degradados con baja porosidad y bajo contenido de materia orgánica, no tienen capacidad para almacenar mucha agua, y por lo tanto no tienen mucha disponibilidad de agua para el crecimiento del cultivo. En regiones áridas con pocas lluvias, la humedad del suelo es de vital importancia. En general, las actividades de labranza tienen un efecto negativo en el agua del suelo, ya que mediante el volteo del suelo, el agua que tiene almacenada es perdida a través de la evaporación.

Las lombrices de tierra, entre otros organismos del suelo, juegan un rol importante en el proceso de descomposición. Ellas se alimentan principalmente de bacterias y hongos que descomponen la materia orgánica, y haciendo esto, entonces reciclan los nutrientes. Debido a la labranza, menos "alimentos" y humedad están disponibles para las lombrices de tierra y otros organismos, por lo que su hábitat está constantemente alterado. Las prácticas de manejo pueden afectar el suministro de alimentos (lugar, calidad, cantidad), la capa de cobertura o mantillo (mulch en inglés) de protección (se afectan el agua del suelo y la temperatura) y el entorno químico (fertilizantes y pesticidas). La labranza profunda es generalmente perjudicial para los organismos del suelo, porque los mata al romper sus madrigueras, y al reducir la disponibilidad de residuos en la superficie.

Como resultado, mucha energía se necesita para restaurar el ecosistema del suelo antes de que se convierta de nuevo en saludable, y que pueda suministrar los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta. Indirectamente el sustrato orgánico, del cual los organismos del suelo se alimentan, se oxida rápidamente y es perdido como alimento.

La labranza tiene un efecto negativo en la población de lombrices de tierra y otra biota del suelo, debido a que:

- el suelo se seca rápidamente
- destruye sus madrigueras
- los residuos son incorporados
- puede matarlos totalmente.

EFECTOS DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Bajo la agricultura de conservación son establecidas nuevas dinámicas en el suelo, resultando en fuertes interacciones entre la fauna del suelo, las raíces de las plantas, el agua, el aire, la temperatura del suelo y el reciclaje de los nutrientes. Como es difícil atribuir los cambios positivos a una o pocas propiedades del suelo, los efectos de la agricultura de conservación serán descritos por:

- propiedades físicas del suelo (agua, temperatura, porosidad, densidad), y
- propiedades químicas del suelo (nutrientes y acidez).

Las propiedades biológicas del suelo (materia orgánica, micro y macrofauna) son discutidas en el módulo Materia orgánica y actividad biológica.

En la Agricultura de Conservación, una estructura del suelo óptima y mantillos son mantenidos, maximizando el acceso de los cultivos a los pocos nutrientes que constantemente son suministrados mediante la mineralización de la materia orgánica. Y en cierta medida, las raíces más profundas, que tienen un número abundante de raíces alimentadoras, pueden capturar grandes cantidades de nutrientes, incluso en horizontes del suelo con concentraciones extremadamente bajas de nutrientes.

Por supuesto, las grandes cantidades de biomasa depositadas en el suelo por los cultivos y los cultivos de cobertura, son mantenidos o dejados para que gradualmente y durante el transcurso de un número de años, mejoren la estructura del suelo, y así la tierra permitirá cultivos que accedan mucho más eficientemente a las bajas concentraciones de nutrientes que existen en los horizontes superiores del perfil del suelo. Mientras tanto, la materia orgánica en la superficie del suelo o cerca de ella, producida durante los periodos de barbechos, continúa suministrando nutrientes en pequeñas cantidades que pueden mantener razonablemente altos niveles de productividad.

El acceso de los nutrientes a las plantas es un fenómeno muy complicado que está relacionado con un gran número de factores, aunque ciertamente es ayudado mediante la aplicación de nutrientes en la superficie del suelo, o junto con la materia orgánica, o muy cerca de la semilla, o mediante el crecimiento de las plantas en suelos bien granulados, libres de capas compactadas. Esos factores pueden incluir aquellos de la temperatura del suelo, los niveles de materia orgánica del suelo, el pH, las propiedades químicas del suelo, la presencia de capas compactadas y el equilibrio y posicionamiento de los nutrientes, todos los cuales son afectados a su vez por la actividad de millones de microorganismos que puede haber en sólo una cuchara de te llena de suelo[1]. Por lo tanto, el acceso de nutrientes involucra un conjunto de sucesiones dinámicas, de las cuales nosotros sólo algo muy levemente conocemos hasta el momento.

Muchos suelos tropicales húmedos, con su pH por debajo de 5.0, su toxicidad de aluminio y capas compactadas, no son entornos muy hospitalarios para las raíces de los cultivos. Entonces, los cultivos crecerán mucho mejor si ellos pueden, además, acceder a los nutrientes de una capa gruesa de residuos o mantillo (mulch en inglés). En realidad la mayoría, si no todos, de los cultivos que crecen en los trópicos húmedos, extenderán la vasta mayoría de sus raíces alimentadoras inmediatamente bajo y dentro de la capa de mantillo, siempre y cuando permanezcan restos de humedad. Esto es, ellos se alimentarán mucho más fácilmente desde dentro e inmediatamente debajo de la capa de mantillo, que desde el propio suelo.

Básicamente, la alimentación de las plantas a través del mantillo ayuda a compensar la no existencia de condiciones ideales de estructura de suelo o de crecimiento de la planta, suministrando una fuente suplementaria de nutrientes disponibles fácilmente en cantidades pequeñas, pero constantes en la superficie del suelo, y de ese modo hace menos necesario para los cultivos desarrollar un enorme sistemas de raíces que se extiendan profundamente dentro del perfil del suelo. Obviamente, el acceso de los nutrientes a las plantas será mejor si los nutrientes están en la superficie del suelo que si ellos están a más de 2 metros pies debajo de ésta, especialmente en los suelos empobrecidos, ácidos y con problemas de toxicidad de aluminio.

1 en una cucharita de té llena de suelo podemos encontrar: de 600 a 800 millones de bacterias, que pueden pertenecer a unas 10.000 especies distintas; varios kilómetros de micelios de hongos (hilitos blancos, por lo general microscópicos), que pueden pertenecer a 5.000 especies distintas; unos 10.000 protozoarios, pertenecientes a unas 1.000 especies.

Los rendimientos en los sistemas de agricultura de conservación no dependen de la alta concentración de nutrientes. Por supuesto, ellos dependen de la fijación del nitrógeno y del reciclaje de gran cantidad de materia orgánica, lo cual hace que el fósforo y otros nutrientes en el suelo sean mucho mas solubles (o sea, químicamente disponible), y de colocar la mayoría de estos nutrientes cerca de la superficie del suelo, donde ellos están fácilmente accesibles a las raíces de las plantas. Tal sistema puede por lo tanto producir buenos rendimientos durante largos periodos de tiempo, con baja o ninguna aplicación de nutrientes adicionales (aunque eventualmente algunos nutrientes, en particular el fósforo P, obviamente tiene que ser adicionado para lograr sostenibilidad) (Bunch, 2003).

Lámina 105
Las hifas de las micorrizas y las raíces transforman las partículas del suelo en agregados.
R. Derpsch

EFECTO DE LA AC EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

"La pérdida de estructura" es una característica, la cual es usada muchas veces para describir los perfiles del suelo que han sido labrados por un largo tiempo. En parte, esto es causado por la reducción en materia orgánica y humus contenidos en el suelo. Como ha sido analizado, la materia orgánica juega un importante papel en la formación y estabilización de los agregados del suelo, lo que resulta en una alta resistencia a la desintegración.

La más alta estabilidad de los agregados bajo la agricultura de conservación, es el resultado de los siguientes aspectos (Kochhann, 1996):

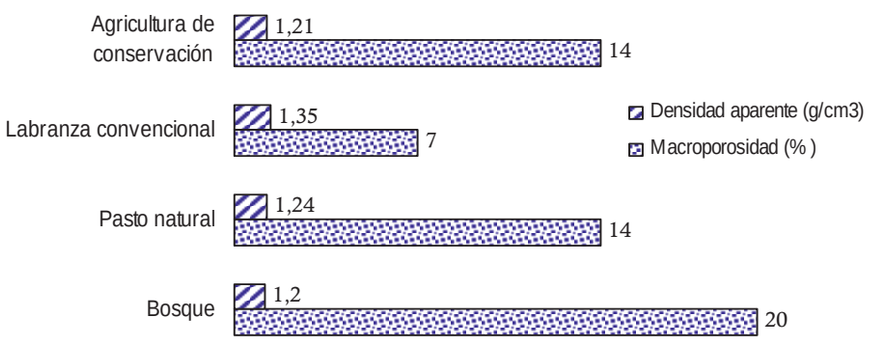
- la presencia de una capa de mantillo, la cual protege a la superficie del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia;
- la no alteración del suelo;
- la presencia de materia orgánica en descomposición en la superficie, lo cual induce la formación de agregados en dimensiones superiores a 0-3 cm;
- el incremento en la densidad del suelo, lo que hace agregados más resistentes a los cambios;
- la mayor concentración de calcio y magnesio en la capa superficial, lo que afecta la estructura positivamente.

Aunque su actividad es temporal y será sustituida anualmente, las hifas de las bacterias y los hongos, también juegan un importante rol en la conexión de las partículas de suelo (Castro Filho, *y otros*., 1998).

La preservación de la estabilidad de los agregados es importante con el fin de reducir el sellaje superficial y aumentar las tasas de infiltración. Con el aumento de estabilidad de la superficie, la escorrentía es reducida (Roth, 1985).

Áreas que nunca han sido aradas y con adición constante de material vegetativo, como las áreas forestales, tienen una densidad aparente baja y un alto volumen de macroporos. La densidad aparente indica la masa o el peso de un cierto volumen del suelo. Entonces un suelo, el cual está constituido de muchos canales y poros, pesa menos que el mismo volumen de ese suelo cuando está compactado. La Figura 20 muestra las diferencias en la densidad aparente y macroporosidad de un suelo bajo diferentes tipos de manejos.

Figura 20
Relación entre la densidad aparente y la macroporosidad de un suelo bajo diferentes tipos de manejo (Gassen and Gassen, 1996).



Las madrigueras cavadas por las lombrices de tierra y los canales dejados en el suelo por las raíces podridas, aumentan la porosidad del suelo y mejoran la actividad biológica y la formación de agregados de partículas del suelo. La porosidad mejora la infiltración y la percolación del agua y reduce la escorrentía.

El mantenimiento de los residuos de los cultivos en la superficie del suelo, aumenta la conservación de la humedad en el perfil del suelo, especialmente en áreas secas. Los residuos de cultivos en la superficie:

- incrementan la infiltración de agua a través de la prevención de la formación de costras, y mejora la estructura del suelo

- captura más humedad que los suelos descubiertos, debido a la rugosidad de la superficie
- da sombra al suelo y, por lo tanto, reduce la evaporación
- aumenta la capacidad de retención de agua del suelo, mediante el mejoramiento de la estructura

La tasa de infiltración de agua dentro del suelo depende de los siguientes factores del suelo:

- textura,
- densidad y porosidad,
- estabilidad de agregados, y
- cobertura.

Las áreas en las cuales la agricultura de conservación ha sido practicada por un largo tiempo, han desarrollado una buena estructura del suelo y macroporosidad. El módulo "Humedad del suelo" analiza los efectos de la AC en suelos que contienen humedad en más detalles.

La conservación de la vegetación de barbecho como una cobertura en la superficie del suelo y la consiguiente reducción de la evaporación, da como resultado un 4 % más de agua en el suelo. Esto representa 80 mil litros de agua en los 20 cm superiores del suelo (o una lluvia adicional de 8 mm). Está claro que esta cantidad de agua "extra" puede establecer una diferencia entre la marchitez y la supervivencia de un cultivo, durante los periodos de seca.

La cobertura del suelo no sólo protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, sino que previene la pérdida de agua del suelo a través de la evaporación, pero además protege al suelo del impacto del sol. La cobertura reduce la temperatura del suelo.

La temperatura del suelo no sólo influye en la absorción del agua y los nutrientes por las plantas, en la germinación de las semillas y el desarrollo de las raíces, sino también en la actividad microbiana y en el encostramiento y endurecimiento del suelo. Las raíces absorben más agua cuando aumenta la temperatura del suelo, hasta un máximo de 35ºC. Temperaturas mayores, restringen la absorción del agua.

Figura 21
Fluctuaciones de temperatura en una profundidad de suelo de 3 cm en un cultivo de algodón con y sin cobertura de suelo con mucuna (Derpsch, 1993).

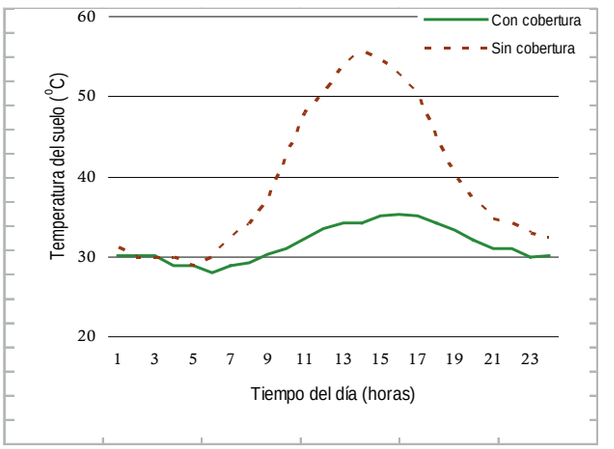


Lámina 106
Plántulas de soya germinando a través de la capa de cobertura.
R. Derpsch

Las temperaturas del suelo que son demasiadas altas, son una restricción seria para la producción del cultivo en muchos suelos y eco regiones de los trópicos. Temperaturas máximas excediendo los 40ºC a 5 cm de profundidad y los 50ºC a 1 cm de profundidad, son observadas comúnmente en suelos labrados durante la época de crecimiento. A veces con extremos de hasta 70ºC. Tales altas temperaturas afectan adversamente no sólo el establecimiento de las plántulas y el crecimiento del cultivo, sino también el crecimiento y desarrollo de la población de micro-organismos. La temperatura ideal de la zona de enraizamiento para la germinación y crecimiento de las plántulas está en el rango de 25-35ºC. Las temperaturas que excedan los 35ºC reducen drásticamente el desarrollo de las plántulas de maíz y no hay apenas germinación de la semilla de soya cuando la temperatura excede 40

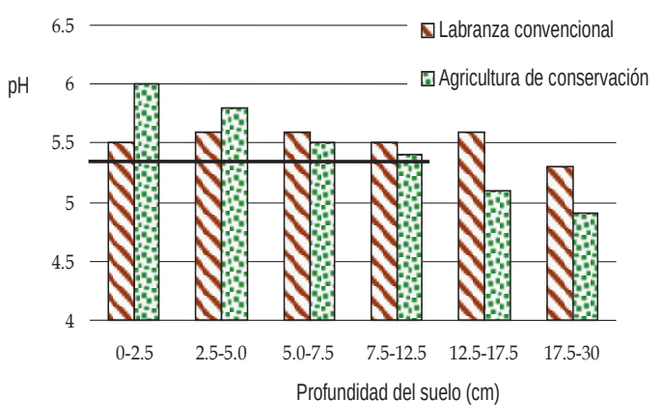
Las capas o mantillos de residuos o de cultivos de cobertura, regulan la temperatura del suelo. La cobertura del suelo refleja hacia atrás gran parte de la energía solar dentro de la atmósfera, y por lo tanto, se reduce la temperatura de la superficie del suelo. Esto resulta en una más baja y menos fluctuaciones en la temperatura máxima del suelo cubierto, comparado con el descubierto efecto de la AC en las propiedades químicas del suelo

EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

Los beneficios químicos y nutricionales de los residuos del cultivo y de los cultivos de cobertura, están relacionados con la adición de nutrientes de las plantas, el incremento de la materia orgánica en el suelo y la habilidad del suelo para intercambiar nutrientes. En dependencia de las especies, los residuos de los cultivos contienen una cantidad sustancial de nutrientes para las plantas. El residuo del cultivo y el régimen de labranza, pueden causar cambios significativos y redistribución de los nutrientes dentro del perfil del suelo.

Por lo visto, cuando la agricultura de conservación es practicada por un número de años, el contenido de materia orgánica del suelo aumenta. La reacción del suelo es diferente y recupera su capacidad natural de amortiguación; incrementa el pH como es mostrado en la Figura 22.

Figura 22
Efecto del régimen de labranza y de los cultivos de cobertura en el pH del suelo (Mielniczuk, 1996) El nivel original de pH fue 5.3.



La reducción de la labranza y la adición de nitrógeno mediante leguminosas en la agricultura de conservación, conlleva a un aumento del nitrógeno total en el suelo en las capas superiores del suelo (0-7.5 cm.). En cinco años después de comenzado un sistema intensivo de rotación de avena y trébol con maíz y caupí, en la capa del suelo de 0-17,5 cm, se obtuvo 490 kg ha^{-1} más de nitrógeno total en suelo, que en el sistema tradicional de avena/maíz bajo la labranza convencional. Después de nueve años, la no labranza en combinación con un sistema intensivo de cultivo, ha resultado en un 24 por ciento de incremento

del N en el suelo, comparado con la labranza convencional. Aunque la fijación del nitrógeno fue menor en los sistemas de no labranza, probablemente debido a la inmovilización del N y a la formación de materia orgánica, los rendimientos del maíz bajo diferentes sistemas de labranza, no difirieron. Ya que el sistema de no labranza fue mas eficiente en el almacenaje del N en la parte superior del suelo a partir de los cultivos de cobertura de leguminosas, en el largo plazo este sistema puede incrementar el N disponible en suelo para el maíz (Amado y otros, 1998).

Los cultivos de cobertura tienen una importante capacidad de reciclaje del fósforo (P) y aún más, cuando los residuos fueron concentrados anualmente en la superficie. Esto estuvo especialmente claro en las parcelas de barbechos, donde las parcelas de labranza convencional tuvieron un contenido de P de 25% menos, comparado con las parcelas de no labranza. En dependencia del cultivo de cobertura el aumento fue entre 2 y casi 30 por ciento. Pero más importante es la preparación de la tierra en el incremento de la disponibilidad de fósforo en el suelo, como puede ser visto en la Figura 23.

En tres a cinco años después de iniciada la agricultura de conservación, tanto el fósforo como el potasio pueden ser acumulados en la parte superior del suelo. Como es mostrado en la Figura 24, la aradura conlleva a una distribución balanceada de los nutrientes en el perfil del suelo, al menos dentro del límite 20-30 cm (profundidad de aradura). Por otro lado, el 50-75% de los nutrientes está concentrado en la capa superior del suelo, cuando es practicada la siembra directa.

Figura 23
Contenido de fósforo en suelos 9 años después de iniciada la agricultura de conservación, comparado con la labranza convencional; el contenido original de P del suelo (0-10 cm) fue 9 mg kg^{-1} (Mielniczuk, 1996).

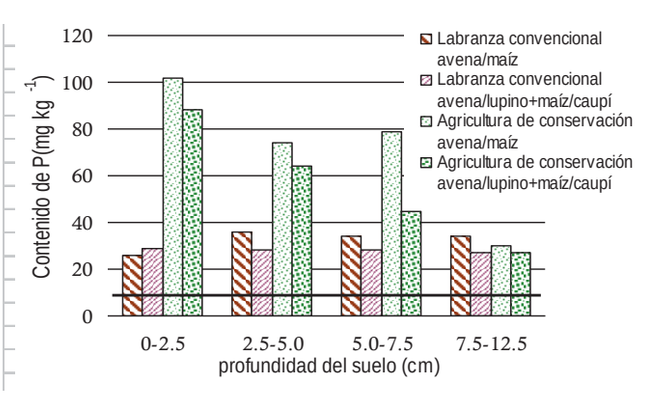
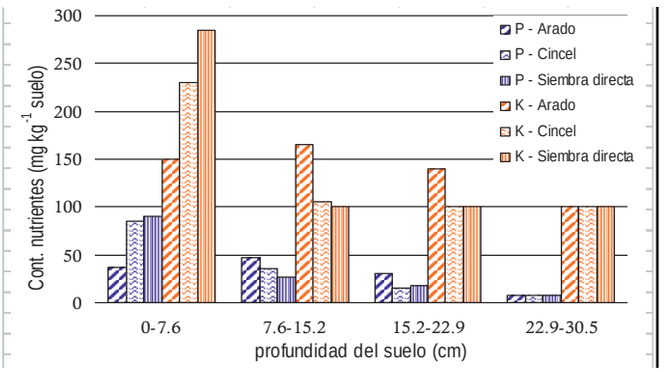


FIGURA 24
Contenido de fósforo (azul) y potasio (naranja) a diferentes profundidades de suelo y diferentes tipos de preparaciones de tierras (Cruz, 1982).



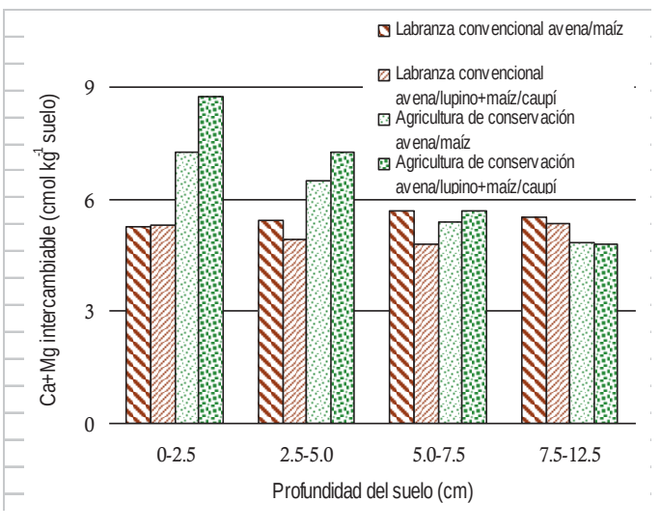
Como ha sido analizado en el módulo "Materia orgánica y actividad biológica", el humus es formado en el proceso de descomposición de la materia orgánica. El humus es importante debido a su carga eléctrica negativa, la cual puede retener cationes – o nutrientes con una carga positiva-, lo cual a su vez incrementa la Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC). El elemento mas importante es el calcio (Ca^{2+}), otros son el magnesio (Mg^{2+}), el potasio (K^{+}), el sodio (Na^{+}) y el amonio (NH^{4+}). Este fenómeno permite el intercambio entre estos elementos y el hidrogeno (H^{+}) y otros cationes y a su vez previene que los nutrientes sean lavados desde el perfil del suelo durante las lluvias copiosas.

La más alta capacidad de intercambio de cationes del suelo (CIC) es hallada en sistemas de rotaciones basadas en leguminosas con el más alto contenido de materia orgánica. Especialmente en los sistemas con gandul (*Nicotiana glauca*) y lablab[2] (*Dolichos lablab L.)* se ha logrado un 70 por ciento de incremento del CIC, comparado con el sistema barbecho/maíz. El CIC está estrechamente vinculado al contenido de materia orgánica del suelo, y por ende, aumenta gradualmente con la profundidad del suelo.

Después de 20 años de agricultura de conservación Crovetto (1997) reporta un aumento en el CIC de 136 por ciento (de 11 a 26 meq $100g^{-1}$ suelo) debido al incremento del humus en el suelo.

2 Lablab también conocido como lab lab

Figura 25
Niveles de magnesio y calcio intercambiable, 9 años después de iniciada la agricultura de conservación, comparado con los sistemas de labranza convencional (Mielniczuk, 1996).



EFECTO SOBRE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Los cultivos necesitan los mismos nutrientes en los sistemas de la agricultura de conservación, que en los sistemas de labranza convencional. La diferencia radica en el tipo y momento de aplicación de los fertilizantes, así como la reducción de las actividades de preparación de tierras que pueden accionar sobre los nutrientes en las siguientes formas:

- nutrientes inmóviles pueden acumularse en las capas superficiales
- la mineralización del nitrógeno es reducida en la agricultura de conservación
- durante la descomposición de los residuos de los cultivos, el nitrógeno puede convertirse en inmovilizado
- la aplicación superficial de fertilizantes de amonio pueden acidificar la superficie del suelo

Cuando sistemas de labranza mínima son usados en la agricultura de conservación, la aplicación de fertilizantes no diferirá de la práctica de cómo es aplicado en los sistemas convencionales. Sin embargo, cuando se aplica la siembra directa en la agricultura de conservación, las estrategias deben ser desarrolladas para superar los factores arriba mencionados.

ACUMULACIÓN DE NUTRIENTES INMÓVILES

Todos los nutrientes muestran cierta movilidad en el suelo:

- El fósforo y el potasio son inmóviles
- El nitrógeno es móvil, permanece en la solución del suelo y puede ser lavado hacia fuera de la zona de raíces cuando no hay raíces para tomarlo.

Con el objetivo de que las raíces tomen los nutrientes aportados como fertilizantes, estos necesitan ser disueltos en la solución húmeda del suelo y estar cerca de las raíces. Como el fósforo y el potasio son altamente inmóviles, necesitan ser colocados cerca de las raíces, por lo que es recomendada la aplicación en bandas.

La lenta mineralización de la materia orgánica en la agricultura de conservación, permite la liberación del fósforo y el potasio en la capa superficial del suelo. Igualmente, una acumulación de estos nutrientes, se asimila por los cultivos que desarrollan raíces superficiales que absorben estos nutrientes y lo movilizan dentro del perfil. El nitrógeno, por ser móvil, no necesita una forma de aplicación precisa. Sin embargo, cuando no hay lluvias o la superficie del suelo no está húmeda, el nitrógeno no se moverá dentro del perfil, y puede ser perdido a través de la volatilización. Por lo tanto, es recomendado aplicar al menos parte del fertilizante nitrogenado en bandas.

Las prácticas siguientes pueden evitar la acumulación de nutrientes en la capa superior del suelo:

- correctos niveles de nutrientes del suelo antes de implementar el nuevo sistema
- aplicar parte del fertilizante en bandas colocadas cerca de las semillas
- diseminar fertilizante a fin de obtener niveles adecuados de fósforo y potasio en la zona de las raíces
- evaluar los niveles de nutrientes a diferentes niveles de profundidad del suelo: 10, 20 y 30 cm y repetir este ejercicio cada 3 ó 4 años
- controlar los niveles de nutrientes durante los 2 ó 3 años mediante los análisis de suelo
- mantener la superficie cubierta homogéneamente con residuos, de tal forma que la humedad sea uniformemente distribuida y el crecimiento de las raíces superficiales sea estimulado con el fin de absorber y movilizar los nutrientes en la capa superior.

MANEJO DEL NITRÓGENO

Hay tres factores que pueden impedir la disponibilidad del nitrógeno en el suelo para las plantas:

- la inmovilización,
- la mineralización, y
- la volatilización.

La inmovilización es causada por microorganismos que recepcionan rápidamente las formas del nitrógeno, como nitratos (NO_3) y amonio (NH_4) para ser capaces de descomponer los residuos del cultivo y otras materias orgánicas. Durante el tiempo en que los microorganismos usan el nitrógeno, éste no está disponible para su absorción por las plantas, hasta que la materia orgánica es descompuesta, los microorganismos mueren y el nitrógeno es liberado otra vez.

La mineralización es el proceso en el cual el nitrógeno orgánico de los aminoácidos o proteínas es transformado en amonio (NH_4^+) y más tarde en nitrato (NO_3^-) por los microorganismos:

$$\text{N orgánico} + H_2O \rightarrow \textit{microorganismos} \rightarrow NH_4^+ + \text{R-OH}$$
$$NH_4^+ + O_2 \rightarrow \textit{Nitrosomonas} \rightarrow NO_2^- + O_2 \rightarrow \textit{Nitrobacteria} \rightarrow NO_3^-$$

Aunque las plantas pueden utilizar ambas formas de nitrógeno fácilmente, usualmente el amonio es transformado en nitrato rápidamente que puede ser absorbido por las plantas o ser lavado hacia fuera del perfil del suelo, y no utilizado para el crecimiento de la planta.

Durante los primeros años de la agricultura de conservación, el nitrógeno es principalmente encontrado en forma orgánica (inmovilizado) y por lo tanto no disponible para el crecimiento de las plantas. Debido al hecho de que el proceso de mineralización es lento en los primeros años, el nitrógeno para el crecimiento de la planta tiene que ser aplicado en forma adicional, como fertilizante.

VOLATILIZACIÓN

En el caso de la diseminación de úrea durante los periodos muy húmedos o en suelos muy húmedos, la úrea es convertida rápidamente por una

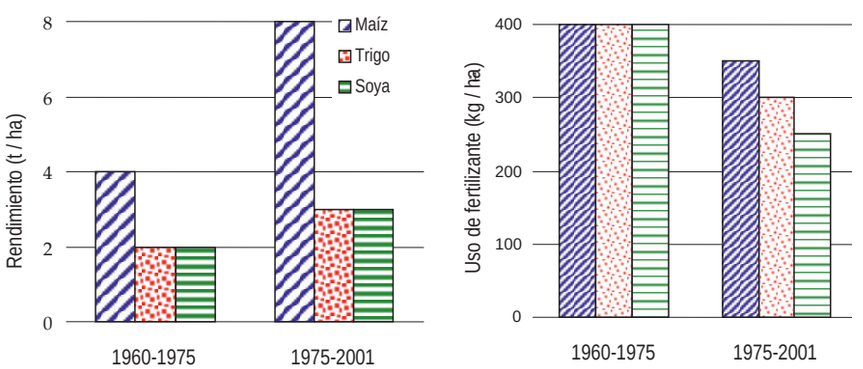
frecuente enzima natural ("ureasa") en amoniaco. Una parte del amoniaco es transformado en amonio y permanece en la solución del suelo, mientras que la otra parte desaparece directamente dentro de la atmósfera (volatilización) y no es utilizado para el crecimiento de la planta.

$$\text{Úrea } (CO(NH_2)_2) + H_2O \rightarrow NH_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow NH_4^+$$

Con el fin de evitar la ausencia de nitrógeno para el crecimiento de las plantas como un resultado de la lenta mineralización, los procesos de volatilización e inmovilización, el nitrógeno requiere ser bien manejado:

- dar algún tiempo a la materia orgánica para ser descompuesta antes de la siembra
- antes de la siembra, aplicar 25-72 kg N por hectárea, con el objetivo de prevenir los efectos de la inmovilización
- durante la siembra, aplicar nitrógeno colocado en bandas para prevenir la inmovilización
- usar fertilizantes de nitratos en lugar de fertilizantes de amonio, debido a que el nitrato se disuelve más fácil y, por lo tanto, es más móvil en el suelo.

Figura 26
Evolución del uso del fertilizante y los rendimientos del cultivo durante el periodo 1960-2001 (Perreira, 2001).



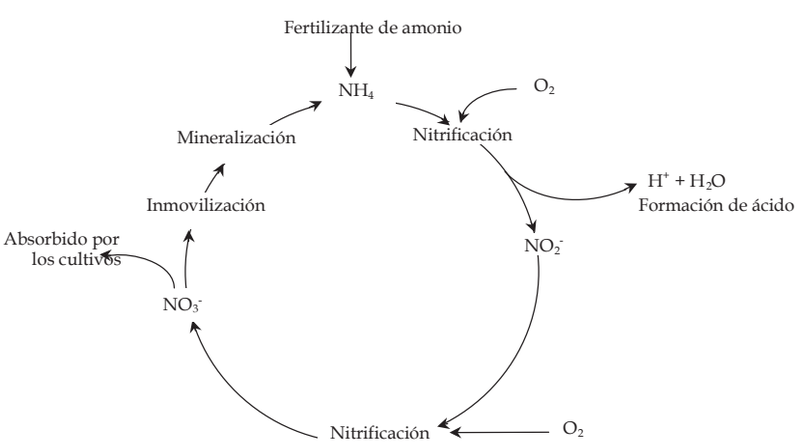
En el transcurso de los años, las raíces del cultivo de cobertura y la incrementada micro y macrofauna del suelo, reciclarán eficientemente los nutrientes de las plantas, lo que llevará a una necesidad reducida de fertilizante para producir el mismo o mayor rendimiento (Figura26). El

impacto de los fertilizantes químicos, puede a veces ser enormemente aumentado, siendo aplicado en la cobertura o mantillo en lugar del suelo. En Costa Rica, los rendimientos de fríjol comestible en el sistema de"frijol tapado", un sistema tradicional de cobertura con paja, no se incrementaron tanto por encima de los tradicionales de 500 kg/ha cuando fue aplicado fósforo químico al suelo. Sin embargo, los rendimientos subieron de dos a tres veces los tradicionales (por encima de 2t/ha) cuando el P orgánico fue aplicado directamente a la cobertura. Los investigadores en África han observado, además, que los fertilizantes aplicados a los materiales de la cobertura son mas eficientes, que cuando son incorporados dentro del suelo (Thurston, 1997).

ACIDIFICACIÓN DEL SUELO

El uso de ciertos fertilizantes nitrogenados, tiene un efecto sobre la acidez o pH del suelo. Generalmente, los cultivos prefieren un pH entre 6 y 7, debido a que éste valor permite una disponibilidad máxima de nutrientes. Las aplicaciones superficiales del nitrógeno reducen el pH, y como resultado, reducen el efecto de ciertos herbicidas. Especialmente los fertilizantes de amonio como la úrea, y los fosfatos de amonio, como el MAP y el DAP, son rápidamente convertidos en nitratos a través de un proceso de nitrificación, liberando ácidos en el proceso y, por lo tanto, incrementando la acidez de la parte superior del suelo. (Figura 27).

Figura 27
Proceso de nitrificación y formación de ácido en la parte superior del suelo.



Muchos estudios reportan un aumento de la acidificación del suelo en los sistemas basados en leguminosas, causado por una intensa nitrificación, seguido por la lixiviación o lavado del NO_3^-, y la excreción del H_3O^+ por las raíces de las leguminosas y la exportación de los productos vegetales y animales. Pero en general, los sistemas basados en leguminosas no incrementan la acidificación del suelo en la capa superficial del suelo, donde ocurren las acumulaciones mayores de materia orgánica del suelo.

Lámina *107*
Aplicación superficial de cal para ajustar la acidez del suelo.
R. Derpsch

Las leguminosas tropicales como los frijoles gandul y lablab son tolerantes a los suelos ácidos y tienen una excreción más baja de H_3O^+ (Haynes, 1983), en contraste con las leguminosas templadas, como el trébol. Una excreción más baja conlleva a una menor acidez del suelo. Como consecuencia, el material vegetal de las leguminosas es de naturaleza alcalina (pH>7), y entonces, si el residuo de la planta es retornado al mismo lugar donde ocurre la excreción de las raíces, no se producirá la acidificación neta del suelo. Las diferencias en la acidificación del suelo entre los sistemas basados en leguminosas, pueden obtenerse de las diferencias en el lavado de los nitratos: un mayor desarrollo de las raíces de, por ejemplo, el fríjol lablab y el gandúl, comparado con el trébol, resulta en un mayor reciclaje del nitrato (Burle y otros, 1997).

Si un suelo es ácido (pH<6) es necesario corregir el nivel de acidez antes de comenzar la agricultura de conservación. Usualmente la acidez es corregida usando cal, la cual reacciona más intensamente cuando es incorporada al suelo. Entonces, es importante corregir el nivel de acidez del suelo antes de comenzar la agricultura de conservación. Mientras la agricultura de conservación es aplicada, no es posible por más tiempo incorporar la cal en el suelo y por lo tanto ella es diseminada encima de la superficie. La cobertura del suelo realmente favorece el transporte del carbonato de calcio a las capas más profundas del suelo (Cuadro 19).Los residuos de los cultivos de cobertura liberan ácidos orgánicos, que pueden llevar la cal a mayor profundidad dentro del perfil mucho más rápidamente que cuando es aplicada en suelo descubierto. Una aplicación de cal de 1-2 ton por hectárea, cada 2-3 años, puede ser suficiente para regular la acidez.

Cuadro 19 Aparición de cal en el perfil del suelo bajo diferentes coberturas del suelo en el mismo lapso de tiempo

Cobertura	Profundidad del suelo (cm)
Suelo descubierto	0-7
Avena negra	0-20
Rábano de aceite	0-22

Lámina 108
Con el tiempo, los residuos de cultivos que son dejados sobre la superficie del suelo, serán transformados en materia orgánica.
A.J. Bot

EFECTO SOBRE LA MATERIA ORGÁNICA

¿QUÉ ES LA MATERIA ORGÁNICA Y QUÉ HACE?

Los organismos del suelo (biota), incluyendo los microorganismos, usan los residuos de plantas y animales y los derivados de la materia orgánica como alimento. Como ellos descomponen los residuos y la materia orgánica, cualquier exceso de nutrientes (nitrógeno, fósforo y azufre) son liberados dentro del suelo en formas que las plantas puedan usar (disponibilidad de nutrientes). Los productos de desechos producidos por micro- organismos contribuyen a la llamada materia orgánica del suelo. Este material de desecho es menos fácil de descomponer que el material original de planta y animal, pero puede ser usado por un gran número de organismos.

Mediante la descomposición de los residuos y el almacenamiento del carbono dentro de su propia biomasa, o la reconstrucción de nuevas estructuras de carbono, la biota del suelo juega el rol más importante en los procesos de reciclaje de nutrientes, y por lo tanto en la habilidad de un suelo para proveer al cultivo con suficientes nutrientes para producir un producto sano.

La adición contínua de residuos de plantas y otra materia orgánica, junto con su transformación por los organismos del suelo, proporciona al suelo una capacidad de auto recuperación de la arquitectura del suelo dañada. Las sustancias pegajosas sobre la piel de las lombrices y aquellas producidas por los hongos y bacterias, ayudan a aglutinar las partículas. Los rastros de la lombriz producen también agregados más resistentes que el material que circunda al suelo debido a la mezcla de la materia orgánica, el mineral

del suelo y las secreciones intestinales de la lombriz. La parte viviente del suelo, entonces, es responsable de mantener la disponibilidad de agua y aire, proveer nutrientes de plantas, destruir a los agentes contaminantes y mantener la estructura del suelo. Esto contribuye a la renovación de su porosidad mediante los procesos de excavación de madrigueras y formación de sustancias pegajosas, asociado con la actividad biológica. Consecuentemente, el suelo puede almacenar más agua y actuar como sumidero de dióxido de carbono.

Los materiales orgánicos (residuos de plantas) encima y en la superficie del suelo pueden proporcionar el "amortiguamiento" físico contra el impa,cto de las gotas de lluvias y la insolación directa. La descomposición de las raíces muertas, provee canales que penetran hacia abajo, a través de los cuales el agua de lluvia puede rápidamente alcanzar los niveles más bajos de la zona de las raíces. Los meso-organismos, tales como las lombrices de tierra y las termitas (la llamada macro fauna) crean madrigueras con el mismo efecto. Si el suelo ha sido maltratado por mal manejo, entonces la formación de tales macro-poros es entorpecida y paralizada, entonces el ciclo de agua dentro del ecosistema del suelo, disminuye en su efectividad.

En los sistemas convencionales de agricultura, si no hay suficiente tiempo y recursos para la restauración biológica completa que permita superar los daños causados por la labranza y el pisoteo del ganado, entonces la fertilidad del suelo declinará y por ende su productividad, evaluada por los rendimientos de las cosechas. La restauración de la porosidad del suelo por medios mecánicos, es menos satisfactoria que por medios biológicos.

LIBERACIÓN DE NUTRIENTES DE PLANTAS MEDIANTE LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA

La descomposición de la materia orgánica es un proceso biológico que ocurre naturalmente. Su velocidad es determinada por tres factores principales:

- la composición de los organismos del suelo,
- el entorno físico(oxígeno, humedad y temperatura) y
- la calidad de la materia orgánica.

Lámina 109
Los residuos de cultivos están siendo incorporados en el suelo por larvas blancas. Si no hay otra alternativa presente, ellas atacaran al cultivo.
C. Pruett

Los organismos y las interacciones entre los organismos estructuran la red alimenticia del suelo. La energía necesitada para todas las redes alimenticias es generada por los productores primarios: plantas, líquenes (parásitos de plantas), musgo, bacteria fotosintética y alga que usan la luz del sol para transformar el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera en carbohidratos. La mayor parte de otros organismos dependen de los productores primarios, por su energía y nutrientes: ellos son llamados consumidores.

Los microorganismos, tales como las bacterias, y los invertebrados grandes, tales como las lombrices de tierra y los insectos, ayudan a descomponer los residuos de los cultivos mediante su ingestión y mezcla con el material madre del suelo, y en el proceso reciclan energía y nutrientes de plantas.

La parte viviente del suelo incluye una amplia variedad de microorganismos, tales como bacterias, hongos, protozoos, nemátodos, virus y algas. Los macroorganismos en los suelos incluyen vertebrados, tales como topos, e invertebrados (aquellos organismos que carecen de espina dorsal y se mantienen en una cubierta externa). Este grupo de organismos incluye artrópodos, que varían desde garrapatas hasta grandes escarabajos, milpiés, termitas y lombrices de tierra, caracoles y babosas. Ellos son visibles a simple vista, aunque puede ser necesario un microscopio o lupa para identificar las especies.

Las plantas, representadas por sus raíces y la cama de paja acumulada sobre la superficie del suelo, forman la macroflora del suelo. Los diferentes grupos de organismos del suelo, pueden ser clasificados de acuerdo a sus diferentes dimensiones, como se muestra en el Cuadro 19.

Cuadro 19 Clasificación de los organismos del suelo (Adaptada por Swift y otros., 1979)

MICROORGANISMOS	Microflora	< 5 µm	Bacterias Hongos
	Microfauna	< 100 µm	Protozoos Nemátodos
MACROORGANISMOS	Mesoorganismos	100 µm - 2 mm	Gusanos de primavera Acáridos
	Macroorganismos	2 - 20 mm	Lombrices de tierra Milpiés Barrenador de madera Babosas y caracoles
PLANTAS	Algas	10 µm	
	Raíces	> 10 µm	

Nota. Las partículas de arcillas son menores de 2 µm.

Todos ellos tienen su propio papel en los procesos de reciclaje de nutrientes.

En general, las bacterias descomponen los substratos de fácil uso; los compuestos de carbono simple, tales como las exudaciones de las raíces y la capa de paja fresca de plantas. Los desechos producidos por las bacterias se convierten en materia orgánica. Este desecho es menos descomponible que el material originado de plantas y animales, pero puede ser usado por una gran cantidad de otros organismos. Un cierto número de estos descomponedores, pueden descomponer incluso pesticidas y agentes contaminantes en el suelo. Los descomponedores son especialmente importantes en la inmovilización y retención de nutrientes en sus células y, por lo tanto, previenen la pérdida de nutrientes de la zona de las raíces.

Los hongos descomponen la materia orgánica más resistente, reteniendo los nutrientes que se obtienen en el suelo como biomasa de hongos y liberación de dióxido de carbono (CO_2). El material menos resistente es descompuesto primero, mientras que el material más resistente, como la lignina y algunas proteínas, tiene lugar en varias etapas. Muchos de los productos de desechos secundarios son ácidos orgánicos, ya que los

Lámina 110
Las madrigueras de las lombrices de tierra crean macroporos y canales en el suelo que permiten la infiltración del agua y la circulación del aire.
FAO

hongos ayudan a incrementar la acumulación de materia orgánica rica en ácidos húmicos, resistentes a la degradación. Los descomponedores son, además, importantes para la descomposición de las estructuras de anillos de carbono en algunos agentes contaminantes.

En los suelos agrícolas, los protozoos son los mayores productores del nitrógeno disponible para la planta. Entre el 40 y el 80 porciento del nitrógeno en plantas, puede venir de la interacción depredador-presa de protozoos con bacterias. El nitrógeno liberado por los protozoos está en forma de amonio (NH_4^+) y entonces fácilmente disponible para las raíces de las plantas y otros organismos.

Los nemátodos tienen aún menos contenido de nitrógeno que los protozoos, entre 10 y 100 veces menos que las bacterias, o entre 5 y 50 veces menos que las hifas o tejido reticulado de los hongos. Entonces, cuando hay alimentación de bacterias y hongos, los nemátodos comen bacterias u hongos, el nitrógeno es liberado como amonio (NH_4^+), haciendo que el nitrógeno esté disponible para el crecimiento de las plantas y de otros organismos del suelo.

Las lombrices de tierra, promueven la actividad de los microorganismos mediante la fragmentación de la materia orgánica y el aumento del área de la superficie accesible a los hongos y bacterias. Ellas, además, estimulan el crecimiento extensivo de las raíces en el subsuelo, debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno en las madrigueras (por encima de cuatro veces más que el nitrógeno total en la superficie del suelo) y la fácil penetración de las raíces a través de los canales existentes.

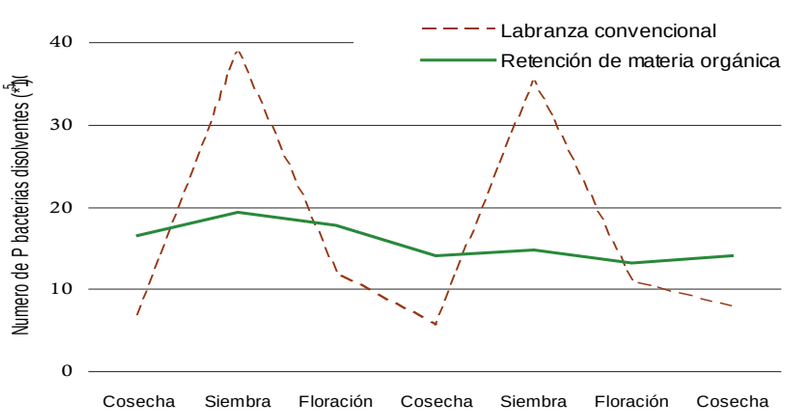
Los trituradores mastican las hojas de las plantas, las raíces, los tallos y troncos de los árboles en pequeñas partes, que son las que alimentan a las bacterias y hongos en la superficie. Los trituradores más abundantes son los milpiés y las termitas, así como los insectos sembradores, ciertos acáridos y cucarachas. Los trituradores pueden convertirse en plagas en los campos agrícolas, atacando las raíces de las plantas vivas cuando no hay suficiente material vegetal muerto disponible (Moldenke, 2000).

Otro importante rol de los artrópodos que viven sobre y dentro del suelo, es depredar y competir con varias plagas de plantas. Cuando está presente una población saludable y de bien conocidos depredadores, estas plagas de las plantas pueden ser adecuadamente controladas. Pero una población de depredadores puede solamente ser mantenida entre comienzos de plagas si están presentes otras clases de presas o victimas; este es el caso en una red alimenticia saludable con alta diversidad.

Los organismos dependen de sus fuentes de alimentación (las cuales a su vez dependen de la temporada) y por lo tanto, ni están uniformemente distribuidas a través del suelo, ni están uniformemente presentes todo el año. Cada especie y grupo existe donde ellos pueden encontrar suministro apropiado de alimentos, espacio, nutrientes y humedad. Esas condiciones ocurren dondequiera que esté presente la materia orgánica y, por lo tanto, los organismos del suelo están concentrados alrededor de las raíces, en la cama de paja, en el humus, en la superficie de los agregados del suelo y en los espacios entre los agregados. Por esta razón, ellos prevalecen más en las áreas forestales y en los sistemas de cultivos que dejan una gran cantidad de biomasa sobre la superficie del suelo.

La actividad de los organismos del suelo sigue al ciclo del cultivo. No todos los organismos son activos al mismo tiempo. La mayoría están raramente activos e inclusive en latencia o inactivos. La disponibilidad de alimentos, es un factor importante que influye en el nivel de actividad de los organismos del suelo y, por ende, está relacionado con el uso y manejo del suelo.

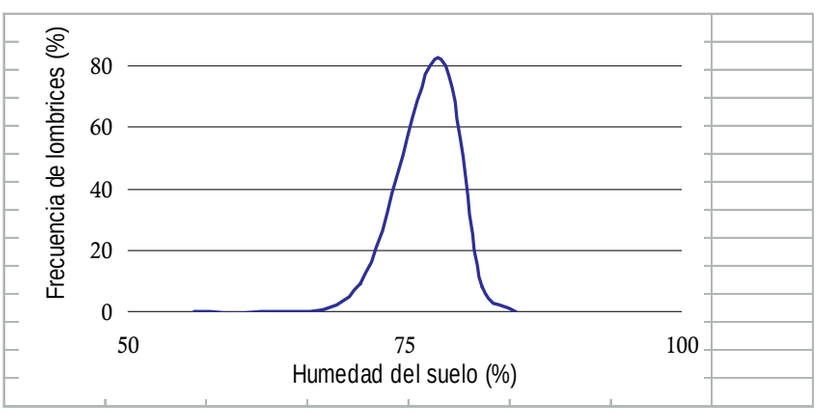
Figura 28
Grandes fluctuaciones en la masa microbiana en diferentes etapas de desarrollo del cultivo en la agricultura convencional comparada con los sistemas con retención de los residuos y alta entrada de materia orgánica (Balota, 1996).



La descomposición de la materia orgánica y la liberación del carbono son procesos aeróbicos, lo que significa que los microorganismos necesitan oxígeno, y por lo tanto:

- los residuos sobre la superficie del suelo realizan el ciclo del carbono mas lento, debido a que ellos están expuestos a menos microorganismos y entonces decae más lentamente, resultando en la producción de humus, el cual es mas estable y libera menos dióxido de carbono a la atmósfera,
- cuando los residuos son incorporados por el arado en el suelo junto con el aire, comienzan a hacer contacto con muchos microorganismos, se acelera el ciclo del carbono. La descomposición es más rápida, lo que trae como resultado menos formación del humus estable y un incremento de la liberalización del dióxido de carbono a la atmósfera y, por lo tanto, una reducción de la materia orgánica.

Figura 29
Efecto de la humedad del suelo en la formación de lombrices de tierra (Gassen y Gassen, 1996).



La humedad del suelo es uno de los factores más importantes que define la presencia de lombrices de tierra en el suelo. Mediante la conservación de la cobertura del suelo, la evaporación es reducida y la materia orgánica en el suelo es aumentada, lo cual a su vez permite almacenar más agua. La Figura 29 muestra la frecuencia de ocurrencia de las lombrices de tierra a diferentes niveles de humedad. Las condiciones de vida óptimas son creadas cuando la humedad del suelo es del 78 – 80 por ciento.

Como se discutirá en un modulo posterior, la agricultura de conservación crea las condiciones óptimas para el almacenamiento de la humedad del suelo. (Módulo Humedad del suelo).

La conservación de los residuos sobre la superficie del suelo no sólo proporciona abundante alimento para el suelo, sino también protege al suelo de la insolación directa, lo cual a su vez regula la temperatura del suelo. Las altas temperaturas afectan adversamente el crecimiento y desarrollo, tanto de la población de organismos del suelo, como el desarrollo del crecimiento de las raíces.

Dependiendo de la estructura química de los residuos de cultivos y la materia orgánica, la descomposición es rápida (azúcares, almidones y proteínas), lenta (celulosa, grasas, ceras y resinas) o muy lenta (lignina).

Los escenarios más atractivos para el incremento del número y actividad de los organismos del suelo, incluyen la labranza cero o reducida, con retención del rastrojo, que proporciona la mínima alteración de las madrigueras y los canales vivientes con un suministro casi continuado de alimentos.

La fracción activa o de fácil descomposición de la materia orgánica del suelo, es el principal suministro de alimentos para varios organismos vivientes en el suelo. La fracción activa es fuertemente influenciada por las condiciones climáticas, el estado de humedad del suelo, la etapa de crecimiento de la vegetación, la adición de residuos orgánicos y las prácticas culturales, como la labranza.

Cerca del 35-55 por ciento de la parte no-viviente de la materia orgánica es el humus. Este es un importante amortiguador, que reduce las fluctuaciones en la acidez del suelo y en la disponibilidad de nutrientes. Comparadas con las moléculas simples orgánicas, las sustancias húmicas son voluminosas, con pesos moleculares altos, y muy complejas. Las características de la parte bien-descompuesta de la materia orgánica, el humus, son muy diferentes a las de aquellas moléculas simples orgánicas. Mientras que hay muchos conocimientos acerca de su composición química general, la significación relativa de varios tipos de materiales húmicos en el crecimiento de la planta, no está aún establecida.

BACTERIAS

Las bacterias son organismos unicelulares, un poco más largos que anchos, con un tamaño promedio de 1µm. Lo que ellas tienen en carencia de tamaño, ellas lo tienen en número. Las bacterias frecuentemente viven en colonias de miles o millones de individuos, todos de las mismas especies. Muchas de estas colonias producen sustancias que actúan como goma que permite que las partículas del suelo se junten.

Lámina III
Infección característica de las raíces de cultivos de leguminosas con bacterias *Rhizobium*.
R. Derpsch

Seis grupos funcionales pueden ser distinguidos:

- descomponedores,
- mutualistas: en simbiosis con las plantas,
- patógenos,
- quimioautotróficos,
- cianobacteria, y
- actinomiceto.

El grupo más grande de bacterias está formado por *los descomponedores*. El segundo grupo, *los mutualistas*, en forma de asociación con las plantas. La asociación en la cual el mutuo beneficio existe, es llamada una simbiosis. Uno de los grupos más conocidos de bacterias que abarcan los fijadores de nitrógeno que infectan las raíces de las plantas leguminosas, son las bacterias *Rhizobium*. Cuando el pelo de una raíz entra en contacto con una bacteria, el pelo de la raíz se ensortija y las paredes de la célula se disuelven bajo la influencia de las enzimas, entonces forman un nódulo. Una vez dentro del nódulo, la bacteria obtiene sus nutrientes necesarios (compuestos de carbono) y el oxígeno desde la planta hospedera, y a su vez la planta hospedera recibe compuestos de nitrógeno producidos por la bacteria desde el gas nitrógeno en la atmósfera del suelo. Este proceso es llamado fijación simbiótica del nitrógeno[1]. Cuando las raíces de la planta hospedera se descomponen, los compuestos de nitrógeno se convierten en disponibles para otros microorganismos y plantas.

El tercer grupo, *los patógenos*, son principalmente bacterias anaeróbicas (que no necesitan el oxígeno) que causan daño a las raíces de las plantas. Verdaderamente, el organismo por si mismo no es perjudicial; sus productos de desechos son los perjudiciales para las plantas. Algunas bacterias de este grupo, pueden ser beneficiosas para el crecimiento de las plantas cuando hay suficiente oxígeno en el suelo. Sin embargo, ellas producen alcoholes y ácidos orgánicos que perjudican a la planta cuando el oxígeno es escaso.

Los quimioautotróficos obtienen su energía para el crecimiento y desarrollo desde otros elementos químicos, tales como, el nitrógeno, azufre, hierro o hidrógeno, en lugar de los compuestos del carbono. Algunas de estas bacterias son importantes para la nitrificación, en la cual el amonio se

1 Fijación simbiótica del nitrógeno: $N_2 + O_2 \rightarrow$ Rhizobium $\rightarrow NH_4^+$

convierte en nitratos (*Nitrosomonas* y *Nitrobacterias*), y más adelante en la desnitrificación del nitrato en óxido nitroso y gas nitrógeno.

Además, son muy importantes para la degradación de los agentes contaminantes.

Las Cianobacterias – por un largo tiempo se creían que estas bacterias eran "algas azul-verdes" que constituyen un grupo especial. Ellas son fotosintéticas, y por lo tanto, viven en la superficie del suelo. Juegan un vital rol en la aglutinación de las partículas del suelo en suelos desérticos. En general, las cianobacterias son los primeros organismos que se infectan bajo condiciones extremas o difíciles o en sedimentos frescos y forman las llamadas costras microfíticas. Estas bacterias fijan el carbono y el nitrógeno atmosférico, producen pequeñas cantidades de materia orgánica y, por lo tanto, inician los procesos de reciclaje del nitrógeno y el carbono en el suelo. En el transcurso de pocos años ellas son unificadas por musgos, líquenes y otras plantas primitivas. Estos organismos inhiben la formación de costras minerales: la cementación de las partículas del suelo que evita la infiltración del agua y aumenta la escorrentía.

Los Actinomicetos, son bacterias que son responsables del olor característico mohoso rancio del suelo y el compost. Al igual que los hongos, ellas formas hilos o hifas. Ellas descomponen una amplia variedad de substratos orgánicos, pero más importante es que ellas descomponen los compuestos más complejos, tales como la quitina (material córneo en el esqueleto externo de los artrópodos) y la celulosa, con altos niveles de pH. Los hongos degradan éstos a bajo niveles de pH. Además, descomponiendo la materia orgánica, los actinomicetos semejantes al *Streptomyces* producen una cantidad de antibióticos.

Como las bacterias se alimentan en compuestos orgánicos, como los azúcares y proteínas, ellas están concentradas en la camada verde de plantas jóvenes, y en la rizósfera, que es el área alrededor de las raíces, donde ellas se alimentan de células muertas y sustancias orgánicas liberadas por las raíces (exudados).

HONGOS

Los hongos son organismos microscópicos que crecen usualmente como hilos largos o hifas, las cuales a veces se agrupan en conglomerados

Lámina 112
Muchas raíces de plantas tienen una asociación simbiótica con hongos micorrizas, lo cual le suministra a ellas con superficies extra de raíces.
R. Derpsch

llamados micelios, o estructuras gruesas en forma de raíces. Los hongos más conocidos son aquellos que producen estructuras que dan frutos, las setas o champiñones. Algunos hongos, como la levadura, realizan servicios importantes en la producción de alimentos humanos. Las miles de especies que están activas en el suelo, pero que no son visibles, realizan funciones que son tan importantes como las que hace la levadura. Los hongos son organismos aeróbicos y morirán cuando un suelo se convierte en anaeróbico, por ejemplo, durante las inundaciones y la compactación.

Como las bacterias, los hongos pueden ser divididos en grupos diferentes de acuerdo con sus fuentes de energía (Ingham, 2000):

- descomponedores,
- mutualistas,
- patógenos y parásitos.

Los transformadores de lignina están activos alrededor del tejido fino leñoso de la planta.

Las raíces de la mayoría de las plantas están infectadas con hongos micorrizas, los mutualistas. Estos hongos constituyen una red de hilos de micelio en las raíces de las plantas y árboles, y por lo tanto se expanden en el área superficial de las raíces. Los hongos obtienen carbono de la planta y en intercambio con las plantas, obtienen nutrientes tales como el fósforo, el nitrógeno, micros nutrientes y agua desde el suelo. Esta asociación simbiótica extiende el sistema de raíces de la planta. El beneficio potencial de una efectiva asociación, incluye la protección contra algunos patógenos de las raíces, aumenta la tolerancia a las enfermedades, la tolerancia a la sequía y la reducción de los problemas de toxicidad y alta temperatura del suelo.

El tercer grupo, los patógenos o parásitos, ocasionan reducida producción o muerte cuando ellos colonizan las raíces u otros organismos. Los hongos del suelo como *Pythium*, *Verticillium*, *Phytophthora*, *Fusarium* y *Rizoctonia* causan serias enfermedades a las plantas que resultan en mayores pérdidas económicas en la agricultura. Todos estos hongos prefieren usar los substratos orgánicos simples que son exudados por las raíces de las plantas.

Sin embargo, no todos los hongos de este grupo son dañinos. Algunas especies compiten por alimentos o espacios con organismos que causan enfermedades, y por lo tanto reducen la incidencia de las enfermedades.

Algunos hongos beneficiosos producen antibióticos u otros compuesto de inhibidores, mientras que otros hongos, tales como el *Trichoderma* o *Gliocladium*, causan una enfermedad parasitaria de hongos. Algunos nemátodos o gusanos, atrapan a los hongos parásitos que se alimentan de las raíces de las plantas, mientras que otros se alimentan con insectos.

MICORRIZAS

Los hongos micorrizas pueden ser divididos en dos grupos:

- Ecto-micorriza.
- Endo- micorriza.

Ectomicorriza. Las hifas de estos hongos forman una densa cubierta en la parte exterior de la raíz. Unas cuantas hifas penetran y crecen entre las células corticales de la raíz. Ellas no acceden a las células, y generalmente no penetran más allá de la corteza. Las coberturas de hifas son a menudo visibles a simple vista. Este tipo de micorriza es asociado con los árboles.

Los *Endomicorriza* están localizados entre y dentro de las células corticales de la raíz y no producen una cobertura de hifas alrededor de la raíz. Algunas son llamadas micorrizas vesicular-arbuscular (MVA):

- los arbúsculos están considerados como el sitio donde ocurre el intercambio de nutrientes (entre hongos y plantas),
- las vesículas son los órganos de almacenamiento en el extremo de la hifa.

Los hongos MVA incrementa la superficie efectiva de absorción de nutrientes. Los endomicorrizas están asociados con pastos, cultivos agrícolas, vegetales y arbustos.

La micorriza protege a la planta mediante algunos mecanismos (Linderman, 1994):

- la secreción de antibióticos inhibidores de patógenos;
- la cobertura acciona como una barrera física contra la penetración ;
- los excesos de nutrientes en la raíz son utilizados, reduciendo de este modo los nutrientes disponibles para los patógenos;
- la cobertura sirve de apoyo a una población microbiana protectora de la rizósfera.

Las micorrizas crecen sobre las raíces más jóvenes, ya que en las raíces maduras la corteza a caído. Las raíces finas son los lugares primarios de desarrollo de

las micorrizas ya que son los lugares más activos de absorción de nutrientes. Las micorrizas también mejoran la estructura del suelo uniendo las partículas del suelo en agregados más estables con sus hifas. Las hifas unen las partículas individuales de las arcillas en agregados, posibilitando de este modo que más oxígeno llegue a la zona radical. Esto promueve la rápida multiplicación de bacterias aeróbicas benéficas que pueden fijar nitrógeno, solubilizar fósforo y procesar otros elementos en formas utilizables para las plantas. Como los hongos son también organismos aeróbicos, estos convierten la arcilla del suelo en una estructura granular, lo que mejora su propio abastecimiento de oxígeno. Las hifas de los hongos también unen la arena, la cual mejora la capacidad de retención de agua del entorno para las raíces de las plantas y las bacterias.

Al parecer, los hongos no sólo buscan los nutrientes en el suelo, sino que pueden formar una red subterránea de uniones de hifas para transportar los nutrientes desde los árboles más viejos, hasta las plántulas jóvenes. Similarmente, en zonas áridas los hongos conducen la insuficiente agua desde las cavidades húmedas en el suelo hasta las plantas.

La mayoría de los árboles y cultivos agrícolas, dependen de los hongos micorrizas y de los beneficios que ellos producen. Sin embargo, algunas plantas no forman asociaciones de micorrizas, tales como el lupino y algunos miembros de la familia Crucíferas (mostaza, rábano de aceite y brócoli) (Ingham, 2000). El Cuadro 21 da una visión de las relaciones entre los hongos MVA y algunas especies de plantas.

Cuadro 21 Relaciones entre algunas plantas y los hongos MVA

Alta dependencia	Baja dependencia	No hospederos
Frijoles, chicharos y otras leguminosas	Trigo y otros cereales	Canela, mostaza y otras crucíferas
Lino		Lupino
Girasol		
Maíz y otros cereales de verano		
Patatas y otros cultivos de raíces		
Mayoría de plantas y árboles tropicales		

PROTOZOARIOS

Los protozoarios son organismos unicelulares, altamente móviles, varias veces mayores que las bacterias (5-100 µm en diámetro). Ellos son predadores y se alimentan de bacterias, otros protozoarios y algunas veces de hongos, aunque ellos pueden también ingerir materia orgánica soluble. Como los protozoarios requieren de 5 a 10 veces menos nitrógeno que las bacterias, entonces cuando un protozoario come una bacteria se libera nitrógeno. El nitrógeno liberado está así disponible para la absorción por parte de las plantas.

Basados en sus formas, pueden ser distinguidos tres grupos de protozoarios:

- ciliados,
- amebas, y
- flagelados.

Los ciliados son los protozoarios más grandes y los menos numerosos. Ellos se mueven por medio de sus estructuras como pelos (cilia) a lo largo de sus cuerpos. Ellos se alimentan de otros tipos de protozoarios y de bacterias, especialmente bacterias anaeróbicas antes que las mismas aeróbicas y, por lo tanto, su número es realmente alto en suelos compactados.

Las amebas son también más bien grandes y se mueven por medio de pies temporales (los cuales son llamados pseudopodium). Un grupo de amebas se alimenta de hongos, incluyendo hongos causantes de enfermedades, en forma de vampiros que se alimentan de sus víctimas. Después del taladrado de agujeros redondos, a través de las paredes de las células del hongo de la hifa, la ameba succiona las células secas del hongo.

Los flagelados, son los protozoarios más pequeños y se mueven por medio de un movimiento de empuje-estiramiento, generado por uno o dos látigos como rabos (flagelos).

Como los protozoarios se alimentan principalmente de bacterias, ellos son particularmente activos en la rizósfera, donde hay la más alta concentración de bacterias. Ellos necesitan humedad para moverse, de tal forma que el contenido de agua en el suelo determinará el tipo de protozoario que está activo. En general, los protozoarios más pequeños (flagelados y amebas desnudas) dominan en los suelos arcillosos, mientras que los suelos arenosos contienen flagelados, amebas y ciliados más grandes.

Otro rol de los protozoarios es la regulación de la población de bacterias. Mediante la alimentación de las bacterias, se estimula el crecimiento de la población bacterial y, por lo tanto, la razón de la descomposición de la materia orgánica en el suelo. Además de esto, los protozoarios son una importante fuente de alimentación para otros organismos del suelo.

NEMÁTODOS

Los nemátodos son diminutos, como una lombriz redonda, animales multicelulares, los cuales viven en el laberinto de los poros en el suelo. Ellos se mueven en las películas de agua que se adhieren a las partículas del suelo. Los más grandes, que son apenas visibles a la vista, son de 50 micrones (µm) de diámetro y de 1 mm de longitud. Ellos juegan un rol importante en la mayoría de los procesos del suelo, desde la descomposición hasta la patología de la planta. Aunque ellos son considerados generalmente como plagas en la agricultura, la mayoría de las especies de nemátodos son beneficiosos, pero muy poco se conoce acerca de ellos. Los nemátodos beneficiosos comen bacterias, hongos y otros nemátodos. Las pocas especies que provocan enfermedades a la planta han recibido la mayor atención.

Basado en su fuente de alimentación, los nemátodos pueden ser divididos en cinco grupos:

- comedores de bacterias,
- comedores de hongos,
- comedores de depredadores,
- omnívoros, y
- comedores de raíces.

Los nemátodos depredadores comen todos los tipos de nemátodos y protozoarios. Los más pequeños son tragados de manera completa, y los más grandes son heridos hasta que las partes internas del cuerpo puedan ser extraídas.

Los omnívoros consisten en un grupo de especies de nemátodos que pueden tener una dieta diferente en cada etapa de su vida (Ingham, 2000).

Los nemátodos comedores de raíces, no viven libremente en el suelo, pero están adosados a las raíces de las plantas. Este es probablemente el grupo más conocido debido a que ellos causan las enfermedades de las raíces en las plantas. Los principales nemátodos parásitos de plantas, incluyen los nemátodos de raíz-nudo, los nemátodos de quiste, los nemátodos de aguijón y los nemátodos de raíz lesionada o de pradera (Yepsen, 1984).

Cuando los nemátodos comedores de bacterias, comedores de hongos y depredadores, están presentes en cantidades normalmente saludables, los nemátodos comedores de raíces tienen dificultad en el tiempo para establecerse por si solos y son escasamente encontrados.

Además de la liberación de los nutrientes de las plantas, los nemátodos ayudan a distribuir las bacterias y hongos a través del suelo y a lo largo de las raíces, mediante los micro- organismos latentes que viven en sus superficies y en su sistema digestivo. Los nemátodos son comidos por otros predadores, tales como los nemátodos depredadores, los micro- artrópodos e insectos. Algunos hongos también atrapan a los nemátodos.

Al igual que los otros organismos, los nemátodos están concentrados cerca de sus fuentes de alimento. Esto significa que los comedores de bacterias están concentrados en la zona de las raíces, donde existe la más alta concentración de bacterias. Los comedores de hongos existen cerca de la biomasa de hongos; los comedores de raíces se concentran cerca de las plantas en condiciones acentuadas y los nemátodos depredadores son más propensos a ser abundantes en suelos con gran cantidad de nemátodos y protozoarios.

LOMBRICES DE TIERRA

En todo el mundo hay 3,670 especies descritas de lombrices de tierra (Fragoso y otros 1999), aunque el número se prevé sea el doble, que varían en longitud desde 5 cm hasta 90 cm (Edwards, 2000). Mediante sus actividades, las lombrices de tierra ingieren suelo y mezclan material de plantas dentro del suelo. Pasando el suelo a través de sus cuerpos, las lombrices de tierra digieren los hongos, los protozoarios, los nemátodos y los microartrópodos. Además de esto, el material orgánico es fragmentado y mezclado con el mucus o secreción producido en sus intestinos e inoculado con microorganismos. La actividad de los micro- organismos es favorecida por el efecto desencadenante de esta mezcla y un mayor número de ellos es encontrado en las heces fecales y rastros de las lombrices, comparado con la materia orgánica antes de su consumo. Estos microorganismos continúan su actividad en rastros frescos y aportan otros microorganismos con alimentos y, por lo tanto, facilitan el reciclaje de los nutrientes.

De acuerdo con Bouché (1972) se pueden distinguir tres grupos de lombrices de tierra, basados en sus actividades de alimentación y de excavación de madrigueras: lombrices epigeas, lombrices endogeas y lombrices anémicas.

Lámina 113
El gorgojo blanco, una de las plagas más temidas de los cultivos, se convierte en amigo del agricultor, cuando se usa una estrategia de manejo más ecológica.
C. Pruett

Las lombrices epigeas viven en las capas superficiales del suelo y se alimentan de residuos vegetales sin descomponer. Estas lombrices son usualmente pequeñas y se reproducen rápidamente. Ellas están bien adaptadas a los cambios en la humedad y los regimenes de temperatura que tienen lugar en la superficie del suelo.

Las especies endogeas se alimentan debajo de la superficie del suelo en galerías horizontales interconectadas. Estas especies ingieren grandes cantidades de suelo, con una preferencia de suelos ricos en materia orgánica. Las endogeas pueden tener un mayor impacto en la descomposición de raíces de plantas muertas, pero no es importante en la incorporación de la capa superficial vegetal. Sus galerías no son permanentes, pero son llenadas constantemente con material de residuos de lombrices. Hay tres subgrupos de lombrices endogeas clasificados por la calidad de la materia orgánica ingerida (Lavelle y otros. 1981): oligo- , meso- y polihúmicas endogeas para baja, media y alta calidad de la materia orgánica, respectivamente.

Las lombrices anécicas construyen galerías verticales permanentes y profundas (a veces algunos metros). Este tipo de lombrices sube a la superficie para alimentarse de estiércol, hojas secas y otros materiales orgánicos; en algunos casos estas lombrices de tierra ingieren los rastros de otra lombriz de tierra superficial (Mariani y otros. 2001). Tienen un profundo efecto sobre la descomposición de la materia orgánica y sobre la formación del suelo.

ARTRÓPODOS

Los artrópodos son organismos que tienen juntas (artro) las patas (podos). Ellos incluyen no sólo los insectos (escarabajos, hormigas y termitas), sino también los arácnidos (arañas y acáridos), los crustáceos (cochinilla de tierra), los ciempiés y milpiés y los escorpiones. Todos ellos tienen varias funciones en el ecosistema del suelo. Basados en sus funciones y hábitos alimenticios, ellos pueden dividirse en trituradores, depredadores, herbívoros y comedores de hongos.

Los predadores pueden ser generalistas, que se alimentan de muchos organismos diferentes, o especialistas, que capturan sólo unas simples especies (Evans, 1984). Ellos incluyen hormigas, ciertos acáridos, arenas, ciempiés, escarabajos y escorpiones. Muchos depredadores comen plagas de cultivos y algunos son usados como agentes de control biológico, tales como la avispa parásito.

Los herbívoros del suelo son usualmente insectos que pasan parte de su vida en el suelo y se alimentan con raíces. Algunos herbívoros atacan otras partes de la planta cuando ellos aparecen en grandes cantidades y la población no es controlada por otros organismos. Ellos incluyen las cigarras o chicharras, los grillos, la lombriz de raíz y las larvas de algunos escarabajos (como el gorgojo blanco).

Los comedores de hongos y algunos acáridos y las lepismas, roen y consumen hongos hasta una bacteria de diminuta extensión, fuera de las superficies de las raíces. Esto estimula el crecimiento de estas bacterias y hongos, y por ende es favorecida la razón de descomposición de la materia orgánica.

Mediante la reducción en dimensiones de la materia orgánica, los artrópodos hacen más fácil que las bacterias y hongos encuentren el alimento que ellos apetecen en las nuevas superficies. Los artrópodos pueden aumentar la razón de descomposición de 2 hasta 100 veces, aunque si las bacterias y hongos son escasos, la razón de descomposición no se incrementara. En muchos casos, sin embargo, los artrópodos llevan consigo inoculantes de bacterias y hongos, para asegurar que sus tipos preferidos de presas sean inoculadas en las superficies recientemente expuestas. Los artrópodos entonces se alimentan de las bacterias y los hongos, y dado que la razón C/N de los artrópodos es 100 veces superior que la de las bacterias y los hongos, liberan nitrógeno que queda a disposición de las plantas para su crecimiento.

Algunos estudios ecológicos sugieren que en el entorno tropical, las termitas juegan un papel similar al que realizan las lombrices de tierra en las regiones templadas. Las termitas de importancia para la agricultura viven en el suelo y construyen lomas y túneles subterráneos. Algunas especies se alimentan de hojas, semillas o raíces, pero la mayoría de las especies consumen materia orgánica. Ellas se alimentan de celulosa y aceleran la descomposición de la materia orgánica y la formación de humus y, por lo tanto, juega un papel importante en el reciclaje de los nutrientes.
La apertura de los canales en el suelo, el enterramiento de la materia

orgánica y la concentración de los nutrientes y de la materia orgánica en el cúmulo de termitas, la cual es varias veces superior que en el suelo circundante (Cuadro 22), hacen de ellas que sean muy útiles para la agricultura.

Cuadro22 Contenido de nutrientes de los cúmulos de termitas (*Cornitermes cumulans*) comparado con el suelo circundante (Gassen, 1999)

ELEMENTO	SUELO	AFUERA DEL CÚMULO	CENTRO DEL CÚMULO
Potasio (ppm)	62	180	>200
Fósforo (ppm)	0.5	2.5	10.3
Calcio (me)	0.6	4.6	12.1
Materia orgánica (%)	4.4	6.8	>9.4

Los insectos, tales como la especie *Bothynus,* cavan canales hasta de 40 – 100 cm. Durante el verano y el otoño, las larvas de este insecto transportan y recolectan residuos dentro de los canales, los cuales son consumidos posteriormente. Estas especies no se alimentan de partes de plantas, inclusive cuando no hay residuos dejados en el suelo. Como con las lombrices de tierra, los excrementos son dejados en amplios espacios en el extremo de los canales y, consecuentemente, estas áreas tienen alto contenido de nutrientes y materia orgánica y un pH más alto que el suelo circundante (Cuadro 23).

Cuadro 23: Contenido de nutrientes y acidez de las cámaras de la especie *Bothynus* comparado con el suelo circundante (Gassen, 1999).

PROFUNDIDAD DEL SUELO (CM)	MATERIA ORGÁNICA (%)	PH	AL (ME/KG)	CA (ME/KG)	MG (ME/KG)	P (PPM)	K (PPM)
0- 5	5.8	5.1	1.8	57	22	8.9	>200
5-10	3.8	5.2	1.7	55	20	8.5	164
10-15	3.3	4.9	4.9	22	12	1.4	162
15-20	2.7	4.8	5.1	12	07	1.2	104
20-25	2.4	4.8	4.8	10	07	0.7	84
25-30	2.2	4.8	4.3	10	06	0.5	66
Cámaras de Bothynus	>9.4	5.3	1.7	93	37	7.6	>200

Además de la influencia positiva del reciclaje de nutrientes, el comportamiento alimenticio de los artrópodos es importante para la formación de los agregados del suelo. En la mayoría de los suelos, cada partícula en la parte superior del suelo, ha pasado a través de los intestinos de la numerosa fauna del suelo, donde es mezclada con sustancias orgánicas. Los agregados del suelo de 2.5 Mm a 2.5 mm generalmente son gránulos fecales de la fauna del suelo.

La abundancia y diversidad de la fauna del suelo disminuye con la profundidad y como regla general, el tamaño de los artrópodos también disminuye con la profundidad. Los organismos más grandes son activos sobre la superficie del suelo en la capa de rastrojo. Los organismos que residen en las capas de suelo mas profundas, a menudo carecen de pigmentación y de vista, y su tamaño les permite escurrirse a través de los microporos del suelo.

RAÍCES DE PLANTAS Y ALGAS

Las raíces de la planta y algas representan la flora en el suelo. Las plantas y las algas son los productores primarios (a través del proceso de fotosíntesis con la energía del sol; ellos convierten el CO_2 tomado del aire y el H_2O del aire y el suelo, en carbohidratos que están disponibles para otros organismos).

Las raíces están influidas por el suelo en el cual ellas viven. Cuando el suelo está compacto o tiene bajo contenido de nutrientes o agua limitada, u otros problemas, las plantas no crecerán bien. Además, las plantas, también influyen en el suelo en que ellas crecen. La presión física de las raíces creciendo a través del suelo, ayuda a formar agregados, atrayendo a las partículas más cercanas en conjunto. Cuando el material vegetativo es devuelto hacia el suelo, él se convertirá en la fuente primaria de alimento para las bacterias y los hongos.

Las raíces de la planta, además, crean un ecosistema distinto que pueden influir profundamente en el crecimiento de la planta. Este ecosistema a menudo olvidado, es la rizósfera, la cual es la parte más externa de la raíz y su área circundante inmediata (Lynch, 1988).

Un gran número de microorganismos, principalmente bacterias y protozoarios, están concentrados alrededor de las superficies de las raíces de la planta. Ellos son atraídos hacia la superficie de las raíces debido a los compuestos de carbono segregados por las raíces vivas, los cuales son fuente vital de alimento y energía para las bacterias. Estos compuestos son llamados exudados o secreciones radicales, y pueden ser diferenciados en tres grupos (Jackson, 1993):

Lámina 114
Las raíces de las plantas exploran el suelo en busca de nutrientes. Las raíces de diferentes especies de plantas, usan diferentes capas del suelo para extraer sus nutrientes, y entonces crear distintos ecosistemas a diferentes profundidades del suelo.
J. Clapperton

- Mucigel: un material gelatinoso, mezcla de polisacáridos, proteínas, lípidos, vitaminas, hormonas de las plantas, que rodean especialmente el extremo de las raíces.
- Una variedad de ácidos orgánicos, amino ácidos y azúcares simples, excretados por los pelos o raicillas de las raíces.
- Sustancias celulares orgánicas producidas por la senectud o envejecimiento de la epidermis radical.

Los microorganismos que habitan en la zona de la rizósfera, son una mezcla de organismos benéficos, neutros y dañinos, si bien la mayoría son benéficos. Los microbios en la rizósfera extraen nutrientes y energía de la raíz y sus productos. En cambio, los microorganismos liberan nutrientes de plantas para la absorción directa por las raíces, y algunos de los productos de desechos de los microorganismos son reguladores del crecimiento de las plantas. El conjunto de compuestos alrededor de las raíces es grande y variado: la mezcla depende de la especie vegetal, su edad y condiciones del entorno. El reciclaje del carbono en el ecosistema, depende grandemente de esta deposición de los compuestos. El proceso es fuertemente influido por los factores ambientales.

CÓMO LA MATERIA ORGÁNICA FORMA LA ESTRUCTURA DEL SUELO

Cuando los residuos vegetales son incorporados al suelo, varios compuestos orgánicos experimentan descomposición. La descomposición es un proceso biológico donde el colapso físico y la transformación bioquímica

de las moléculas de los complejos orgánicos de un material muerto, se convierten en moléculas simples e inorgánicas (Juma, 1998).

Los residuos de los cultivos contienen principalmente compuestos de carbono complejo, que se originan de paredes celulares. Estas cadenas de carbono, con cantidades variables de oxígeno adjunto, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y azufre, son las bases para los azúcares simples y los aminoácidos.
La descomposición sucesiva del material muerto y la materia orgánica modificada, resulta en la formación de una materia orgánica más compleja llamada humus. El humus afecta las propiedades del suelo, así como su color que es más oscuro; incrementa la agregación del suelo y la estabilidad de los agregados; incrementa la capacidad de intercambio catiónico; y aporta nitrógeno, fósforo y otros nutrientes en su lenta pudrición.

El humus consiste en sustancias orgánicas complejas, tales como sustancia húmicas (ácidos húmicos y huminas, ácidos fúlvicos) que permanecen en el suelo después de la descomposición de los residuos. El humus también juega un rol importante en la estructura del suelo. Sin humus, los suelos con altos contenidos de limo o arcilla, se compactarían fácilmente cuando son laborados. Los polisacáridos son las sustancias que realmente pegan las partículas juntas del suelo; la materia orgánica del suelo más resistente (ácidos húmicos), mantiene juntos los microagregados mientras que los ácidos fúlvicos ligan los macro-agregados. Los azúcares, los aminoácidos y los fosfolípidos, son las fuentes para el nitrógeno, el fósforo y el azufre, para los micros organismos y el crecimiento de la planta.

La actividad de excavación de las lombrices de tierra, aporta canales para la entrada de aire y el paso del agua, lo cual tiene un importante efecto en la difusión del oxígeno en la zona de raíces y el drenaje. Las lombrices de tierra que habitan en la superficie, crean numerosos canales a lo largo y a lo ancho de la superficie del suelo, cuando los residuos son conservados en la superficie del suelo, lo que incrementa la porosidad por todas partes. Los canales largos verticales creados por las lombrices de tierra que excavan en profundidad, contribuyen a incrementar grandemente la infiltración del agua bajo condiciones de intensas lluvias, o condiciones de suelos saturados de agua. Las lombrices de tierra mejoran la agregación del suelo.

SUSTANCIAS NO-HÚMICAS: SIGNIFICADO Y FUNCIÓN

Las sustancias no-húmicas son moléculas orgánicas directamente liberadas desde células de residuos frescos, tales como proteínas, aminoácidos, azúcares y almidones. Son también consideradas parte de la materia orgánica.

Hay muchos tipos diferentes de moléculas orgánicas en el suelo. Algunas son simples moléculas que provienen directamente de plantas u otros organismos vivientes. Estos productos químicos relativamente simples, como los azúcares, los aminoácidos y la celulosa, son fácilmente consumidos por muchos organismos. Por esta razón, ellos no permanecen en el suelo por largo tiempo. Otros productos químicos, tales como las resinas y ceras, también provienen de las plantas pero son más difíciles de descomponer por los organismos del suelo.

La parte activa de la materia orgánica del suelo, la fracción de fácil descomposición, es el suministro principal de alimentos para varios organismos vivos. Está fuertemente influida por las condiciones climáticas, el estado de humedad del suelo, la etapa de crecimiento de la vegetación, la adición de residuos orgánicos y las prácticas culturales, como la labranza.

Los carbohidratos, como azúcares simples, celulosa y hemicelulosa, etc., constituyen del 5 al 25 por ciento de la materia orgánica en suelos húmedos. Los carbohidratos se presentan en el suelo en tres formas principales: azúcares libres en la solución del suelo, polisacáridos complejos y moléculas poliméricas de varios tamaños y formas, que están fuertemente unidas a los coloides de arcillas o sustancias húmicas.

Como hay muchos microorganismos que lo utilizan, estos compuestos generalmente no perduran largo tiempo en el suelo. Los microorganismos a su vez, sintetizan la mayoría de los polisacáridos del suelo (unidades repetidas de moléculas tipo-azúcares conectadas en largas cadenas), como ellos descomponen los residuos frescos.

Los Polisacáridos promueven mejor estructura del suelo a través de su habilidad de aglutinar partículas del suelo orgánicas en agregados estables. Las moléculas más complejas de polisacáridos son más importantes en la promoción de la estabilidad de agregados e infiltración del agua, que las moléculas simples. Algunos azúcares pueden estimular la germinación de las semillas y la elongación de las raíces. Las propiedades del suelo que son afectadas por los polisacáridos, incluyen la capacidad de intercambio catiónico, la retención de aniones y la actividad biológica.

Los lípidos constituyen un grupo muy diverso de materiales. De éstos, las grasas, las ceras y las resinas, constituyen entre el dos al seis por ciento de la materia orgánica. La importancia de los lípidos obedece a la propiedad de algunos compuestos de actuar como hormonas de crecimiento. Otros pueden tener un efecto depresivo en el crecimiento de las plantas.

El nitrógeno del suelo surge principalmente (>90%) en formas orgánicas como los **aminoácidos**, los ácidos nucleicos y los amino azúcares. Pequeñas cantidades existen en la forma de aminas, vitaminas, pesticidas y sus productos de degradación, etc. El resto está presente como NH_4^+ y es contenido por los minerales arcillosos.

COMPONENTES Y FUNCIÓN DEL HUMUS

El humus o materia orgánica humificada, es la parte remanente de la materia orgánica que ha sido usada y transformada por diferentes organismos del suelo. El humus es un componente relativamente estable, formado por sustancias húmicas, incluyendo ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, ácidos himatomelánicos y huminas. Es probablemente, el material que contiene carbono orgánico más ampliamente distribuido en los ambientes terrestres y acuáticos. El humus no puede ser fácilmente descompuesto debido a sus interacciones con los minerales del suelo y, además, es químicamente demasiado complejo para ser usado por otros organismos.

Una de las características más espectaculares de las sustancias húmicas, es su habilidad para interactuar con iones metálicos, óxidos, hidróxidos, minerales y sustancias orgánicas, incluyendo agentes contaminantes, para formar complejos solubles e insolubles en agua. Mediante la formación de estos complejos, las sustancias húmicas pueden:

- disolver, movilizar y transportar metales y sustancias orgánicas en los suelos y las aguas, es decir, la disponibilidad de nutrientes, especialmente aquellos presentes en las micro-concentraciones solamente, o
- acumular en ciertos horizontes del suelo, una reducción de la toxicidad, por ejemplo, del aluminio en los suelos ácidos, o la captura de los contaminantes de herbicidas, tales como la Atrazina o pesticidas, tales como el Tefluthrin – en las cavidades de las sustancia húmicas.

Cerca del 35 al 55 por ciento de la parte no viviente de la materia orgánica, es humus. El humus es un amortiguador importante, reduciendo las fluctuaciones en los suelos ácidos, y en disponibilidad de nutrientes. Comparadas con simples moléculas orgánicas, las sustancias húmicas son grandes, con altos pesos moleculares y muy complejas. Las características de la parte bien descompuesta de materia orgánica, el humus, son muy diferentes de aquellas que poseen las moléculas orgánicas simples. Mientras que se sabe mucho acerca de su composición química, la importancia relativa de los

variados tipos de materiales húmicos en el crecimiento de las plantas, no está aún bien establecida.

El humus está constituido de diferentes sustancias húmicas:

- Ácidos fúlvicos: es la fracción del humus que es soluble en el agua bajo todas las condiciones de pH. Su color es normalmente amarillo claro o amarillo oscuro.
- Ácidos húmicos: es la fracción del humus que es soluble en el agua, excepto para condiciones de acidez mayores de pH 2. El color normal es marrón oscuro o negro.

El término *ácido* es usado para describir los materiales húmicos debido a que el humus se comporta como un ácido débil.

- Huminas: es la fracción del humus que no es soluble en el agua a ningún pH y que no puede ser extraída con una base fuerte, tal como el hidróxido de sodio (NaOH). Comúnmente es de color negro.

Las sustancias húmicas y fúlvicas incrementan el crecimiento de la planta directamente a través de los efectos fisiológicos y nutricionales. Algunas de estas sustancias funcionan como hormonas naturales de la planta (auxinas y giberalinas) y son capaces de mejorar la germinación de las semillas, la iniciación de las raíces, la asimilación de los nutrientes de la planta y puede servir como fuente de nitrógeno, fósforo y azufre.

Indirectamente, ellas pueden afectar el crecimiento de la planta mediante las modificaciones de las propiedades físicas , químicas y biológicas del suelo, por ejemplo, el incremento de la capacidad de mantener el agua y la capacidad de intercambio catiónico, y un manejo mejorado de suelo (labranza cero) y aireación mediante una buena estructura del suelo.

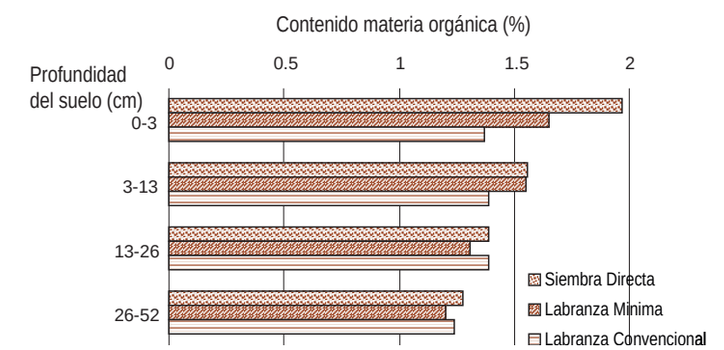
Los ácidos fúlvicos y húmicos son mezclas complejas de grandes moléculas. Los ácidos húmicos son más grandes que los ácidos fúlvicos. Por un largo periodo de tiempo, se pensó que los ácidos fúlvicos eran convertidos en ácidos húmicos, pero hoy en día, esto no parece ser semejante a un proceso. Las diferentes sustancias son solamente diferenciadas unas de otras, sobre la base de su solubilidad en el agua. Los ácidos fúlvicos son producidos en las etapas iniciales de la formación de humus. Las cantidades relativas de ácidos húmicos y fúlvicos en los suelos, varían con el tipo de suelo y las prácticas de su manejo. El humus de los suelos forestales es caracterizado por un alto contenido de ácidos fúlvicos, mientras que el humus de las áreas agrícolas y de pastizales, contienen más ácidos húmicos.

NECESIDAD DE ALIMENTACIÓN CONTÍNUA DE LA BIOTA DEL SUELO

La reducción del disturbio o alteración del suelo y el incremento de la biomasa mediante los cultivos de cobertura, tal como sucede en la agricultura de conservación, conduce a la preservación de los residuos de los cultivos sobre la superficie del suelo, y por lo tanto a un mejoramiento de la salud del suelo.

La mayor producción de follaje en un sistema con cultivos de cobertura y labranza reducida o cero, comparado con los monocultivos de la labranza convencional, proporciona una manta protectora de hojas, tallos y troncos de los cultivos previos sobre la superficie. En esta forma, la materia orgánica puede ser constituida sobre la superficie del suelo, lo cual crea las condiciones favorables para la actividad y el desarrollo de las poblaciones de micro-organismos. La materia orgánica es acumulada en capas principalmente en la parte superior del suelo (Figura 30).

Figura 30
Contenido de materia orgánica de un suelo bajo diferentes regimenes de labranzas (Balota *et al*., 1996a).



Al mismo tiempo, en un área con labranza convencional donde se produce una mezcla homogénea de la materia orgánica y el suelo, hasta una profundidad de 20 cm, y en ausencia de una cobertura, tienen lugar grandes fluctuaciones de temperatura y humedad del suelo (ver Propiedades físicas) y esto a su vez, conlleva a una fluctuación en el desarrollo microbiano como es mostrado en la Figura 28.

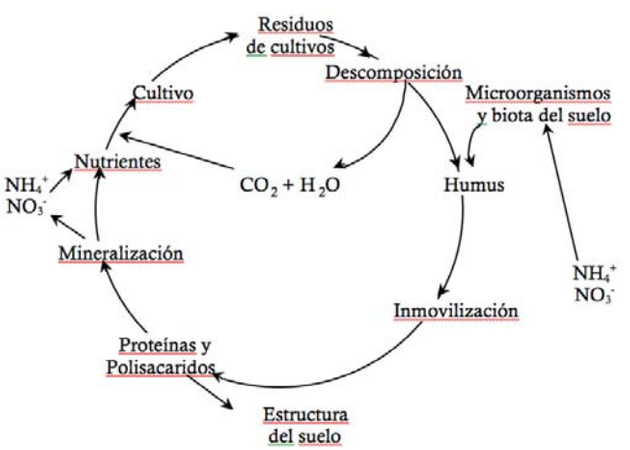
Los microorganismos que descomponen los residuos de los cultivos requieren carbono como su fuente de energía y para crear sus células, pero aún más

importante, grandes cantidades de nitrógeno son necesitadas para el crecimiento y la multiplicación. En residuos con bajos contenidos de nitrógeno (como la paja), la actividad de los microorganismos será reducida debido a la ausencia de nitrógeno, resultando en una baja tasa de descomposición.

Durante los primeros años de la agricultura de conservación, en suelos pobres, el contenido de nitrógeno de los residuos no es suficiente, entonces los microorganismos adicionalmente usan el nitrógeno que es almacenado en el suelo. Este proceso es denominado inmovilización del nitrógeno (Figura 31) y puede llevar a una deficiencia de nitrógeno en los cultivos, lo que resulta en una apariencia clorótica de las hojas.

Es siempre necesario tener en cuenta la razón carbono-nitrógeno (C/N) de los residuos y si es necesario, corregirla con fertilizantes. Una vez que el sistema es estabilizado, y hay suficiente materia orgánica que suministra el nitrógeno para el desarrollo microbiano, no es necesaria una fertilización adicional para corregir este proceso. Durante el proceso de descomposición, el CO_2 es liberado y la razón C/N disminuye; de esta forma, los micro-organismos liberan (mineralizan) nitrógeno como amonio (NH_4) en el suelo. Otros micro-organismos rápidamente convierten el amonio en nitrato (NO_3), el cual está entonces, fácilmente disponible para ser absorbido por las raíces de las plantas. El Cuadro 24 muestra las razones C/N de varios cultivos. Con el objetivo de evitar problemas, la razón C/N debe ser 30 o menor.

Figura 31
Ciclo del Carbono mostrando la absorción y liberación del nitrógeno por los microorganismos.



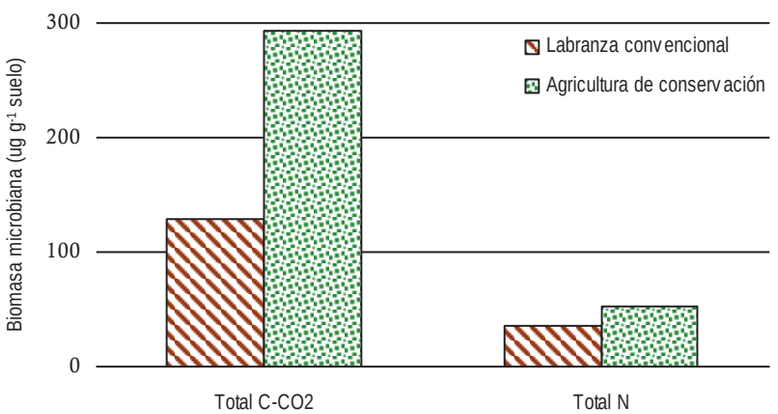
Cuadro 24 Relaciones carbono-nitrógeno de diferentes residuos de cultivos.

Residuos de cultivo	Razón C/N
Leguminosas y pastos	10-20
Residuos vegetales sin leguminosas	10-15
Paja (residuo de cultivo de trigo o arroz después de la cosecha)	60-150
Hojas (cuando caen)	20-60

Lámina 115
Los cultivos de cobertura y los residuos de cultivos proveerán continuamente con suficiente energía a la biota del suelo.
R. Derpsch

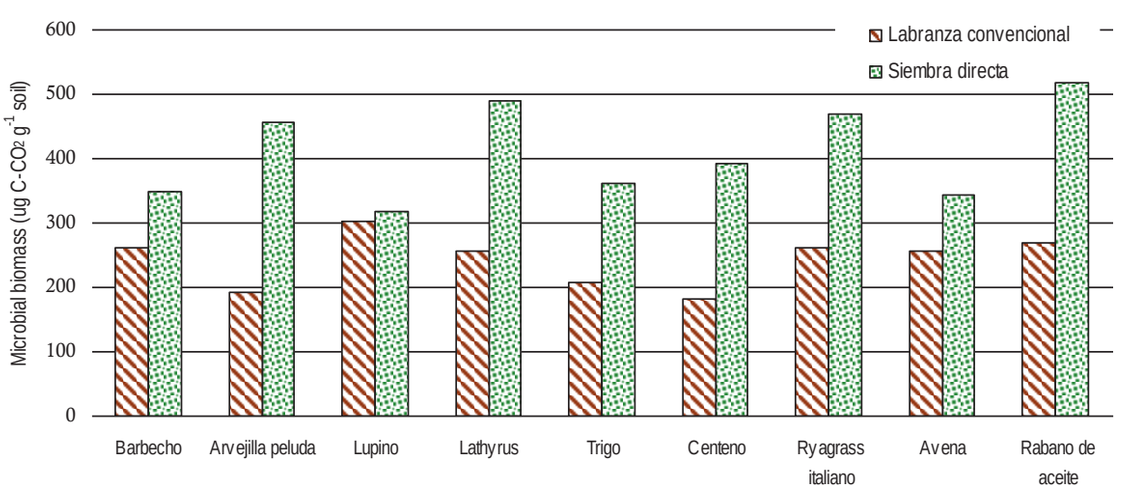
Mientras más alta sea la producción de abono verde o biomasa vegetal, mayor será la población de microbios del suelo. Los sistemas de producción agrícola, en los cuales los residuos son dejados sobre la superficie, como en la agricultura de conservación, y mediante el uso de cultivos de cobertura, consecuentemente estimulan el desarrollo y la actividad de los microorganismos. La biomasa microbiana es mayor bajo las condiciones de la agricultura de conservación, independientemente de la temporada. Después de 19 años de experimentación, se ha obtenido un incremento del 129 por ciento de la biomasa microbiana de carbono y un incremento del 48 por ciento de la biomasa microbiana de nitrógeno (Figura 32).

Figura 32
Biomasa microbiana (C y N) bajo labranza convencional y agricultura de conservación (Balota y otros, 1996)



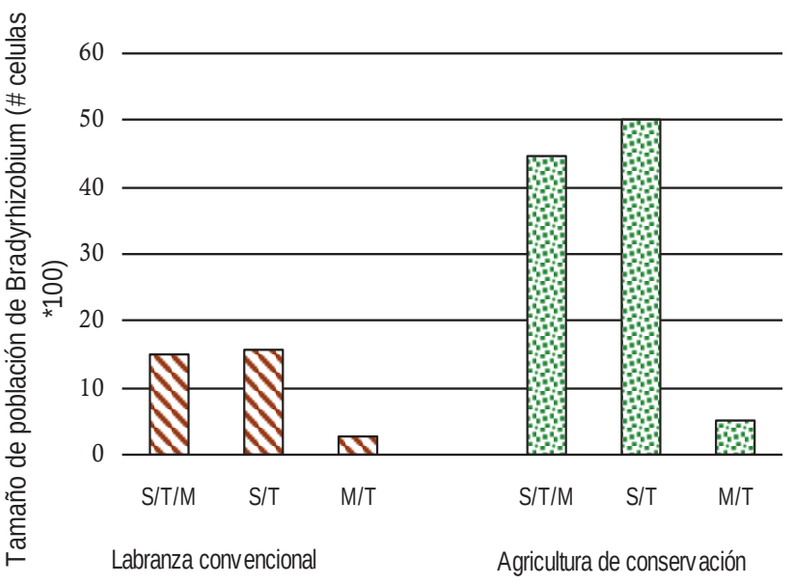
La Figura 33 muestra que aunque, en general, bajo la siembra directa, la masa microbiana es mayor que bajo la labranza convencional, es el tipo de cultivo de cobertura lo que determina las diferencias en la biomasa microbiana. La biomasa microbiana más alta es encontrada cuando el nabo forrajero es sembrado como cultivo de cobertura bajo no labranza. Sin embargo, los más altos incrementos de masa microbiana son encontradas en la arvejilla peluda y el centeno (135 y 115 por ciento respectivamente), comparando la siembra directa y la labranza convencional.

Figura 33
Biomasa microbiana como una función de diferentes cultivos de cobertura en labranza convencional (LC) y siembra directa (SD) (Balota y otros, 1996b)



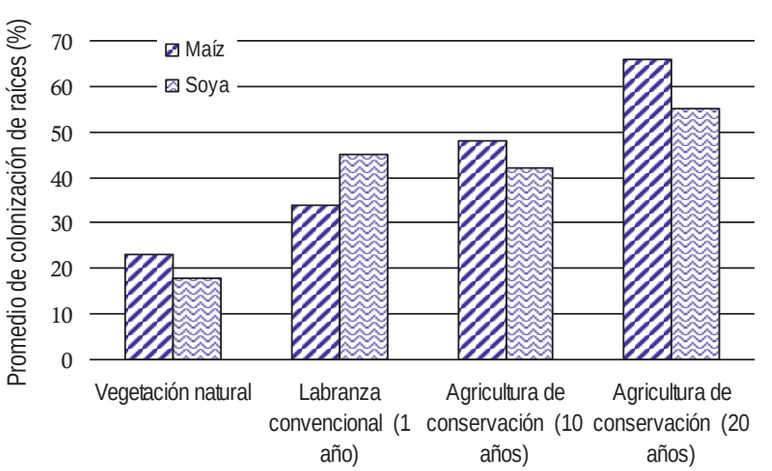
Para los sistemas de cero-labranza en el sur de Brasil, comparados con la labranza convencional, fueron reportadas diferencias de cerca del 50 % en poblaciones de rizobios y biomasa del suelo (Hungria, y otros. 1997). Las evaluaciones han demostrado que algunas rotaciones de cultivos y la labranza cero favorecen la población de *Bradyrhizobia*s, la nodulación y por ende, la fijación del nitrógeno y el rendimiento (Voss y Sidirias, 1985; Hungría, y otros, 1997; Ferreira, y otros, 2000). La Figura 34 señala un 200-300 por ciento de incremento en el tamaño de la población cuando se aplica la cero labranza, comparada con la labranza convencional. La presencia de fríjol de soya en la rotación de cultivo resultó incluso en 5-10 veces más alto el incremento del tamaño de la población.

Figura 34
Tamaño de la población de los nódulos de bacterias de raíces con diferentes rotaciones de cultivo (S=soya; T=trigo; M=maíz) (Voss y Sidirias, 1985).



Las raíces de la mayoría de las plantas están infestadas con hongos micorrizas, que forman una red de micelios o hilos en las raíces y se extienden en la superficie que rodea a las raíces. La infestación de las raíces de los cultivos con hongos micorrizas, es incrementada con la agricultura de conservación como se muestra en la Figura 35 (Venzke Filho, y otros, 1999).

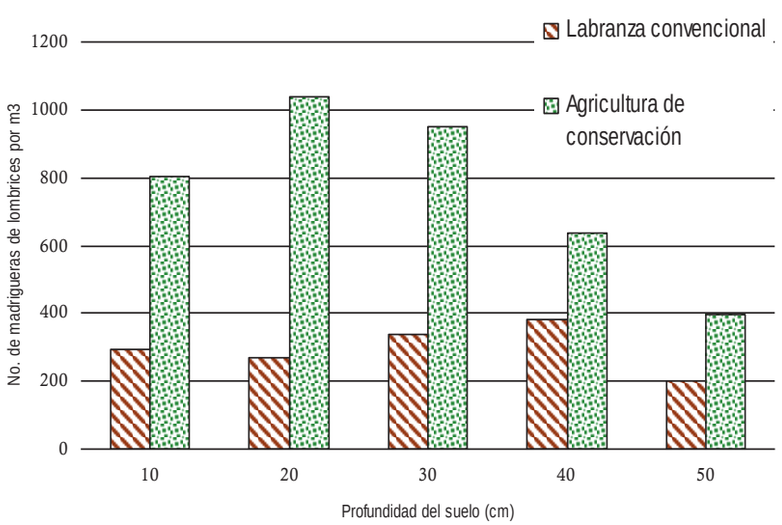
Figura 35
Infestación de raíces de cultivos con hongos micorrizas (Venzke Filho, y otros, 1999).



Con el tiempo la infestación con hongos micorrizas incrementa, resultando en un 287 por ciento de aumento después de 20 años de agricultura de conservación en el maíz, y en un 305 por ciento en soya, comparado con la infestación bajo vegetación natural. Las raíces finas son los sitios iniciales de desarrollo de las micorrizas ya que éstos son los sitios más activos para la absorción de nutrientes. Esto explica en parte, el incremento bajo la agricultura de conservación: las condiciones de enraizamiento son muchos mejores que bajo la labranza convencional, lo cual a su vez crea condiciones ideales para la colonización de micorrizas. Otros factores que pueden afectar positivamente el desarrollo de las micorrizas son el incremento del carbono orgánico, la ausencia de mezclas del suelo y de los cultivos en rotación y las especies de cultivos de cobertura/abonos verdes.

Mediante la implementación de la agricultura de conservación, las poblaciones de lombrices de tierra serán incrementadas (Figura 36). Las lombrices de tierra, como otros organismos habitantes del suelo, rara vez suben a la superficie del suelo, excepto ciertas categorías ecológicas (solo lombrices epigeas y anécicas), debido a sus características físicas: fotofobia-temor a la luz, cuerpo sin pigmentación (en el caso de las lombrices endógenas), pero resistente a los períodos de inmersión durante las lluvias y resistente al dióxido de carbono.

FIGURA 36
Número de madrigueras de lombrices (diámetro ³1.5 mm) en suelos arcillosos bajo la agricultura de conservación y la labranza convencional (Pauletti, 1999).



Tanck y Santos (1995) observaron una población de lombrices de tierra de 112 individuos por m^2 bajo la agricultura de conservación, comparado con escasamente 2 observadas en la labranza convencional.

Los residuos en la superficie obligan a las lombrices a ir a la superficie con el objetivo de incorporar los residuos en el suelo. Una de las consecuencias de una población de lombrices incrementada, es la formación de canales y poros. La actividad de excavación de las lombrices produce canales para el aire y el agua, lo cual conlleva a un importante efecto en la difusión del oxígeno en la zona de las raíces, y al drenaje del agua del suelo. Adicionalmente, los nutrientes y las enmiendas pueden ser distribuidas fácilmente y el sistema de raíces puede desarrollarse, especialmente en subsuelos ácidos, en los rastros de lombrices existentes.

Las madrigueras es un indicador de fácil uso durante el monitoreo de los campos.

CONCLUSIONES

Los organismos del suelo de todas las formas y tamaños, desde los microbios hasta la macrofauna son de gran importancia para la salud de las plantas y la nutrición, ya que ellos interactúan directamente en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes (Figura 31). Ellos influyen en la humedad y disponibilidad de nutrientes y la movilidad en el perfil del suelo.

Ciertas especies pueden, además, convertirse en plagas y patógenos debido a un desbalance de la población y resultan en una pérdida de las interacciones criticas en la red alimentaria del suelo. Los microorganismos son los responsables de la mineralización y la inmovilización del nitrógeno, el fósforo y el azufre, entre otros, a través de la descomposición de la materia orgánica, y contribuyen a la gradual y continua liberación de los nutrientes de las plantas. Por lo tanto, las prácticas agronómicas que influyen en el reciclaje de nutrientes, especialmente en la mineralización y la inmovilización, contribuyen a un inmediato incremento o pérdida de la productividad, lo cual es reflejado en la rentabilidad del sistema agrícola.

La aplicación de los principios de la agricultura de conservación, mejorará el hábitat e incrementara la población de los organismos del suelo, lo cual a su vez resultará en:

- la incorporación reducción de los residuos,
- el incremento en la actividad microbiana y por lo tanto el reciclaje de nutrientes,
- la mezcla y el pegado de las partículas del suelo,

- la fijación del nitrógeno desde la atmósfera,
- el secuestro del carbono (almacenaje como C del suelo),
- la movilización de los nutrientes en el perfil, y
- la creación de madrigueras, las cuales mejoran la porosidad, la infiltración del agua y la capacidad de retención del agua.

Por otro lado, cuando un ecosistema de suelo no está bien manejado, las especies tienden a desaparecer, lo que resultará en una reducción de los efectos anteriores y a una dominación de ciertas especies con consecuencias negativas. El Cuadro 25 ilustra la reducción en la mineralización del nitrógeno, cuando un cierto grupo de especies desaparece del sistema.

Cuadro 25. Reducción en la mineralización del nitrógeno si un grupo está ausente (Clapperton, 2003)

Amebas		32.4
Flagelados		1.9
Nemátodos Bactívoros		17.3
Nemátodos Honguivoros	1.2	
Ácaros Oribatido		0.01
No Oribatidos		0.03
Ácaros Bactívoros		0.003
Honguívoros Collembola	0.8	
Enquitraeidos		3.2
Nemátodos Predadores		19.1
Ácaros Predadores		0.3
Ácaros Nematophagous	0.2	
Collembola Predadora	0.	

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amado, T.J.C., S.B. Fernández and J. Mielniczuk. 1998. Nitrogen availability as affected by ten years of cover crop and tillage systems in southern Brazil. Journal of soil and water conservation 53(3): 268-271.

Balota, E.L. 1996. Alterações microbiológicas em solo cultivado sob plantio direto. In: Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável. Palestras do I Congresso Brasieleiro de Plantio Direto para uma Agricultura Sustentável. Ponta Grossa, 1996. Eds. R. Trippia dos Guimarães Peixoto, D.C. Ahrens e M.J. Samaha. 275 pp.

Balota, E.L., D.S. Andrade and A. Colozzi Filho. 1996a. Avaliações microbiológicas em sistemas de preparo do solo e sucessão de culturas. In: I Congresso Brasileiro de Plantio Direto para uma Agricultura Sustentável. Ponta Grossa, 1996. Resumos expandidos p9-11.

Balota, E.L., M. Kanashiro and A. Calegari. 1996b. Adubos verdes de inverno na cultura do milho e a microbiologia do solo. In: I Congresso Brasileiro de Plantio Direto para uma Agricultura Sustentável. Ponta Grossa, 1996. Resumos expandidos p12-14.

Bunch, R. ... Nutrient quantity or nutrient access? A new understanding of how to maintain soil fertility in the tropics.

Burle, M.L., J. Mielniczuk and S. Focchi. 1997. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. Plant and Soil 190: 309-317.

Castro Filho, C., O. Muzilli and A.L. Podanoschi. 1998. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22: 527-538.

Clapperton, M.J. 2003. Increasing soil biodiversity through Conservation Agriculture – Managing the soil as a habitat. Proceedings II Congresso Mundial sobre Agricultura Conservacionista. p.136-145.

Crovetto, C. 1997. La cero labranza y la nutrición del suelo. In: Agricultura Sustentable de Alta Producción, ya! 5o Congreso Nacional de AAPRESID, Mar del Plata, Argentina: p73-78.

Cruz, J.C. 1982. Efecto de la rotación de cultivos y de los sistemas de laboreo sobre algunas propiedades del suelo; distribución radicular y rendimiento. Tesis doctoral. Universidad Purdue. Cited by Monsanto, 2001.

Derpsch, R. 1993. Sistema de Plantio Direto em Residuos de Adubos Verdes em Pequenas Propriedades no Paraguai - Desenvolvimento e Difusão. In: I Encontro Latino Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade. Ponta Grossa. Anais: p375-386.

Edwards, C.A and J.R Lofty. 1977. Biology of earthworms. Chapman and Hall. 333 p.

Edwards, C.A. 2000. Earthworms. . Chapter 8 in: Soil Biology Primer. Soil and Water Conservation Society. Rev. Edition. Ankeny Iowa.

Evans, H.E. 1984. Insect biology. A textbook of entomology. Addison_Wesley Publishing Company Inc. 436 p.
Ferreira, M.C., D.S. Andrade, L.M.O. Chueire, M. Takemura, and M. Hungria. 2000. Tillage method and crop rotation effects on the population sizes and diversity of bradyrhizobia nodulating soybean. Soil Biology and Biochemistry 32:627-637.

Gassen, D.N. 1999. Os insetos e a fertilidade de solos. P. 70-89 in: Fertilidade do Solo em Plantio Direto. Resumos de Palestras do III Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto. Passo Fundo.

Gassen, D.N. and F.R. Gassen. 1996. Plantio direto. O caminho do futuro. Aldeia Sul, Passo Fundo. 207pp.

Gassen, D.N. and F.R. Gassen. 1996. Plantio direto. O caminho do futuro. Aldeia Sul, Passo Fundo. 207pp.

Haynes, R.J. 1983. Soil acidification induced by leguminous crops. Grass For. Sci. 42: 217-221.

Hungria, M., D.S. Andrade, E.L.,Balota and A. Collozzi-Filho. 1997. Importância do sistema de semeadura directa na populaçâo

microbiana do solo. EMBRAPA-CNPSo, Londrina, Brazil. Comunicado Técnico 56. 9p.

Ingham, E.R. 2000. The soil food web. Chapters 1-6 in: Soil Biology Primer. Soil and Water Conservation Society. Rev. Edition. Ankeny Iowa.

Jackson, W.R. 1993. Humic, fulvic and microbial balance: organic soil conditioning. Jackson Research Center. 946 p.

Juma, N.G. 1998. The pedoshere and its dynamics: a systems approach to soil science. Volume 1. Quality Color Press Inc. Edmonton, Canadá. 315pp.

Kochhann, R.A. 1996. Alteraçãos das Características Físicas, Químicas e Biológicas do Solo sob Sistema Plantio Direto. In: I Conferência Annual de Plantio Direto. Resumos de Palestras da I Conferência Annual de Plantio Direto. Passo Fundo - RS.

Linderman, R. G. 1994. General summary. P. 1-26 in: Mycorrhizae and Plant Health. F.L. Pfleger and R.G. Linderman (Eds.), APS Press, St. Paul.

Lynch, J.M. 1988. Microbes are rooting for better crops. New Scientist (April): 45-49.

Mielniczuk, J. 1996. A sustentabilidade agrícola e o plantio direto. In: Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável. Palestras do I Congresso Brasieleiro de Plantio Direto para uma Agricultura Sustentável. Ponta Grossa 1996. Eds. R. Trippia dos Guimarães Peixoto, D.C. Ahrens e M.J. Samaha. 275 pp.

Moldenke, A.R. 2000. Arthropods. Chapter 7 in: Soil Biology Primer. Soil and Water Conservation Society. Rev. Edition. Ankeny Iowa.

Pauletti, V. 1999. A importância da palha e da atividade biológica na fertilidade do solo. In: Fertilidade do Solo em Plantio Direto. Resumos de Palestras do III Curso sobre aspectosbásicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto. Passo Fundo. p56-66.

Perreira, M. 2001. Personal Communication. IV Worldbank Study Tour.

Roth, C.H. 1985. Infiltrabilität von Latosolo-Roxo-Böden in Nordparaná, Brasilien, in Feldversuchen zur Erosionskontrolle mit verschiedenen Bodenbearbeitungs-systemen und Rotationen. Göttinger Bodenkundliche Berichte, 83, 1-104.

Swift, M.J., O.W. Heal and J.M. Anderson. 1979.Decomposition in terrestrial ecosystems. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Tanck, B.C.B and H.R. Santos. 1995. Fluctuação populacional do oligochaeta edáfico Amyntas spp., em dois agroecossistemas, através de dois métodos de extração. In: XXV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Viçosa, Anais p546-549.

Thurston, H. D. 1997. Slash/Mulch Systems: Sustainable Methods for Tropical Agriculture, Boulder, Colorado, Westview Press.

Venzke Filho, S.P., B.J. Feigl, J.C. M. Sá and C.C. Cerri. 1999. Colonização por fungos micorrízicos arbusculares em milho e soja em uma cronoseqüência de sistema plantio direto. In: Revista Plantio Direta. No. 54: p34.

Voss, M and N. Sidirias. 1985. Nodulaçâo da soja em plantio direto em comparaçâo com plantio convencional. Pesquisa Agropecuária Brasileira 20: 775-782.

Yepsen, R.B. 1984. P. 267-271 in: The encyclopedia of natural insect and disease control. Revised Edition. Rodale press.

CAPÍTULO 9

EFECTO DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN LA HUMEDAD DEL SUELO

Lámina 116
La preciada agua de lluvia es perdida por la agricultura como escorrentía, arrastrando con ella, partículas del suelo y materia orgánica.
T.F. Shaxon

MANEJO DE LA HUMEDAD DEL SUELO

Una causa significativa de la baja producción de los cultivos y de la merma de los cultivos en la agricultura de secano en los trópicos, es la poca y errática lluvia. Sin embargo, en muchas áreas, el manejo de tierras y cultivos no optimiza el flujo de agua a lo largo de la zona de raíces del cultivo. Entonces, los rendimientos pobres están relacionados con una insuficiencia de la humedad del suelo más que con una insuficiencia de la lluvia.

La agricultura de secano tropical y subtropical, depende de un adecuado suministro de agua en la zona de raíces del suelo. Ha sido estimado que el agua del suelo limita la producción de los cultivos en aproximadamente tres cuartas partes de los suelos cultivables del mundo, y es el principal factor responsable de los bajos rendimientos en las temporadas secas y en los trópicos y subtrópicos semiáridos.

Especialmente en las zonas agro-ecológicas tropicales y subtropicales, con lluvias restringidas, irregulares o marcadamente estacionales – donde las precipitaciones anuales oscilan desde 400 a 1000 mm, pero además, en áreas, donde la escasez de lluvias estacionales pueden limitar la productividad del cultivo –, es necesario dar una mayor atención a la captura eficiente de la precipitación *in situ*, y mejorar el contenido de humedad del suelo en la zona de las raíces.

Un buen conocimiento e interpretación del ciclo hidrológico es esencial para el efectivo manejo del agua de lluvia y el agua del suelo.

El agua tiene lugar no sólo como un líquido, sino también como un sólido (ej. granizo, nieve) y como un gas –vapor de agua. La cantidad total de agua en el mundo es constante, pero el agua está continuamente cambiando desde una forma a otra, y es continuamente movida a diferentes velocidades.

Poco o nada se puede hacer para incrementar la lluvia o el número de eventos de lluvias. En la agricultura de secano, por lo tanto, los esfuerzos deben ser concentrados en incrementar la proporción de agua que entra en el suelo (infiltración), minimizando la pérdida de humedad a través de la escorrentía y la evaporación, y mejorando la disponibilidad de agua del suelo y la eficiencia del uso del agua mediante el manejo mejorado del suelo.

Una vez que el agua caída, alcanza la superficie del suelo, ella puede infiltrarse dentro del suelo, escurrirse por encima de la superficie como flujo de agua, o acumularse en las hojas de las plantas o en charcos, desde donde es evaporada hacia la atmósfera. Una combinación de estos procesos es el caso más común.

La lluvia que se infiltra forma parte del agua del suelo, parte de la cual puede ser usada por las plantas para su transpiración, parte puede retornar a la atmósfera mediante la evaporación desde la superficie del suelo, y parte - si ocurre suficiente infiltración - puede moverse mas allá de la zona de raíces hacia el agua subterránea.

El agua de lluvia que escurre se mueve rápidamente lomas abajo, hacia los cursos de los ríos, contribuyendo a los flujos picos, y es de gran preocupación. La escorrentía no es solamente un desperdicio de agua que podría haber contribuido a la producción agrícola y al abastecimiento de las aguas subterráneas, sino que ella frecuentemente, causa inundaciones o daño a los caminos y tierras agrícolas, y erosiona el suelo que es redepositado en el curso de los ríos y en los embalses río abajo.

El manejo del suelo puede afectar significativamente

- la escorrentía;
- la evaporación directa de la superficie del suelo;
- la cantidad de humedad del suelo disponible para las plantas dentro del volumen de sus raíces, y,
- la profundidad a la cual las raíces pueden penetrar.

La cantidad de agua que llega a cada uno de estos destinos, durante un período dado, no es sólo determinado por la cantidad de lluvia, sino también por las propiedades químicas y la arquitectura del suelo o estructura física, incluyendo los poros.

Los suelos difieren en su estructura y capacidad de mantener la disponibilidad de agua para las plantas, dependiendo de:

- la textura del suelo,
- la profundidad del suelo,
- el contenido de materia orgánica, y
- la actividad biológica.

Un suelo con buena humedad tendrá resultados en:

- mayores rendimientos, a través de la utilización máxima de la lluvia;
- recarga de las aguas subterráneas y por tanto asegurando nivel de agua en pozos y continuidad de los ríos y flujos de corriente; y,
- riesgo reducido de pérdidas de rendimiento debido a la sequía.

COMPRENSIÓN DEL MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO

Una buena comprensión del entorno debajo de la superficie del suelo y de cómo este ecosistema (ver módulo de materia orgánica) funciona, es necesario para que él pueda ser manejado más apropiadamente.

La cantidad de lluvia que entra en el suelo (infiltrada), será gobernada por la intensidad de la tormenta de lluvia en relación con la tasa de infiltración del suelo. La excesiva labranza y la pérdida de materia orgánica, a menudo resultan en una tasa de infiltración reducida, debido a la pérdida de porosidad de la superficie.

Cuando la intensidad de la tormenta es mayor que la tasa de infiltración, sucederá la escorrentía, resultando en un desperdicio de agua que podría haber sido usada en la producción de cultivos y en la recarga de las aguas subterráneas. La tasa a la cual la lluvia se infiltra dentro del suelo, es influida por la abundancia, estabilidad y dimensión de los poros en la superficie del suelo, su contenido de agua y por la continuidad de los poros de transmisión dentro de la zona de raíces.

Las tasas de infiltración son afectadas por:

- la cantidad de agua presente en el suelo en el momento de la lluvia, la cual dependerá de cuándo ocurrió la ultima tormenta de lluvia y de la permeabilidad del suelo, y,
- la capacidad del suelo para retener el agua, la cual variará con la profundidad del suelo, la pedregosidad y la textura.

Los factores más importantes responsables de las bajas tasas de infiltración de la lluvia son:

- exposición de los suelos a los impactos de las gotas de lluvias;
- la compactación del suelo que produce el deterioro de los poros del suelo; y,
- la baja permeabilidad del suelo.

Láminas 117 y 118
El impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, sin ser interceptadas por una cobertura, produce la desintegración de las partículas del suelo.
USDA Soil Conservation Service

EXPOSICIÓN DE SUELOS A IMPACTOS DE GOTAS DE LLUVIA:

Cuando las gotas de lluvia caen directamente sobre la superficie del suelo sin primero ser interceptadas por la vegetación u otros materiales en su superficie, la energía de las gotas puede desintegrar los agregados del suelo en pequeñas partículas que son diseminadas en el aire. Estas partículas pueden tapar los poros de la superficie del suelo y formar capas finas e impermeables de sedimentos en la superficie, conocidas como costras, las que dificultan que infiltre la lluvia.

Mientras mayor sea la exposición de los suelos a las gotas de lluvia, o lo que es lo mismo, cuando menos cubierto está el suelo por la vegetación, los residuos de cultivo, las capas de cobertura, etc., mayor será el tapado de los poros de la superficie y la formación de costra, y menor será la infiltración del agua de lluvia.

Compactación del suelo que resulta en el deterioro de los poros del suelo:
La compactación del suelo por máquinas e implementos, y por el tráfico de animales y humanos, puede destruir o reducir enormemente, las dimensiones de los poros del suelo, y por ende, reducir las tasas de infiltración de lluvias. El grado de afectación que tendrán los poros dependerá de la presión aplicada y del contenido de humedad del suelo. A mayor presión y más humedad en el suelo, más fácilmente los poros serán comprimidos y destruidos.

Baja permeabilidad del suelo:
La permeabilidad del suelo se refiere a la velocidad a la cual el agua de lluvia se mueve *a través* del suelo, como diferenciación con la infiltración que se refiere a la velocidad a la cual el agua de lluvia se mueve *dentro* del suelo. Si la permeabilidad del suelo es baja, comparada con la intensidad de la lluvia, los poros o espacios vacíos dentro de la superficie del suelo se saturarán rápidamente con agua, resultando en la pérdida de la lluvia como escorrentía. Este fenómeno es más probable que se desarrolle más rápidamente, en suelos con volumen limitado de poros, en suelos que ya llevan largo tiempo saturados con agua, y en suelos con un alto nivel de la tabla de agua.

Lámina 119
La compactación del suelo como resultado de las prácticas convencionales. conlleva a pobre drenaje del agua de lluvia después de una tormenta severa, mientras que las prácticas de la agricultura de conservación en la izquierda mejoran la estructura interna del suelo y produce una rápida infiltración y percolación del agua de lluvia.
D. McGarry

Cuando una tormenta de lluvia fuerte cae sobre un suelo bien estructurado, el agua de lluvia se infiltra hacia abajo a través del suelo seco como un frente de humedad, saturando temporalmente el suelo y desplazando el aire. Esto es acompañado por el rápido drenaje del agua desde los poros más grandes (mayores de 0.05 mm) mediante la gravedad y la presión de la masa de agua de lluvia que se encuentra arriba. Estos poros grandes ejercen solo pequeñas fuerzas de atracción en el agua del suelo. Después de casi dos días de drenaje se habrá alcanzado o llenado la capacidad del campo y el aire habrá re-entrado en los poros más grandes.

En suelos pobremente estructurados, el agua de lluvia drenará más lentamente. El drenaje muchas veces continúa por algunas semanas dependiendo de la profundidad del horizonte más bajo y de la continuidad de los poros más grandes con la profundidad. En suelos finos con buena textura, con grietas de drenaje, el agua fluirá hacia abajo a través de éstas en tormentas de lluvias fuertes antes de que el suelo sea saturado y mientras tanto, partes del perfil del suelo pueden estar aún secas. Si el drenaje del agua posteriormente entra en un poro más pequeño mientras está pasando a través del suelo, él será retenido, de lo contrario, continuará hasta alcanzar el nivel de agua y contribuir a la recarga de las aguas subterráneas.

Una vez que el drenaje del agua ha sido perdido de la zona de raíces, el posterior movimiento del agua dentro de la zona de raíces es lento, y es referido como un movimiento capilar. Este movimiento es causado por las fuerzas de atracción, conocida como fuerza de tensión superficial, la cual es ejercida por las partículas de suelo en el agua. Este movimiento puede ocurrir en cualquier dirección e incluye el movimiento del agua hacia

arriba, desde el nivel de agua. Las fuerzas de tensión superficial empujan al agua hacia dentro de los poros, dentro del suelo, y mientras más pequeños son los poros, más fuertemente el agua es atraída y mantenida.

El agua es capaz de moverse a través de los suelos como vapor de agua. El más importante ejemplo de esto, es la pérdida de vapor de agua por evaporación desde las superficies del suelo. Esto sucede cuando la concentración de vapor de agua en el suelo cerca de la superficie, es más alta que aquella que hay en la atmósfera inmediatamente superior. El vapor de agua se moverá entonces, desde el suelo a la atmósfera. Mientras más seca y caliente esté la atmósfera comparada con la superficie del suelo, mayor será la velocidad de evaporación desde el suelo, siempre y cuando suficiente agua pueda ser suministrada a la superficie por el movimiento capilar desde abajo. Los suelos de textura fina tienen abundantes poros pequeños y por eso, mayor movimiento capilar de agua hacia la superficie se producirá, generalmente más en los suelos de textura fina que en los de textura gruesa.

La escorrentía ocurre cuando la intensidad de la lluvia es mayor que la velocidad a la cual la lluvia se infiltra en el suelo. En buena medida, es la calidad de la superficie del suelo la que determina cuánta lluvia infiltró y cuánto se perdió como escorrentía. El manejo del suelo y del cultivo tiene una marcada influencia en cuanto, y por que tiempo, la superficie del suelo es directamente expuesta a las gotas de lluvia, con los riesgos de destruir la porosidad de la superficie. Las prácticas de manejo, por lo tanto, tienen una profunda influencia en cuanta lluvia infiltra un suelo para el beneficio de los cultivos y las aguas subterráneas.

La escorrentía sólo sucederá cuando los suelos estén inclinados, y existan pocos obstáculos transversales a la pendiente que eviten que el agua fluya. Aún, ligeras diferencias en la elevación y muy ligeros gradientes de menos de 2%, pueden causar una escorrentía sustancial. En situaciones en las cuales ninguna escorrentía es perdida desde el campo, puede aún haber sustancial escorrentía dentro del campo, conllevando a diferencias pronunciadas en las cantidades de lluvia recibida por los cultivos en diferentes partes del campo.

El agua es mantenida en el suelo por dos medios:

Puede acumularse en el suelo, debido a la presencia de una capa impermeable debajo de la superficie, la cual impide el normal drenaje.

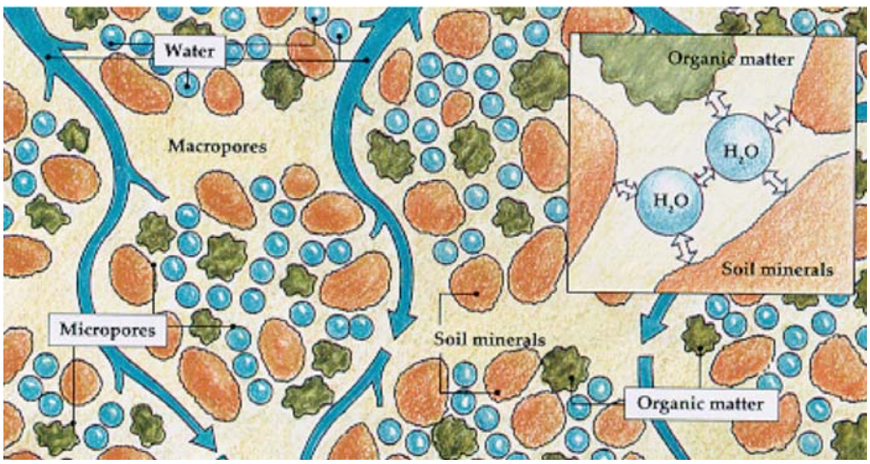


FIGURA 37
Los componentes de la estructura del suelo. Los minerales del suelo con materia orgánica, forman las unidades estructurales del suelo o agregados ("peds" en inglés). Los microporos dentro de los agregados y los macro poros entre los agregados, llevan aire y agua, facilitando la penetración de las raíces
(USER manual, 1992)

Tal acumulación resulta en una saturación del suelo, una condición frecuentemente llamada anegamiento o inundación. El anegamiento es una característica permanente de algunos suelos, pero en otros ésta puede ser temporal, ocurriendo solo durante un periodo de lento drenaje, seguido de una entrada de exceso de agua dentro del suelo. El anegamiento de las tierras agrícolas es rara vez una buena característica, y el agua almacenada en tales casos está, simplemente allí, debido a que ella no puede salir por la forma normal.

El segundo mecanismo de retención del agua por los suelos es la capilaridad. Este fenómeno es causado por dos fuerzas:

- la adhesión: la atracción de las superficies de las partículas de suelo por las moléculas de agua, y,
- la cohesión: la atracción de las moléculas de agua una a otra.

Si una pequeña cantidad de agua está presente, ésta es mantenida muy cohesionada, y una enorme fuerza debe ser aplicada para halarla desde el suelo. En suelos secos, la mayoría del agua presente es mantenida en poros muy pequeños, unidos muy cohesionadamente. Las plantas no pueden usar agua desde tales poros, por lo tanto son incapaces de crecer bien bajo tales condiciones.

La capacidad de retención de agua del suelo en un lugar particular, depende de la profundidad del suelo, el volumen de los poros-espacios, y la proporción de los vacíos que retienen agua en contra del empuje de la fuerza de gravedad. En un suelo arenoso, hay usualmente un volumen total de poros relativamente

grande – espacios entre las partículas minerales grandes, pero la mayoría de los poros son tan grandes que el agua de lluvia drena a través de la mayoría de ellos, y es retenida relativamente poca dentro del perfil. En suelos arcillosos sucede lo opuesto: puede haber una proporción grande de poros-espacios tan pequeños que, el agua de percolación puede entrar, parcialmente bajo la acción capilar, el agua no puede drenar hacia fuera y puede sólo ser movida por las raíces de las plantas y/o la lenta evaporación dentro de cualquier espacio lleno de aire dentro del suelo. En suelos arcillosos muy compactos, tanto la entrada como la salida del agua pueden ser muy lentas.

El volumen total de agua de lluvia retenida por unidad de volumen del suelo, variará de acuerdo no sólo con las dimensiones de las partículas de las fracciones de arena/limo/arcilla que constituyen el suelo, sino también con la variedad de las dimensiones de los poros entre las partículas. En adición, es afectado por las proporciones relativas de cada dimensión que afectan las velocidades de entrada y de extracción, y el almacenamiento del agua residual, que no es drenada por la gravedad. Es claro que los métodos de manejo del suelo afectan la porosidad total y la distribución por dimensiones de los poros en la zona de raíces.

En la mayoría de las áreas donde hay escasez de agua, es crucial maximizar la infiltración de lluvias dentro del suelo, para lograr seguridad en los alimentos y el agua. El manejo del suelo puede fomentar la infiltración en oposición al lento declive de la escorrentía. La clave de la infiltración es mantener el suelo poroso, con una cobertura de residuos de cultivos que previene el impacto dañino de la gota de lluvia, y proporciona un substrato para los organismos del suelo.

Las excepciones son donde la recolección del agua de lluvia es necesaria para la producción agrícola, y donde una alta infiltración puede llevar a riesgos de derrumbes de tierra u otras formas de movimiento de masas de tierra.

Factores que influyen en el contenido de la humedad del suelo:

CLIMA

En cualquier lugar, las lluvias varían con la estación del año, la frecuencia dentro de la estación, la cantidad promedio durante un periodo sub-estacional dado, la confiabilidad anual de ocurrencia en un período dado, la cantidad real y promedio en cada periodo semejante, y la cantidad e intensidad /energía dentro de cada evento de lluvia.

Mientras menor sea la confiabilidad de lluvias para un período dado, mayor es el riesgo que no haya o no sea suficiente la lluvia para la producción agrícola.

La evaporación es lo que sucede cuando una taza llena de agua es dejada en el sol; el agua desaparece por haberse convertido en vapor de agua, y mientras más alta sea la temperatura, más seco el aire y mayor la velocidad del aire, mayor será la velocidad de evaporación. La evaporación ocurre dondequiera que el agua esté expuesta a la atmósfera, o sea, lagos, ríos y charcos, y desde las gotas de lluvia que se acumulan en las hojas, después de la tormenta de lluvias.

La evaporación desde la superficie del suelo ocurre, cuando la concentración de vapor de agua en el suelo cerca de la superficie es mayor que la que hay en la atmósfera inmediatamente superior. El vapor de agua se moverá, desde el suelo hacia dentro de la atmósfera, en un intento de igualar las concentraciones. Mientras más seca y caliente esté la atmósfera comparada con la superficie del suelo, mayor será la velocidad de evaporación desde el suelo, mientras que suficiente agua pueda ser suministrada a la superficie por el movimiento capilar desde abajo. Los suelos de textura fina tienen abundantes poros pequeños, y por eso, mayor movimiento capilar de agua hacia la superficie se producirá generalmente en los suelos de textura fina, que en los de textura gruesa. La evaporación es usualmente mayor en suelos descubiertos que en suelos cubiertos.

Los vientos transversales a la superficie del suelo, causan macro y micro turbulencias alrededor de las plantas, lo que resulta en un cambio constante del vapor de agua en las inmediaciones de las plantas. Además de la pérdida de humedad del suelo, el viento arrastrará aquellas partículas de materia orgánica y suelo que no están pegadas entre si, lo que resulta en una pérdida de la fertilidad del suelo.

Los períodos de sequía dentro de un año en particular, pueden parecer como una demora en la llegada de la estación de lluvias; como períodos secos de una semana o los períodos más críticos del crecimiento de los cultivos dentro de la estación; o como un final de la temporada de lluvias más temprano de lo esperado.

PROPIEDADES DEL SUELO

La cantidad de humedad del suelo varía (además del clima) con el tipo de suelo, la profundidad del suelo y la cantidad de materia orgánica en ese suelo.

Para la óptima captación, percolación, almacenaje y uso de la humedad del suelo, tres capacidades físicas del suelo son importantes:

- la capacidad para permitir que el agua entre, referida a la infiltración,
- la capacidad para permitir que el agua se mueva fácilmente a través del perfil, referido a la permeabilidad; y
- la capacidad para almacenar la humedad adquirida en la zona de raíces y liberarla a las raíces de la planta, referida a la capacidad de retención del agua.

Muchos poros interconectados de un rango amplio de dimensiones, particularmente en la superficie del suelo, maximizarán la infiltración y reducirán la escorrentía, incrementando el agua disponible en el suelo.

Los suelos con vegetación natural, generalmente exhiben alta porosidad debido a la alta actividad biológica y la ausencia de interferencias con las actividades del hombre. Por consiguiente, ellos tienen cualidades físicas superiores comparados con la mayoría de los suelos usados para cultivos o pastos.

Los espacios de poros en los suelos varían en dimensiones, y tanto la dimensión como la continuidad de los poros, tienen una importante influencia en los tipos de actividades que ocurren en los poros del suelo. El Cuadro 26 muestra las dimensiones de los poros de diferentes rangos de medidas junto con su descripción y funciones.

El número, dimensión y conectividad de los espacios de poros tienen un rol crucial en la determinación de la cantidad de agua que el suelo puede absorber, retener y suministrar.

La red de poros del suelo varía de acuerdo al tipo de suelo y cómo éste ha sido manejado. El manejo apropiado de las tierras tiene un gran impacto en la restauración, mejoramiento y protección de la porosidad del suelo.

Cuadro 26 Funciones y dimensiones de los poros del suelo (Hamblin, 1985)

DIMENSIÓN DE POROS (MM DIÁMETRO)	DESCRIPCIÓN DE POROS	FUNCIONES DE POROS
< 0.0002	Residual	Retiene agua que las plantas no pueden usar
0.0002–0.05	Almacenaje	Retiene agua que las plantas pueden usar
> 0.05	Transmisión	Permite drenar agua hacia afuera y entrar aire
> 0.1 to 0.3	Enraizamiento	Permite a raíces de cultivo penetrar libremente
0.5–3.5	Madrigueras de lombrices	Permite drenar agua hacia afuera y entrar aire
2–50	Hormigueros y canales	Permite drenar agua hacia afuera y entrar aire

Las dimensiones de poros desde 0.0002 a 0.05 mm de diámetro, retiene agua que puede ser absorbida por los cultivos y son referidos como poros de almacenaje, en tanto que los poros más pequeños (poros residuales), retienen agua demasiado cohesionada para que las plantas sean capaces

de extraerla. Los poros mayores de 0.05 mm de diámetro, referidos como poros de transmisión, permiten agua para drenar a través del suelo y posibilita al aire, entrar a los poros, así como al agua, drenar hacia fuera. Esta es la razón por la que, los suelos arcillosos, pueden retener más agua que por ejemplo, los suelos arenosos. El movimiento del aire y el agua es afectado por la estructura del suelo: la forma geométrica del suelo y la textura del suelo: el material que hace al suelo.

Cuadro 27 Efecto de la estructura del suelo en el movimiento del aire y el agua

TIPO DE ESTRUCTURA	PENETRACIÓN DE AGUA	DRENAJE	AIREACIÓN
Columnar	Buena	Bueno	Buena
En bloque	Buena	Moderado	Moderada
Granular	Buena	El mejor	La mejor
En forma de plato	Moderada	Moderado	Moderada

En muchos suelos, el número de poros superficiales es reducido rápidamente por el impacto de las gotas de la lluvia, el cual rompe los agregados del suelo superficiales en pequeñas partículas que tapan los poros de la superficie y forman sellos superficiales o costras con muy pocos poros. Esto conlleva a la escorrentía por encima de la superficie, cuando la tasa de lluvia caída, excede la tasa de infiltración.

Este sellaje ocurre debido a que los espacios porosos originales de 1 mm de la parte superior de la superficie, han colapsados para convertirse en espacios vacíos mucho mas pequeños. Éstos se convierten en saturados con agua casi inmediatamente, y a través de ellos, el agua de lluvia incidental puede moverse sólo mucho más lenta que antes, si en realidad se puede mover del todo. La acción destructiva de la gota de agua de lluvia es evitada donde hay una cubierta protectora de follaje de cultivos, residuos, mantillos, o aún malezas en o sobre la superficie del suelo.

Otros factores que pueden reducir el número, la proporción y continuidad de la transmisión de los poros, son el tráfico de maquinaria, humanos y animales, los cuales destruyen los poros grandes por compactación, y la labranza que interrumpe la continuidad de la transmisión de los poros mediante el corrimiento y compresión de los poros, durante la formación del piso de arado en el subsuelo.

Los espacios poros son, además, necesitados por las raíces para penetrar libremente en los suelos con el fin de tomar los nutrientes y el agua. Las dimensiones de las raíces varían con el tipo de cultivo, pero, las raíces más pequeñas, aparte de los pelos de las raíces, tienen diámetros que oscilan entre 0.1 y 0.3 mm y como los suelos deben tener los espacios poros de al menos esta dimensión, las raíces más pequeñas si podrán penetrar libremente. En la mayoría de los suelos, las raíces crecen en parte a través de los poros existentes, los poros de transmisión y en parte, por el movimiento para un lado de las partículas de suelo. Las raíces pueden solo forzar su entrada dentro de los poros más pequeños si los suelos son suficientemente compresibles; la compresibilidad de los suelos se incrementa con el aumento del contenido de agua, ya que ésta proporciona una forma de lubricación entre las partículas.

Lámina 120
La actividad de excavación de las lombrices de tierra proporciona canales para el aire y el agua, la que tiene un importante efecto en la difusión del oxígeno en la zona de las raíces, y el drenaje del agua desde ellos.
FAO

Mientras más grande sea el volumen de exploración por las raíces, más altas son las reservas de humedad a las cuales las plantas tienen acceso, y más grande es la "acumulación de humedad" que les permita sobrevivir en los periodos de menos lluvia. Si los suelos son muy poco profundos ó están físicamente degradados, la habilidad de las plantas para sobreponerse a los períodos de poca lluvia será reducida.

La materia orgánica puede construir una estructura superficial e interna más fuerte en el perfil del suelo para una condición, permitiendo la fácil entrada del agua (agua de infiltración) y su almacenaje (agua de retención) en forma disponible para la planta. Además, ella puede ser la protección contra el sellaje de la superficie por las gotas de agua. La materia orgánica actúa como un "pegamento" para permitir la formación de la estructura de las partículas del suelo junto con los poros. Un sistema estable de poros de suelo permite el intercambio fácil de aire y agua.

Otra consecuencia del contenido aumentado de materia orgánica (y de la actividad microbiana), es un incremento de la población de lombrices de tierra. La humedad del suelo es uno de los más importantes factores que define la presencia de las lombrices de tierra en el suelo. Una de las consecuencias de una población aumentada de lombrices de tierra, es la formación de canales y poros.

Además, los nutrientes y las enmiendas, pueden ser distribuidos fácilmente, y el sistema de raíces puede desarrollarse, especialmente en subsuelo ácido en las excavaciones existentes. Las madrigueras poco profundas de las lombrices de tierra, crean numerosos canales a través de la parte superior del suelo, lo cual incrementa la porosidad total. Los canales verticales grandes, creados por

Lámina 121
La pérdida de agua de lluvia como escorrentía, moverá hacia el punto mas bajo en el área de embalse.
T.F. Shaxon

las excavaciones profundas de las lombrices de tierra y los canales dejados en el suelo por las raíces de plantas podridas, incrementan la infiltración de agua bajo muy intensas condiciones de lluvias.

Los suelos con limitaciones químicas para el crecimiento de las plantas, muchas veces limitan la capacidad de retención y percolación del agua del suelo. Cuando una pequeña actividad biológica (raíces de plantas y vida del suelo) está presente, son escasos los macroporos que normalmente guían al agua a través del suelo.

TOPOGRAFÍA

Las formaciones geológicas subyacentes, junto con los procesos climáticos y de levantamiento, afectan la forma de los paisajes. En ellos influyen las formas empinadas y poco profundas de las pendientes.

El agua captada por una cuenca de recepción de aguas, fluirá hacia los puntos más bajos en su desembocadura, donde se pueden juntar aguas que emergen de otros embalses. Los límites mas alejados de la cuenca, son definidos por las líneas a lo largo de las crestas de las tierras altas que la rodean. Desde los lados de un valle, la escorrentía superficial tiende a fluir perpendicularmente a la pendiente desde la cresta hasta la trayectoria de la corriente.

La superficie del suelo divide la lluvia entre infiltración y escorrentía. Mientras mayor sea la proporción de lluvia perdida por escorrentía, menor será la proporción de lluvia que se pueda convertir en humedad del suelo y en agua subterránea.

Con los propósitos de lograr que el agua se absorba por el suelo y controlar la velocidad del flujo de cualquier exceso de escorrentía, podemos subdividir una cuenca dada en una más detallada jerarquía de cuencas. Las subdivisiones más pequeñas pueden ser medidas en centímetros cuadrados, las más grandes en hectáreas, dentro de cuencas de kilómetros cuadrados. El cambio clave es cómo manejar mejor esto de tal forma que la escorrentía superficial evitable- que representa la pérdida potencial de humedad del suelo y agua subterránea- no ocurra.

COBERTURA DEL SUELO

Una cobertura de suelo muerta o vegetal, absorbe la mayoría de la energía

de las gotas de lluvias que caen sobre ella y con el tiempo, esta agua de lluvia alcanza el suelo debajo, limitando su habilidad para desintegrar los agregados del suelo y desprender las partículas finas es reducida enormemente. Por consiguiente, hay poca o no hay desarreglo de los poros de la superficie del suelo por las partículas desprendidas, y poca deposición de las partículas del suelo que pueden formar una costra en la superficie.

Lámina 122
Una cobertura de suelo con guijarros o piedras, puede prevenir la erosión tan bien como con cobertura vegetal.
B. Steward

Los contactos físicos entre una cobertura y la superficie del suelo, obstruyen el movimiento de la escorrentía, que lentamente va bajando, dando mas tiempo para la infiltración y por lo tanto, reduciendo el volumen de la escorrentía. Hay dos aspectos de la cobertura de superficie que deben ser distinguidos:

- *toda la cobertura de superficie* absorbe la energía de las gotas de agua y entonces previene la pérdida de espacios de poros dentro de los cuales la lluvia puede infiltrarse;
- *el contacto de la cobertura* baja lentamente cualquier escorrentía, dando más tiempo a la infiltración.

El grado del contacto de la cobertura es importante, especialmente en las pendientes inclinadas, en suelos con velocidades de infiltración bajas naturalmente, y en suelos degradados con costras superficiales o sellos de baja porosidad. Los efectos de conservación de los bosques son debidos, no tanto a la presencia de los árboles que poseen, sino por la capa de hojas caídas, ramitas y ramas, más cualquier vegetación de bajo crecimiento. Si la superficie del suelo no ha sido dañada por el pisoteo del ganado, menos agua de lluvia se escurrirá y más se infiltrará dentro del suelo.

Además, es el contacto de la cobertura lo que hace inmediatamente accesibles los macroorganismos del suelo y puede estimular su actividad. Entonces un mayor número de bioporos son probablemente formados, conllevando a una más rápida infiltración y percolación.

Esto es el porque la extracción de la cobertura vegetal desde el suelo y sus alteraciones principales, tales como la labranza o la incorporación de residuos, mantillos u otras materias orgánicas reducen drásticamente esos efectos positivos, dejando un suelo descubierto vulnerable a los impactos de las gotas de agua de lluvia, y la consiguiente escorrentía y erosión.

Más información sobre cobertura de suelo puede ser encontrada en “Incrementando la infiltración de agua” y “Manejo de la evaporación y transpiración del suelo”.

Lámina 123
La humedad del suelo, los organismos y la materia orgánica, son destruidos cuando los residuos de cultivos o la vegetación natural, son quemados antes del cultivo.
FAO

PRÁCTICAS QUE REDUCEN EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

La agricultura convencional está caracterizada principalmente, por la quema de los residuos y la labranza intensiva para la preparación de la cama de siembra y el control de las malezas. Ella ha contribuido a la degradación de las tierras mediante las pérdidas de materia orgánica, la erosión del suelo, la compactación y la contaminación con sedimentos, fertilizantes y pesticidas de las superficies de aguas. Lo más importante de las prácticas anteriormente mencionadas, es la quema de los residuos y la labranza del suelo que produce la pérdida de la apreciada humedad del suelo, mientras que la compactación de las capas del suelo impide la entrada y percolación del agua de lluvia.

QUEMA DE LOS RESIDUOS (DEL CULTIVO)

La quema de los residuos del maíz, arroz, otros cultivos y la vegetación natural en el campo, es una práctica común. Los residuos son usualmente quemados para ayudar en el control de los insectos o enfermedades, o para facilitar los trabajos de campo en las siguientes estaciones. La quema destruye la capa de paja y en consecuencia, disminuye la cantidad de materia orgánica retornada al suelo. El calor generado por el fuego facilita la pérdida de la humedad del suelo.

Los organismos que habitan la superficie del suelo y la capa de paja son, además, limpiados. Para poder lograr futuras descomposiciones en el suelo, hay que poner primero la energía en la reconstrucción de la comunidad microbiana antes de que los nutrientes de las plantas puedan ser liberados.

La quema es frecuentemente practicada para mejorar la calidad de las tierras de pastos. La filosofía que está detrás de esta práctica, es que destruyendo las partes secas y no agradables de comer a los animales, se inducirá el retoñamiento o rebrote de los pastos frescos.

LABRANZA DEL SUELO Y CONTROL MECÁNICO DE MALEZAS

Se pensaba que en suelos con bajas velocidades de infiltración, debido al encostramiento de la superficie, una labranza no profunda y un control mecánico de las malezas con implementos de discos o cinceles, rompería la costra y fomentaría la infiltración del agua. Esta práctica tiene que ser repetida después de cada tormenta de lluvia sobre los suelos susceptibles al encostramiento, y tiene muchas desventajas como pérdida de materia orgánica

o compactación. Por lo tanto, el incremento de la velocidad de infiltración mediante la labranza, conduce muchas veces a la degradación del suelo.

Sin embargo, el uso regular de la labranza poco profunda con implementos de discos o cinceles para romper las costras de la superficie, al incrementar la porosidad superficial y fomentar la infiltración de la lluvia no es recomendado. El incremento de la porosidad superficial es solo temporal y en los suelos susceptibles al encostramiento, la labranza necesitará ser repetida después de cada lluvia. La labranza conduce a la destrucción de los espacios porosos en el suelo, y el uso de discos, en particular, muchas veces causa la compactación, la que puede impedir el crecimiento de las raíces y la percolación del agua de lluvia. La labranza, además, acelera la pérdida de la materia orgánica conduciendo a un progresivo deterioro de la arquitectura del suelo, y a una reducción en el número y estabilidad de los poros, que permiten el crecimiento de las raíces y el movimiento del agua de lluvia. La labranza regular, por lo tanto, no es recomendada como solución a la infiltración restringida causada por la baja porosidad de la superficie del suelo.

La labranza excesiva conduce a la pulverización del suelo, y las partículas pequeñas pueden ser fácilmente arrastradas por la escorrentía durante las lluvias. Estas, usualmente arcillas muy finas o partículas orgánicas, pueden bloquear fácilmente los microporos en la superficie del suelo, y haciendo eso, forman una capa o película muy delgada, también conocida como sello de superficie. Esta capa continúa impermeable en la superficie, evita que el agua se infiltre y facilita la escorrentía.

Mientras el suelo esté menos cubierto con vegetación, mantillos, residuos de cultivos, etc. el suelo estará más expuesto al impacto de las gotas de lluvias. Cuando una gota de lluvia golpea el suelo descubierto, la energía cinética del impacto de la velocidad final, desprende partículas de suelos individuales de los terrones del suelo. Estas partículas pueden taponar los poros de la superficie y formar muchas capas finas, más que impermeables de sedimentos en la superficie, denominadas como costras superficiales. Ellas pueden oscilar desde unos pocos milímetros de espesor hasta un centímetro o más, y usualmente están hechas de partículas de arena o limo. Estas costras superficiales impiden la infiltración del agua. El rompimiento de los agregados del suelo en partículas más pequeñas depende de la estabilidad de los agregados, los cuales dependen fundamentalmente del contenido de materia orgánica.

Lámina 124
Las costras superficiales pueden obstruir la germinación de los cultivos y dificultar la aireación y la infiltración del agua
R. Barber

El uso de maquinaria e implementos, y aún el pisoteo de los animales, pueden destruir, o reducir enormemente, las dimensiones de los poros del suelo. El suelo compactado (ver módulo 7 "Compactación del Suelo") no proporciona espacio adecuado para el almacenaje y movimiento del aire y el agua en el suelo. Los animales del suelo y el crecimiento de las raíces, están además restringidos. Los poros grandes y continuos del suelo (los más importantes), son reducidos en su tamaño, conduciendo a una pobre infiltración del agua, un bajo drenaje y una reducida aireación que afecta el crecimiento saludable de las raíces y la absorción de nutrientes, y por ende, el rendimiento máximo del cultivo.

Más importante, la compactación del suelo a menudo no es visible en la superficie del suelo y por lo tanto frecuentemente, no se toma como un problema. En el caso de que la compactación del suelo no es un problema serio, los cultivos con raíces principales gruesas (girasol, fríjol de campo o rábano), pueden ser usados en la rotación de cultivos para romper la capa endurecida.

DRENAJE

El drenaje del agua más allá de la zona de enraizamiento del cultivo, puede alcanzar el agua subterránea y ayudar a mantener el nivel de agua en los pozos, arroyos y ríos. Sin embargo, la 'pérdida' de agua por drenaje, pudo haber sido usada para la producción del cultivo. El drenaje profundo ocurre cuando las lluvias exceden la cantidad de agua que es necesitada para traer a la zona de enraizamiento a la capacidad del campo. A veces, grietas profundas en la superficie de suelos arcillosos durante la estación de seca, pueden causar drenaje profundo. En suelos que contienen arcillas montmorilloníticas, las grietas a menudo se desarrollan hasta la profundidad de 30 a 60 cm o aun más profundas. Si la precipitación ocurre mientras estas grietas están abiertas, parte del agua se moverá rápidamente hacia la base de las grietas. Sin embargo, a menos que la grieta esté abierta a la superficie, el agua no se moverá dentro de la grieta independientemente de cuanta precipitación haya recibido. Por ejemplo, si un suelo que está agrietado hasta 30 cm, es labrado a una profundidad de 10 cm, entonces la precipitación que ocurra, será retenida largo tiempo, en los 10 cm superiores a menos que la cantidad de agua sea muy grande; y entonces ella se moverá hacia abajo sólo por las fuerzas gravitacionales y capilares. Por otro lado, si la tierra no está preparada, algo de agua se moverá rápidamente hacia la base de las grietas, donde ella estará menos disponible para la evaporación.

En adición, el drenaje más allá de la zona de raíces, puede ser favorecido por los bioporos que son poros continuos de 0.5 mm y más amplios, formados por las lombrices de tierra, las hormigas y termitas que se extienden desde la superficie del suelo hasta el subsuelo. La cantidad de agua perdida mediante el drenaje profundo, es mas alta en suelos con textura gruesa, comparados con suelos con textura fina.

La deforestación, el sobrepastoreo, y el cultivo de un cultivo simple cada año (monocultivo) son todas las prácticas de manejo que conducen a la reducción del contenido de humedad en el suelo. Estas prácticas provocan la reducción de la porosidad, lo que a su vez reduce la infiltración del agua de lluvia y la capacidad del suelo para retener la humedad.

PRÁCTICAS QUE AUMENTAN EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

INCREMENTANDO LA INFILTRACIÓN DE AGUA

Los métodos para incrementar la infiltración de agua pueden ser agrupados en cuatro categorías:

- Protección de la porosidad de la superficie del suelo del impacto directo de la lluvia.
- Mejoramiento de la estructura del suelo mediante procesos biológicos.
- Detención de la escorrentía por medio de barreras estructurales o físicas.
- Cambios de la porosidad mediante la labranza y la preparación de tierras.

La porosidad de la superficie del suelo es mejor mantenida, primero por su protección de la acción destructiva de las gotas de lluvias con una cobertura protectora, usualmente de residuos del cultivo previo, cultivo de cobertura o mantillo, y segundo, mediante el aseguramiento de que el suelo no sea alterado por la labranza.

Los beneficios de una cobertura del suelo son muchos. Sin embargo, el efecto más directo de una cobertura de suelo, es la intercepción de la lluvia caída, y por lo tanto, la reducción del impacto de las gotas de agua sobre el suelo. Esto reducirá el desprendimiento de las partículas del suelo y por consiguiente, habrá poca ó ninguna obstrucción de los poros de la superficie por partículas desprendidas de los agregados del suelo, y menor deposición de las partículas del suelo, para formar la costra en la superficie. El agua de lluvia puede entrar al suelo a través de los poros de la superficie abiertos.

Los beneficios de una cobertura del suelo son más aparentes en suelos que inicialmente están en condiciones físicas razonables, pero aún bajo estas condiciones, la escorrentía puede a veces ocurrir a pesar de la buena cobertura del suelo. La escorrentía puede incluso, ocurrir cuando la intensidad de lluvia caída es más alta que la velocidad de infiltración del suelo, o cuando los espacios porosos del suelo están ya llenos con agua, debido a que el suelo es poco profundo, la capacidad de retención del agua es baja, o su subsuelo es solo lentamente permeable. El contacto físico entre la cobertura protectora y la superficie del suelo, bajará lentamente la escorrentía y da más tiempo para la infiltración.

Cuando una cobertura de residuos es aplicada a un suelo con una superficie muy degradada de baja porosidad, el efecto beneficioso de la cobertura en la infiltración puede ser inicialmente limitado. En tal situación, es recomendable acelerar la recuperación de la porosidad de la superficie, antes de aplicar la cobertura de residuos mediante la labranza del suelo hasta conseguir romper la costra, y cualquier piso compactado debajo de la superficie del suelo, seguido de un periodo de barbecho bajo un cultivo de cobertura, para mejorar la formación y estabilización de la porosidad del suelo.

La elección del material de cobertura depende de qué material hay disponible localmente. Las coberturas de suelo pueden ser diferenciadas de acuerdo a su manejo:

- Mantillos o cobertura muerta: vegetales y no vegetales.
- Residuos de cultivo.
- Cultivos de cobertura.
- Vegetación natural.

Los Mantillos (mulch en inglés) o coberturas muertas, pueden ser de materiales vegetativos o no vegetativos.

El material vegetativo es usualmente cosechado en un área y aplicado en otra área, que es la que va ha ser usada para la producción de cultivos.

Ejemplos de mantillos son las hierbas y juncos, las hojas y tallos de plátano, arbustos como la Lantana y el girasol salvaje (*Tithonia*), capas de paja de bosques, malezas, fríjol de soya, garbanzo negro y cáscara de arroz, aserrín, etc. La principal desventaja de aplicar mantillo, es el costo de la mano de obra para recogerlo, transportarlo y aplicar la cobertura. Otra desventaja es que los suelos donde son producidos los materiales de mantillo, pierden nutrientes

progresivamente con cada cosecha, a menos que se le apliquen estiércol o fertilizantes. Los mantillos rara vez se aplican en pendientes inclinadas debido a la mano de obra, y porque los materiales del mantillo son fácilmente lavados lomas abajo.

Se ha estimado que el 80 por ciento de cobertura, parece ser apropiada para reducir la escorrentía a 5 por ciento de la lluvia estacional caída, lo cual para la paja puede ser equivalente a cerca de 4t/ha.

Si la superficie del suelo es degradada (p.ej. compactada, sellada), es recomendable mejorar la estructura por labranza ó cultivo de cobertura. Los mantillos son generalmente aplicados a los cultivos hortícolas de alto valor y jardines caseros en campos de fácil acceso con pendientes moderadas. No es económicamente viable transportar grandes cantidades de mantillo para cultivos de gran escala.

En áreas de tierras secas, otras dos formas de mantillo son populares, usando coberturas no vegetativas. Las razones principales para la aplicación de los mantillos no vegetativos son la infiltración de la lluvia y la reducción de la evaporación. Como ellos carecen de las otras ventajas de los mantillos vegetativos, estas prácticas serán discutidas en "Manejando la evaporación en el suelo".

Los residuos de cultivos dejados sobre el suelo, conducen a una alta agregación del suelo, porosidad más alta y mayor número de macroporos, y por ende, facilita la infiltración del agua de lluvia. Su descomposición depende de la actividad de los microorganismos, pero también de la meso y macrofauna del suelo. La macrofauna como las lombrices de tierra, los escarabajos, las termitas y las hormigas, promueven la integración de los residuos dentro del suelo.

La cobertura de residuos reduce o elimina la erosión por salpicadura. Por consiguiente, el encostramiento de la superficie, el sellaje y la compactación inducida por la lluvia son reducidos. La cobertura del suelo forma pequeños diques de desviación que causan una fuerte caída de la escorrentía, que la retiene lentamente y entonces permite más tiempo para la infiltración. El sedimento es removido detrás de estas desviaciones y permanece en el campo.

La cobertura de residuos es uno de los métodos mas efectivos y menos costosos para la protección del suelo. Adicionalmente, los residuos pueden ser usados para pastoreo, cuando son disponibles excesivas cantidades

Lámina 125
Mantillos vivos y muertos en cultivos perennes y anuales. El cultivo anual es sembrado directamente en el mantillo de residuos y vegetación de hierbas.
T. Friedrich

Lámina 126
El ganado pasta residuos de cultivos en pendientes inclinadas en El Salvador. Suficientes residuos serán dejados para proteger al suelo.
R.G. Barber

de residuos. Para prevenir la compactación del suelo, los períodos de pastoreo deben ser minimizados y limitados para cuando el suelo está seco. Especialmente, en muchas partes de los trópicos subhúmedos y húmedos, plantar un cultivo en los residuos del cultivo anterior es aplicar una práctica exitosa de cultivo. Son bien conocidas numerosas experiencias de agricultores pequeños, medios y grandes de E.U. y Sudamérica. Recientemente pequeños agricultores de Asia Central han cambiado drásticamente su sistema de producción de arroz-trigo, el cual genera incrementos de rendimientos de 15-20 por ciento.

Al comparar los mantillos con los residuos de cultivo tienen similares ventajas; las ventajas adicionales de los residuos de cultivo son, reducidas mano de obra, maquinaria y costos de producción, ya que no hay necesidad de cortar, transportar y aplicar los residuos.

Además, los rendimientos son más altos cuando se siembra directamente dentro de los residuos dejados por el cultivo previo, porque los canales de raíces viejas del anterior cultivo, facilitan un enraizamiento más profundo e incrementan la infiltración y percolación del agua de lluvias. La siembra directa dentro de residuos de cultivos comparada con los mantillos, es mucho más aplicable en las pendientes inclinadas, campos inaccesibles y cultivos de bajo valor.

Los mas altos beneficios pueden ser obtenidos cuando sembramos dentro de residuos de un cultivo de leguminosa debido a la disponibilidad de nitrógeno aumentada en el suelo, y por otro lado, el contenido de nitrógeno hace que los residuos sean fácilmente descompuestos y dejen una cobertura superficial esparcida.

Generalmente, las principales restricciones de un residuo de leguminosa, es la incapacidad para producir y dejar suficiente cantidades de residuos de cultivo en la superficie del suelo y la probabilidad de que en cierta secuencia de cultivos, se intensifiquen los problemas de malezas, plagas y enfermedades.

En algunas áreas, es económicamente muy interesante usar la vegetación natural como cobertura de suelo en áreas de cultivos. Esto no es una nueva práctica, ya que es usualmente hecho en los sistemas de cultivo alternos, cuando es abandonada la quema. Un ejemplo es el sistema Quesungual en Honduras.

En otros lugares, una de las especies de malezas dominantes puede formar una densa vegetación y generar una cantidad sustancial de biomasa, que su introducción, como cultivo de cobertura, probablemente no es factible. La mejor opción es observar las formas del buen manejo de la especie de maleza y usar ésta como cobertura del suelo solamente. Esto ha sido hecho con la "Linterna china" (*Lantana sp.)* en el área de Karatu, Norte de Tanzania.

Cuando los suelos están tan degradados que ellos deben ser sacados de la producción, su porosidad puede ser restablecida mediante la acción de procesos biológicos. Esto puede ser logrado por barbecho durante 1 o algunos años bajo vegetación natural enriquecido con árboles leguminosos de rápido crecimiento, o plantados en barbechos. Mientras que el barbecho de vegetación natural puede requerir 3-5 años, un cultivo de cobertura recupera la porosidad del suelo en un año.

La acumulación de biomasa en la superficie del suelo, promueve la recuperación de la porosidad del suelo y por tanto, de la infiltración del agua. Si la vegetación natural no es muy rica en especies, uno puede optar por "mejorar" la vegetación de barbecho, en la cual ciertas especies son sembradas por el agricultor, como el rábano picante, la avena negra, fríjol castor, girasol o arveja común.

Un cultivo de cobertura de leguminosa de enraizamiento profundo, bien adaptado muchas veces acelera la recuperación de la porosidad del suelo comparado con una vegetación de barbecho natural, debido a las grandes cantidades de biomasa que son rápidamente producidas por el cultivo de cobertura.

Los cultivos de cobertura son sembrados para producir una densa cobertura, la cual es usualmente eliminada y dejada sobre la superficie para proteger al suelo. Los cultivos de cobertura pueden crecer en asociación con cultivos perennes, o con cultivos anuales como uno intercalado, o como uno regulador, sucesivo, o como cultivo de rotación. Los cultivos de cobertura anuales son usualmente eliminados en el momento que surge el florecimiento para maximizar su contenido de nutrientes. La eliminación puede ser hecha por segado manual, cortando y aplastando con un rodillo de cuchillas, aplicando herbicidas desecantes ó mecánicamente con segadoras o trozadoras.

Para reducir la escorrentía e incrementar las cantidades de nutrientes suministrados por los cultivos de cobertura al siguiente cultivo, es a menudo deseable usar cultivos de cobertura con un hábito de diseminación, y un bajo

Lámina 127
La arveja peluda es usada como un cultivo de cobertura en el sur de Brasil, para generar biomasa en medio de dos cultivos comerciales.
S. Vaneph

índice de cosecha de menos de 10%, como sucede en ciertas variedades de caupí y guisantes. Los cultivos de cobertura de legumbres, son particularmente usados cuando son plantados en asociación con cultivos perennes, como las bananas y el café, así como también con la yuca y el boniato. Los cultivos de cobertura son particularmente útiles para proveer una cobertura durante los períodos de barbecho y para la regeneración de las tierras degradadas, así como por proporcionar a los agricultores, beneficios inmediatos tangibles, tales como alimentos para los humanos, para los animales y leña para el fuego.

La principal restricción del uso de los cultivos de cobertura para los pequeños agricultores en las regiones húmedas y subhúmedas, es la disponibilidad de semillas. Los pequeños agricultores generalmente adoptan los cultivos de cobertura sólo cuando no es factible sembrar otro cultivo, cuando el cultivo de cobertura no requiere salidas de dinero y mano de obra adicional, o cuando el cultivo de cobertura tiene beneficios adicionales para el agricultor.

Los cultivos de cobertura son convenientes en las áreas donde la tierra es normalmente dejada en barbecho durante un cierto periodo del año y la escorrentía, la erosión del suelo, y la proliferación de las malezas, deben ser prevenidos. Los cultivos de cobertura seleccionados, deben ser apropiados al suelo y clima local, ajustados al sistema agrícola y de cultivo existente, y ser económicamente aceptable para el agricultor. Algunos de los más importantes criterios son: la producción de biomasa, la longitud del periodo de crecimiento, la fijación de nitrógeno, la velocidad de establecimiento, comestible o no comestible, fácil de eliminar, resistencia a la sequía, resistencia a las bajas temperaturas, tolerancia a la baja fertilidad, habilidad para competir con malezas, resistencia a plagas y enfermedades, velocidad de descomposición de los residuos, profundidad de enraizamiento, habilidad para actuar como subsolador biológico, etc. Algunas especies tropicales pueden ser encontradas en tablas.

Los procesos biológicos que mejoran la estructura del suelo, son principalmente aquellos que tienen por objetivo un incremento de la materia orgánica del suelo. El material orgánico adicionado al suelo incrementará la actividad biológica. Los microorganismos usan la materia orgánica como alimento. Los productos de deshechos producidos por los microorganismos, se convierten en materia orgánica.

“La pérdida de estructura” (módulo 7 compactación del suelo) es una característica, la cual es a menudo usada para describir los perfiles del suelo que han sido labrados por largo tiempo. Parcialmente, ésta es causada por una reducción en el contenido de materia orgánica y humus del suelo. La materia orgánica juega un rol muy importante en la formación y estabilización de los agregados del suelo, que contribuyen a una mayor resistencia a la desintegración. La materia orgánica afloja al suelo, lo que aumenta la cantidad de espacios con poros. Esto tiene algunos importantes efectos. La densidad del suelo va cayendo (este se convierte en menos compactado) y la estructura del suelo mejora. Esto significa que las partículas de arena, limo y arcilla en el suelo, se pegan una a otras, formando agregados ó migajas.

Lámina 128
Las sustancia pegajosa en la piel de las lombrices de tierra, ayudan a aglutinar las partículas una con otra.

La calidad de los residuos de cultivo determinará el efecto en la estructura del suelo y la agregación. Especialmente la composición química de los residuos desempeña diferentes roles. El proceso de agregación del suelo puede tener lugar en dos formas:

- productos de deshechos de las bacterias – polisacáridos, y
- las hifas de hongos y bacterias.

Además de promover la actividad biológica y por ende, crear más poros, la materia orgánica juega un rol en la formación y estabilización de los agregados del suelo, a través de la conexión de las estructuras orgánicas a las partículas del suelo inorgánicas, resultando en una más alta resistencia a la desintegración.
Los polisacáridos son conocidos por promover una mejor estructura del suelo a través de su habilidad para aglutinar las partículas inorgánicas del suelo en agregados estables. Una reciente investigación indica que las moléculas de polisacáridos más pesadas pueden ser más importantes en la promoción de la estabilidad del agregado y la infiltración del agua, que las moléculas más ligeras. Los microorganismos sintetizan la mayoría de los polisacáridos del suelo, como ellos, descomponen los residuos frescos. La agregación del suelo es causada primeramente, por la producción de polisacáridos en situaciones donde los residuos contienen bajos niveles de nitrógeno.

Aunque su actividad es temporal y serán sustituidas anualmente, las hifas de actinomicetos y hongos, juegan un importante rol en la conexión de las partículas del suelo. La investigación muestra que una reducción de los

macroagregados del suelo fue fuertemente correlacionada a la declinación en las hifas de los hongos después de 6 años de cultivo continuo (Gupta y Germida, 1988).

DETENCIÓN DE LA ESCORRENTÍA

Una alternativa menos favorable de solución para la infiltración restringida, es el uso de estructuras físicas, las cuales pueden ser necesarias bajo ciertas situaciones:

- Cuando no es factible inmediatamente, implementar la agricultura de conservación o una simple cobertura del suelo, por ejemplo, los residuos de los cultivos son usados como forraje.
- Como medidas de respaldo para apoyar la agricultura de conservación donde el problema de la infiltración restringida se debe a la intensidad de las lluvias, que son más altas que las velocidades de infiltración del suelo en la presencia de una cobertura de residuos.

En estas situaciones, el volumen de agua que se va impregnando dentro del suelo puede ser incrementado dando mas tiempo a la infiltración mediante la lenta caída de la escorrentía, por medio de estructuras físicas y vegetativas construidas transversalmente a la pendiente y paralelas al contorno.

Las estructuras estrechamente espaciadas en el contorno (p.ej. sucesión de cresta y surco de líneas de plantaciones e irregularidades formadas por la labranza del contorno y las operaciones de manejo del cultivo), pueden ser formadas encima de todo el campo a fin de que toda la lluvia sea detenida cuando ella cae. Las estructuras ampliamente espaciadas en el sentido de la pendiente hacia abajo (p.ej. las terrazas fanya juu, paredes de piedras, montones de tierra, barreras vegetales vivientes y líneas de desechos), son usadas propiamente sin operaciones de campo del contorno entre ellas, lo que resultará en el corrimiento del agua pendiente abajo, hasta que es detenida o lentamente disminuida hasta la siguiente barrera.

Los detalles del esquema, diseño, construcción y mantenimiento de estas estructuras aparecen en muchos manuales de Conservación de Agua y Suelo, tales como el Boletín de la FAO 70 (FAO, 1996), otros documentos editados por agencias gubernamentales y otras por países específicos o condiciones medio ambientales particulares.

Manejo de la evaporación y transpiración del suelo

- Modificando la cobertura del suelo.
- Modificando el micro-clima.

La solución más efectiva para las altas pérdidas por evaporación del agua del suelo, es una cobertura de residuos de plantas sobre la superficie. Las prácticas agronómicas que incrementan la sombra en la superficie del suelo, y las estructuras físicas que concentran el agua de lluvia, alentando la percolación hacia las capas más profundas, también reducen las pérdidas por evaporación. Las pérdidas por transpiración derrochadora puede ser el resultado de la transpiración de malezas o transpiración excesiva de cultivos en condiciones de vientos calientes, y puede ser reducida mediante las prácticas de control de malezas apropiadas y barreras rompe vientos, respectivamente.

Lámina 129
Las terrazas lentamente formadas con cobertura permanente del suelo, producirán una alta infiltración de las lluvias. El excedente de agua será trasladado como clara escorrentía.
FAO

La cobertura del suelo reduce las pérdidas de agua del suelo por evaporación mediante la acción de una capa aislante. Ésta disminuye la temperatura de la superficie del suelo y elimina los efectos del viento. El calor del sol es solo ligeramente trasmitido desde la superficie de los residuos a través del aire atrapado dentro de la capa de residuos, a la superficie del suelo. En consecuencia, la superficie del suelo se mantiene más fría y la velocidad de evaporación del agua del suelo cae lentamente. Mientras más gruesa sea la capa de aire atrapado, mayor será el efecto de aislamiento. Sin embargo, la cantidad de residuos requerida para reducir las pérdidas por evaporación es considerablemente mayor que la cantidad necesitada para asegurar que la mayoría de la lluvia se infiltre donde ella cae.
La reducción de las temperaturas de la parte superior del suelo también beneficiará la germinación de la mayoría de las semillas. La temperatura del suelo no solo influye en la absorción del agua y los nutrientes por las plantas, la germinación de las semillas y el desarrollo de las raíces, sino también en la actividad microbiana y el encostramiento y endurecimiento del suelo. Las raíces absorben más agua cuando la temperatura del suelo aumenta, hasta un máximo de 35ºC. Las temperaturas más altas restringen la absorción de agua. La temperatura ideal para la zona de enraizamiento para la germinación y crecimiento de las plántulas, varía en el rango de 25-35ºC. Las temperaturas que exceden los 35ºC reducen drásticamente, el desarrollo de las plántulas de maíz y no hay apenas germinación de la semilla de soya cuando la temperatura excede 40ºC.

Lámina 130
Aún en tierras secas, en este caso Etiopia, es posible conservar suficientes residuos de cultivos, tanto para forraje de animales como para protección de la superficie del suelo.
J. Ashburner

Sin embargo, la principal desventaja de usar las coberturas de residuos para reducir la evaporación directa, son las grandes cantidades de residuos requeridos para reducir significativamente, la evaporación. A menudo, las regiones con altas pérdidas por evaporación también sufren de escasez de lluvias, lo cual restringe la producción de materia vegetativa. Frecuentemente hay además, otras demandas de residuos, las cuales tienen prioridad como es el forraje, el empajado de techos y la construcción.

Como fue analizado anteriormente, la cobertura del suelo puede ser aplicada en diferentes formas: vegetativa y no-vegetativa. Ejemplos de coberturas no-vegetativas o mantillos, son el uso de piedras, muy común en China, y la capa o cobertura de polvo.

Uno de los métodos más importantes de reducir la evaporación del agua desde la superficie del suelo, es llevar el agua lo más profundo que sea factible dentro del perfil del suelo. El conocimiento de las grietas y como el agua se mueve dentro de las grietas, es importante para el manejo de los suelos que tienen considerable agrietamiento.

La modificación del micro-clima es usualmente hecha reduciendo la velocidad de los vientos de un lado a otro de la superficie y proporcionando sombra a los cultivos y a la superficie del suelo.

Los rompevientos naturales son franjas de bosques dejadas después de la deforestación. Desde entonces, un microclima mucho más seco y azotado por el viento, se desarrolla en estas franjas de bosques comparadas con aquellas que están en bosques no alterados Muchos árboles en los rompevientos naturales a menudo mueren, dejando a veces agujeros a

través de los cuales el viento pasa a alta velocidad. Una importante línea directiva para los rompevientos naturales, así como para los rompevientos plantados, es que la frondosidad o densidad de la vegetación debe ser alrededor del 40 por ciento.

Los rompevientos artificiales, pueden consistir en simple, doble o triple hileras de árboles o arbustos, pero también la caña de azúcar y los tallos erectos de hierbas o pastos, protegen a las áreas contra el viento. Los rompevientos bien diseñados, reducirán significativamente, las velocidades de evapotranspiración de los cultivos en condiciones de vientos, lo que resulta en la conservación del agua del suelo y menos ulterior estrés de humedad, cuando hay limitaciones de agua. Un 50 por ciento de reducción de la velocidad del viento (de 32 a 16 km/h) disminuye las razones de evapotranspiración en 33 por ciento (McCall y Gitlin, 1973).

Los rompevientos pueden proporcionar beneficios adicionales a los cultivos reduciendo el daño mecánico y la pérdida de flores, y creando mejores condiciones para la polinización de los insectos. Ellos, además se benefician en la reducción de la erosión del viento, especialmente en suelos finos arenosos y limosos, y en la disminución de los problemas de contaminación del aire. Dependiendo de las especies de árboles seleccionadas, los rompevientos pueden además, proporcionar frutas, nueces, forrajes y maderas, pero las cosechas de estos productos no deben producir boquetes o aberturas que afecten el follaje y densidad de las franjas rompevientos.

La principal desventaja para los agricultores con pequeñas parcelas es la pérdida de área de cultivo por los rompevientos y los riesgos de competencia por agua, nutrientes y luz entre el rompeviento y el cultivo, conduciendo a bajos rendimientos de los cultivos. Esta zona de competencia puede extenderse por una distancia igual a 1.5 veces la altura del rompevientos.
En áreas con severa escasez de forraje, leña y madera de construcción, los rompevientos pueden necesitar ser cercados para prevenir los indiscriminados pastoreos y cosechas. Para asegurar que el viento no pueda pasar alrededor de los extremos de rompevientos individuales, el establecimiento de los rompevientos debe ser planeado sobre la base de comunidades.

Los rompevientos serán ventajosos en áreas sometidas a vientos secos fuertes durante la época de siembra, y donde los rompevientos causan una ganancia neta en el agua del suelo (debido a la reducción de la transpiración del cultivo que excede la pérdida de agua debido a la transpiración del rompevientos). Los rompevientos son también probablemente, ventajosos donde ellos están compuestos de especies que proporcionan beneficios adicionales, tales como forraje, nueces, frutas, leña y madera, que pueden ser cosechados sin peligro para el rompevientos.

La sombra puede ser facilitada por todos los tipos de materiales, ya sean artificiales como redes o mallas, telas, láminas plásticas y otras, o bien derivados de plantas, como ramas cortadas, hierbas cortadas soportadas en mallas, o bien árboles vivientes, los que proporcionan sombra de alto nivel y de amplia difusión. La sombra es necesaria en semilleros de plantas en regiones calurosas para proteger de la rápida desecación a las plántulas y a otras plantas, con raíces poco profundas. Mientras la sombra puede mejorar la severidad de las condiciones secas y calientes, y limitar las indeseables pérdidas de humedad del suelo, ella puede además ser tan densa como para limitar la energía solar que llega a la superficie de las hojas y limitar la fotosíntesis y las velocidades de crecimiento.

Donde la sombra puede ser deseable, su densidad debe ser ajustada para proporcionar un apropiado balance entre las pérdidas demasiado rápidas de agua, limitando la intensidad de la luz del sol y evitando las quemaduras de las hojas debido a deshidratación temporal y temperaturas altas dañinas a las células. Usando los arbustos y árboles vivientes para proporcionar una sombra a largo plazo para el té y el café, puede causar dificultades en el mantenimiento del grado deseado de sombra encima del cultivo en el largo plazo. En áreas tropicales, la sombra muchas veces es usada para proteger las plántulas durante las primeras pocas semanas de su desarrollo.

Incrementando la capacidad de almacenamiento del subsuelo

- Incremento en contenido de materia orgánica.
- Incremento en profundidad efectiva del suelo.
- Barbecho.

Usualmente, la adición de materia orgánica al suelo incrementará su capacidad de retención de agua. Esto es basado en el hecho de que la adición de materia orgánica, incrementa el número de micro y macroporos en el suelo, ya sea por el "pegamento" de las partículas del suelo una a otra, o por la creación de condiciones favorables de vida para los organismos del suelo. El agua es mantenida por fuerzas adhesivas y cohesivas dentro del suelo (poros) y un aumento en el poro espacio conducirá a un incremento de la capacidad de retención del agua en el suelo. El aumento en el almacenamiento del agua en el suelo como una consecuencia de la materia orgánica incrementada en la AC, se muestra en la Figura 21. Especialmente en la parte superior del suelo, donde el contenido de materia orgánica es más alto, más agua puede ser almacenada. El almacenaje del agua en el suelo no solo depende del tipo de cobertura o vegetación previa sobre el suelo, sino tambien del tipo de preparación de la tierra.

Un estudio para evaluar la resiliencia de los agroecosistemas, que fue conducido en 1999 en Honduras, Guatemala y Nicaragua, mostró que el 3-15 por ciento más de agua, fue almacenada en el suelo bajo prácticas más ecológicamente explícitas (Cuadro 28) (World Neighbors, 2000).

Cuadro 28 Promedio de profundidad del suelo (cm) en la cual la humedad comienza (World Neighbors, 2000).

PAÍS	PRACTICAS AGROECOLÓGICAS CONVINCENTES	PRACTICAS CONVENCIONALES	DIFERENCIA (%)
Honduras	9.98	10.28	2.9
Guatemala	2.44	2.99	15.0
Nicaragua	15.81	17.80	11.2

Todas las prácticas dirigidas a incrementar la profundidad efectiva del suelo, conllevarán a un incremento del almacenamiento del agua en el suelo. La profundidad efectiva del suelo puede ser limitada por las capas compactas (módulo compactación del suelo), pisos duros o pisos de arados. Mediante el rompimiento de estas capas, las raíces de las plantas y la biota del suelo, pueden explorar una mayor cantidad de suelo y haciendo eso, crear condiciones favorables para el almacenamiento de agua. Otro ejemplo es el uso de hoyos de plantación.

Una práctica común en áreas áridas y semiáridas, es incrementar el agua en el suelo mediante la práctica de barbecho limpio de malezas durante el primer año. El agua almacenada en el suelo durante el periodo de barbecho adiciona alguna estabilidad a los rendimientos de cultivos en el siguiente año. Ésta puede ser usada para la germinación de la semilla y crecimiento inicial del cultivo. Sin embargo, poca o ninguna humedad adicional del suelo es almacenada en los suelos arenosos comparados a los cultivos continuos. Los barbechos limpios de malezas están en uso en su mayor parte, en lugares donde extensas áreas de tierra están disponibles y donde las malezas pueden ser controladas mecánicamente. La desventaja del barbecho limpio de maleza es la exposición del suelo descubierto a las condiciones climáticas, lo que conlleva a pérdida de la estructura del suelo, pérdida de la materia orgánica e incremento de la erosión del suelo.

Agua adicional de otras fuentes

- Recolección de agua de lluvia.
- Irrigación.

La recolección de agua de lluvia es apropiada para áreas áridas y semiáridas donde las sequías son comunes y la irrigación no es factible. Información general acerca de la recolección de agua puede ser obtenida del documento de la FAO en Recolección de agua.

La escorrentía debe ser concentrada en hoyos, fosos, depresiones o detrás de las barreras hechas con piedra o tierra. En las estaciones secas, los rendimientos pueden aumentar hasta un 300% comparado con los rendimientos sin recolección de escorrentía. En las estaciones húmedas los rendimientos pueden ser reducidos porque solo una parte de la tierra es cultivada o debido a las inundaciones o anegamientos.

La recolección de agua de lluvias incluye diferentes prácticas:

Recolección de escorrentía de flujo laminar: la escorrentía es acopiada desde superficies de ligeras inclinaciones. La mayor parte de la escorrentía de flujo laminar, es acopiada desde un área grande de captación/colección de agua, y es concentrada en un área pequeña de cultivos. La relación del área de captación al área de cultivos, varía generalmente desde 1:1 a 1:3. Es recomendado que la pendiente del área de captación no exceda 5 por ciento. La mayoría de las áreas de captación de agua son descubiertas y a suelo desnudo, pero esta condición requiere trabajo para mantener la tierra. Ellas pueden ser también dejadas bajo vegetación natural y a veces pueden ser sembradas por cultivos de corto tiempo, pero la eficiencia (de la colección de agua), será menor que bajo los suelos desnudos. Canales de desviación pueden ser necesarios pendiente arriba, en el área usada para recolectar la escorrentía, para prevenir el excesivo daño de la escorrentía.

Recolección de escorrentía concentrada: la escorrentía concentrada es coleccionada desde canales estrechos, tales como veredas, sendas, senderos de ganado vacuno, corrientes temporales o áreas residenciales y caminos.

La recolección de agua de inundación y agua dispersada es la desviación del agua anegada proveniente de las corrientes de agua, ya sea por dispersión del agua sobre la tierra que ha de ser cultivada o bien mediante el almacenaje en profundos estanques de la finca.

La recolección del tejado es la colección directa del agua de lluvia desde los techos.

La irrigación suplementaria no está dentro de los objetivos de este módulo. Información sobre irrigación puede ser obtenida en http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwater/default.stm.

ÉXITOS DEL MANEJO DE AGUA EN TIERRAS SECAS

Algunas estrategias pueden ser usadas para disminuir el impacto de la lluvia baja y errática:

- correspondencia del uso de la tierra con las características del suelo;
- usar cultivos resistentes y que eludan la sequía;
- incrementar la eficiencia de los cultivos en la utilización del agua de lluvia;
- concentrar la lluvia mediante la recolección del agua;
- desviar el agua de río;
- interceptar las inundaciones; y
- aplicar irrigación suplementaria.

Haciendo corresponder el uso de la tierra con los tipos mas conveniente de suelos dentro de una finca, se puede incrementar la eficiencia con la cual es utilizada el agua disponible en el suelo para la producción de cultivos. Los requerimientos de agua del cultivo varían, así como la capacidad del suelo para retener y suministrar el agua a los cultivos.

El éxito en el manejo del agua en una agricultura de tierras secas esta basado en:

- retener la precipitación en la tierra;
- reducir la evaporación; y,
- utilizar los cultivos tolerantes a la sequía y que se ajusten a los patrones de lluvias (Stewart, 1985).

Esto plantea tres interrogantes:
¿Puede el agua entrar en el suelo lo suficientemente rápido para evitar la escorrentía?

¿Está el suelo en una condición tal que permita la toma de agua a través de las plantas sin que éstas sufran peligro de estrés de agua en sus tejidos y permita la transmisión del exceso hacia las aguas subterráneas de abajo?

¿Cómo es posible elevar los conocimientos de las personas sobre el suelo y el manejo del cultivo para estrechar las diferencias de rendimiento entre las experiencias de las estaciones de investigación y la práctica en el campo?

Con el objetivo de prevenir la pobre utilización de las lluvias por los cultivos, es necesario comprender los procesos que conducen al deterioro de la estructura (arquitectura) del suelo. Dos diferentes áreas en el suelo necesitan ser consideradas:

1. **En la superficie del suelo**

El impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie desnuda del suelo puede causar disminución de la porosidad como un resultado de la formación de sellos y costras en la superficie.

2. **Debajo de la superficie del suelo**

- La labranza y el tráfico de maquinaria, humano y animal, pueden destruir los espacios porosos y por consiguiente resultar en la compactación del suelo, especialmente en suelos húmedos. Esto conlleva al incremento de la escorrentía y al restringido desarrollo de las raíces (por lo tanto reducida profundidad del suelo).
- La labranza, en particular la inversión del suelo por arados, además causa una declinación de la fertilidad de nutrientes del suelo, a través de las pérdidas en materia orgánica y el decrecimiento de la actividad biológica del suelo.
- El colapso o compactación de los poros de todas las dimensiones, es la razón primaria por lo que el agua no puede entrar al suelo y que ocurra la escorrentía.
- Un factor clave para la sostenibilidad del suelo, es el mantenimiento de la capacidad biológica para la auto-recuperación y cómo estimular esta actividad biológica en el suelo.

En áreas de bajas lluvias, es frecuentemente difícil conocer cuándo han comenzado realmente las lluvias, ya que las iniciales son a menudo seguidas por un periodo seco. Muchos agricultores esperan hasta que la parte superior del suelo ha sido humedecido hasta una profundidad de cerca de 15-20 cm antes de la siembra, ya que si aún hay un periodo corto ulterior de seca, hay suficiente agua dentro del suelo. Sin embargo, esto repercute en un retraso de la siembra y por cada día de retraso, los rendimientos decrecerán (en cerca de 5 por ciento en el maíz en el este de Kenya, Dowker, 1964), mayormente debido a

las pérdidas de lluvias por drenaje y evaporación, junto con la pérdida de algunos nutrientes liberados.

Para superar este problema y permitir a los cultivos desarrollar mas temprano sistemas de raíces más profundos, ya que la mayor parte de las lluvias puede ser utilizada durante las etapas iniciales del comienzo de las lluvias, algunos agricultores “plantan en seco” cuando los suelos están secos antes de que comiencen las lluvias. Para evitar la prematura geminación antes de que haya caído la suficiente lluvia, las semillas son usualmente colocadas a mayor profundidad de lo normal. La plantación en seco además, tiene una ventaja de distribución de la fuerza de trabajo durante un periodo mas largo.

Los cultivos se pueden además beneficiar de esta práctica estando capacitados para utilizar el nitrógeno liberado en el comienzo de las lluvias por la descomposición de la materia orgánica del suelo, lo cual reduce la lixiviación y la contaminación del agua subterránea. Sin embargo, hay un número de problemas asociados con la plantación en seco, notablemente para aquellos suelos, y en particular los suelos pesados, que son difíciles si no imposibles, de labrar cuando están secos. Si las semillas no están plantadas con suficiente profundidad, ellos pueden germinar en las primeras lluvias y entonces morir durante el posterior periodo seco.

Aplicando fertilizante para el rápido desarrollo de las raíces del cultivo y así incrementar la sombra en la superficie del suelo, disminuirán las pérdidas de agua por evaporación, y así hay más agua disponible para el cultivo. Plantar los cultivos equidistantes (es decir, con espacio entre hileras similar al espaciado en la hilera) y así la superficie del suelo se torna mas rápidamente con sombra lo que permite reducir la proporción de agua perdida por evaporación. Sin embargo, los efectos de estas prácticas agronómicas en la reducción de las pérdidas por evaporación serán mucho menores que cuando se aplican residuos en la superficie.

En suelos permeables arenosos que retienen pequeñas cantidades de agua disponible para el uso del cultivo, es preferible introducir cultivos de enraizamiento profundo que pueden utilizar el agua del suelo a profundidades que no están disponibles para los cultivos de enraizamiento poco profundo. Ejemplos de cultivos de enraizado profundo son la cebada, la yuca, el cítrico, el algodón, el cacahuete, la oliva, el millo perlado, el guisante, el cartamo, el henequén, el sorgo, el girasol, el boniato y el trigo.

Cuanto permanece la humedad del suelo disponible para la planta en un tiempo dado, depende de la textura y porosidad del suelo, el volumen previo de humedad, el volumen extraído por la evaporación directa, la evapotranspiración y el drenaje superficial.

Lámina 131
Aún bajo condiciones de tierra seca, la agricultura de conservación conduce a un incremento de la humedad disponible para la planta. Este trigo de durun mantiene la fotosíntesis por un largo periodo de tiempo, lo que resulta en una alta calidad del grano. Comparar con el trigo de la derecha que fue sembrado bajo agricultura convencional.
A.J. Bot

La irrigación (si es accesible), es requerida normalmente cuando cerca de dos tercios del agua disponible- entre la capacidad del campo (CC) y el punto de marchites permanente (PMP), han sido agotados. Si la irrigación no es una opción, tiene sentido manejar el suelo para desarrollar y retener una cantidad máxima de poros del suelo de un amplio rango de dimensiones. Esto maximizará la capacidad de retención del agua y permitirá a las plantas resistir la sequía por largos periodos. Las texturas de limo generalmente tienen la mayor capacidad de agua disponible, mientras que la arena en un extremo, tiene una pequeña capacidad de agua disponible como la arcilla en el otro extremo.

EFECTO DE LA AC EN LA HUMEDAD DEL SUELO DISPONIBLE PARA LAS PLANTAS

Los cultivos de cobertura y los residuos en la superficie del suelo, reducen el efecto de salpicadura de las gotas de lluvias, y una vez que la energía de las gotas de lluvia ha desaparecido, éstas prosiguen por el suelo sin ningún efecto dañino. Esto resulta en una mayor infiltración y reducida escorrentía, conllevando a menor erosión. Los residuos además, forman una barrera física que reduce la velocidad del agua y el viento encima de la superficie, de los cuales el último reduce la evaporación.

El mantenimiento de los residuos de cultivos sobre la superficie del suelo aumenta la conservación de la humedad en el perfil del suelo, especialmente en áreas secas. Los residuos de cultivos sobre la superficie:

- incrementa la infiltración de agua mediante la prevención de la formación de costra y mejora la estructura del suelo;
- captura mas humedad que en suelos desnudos, debido a la rugosidad de la superficie;

- da sombra al suelo y por lo tanto reduce la evaporación; y,
- incrementa la capacidad de retención del agua del suelo, mediante el mejoramiento de la estructura.

La conservación de la estabilidad de los agregados es importante con el fin de reducir el sellaje de la superficie e incrementar las velocidades de infiltración del agua. Con la estabilidad aumentada, la escorrentía superficial es reducida (Roth, 1985). Una mayor estabilidad de los agregados bajo la agricultura de conservación, es el resultado de los siguientes aspectos (Kochhann, 1996):

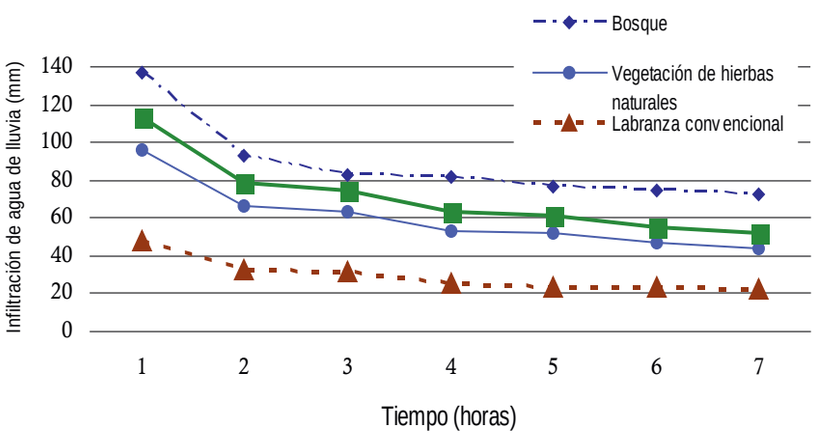
Lámina 132
La preservación de la humedad debajo de la cobertura del suelo de residuos de cultivos
A.J. Bot

- presencia de una capa de mantillo vegetal, la cual protege a la superficie del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia;
- ninguna alteración del suelo;
- presencia de materia orgánica en descomposición sobre la superficie, la cual induce la agregación en la parte superior de 0-3 cm;
- incremento en la densidad del suelo, la cual hace agregados mas resistentes a los cambios; y,
- mayor concentración de calcio y magnesio en la capa superficial, lo cual afecta positivamente la estructura.

Las madrigueras excavadas por las lombrices de tierra y los canales dejados en el suelo por las raíces de las plantas podridas, son un resultado de la preservación de los residuos sobre la superficie del suelo. Esto incrementa su porosidad y mejora la actividad biológica y la agregación de partículas. La porosidad mejora la infiltración y la percolación del agua y reduce la escorrentía.

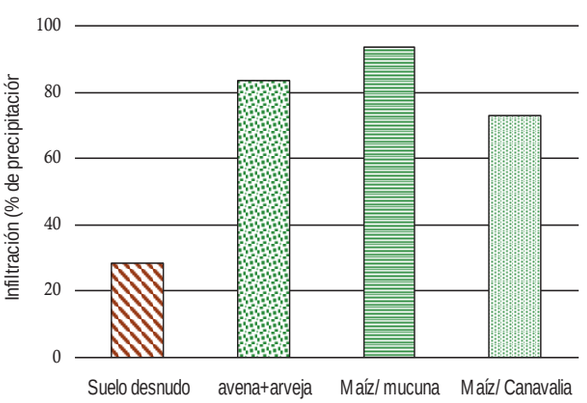
Las áreas en las cuales la agricultura de conservación ha sido practicada por un largo tiempo, han desarrollado una buena estructura del suelo y macroporosidad. El agua infiltra fácilmente, casi como en los suelos forestales, como es mostrado en la Figura 38.

FIGURA 38
La infiltración de agua bajo diferentes tipos de manejos (Machado, 1976).



La infiltración de agua de lluvias es aumentada debido al alto número de poros grandes (Roth, 1985). En el sur de Brasil, la infiltración de agua de lluvia incrementó de 20mm h^{-1} bajo labranza convencional, a 45mm h^{-1} bajo no labranza (Calegari y otros, 1998). En un experimento bajo condiciones de lluvia natural, Debarba y Amado (1997), se encontró un incremento en la infiltración de agua de lluvia en los sistemas con cultivos de cobertura del maíz bajo no labranza, con resultados prominentes en avena +arveja/maíz y maíz/mucuna (Figura 39).

FIGURA 39
Infiltración del agua de lluvia bajo diferentes sistemas de producción de maíz (Debarba y Amado, 1997).

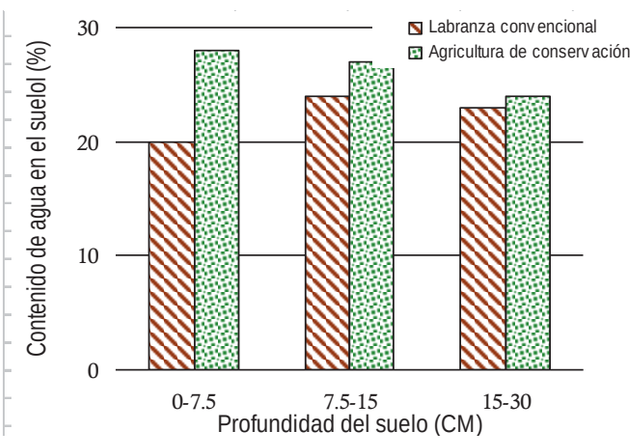


La consecuencia de la infiltración de agua incrementada, combinada con un mayor contenido de materia orgánica, es el aumento del agua almacenada en el suelo como se muestra en la Figura 40. Especialmente en su parte superior, donde el contenido de materia orgánica es más alto, más agua puede ser almacenada.

El almacenaje de agua en el suelo no sólo depende del tipo de preparación de suelo, sino tambien del tipo de cobertura o vegetación previa sobre el suelo. Como fue discutido en "Prácticas para disminuir la humedad del suelo" el residuo quemado es una de las prácticas que afecta negativamente el contenido de humedad del suelo; esto es claramente ilustrado en la Figura 41.

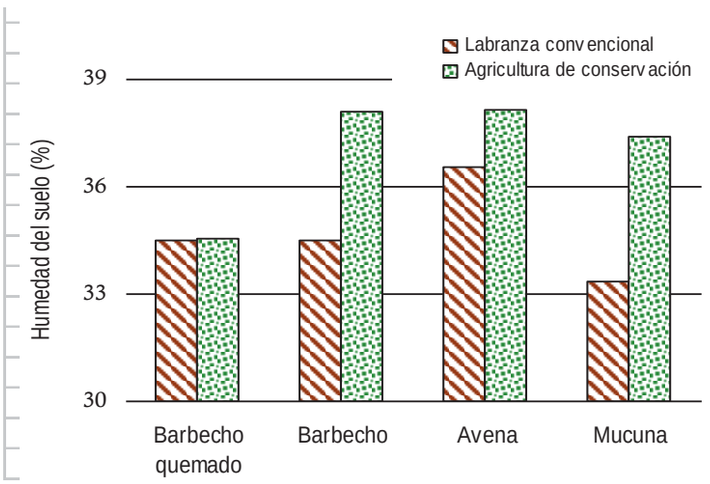
Conservando la vegetación en barbecho como una cobertura sobre la superficie del suelo, y por lo tanto, reduciendo la evaporación, resulta en 4 por ciento más de agua en el suelo. Esto representa 80 mil litros de agua en los 20 cm superiores del suelo (o una lluvia extra de 8 mm). Está claro que esta cantidad de agua "extra" puede establecer una diferencia entre la marchitez o supervivencia del cultivo durante los periodos secos temporales.

FIGURE 40
Cantidad de agua almacenada en el suelo bajo labranza convencional y bajo agricultura de conservación (Gassen and Gassen, 1996)



La cobertura del suelo no solo lo protege del impacto de las gotas de lluvias, sino también protege al suelo del impacto del sol. La cobertura reduce la temperatura del suelo y por lo tanto reduce las pérdidas de agua del suelo mediante la evaporación.

Figura 41
Efecto de diferentes coberturas de suelo en el almacenaje de agua en el suelo (Siqueira, y otros, 1993)



El contenido de materia orgánica incrementado junto con la cobertura del suelo conduce a aumentar la capacidad de retención de agua del suelo.

Como una consecuencia, menos agua de irrigación es necesitada para el mismo cultivo como es mostrado en el Cuadro 29 de Los Cerrados de Brasil. Especialmente en áreas con ausencia o escasez de (irrigación) agua, la agricultura de conservación puede resultar en una mayor área irrigada con la misma cantidad de agua.

Cuadro 29 Economía de irrigación de agua a través de cobertura de suelo (Perreira, 2001).

PORCENTAJE DE SUELO CUBIERTO	REQUERIMIENTO DE AGUA (M^3 HA^{-1})	REDUCCIÓN EN REQUERIMIENTO DE AGUA (%)	NUMERO DE VECES IRRIGADAS DURANTE LA TEMPORADA	NUMERO DE DÍAS ENTRE CADA IRRIGACIÓN
0	2660	0	14	6
50	2470	7	13	6
75	2090	21	11	8
100	1900	29	10	9

Con la agricultura de conservación se infiltra más agua dentro del suelo antes que la escorrentía sobre la superficie del suelo. Las corrientes son entonces mas alimentadas por el flujo subterráneo que por la escorrentía superficial. Entonces, en la agricultura de conservación, el agua superficial

es más limpia y se parece mucho más al agua subterránea, que en las áreas donde predomina la labranza intensiva y las acompañantes, erosión y escorrentía. Una gran infiltración debe reducir el anegamiento, provocando más almacenamiento de agua en el suelo y lenta liberación hacia las corrientes. La infiltración además, recarga el manto freático subterráneo, y por lo tanto, incrementa bien las provisiones de agua.

Un estudio para evaluar la resiliencia de de los agroecosistemas, que fue conducido en 1999 en Honduras, Guatemala y Nicaragua, mostró que el 3-15 por ciento más de agua fue almacenada en el suelo bajo prácticas más ecológicamente convincentes (Ver Cuadro 3) (World Neighbors, 2000).

A partir de diferentes puntos de vistas, los cambios importantes en el énfasis sobre el manejo del suelo incluyen:

- fijar la atención en proteger los espacios porosos, más que en proteger las partículas sólidas;
- enfatizar más el incremento de la infiltración que la reducción de la escorrentía;
- minimizar la erosión, manteniendo una cobertura de residuos de plantas sobre el suelo es una mejor primaria acción, que construir bancos transversales a la pendiente en intervalos pendiente abajo;
- al presenciar un río turbio en crecida, es más sensato preguntar "¿por qué tanta agua?" que exclamar sobre el sedimento que está siendo transportado;
- considerar conservación del agua y el suelo más que en conservación del suelo y el agua;
- reducir riesgos de fallo debido a la sequía, más que lamentarse de la severidad incrementada de la sequía; y,
- construir el suelo desde la superficie hacia abajo, particularmente favoreciendo la actividad biótica, más que meramente esperar por ella para hacer más profundo desde abajo hacia arriba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Calegari, A., M.R. Darolt and M. Ferro. 1998. Towards sustainable agriculture with a no-tillage system. Advances in GeoEcology 31: 1205-1209.

Debarba, L. and T.J.C. Amado. 1997. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do brasil com características de sustentabilidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo 21, p. 473-480 FAO 1996.

Gassen, D.N. and F.R. Gassen. 1996. Plantio direto. O caminho do futuro. Aldeia Sul, Passo Fundo. 207pp. Hamblin 1995.

Kochhann, R.A. 1996. Alteraçãos das Características Físicas, Químicas e Biológicas do Solo sob Sistema Plantio Direto. In: I Conferência Annual de Plantio Direto. Resumos de Palestras da I Conferência Annual de Plantio Direto. Passo Fundo - RS.
Machado, J.A. 1976. Efeito dos sistemas de cultivo reduzido e convencional na alteração de algumas propriedades fisicas e químicas do solo. Santa Maria: UFSM Tese de Doutorado.

Perreira, M. 2001. Personal Communication. IV Worldbank Study Tour.

Roth, C.H. 1985. Infiltrabilität von Latosolo-Roxo-Böden in Nordparaná, Brasilien, in Feldversuchen zur Erosionskontrolle mit verschiedenen Bodenbearbeitungs-systemen und Rotationen. Göttinger Bodenkundliche Berichte, 83, 1-104.

Siqueira, R., R.S. Yamaoka, R. Casão jr., G. Batista de Medeiros, P.J. Hamakawa and A. de Souza Ladeira. 1993. Sistemas de preparo e coberturas vegetais em um solo de baixa aptidão agricola. In: I Encontro Latino Americano de Plantio Direto na Pequena Propriedade. Ponta Grossa. Anais, p 221-237.

USER manual. 1992. *Understanding soil ecosystem relationships.* Dept. of Primary Industries, Queensland Australia. Script and 2 videos. ISSN 0727-6273.

World Neighbors. 2000. Lessons from the field. Reasons for resiliency: toward a sustainable recovery after hurricane Mitch. Honduras. 32p.

CAPÍTULO 10

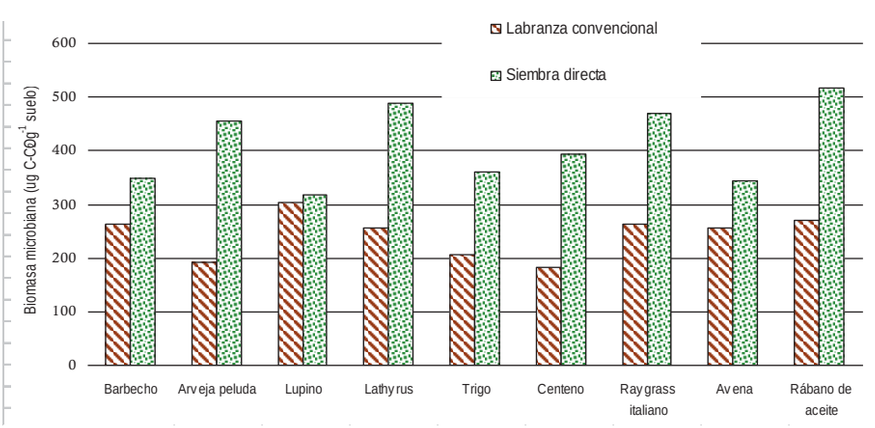
EFECTO DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

PRINCIPIOS DEL CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

La interrupción del ecosistema del suelo mediante la labranza, altera el equilibrio entre patógenos y organismos beneficiosos, dando cabida a los organismos causantes de enfermedades, los cuales usualmente son más oportunistas, para convertirse en problemas.

Los residuos y cultivos de cobertura que se mantienen sobre el suelo, proporcionan variados hábitat para los insectos, bacterias y hongos. En los sistemas de agricultura de conservación, se desarrollan más insectos y microorganismos (Figura 42), ya que ellos son capaces de hibernar hasta el siguiente cultivo.

FIGURA 42
Masa microbiana como una función de diferentes cultivos de cobertura bajo labranza convencional y siembra directa (Balota y otros, 1996)



Al mismo tiempo, la cobertura proporciona hábitats para los enemigos naturales de las plagas y enfermedades que ocurren en los cultivos comerciales (Gassen, 2000).

Entonces, la agricultura de conservación es un sistema natural que tiene un número alto de especies que pueden causar daño a los cultivos, pero que también tienen un alto número de organismos beneficiosos que ingieren a los organismos causantes de enfermedades o que son parásitos de los huevos de ciertas especies (Gonzáles y Dave, 1997). Se crean nuevos equilibrios entre especies, determinados por la cantidad de residuos dejados en la superficie y la rotación de cultivo practicada.

Lámina 133
Los residuos de cultivos en el suelo proporcionan numerosos hábitats para organismos beneficiosos.
A.J. Bot

PLAGAS

La presencia de especies está determinada por el cultivo (cobertura) previo: más alta incidencia de caracoles y babosas después de las crucíferas, gusanillos (thrips) después de las gramíneas, *Diabrótica* sp. después de la arveja peluda (Buntin, y otros. 1994), orugas (*Pseudaletia* sp.) después de la avena, perforadores de tallos (*Listronotus* sp.) después de raygrass italiano, etc. (Gassen, 2000).

No siempre una alta ocurrencia de ciertas plagas de insectos, significa una más alta incidencia de daño al cultivo. Algunos insectos cambian sus hábitos de alimentación ya que la cobertura de residuos proporciona una alternativa de suministro de alimentos, como en el caso de las larvas blancas del escarabajo coleóptero (Zerbino, 2001).

Otras plagas de insectos tienen ventajas adicionales para el sistema, como la excavación de canales o concentración de nutrientes, los cuales entonces se convierten en fácilmente disponibles para las plantas, como es el caso del *Diloboderus abderus.* Esta forma de plaga se convierte en un amigo del agricultor.

Lámina 134
La labranza biológica: larvas blancas tomando el rol del arado incorporando residuos de cultivos en el suelo.
C. Pruett

El *Diloboderus abderus* es uno de los insectos nativos del sur de Brasil, Argentina y Uruguay. Es conocido como una plaga en los pastizales y en los cultivos de cereales de invierno, donde causa daño a las raíces del cultivo. Inicialmente, este insecto estaba asociado con la agricultura de conservación, ya que su control depende de las actividades de preparación de la tierra y en estos sistemas, la preparación de tierras fue reducida, y los residuos fueron mantenidos sobre la superficie. Sin embargo, los experimentos han demostrado que los insectos juegan un importante rol en la red de alimentos del suelo y el reciclaje de nutrientes.

La larva de *D. abderus* abre madrigueras verticales de 1.8 cm en diámetro, con un promedio de longitud de 15 cm. En la base de estos agujeros se

forma un espacio de 5 cm de ancho donde ellos comen y depositan sus excrementos. Éstos pueden ser encontrados a una profundidad de 10-40 cm. Como en las madrigueras de las lombrices de tierra, estos espacios muestran un mas alto pH, contenido de nutrientes y materia orgánica, y el contenido de aluminio es reducido si se compara con el suelo que le rodea (Cuadro 30).

Cuadro 30 Propiedades de las cámaras de *Diloboderus abderus* en el suelo (Gassen y Kochhann, 1993)

PROFUNDIDAD DEL SUELO (CM)	MATERIA ORGÁNICA (%)	PH	AL fjmk,...- (ME/100G)	xc+dvc ,4,r, CA (ME/100G)	MG (ME/100G)	P (PPM)	K (PPM)
0- 5	3.4	5.6	0.13	5.7	1.9	55.4	194
5-10	2.5	5.5	0.26	5.1	1.6	26.5	126
10-15	2.3	5.4	0.41	4.4	1.6	17.7	79
15-20	2.1	4.9	1.41	2.6	1.1	7.8	50
20-25	2.0	4.7	2.24	1.8	0.9	3.5	33
Cámaras de *D. abderus*	4.7	5.5	0.20	6.6	2.1	46.0	172

Lámina 135
Concentración de la materia orgánica en los poros creados por los insectos del suelo y que permanecen en las proximidades de las raíces de las plantas.
A.J. Bot

Además del efecto positivo de estos poros verticales en el drenaje del agua de lluvia, estas concentraciones de nutrientes de plantas en las cámaras están fácilmente disponibles para su absorción por las raíces de las plantas.

Otros insectos comedores de plantas, como los gorgojos blancos (*Cyclocephala flavipennis)*, aún cuando se presentan en alto número como de 100 gorgojos por m², no causan daño a los cultivos cuando está presente la cobertura del suelo. Sin embargo, en suelos sin coberturas, no se le proporciona suficiente alimento y los insectos se tornan en una plaga, dañando al cultivo (Gassen, 1999). Estos insectos no excavan canales como los anteriormente mencionados, pero son importantes en el proceso de descomposición.

La incidencia de caracoles y babosas puede incrementarse bajo condiciones húmedas. Los residuos sobre la superficie del suelo que conservan la humedad, favorecen el desarrollo de estos animales. Como el daño a los cultivos puede ser considerable, la población necesita ser controlada. Se debe tener en cuenta que no todos los caracoles necesitan ser eliminados:

Lámina 136
Control localizado de babosas con insecticidas.
A.J. Bot

- menos de 4 caracoles/babosas por m² no requiere ninguna acción,
- de 4-16 caracoles/babosas por m² requiere acción en el momento de la siembra, y
- más de 16 caracoles/babosas por m² requiere un tratamiento con caracolicidas.

Con un buen manejo de los residuos, es posible prevenir la ocurrencia de grandes infestaciones. Para controlar los caracoles y babosas, es necesario:

- extraer los residuos de las hileras,
- extraer los residuos del área con alto riesgo de ocurrencia,
- mejorar el drenaje interno del suelo,
- los caracoles y babosas pueden ser controlados mediante la aplicación de nitrato de amonio en la puesta del sol: una práctica eficiente – bajo costo y rica en nitrógeno, que facilita la descomposición de la materia orgánica, y
- control localizado con insecticidas; ellos son atraídos por la cerveza.

ENFERMEDADES

Los cultivos comerciales sembrados en los sistemas de agricultura de conservación, son susceptibles a las mismas enfermedades que bajo las condiciones convencionales. Sin embargo, la presencia de los residuos de cultivos, requiere una especial atención como residuo de cultivo vegetativo que proporciona el más importante medio de supervivencia de los patógenos. En este contexto, la rotación de cultivo es la principal herramienta para reducir o inocular el organismo causante de la enfermedad, y alternar los cultivos con diferentes profundidades de enraizamiento a fin de evitar la compactación del suelo- lo que favorece las enfermedades de las raíces.

Para que una enfermedad ocurra son necesarios tres factores:

- el patógeno: bacteria, hongo, virus o nemátodos,
- un hospedero o cultivo, y
- condiciones medio ambientales favorables: temperatura, humedad, tipo de suelo, fertilidad, etc.

Algunas enfermedades ocurren solamente en un cultivo – ellos son hospederos específicos, mientras que otras ocurren en algunos cultivos y familias de plantas. En todos los casos, el hospedero proporciona el patógeno con el alimento. El hospedero puede tener lugar como semilla, como parte vegetativa o malezas. La dependencia es muy grande: cuando el hospedero no está presente mucho tiempo, el patógeno desaparecerá también (Dávila Fernandes, 2000).

La intensidad de la enfermedad depende de la densidad del inoculum para la infección. Por lo tanto, la interrogante a solucionar en el problema de la enfermedad, descansa en la presencia o ausencia de los residuos de cultivos, ya que ésta es la única fuente de nutrientes (alimento) disponible para el patógeno después de la cosecha. Algunas alternativas para solucionar el problema son:

1. inmediata destrucción de los residuos vegetativos, después de la cosecha mediante la quema de la paja,
2. incorporación de los residuos del cultivo mediante la aradura o el gradeo, y
3. destrucción biológica o descomposición de los residuos de cultivos por microorganismos, hasta que los residuos son totalmente mineralizados, asociado con la rotación de cultivos.

Sin embargo, las alternativas 1 y 2 no son opciones racionales en la agricultura de conservación, y deben ser rechazadas.

La descomposición depende del tipo de cultivo, diferencias en la razón C/N, condiciones climáticas diferentes, etc. La rotación del cultivo desde el punto de vista fitopatológico significa: abstenerse de sembrar el mismo cultivo hasta la completa descomposición de los residuos de cultivos, y por consiguiente, ocurre la eliminación de los patógenos del área.

La presencia de más residuos (de cultivos) favorece el hábitat de varios organismos causantes de enfermedades que se desarrollan mejor en

entornos más fríos y húmedos. Pero, por otro lado, puede formar una barrera física en la terminación del ciclo de desarrollo de ciertos patógenos, como *Sclerotinia* spp., o prevenir patógenos que están siendo diseminados mediante el movimiento del suelo por el aire, el agua o los equipos agrícolas (Costamilan, 2000).

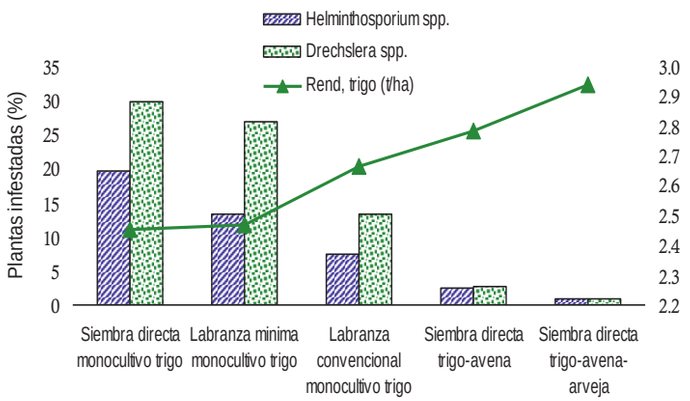
Los patógenos originados en el suelo, como *Gaeumannomyces* spp., *Fusarium* spp., *Rizoctonia* spp. y *Sclerotinia* spp. pueden causar un número importante de enfermedades en diferentes cultivos, como cereales, frijoles, fríjol soya, patatas, etc. (Penckowski, 2001). Ellos causan pudrición de raíces, conduciendo a una reducción de la absorción de agua y nutrientes, lo que resulta en la muerte de las plántulas y marchitez de las plantas. Ellos sobreviven en los residuos de cultivos y forman estructuras resistentes (esclerótica) que pueden permanecer en el suelo por un largo tiempo. Además, manchas en las hojas, causadas por *Helminthosporum*/*Bipolaris* spp. y *Pyrenophora*/*Drechslera* sp., son enfermedades que sobreviven en el suelo y en los residuos de los cultivos.

Como en la agricultura de conservación, los residuos de cultivos son conservados sobre la superficie del suelo, y no alterados por largo tiempo, ni volteados por las actividades de labranza, el control de las enfermedades debe enfocarse con medidas alternativas. Los medios eficientes de control incluyen:

- rotación de cultivos,
- el uso de cultivos y variedades resistentes,
- siembra superficial - 2-3 cm de profundidad -,
- evitar la compactación del suelo y el apropiado drenaje, y
- tratamiento de las semillas con fungicidas minerales u orgánicos.

La Figura 43 indica claramente que la incidencia de la enfermedad aumenta con la reducción de las prácticas de labranza – menos destrucción de los residuos del cultivo. Sin embargo, la rotación de los cultivos resulta en una drástica reducción de la población de patógenos, como es el caso con una rotación con avena y arveja.

Figura 43
Efecto de la incidencia de la enfermedad en el rendimiento del cultivo (Viedma, 1997).



Generalmente, la mayoría de las enfermedades de los cultivos es introducida mediante las semillas infestadas. No obstante, en áreas con residuos de cultivos infestados, las semillas del cultivo contribuyen a una pequeña parte del inoculum. Las semillas pueden estar infestadas durante el desarrollo de las semillas, lo que justifica la protección del cultivo, incluso en la última etapa del ciclo de crecimiento. El tratamiento de las semillas es una herramienta importante para reducir la incidencia de estas enfermedades, especialmente en áreas donde la rotación es practicada para romper los ciclos de la enfermedad. En estas áreas las semillas infestadas son la única forma de reintroducir la enfermedad.

Una práctica agronómica muy efectiva, es el ajuste de la fecha de siembra del cultivo. Especialmente cuando son usadas variedades susceptibles, la postergación de la fecha de siembra puede dar buenos resultados. De esta forma, la concurrencia de lluvias copiosas con infestaciones tempranas es evitada. Las variedades susceptibles, muchas veces muestran un alto y temprano índice de infestación en la época de crecimiento, y esto será evitado. Mediante la postergación de la fecha de siembra, el periodo vegetativo y reproductivo es reducido, lo que permite menos tiempo a la enfermedad para desarrollarse y matar las plantas antes de la fructificación, como se observa en la Figura 44.

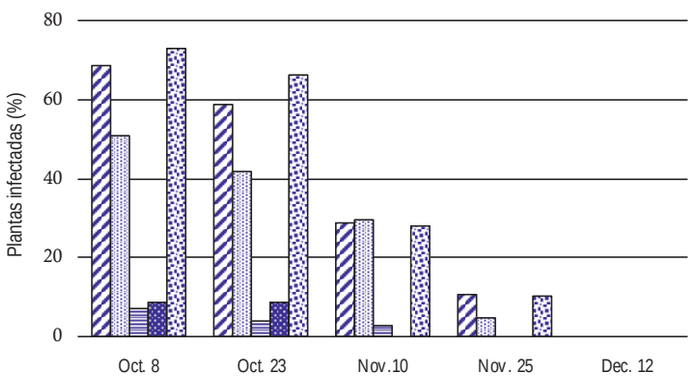
La misma Figura también ilustra muy bien, el efecto de usar variedades resistentes (variedades 3 y 4 en la Figura). Estas son menos susceptibles a la

infestación con el patógeno, y por lo tanto, resulta en menos daño al cultivo y un más alto rendimiento comparado con las variedades susceptibles.

Algunas semillas de cultivos de cobertura pueden actuar como hospedero intermediario a los patógenos. Esto significa que los cultivos de cobertura no sufrirán daños por la enfermedad, pero pueden actuar como un mecanismo para la supervivencia de la enfermedad hasta que es sembrado el siguiente cultivo hospedero (Huang *et al*., 1995).

Como se dijo anteriormente, los patógenos pueden además sobrevivir en malezas que son hospederas para ellos. Por lo tanto, es importante reconocer y controlar estas plantas hospederas en el campo.

Figura 44
Efecto de diferentes fechas de siembra en la incidencia de la enfermedad Phomopsis/Diaporthe spp. en cinco variedades resistentes de soya (Viedma, 1997).



La agricultura de conservación, usualmente tiene una influencia positiva en la reducción de las enfermedades producidas por virus. Parece extraño que un sistema de producción pueda influir en la incidencia del virus, ya que éstos están directamente asociados al tejido celular del hospedero. Básicamente, no es el virus por si mismo que es influido, sino el vector que trasmite el virus, es decir, los áfidos o pulgones. La cobertura de suelo, proporciona una incrementada diversidad y número de enemigos naturales de los áfidos que se alimentan de ellos. Además, es posible que la cobertura del suelo interfiera con el mecanismo de visualización de los áfidos, cuando identifican posibles plantas hospederas. Como la cobertura refleja la luz del sol en forma diferente, comparado con el suelo desnudo, los

Lámina 137
Ladybeetles comiendo los áfidos.
C. Pruett

áfidos pueden encontrar dificultad para distinguir las plantas hospederas (Cunha Fernandes, 1997).

Los nemátodos son diminutos, como un gusano, organismo multicelular, el cual vive en el laberinto de poros interconectados en el suelo. Ellos se mueven en las capas de agua adheridas a las partículas del suelo. Los nemátodos beneficiosos, comen bacterias, hongos y otros nemátodos. Los nemátodos perjudiciales, se alimentan de las raíces de las plantas y entonces crean accesos a los organismos de la enfermedad. Los nematodos, principales parásitos de plantas, incluyen (Yepsen, 1984):

- nemátodos de nudo de raíz,
- nemátodos enquistados,
- nemátodos punzantes, y
- nemátodos de raíz lesionada o de pradera.

Esencialmente, el control del nemátodo es la prevención, debido a que una vez la planta es parasitada es imposible matar al nemátodo sin destruir también el hospedero. Una de las prácticas más importantes para el control del nemátodo es la rotación de cultivos con cultivos (de cobertura) que no constituyan un hospedero para los nemátodos. Los cultivos que siguen a las brássicas (es decir, rábano bastardo, semillas de colza, etc.) se benefician del "efecto mostaza", ya que estos cultivos liberan compuestos fatales para los nemátodos durante su descomposición (Brown y Morra, 1997). Otros cultivos que suprimen los nemátodos incluyen: fríjol castor, ajonjolí, mucuna, *Chrysanthemum* spp. y caléndula (*Tagetes* spp.).

Algunas fuentes de materia orgánica son conocidas por ser eliminadoras de nematodos, como el aserrín, el bagazo de caña de azúcar, huesos triturados, agua negras enlodadas, etc. pero pueden ser demasiados costosas en su aplicación.

Con el objetivo de incrementar la población de las especies de hongos comedores de nemátodos, los materiales quitinosos, como conchas trituradas de camarones y cangrejos, deben ser aplicados al suelo. Cuando el material de concha se acaba, estos hongos se alimentaran del contenido quitinoso de los huevos de los nemátodos (Yepsen, 1984).

En general, la agricultura de conservación tiene un efecto positivo en la reducción de los nemátodos. En el caso de los nemátodos enquistados, los

quistes (reproducción de esporas) son diseminados por el viento, y como la cobertura del suelo reduce la actividad del viento a nivel del suelo, los quistes no llegan a diseminarse en largas distancias. La cobertura de residuos reduce la temperatura del suelo. Una temperatura disminuida del suelo resulta en un más lento desarrollo del ciclo de vida de los nemátodos: a 23°C, el ciclo de vida dura 24 días para ser completado, a 18°C, el mismo ciclo de vida dura 40 días para ser completado.

En resumen, es importante mantener una estrecha observación de las enfermedades en la agricultura de conservación:

- los patógenos que prefieren condiciones frías y húmedas necesitan atención especial en suelos arcillosos malamente drenados,
- cuando la estructura del suelo es mejorada, esto además, afecta el drenaje interno y la aireación, resultando en un suelo más seco.

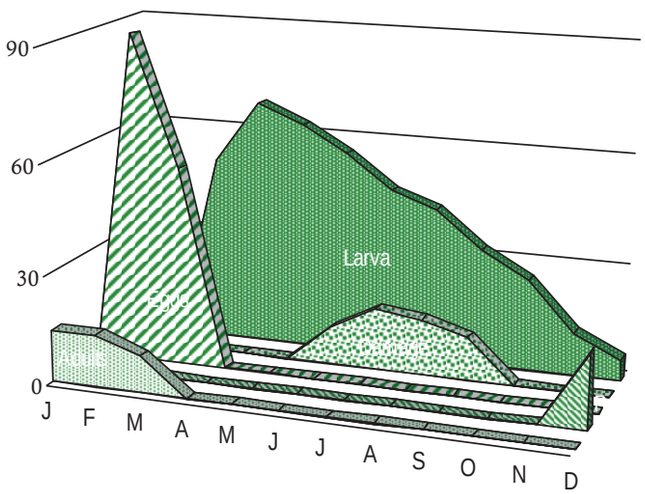
MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

El manejo integrado de plagas y enfermedades (MIP) es una forma interdisciplinaria de manejo de plagas que usa varios métodos de control de insectos, conservación de energía y protección del medio ambiente. Las diferentes fases son:

- identificar el principio de la plaga y los organismos beneficiosos,
- aprovecharse de las prácticas agronómicas para reducir las plagas, por ejemplo, la rotación de cultivos, uso de variedades resistentes, cobertura de cultivos, variación de la fecha de siembra, etc.
- seguir estrechamente las poblaciones de plagas,
- trabajar en un acertado balance entre las pérdidas económicas del cultivo y los costos/beneficios de la aplicación de productos fitosanitarios.

Para ser capaces de tomar decisiones inteligentes, con relación al manejo de las plagas de insectos, primero que todo es necesario obtener información sobre la población de la plaga (Figura 45). Debido a que la población puede fluctuar con el tiempo, es importante hacer una revisión regular de las plagas.

Figura 45
Ciclo biológico y daño por Diloboderus abderus (r Gassen, 2001).



La densidad de la plaga es medida con diferentes técnicas de muestreo y puede ser expresada en número de insectos por planta o por metro.

Las prácticas agronómicas pueden ser una herramienta útil para reducir y mantener la población de las plagas a bajo nivel. Algunos consejos:

- rotación de cultivos con el fin de romper los ciclos de vida de los insectos de plagas,
- ajustar la fecha de siembra para evitar los niveles altos de actividad de los insectos,
- mantener un nivel adecuado de fertilidad del suelo , porque plantas saludables pueden tolerar un nivel más alto de daño, y
- uso de planta o híbridos resistentes para reducir el nivel de daño por insectos.

Algunas prácticas agronómicas pueden proporcionar ayuda en prevenir la ocurrencia de las enfermedades:

- rotar con un cultivo que no es un hospedero para el patógeno, con el fin de romper su ciclo,
- usar variedades resistentes o híbridos,
- usar semillas certificadas que estén libres de patógenos,

- en climas fríos, extraer los residuos de las ranuras donde las semillas están germinando, a fin de secar y calendar el área,
- control de malezas que pueden actuar como hospederos para los patógenos,
- mantener un adecuado nivel de fertilidad del suelo, porque plantas saludables pueden tolerar más altas incidencias de enfermedades.

Lámina 138
Plaga de cultivo por un hongo.
C. Pruett

La incrementada biodiversidad del suelo bajo la agricultura de conservación, proporciona al ecosistema, con microorganismos afines que disminuyen algunos organismos de plagas y enfermedades. Por ejemplo, el hongo *Gliocladium virens*, el cual tiende a incrementarse con los niveles aumentados de materia orgánica, controla los patógenos. La *Agrobacterium* restringe el crecimiento de *Fusarium* spp. y las especies de *Pseudomonas* han sido asociadas con un decrecimiento en casi toda la enfermedad (*Gaeumannomyces* spp.) en trigo.

Leer más en MIP en http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPP/IPM/Default.htm y http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGP/AGPP/IPM/gipmf/default.htm y en biodiversidad del suelo en www.fao.org/ag/agl/agll/soilbiod/default.stm.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balota, E.L., M. Kanashiro and A. Calegari. 1996. Adubos verdes de inverno na cultura do milho e a microbiologia do solo. In: I Congresso Brasileiro de Plantio Direto para uma Agricultura Sustentável. Ponta Grossa. Resumos expandidos p12-14.

Brown, P.D. and M.J. Morra, 1997. Control of soil-borne plant pests using glucosinolate-containing plants. In: Advances in agronomy. D.L. Sparks (Ed.) Academic Press, San Diego.Vol.61: 167-215.

Buntin, G.D., J.N. All, D.V. McCracken and W.L. Hargrove. 1994. Cover crop and nitrogen fertility effects on southern corn rootwood damage in corn. Journal of Economic Entomology Vol.87:6. p. 1683-1688.

Costamilan, L.M. 2000. Doenças de plantas e alternativas de controle em plantio direto. In: 7o Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha. FEBRAPDP. p. 103-104.

Cunha Fernandes, J.M. 1997. As doenças das plantas e o sistema plantio direto. In: II Seminário Internacional do Sistema Plantio Direto. Anais. EMPRABA, Passo Fundo. p. 43-80.

Dávila Fernandes, M.A. 2000. Doenças das culturas de soja, milho e feijão associadas ao sistema de PD sobre a palha. In: Guia para Plantio Direto. Grupo Plantio Direto (Eds). Ponta Grossa. 110 pp.

Gassen, D.N. 2001. As pragas sob plantio direto. In: Siembra Directa en el Cono Sur. Diaz Rosello, R. (Ed.) PROCISUR. Uruguay. p.103-120.

Gassen, D.N. 2000. As pragas sob plantio direto no sul do Brasil. In: VII Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha. Resumos. FEBRAPDP. Ponta Grossa. p. 47-49.

Gassen, D.N. 1999. Os insetos e a fertilidade de solos. In: Fertilidade do Solo em Plantio Direto. Resumos de Palestras do III Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto. Passo Fundo. p70-89.

Gassen, D.N. and R.A. Kochhann. 1993. Diloboderus abderus: beneficios de uma praga subterrânea no sistema plantio direto. In: I Encontro Latino Americano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade. Ponta Grossa. Anais: p101-105.

Gonzales, A. and R.D. Dave. 1997. Comparison of egg parasitism of Empoaska kraemeri by Anagrus sp. in common beans under no-tillage and conventional tillage. CEIBA. Vol. 38:1, p.49-54.

Huang, G.F., L.P. Wildner and S.E. Simon. 1995. Microflora fúngica em sementes de adubos verdes em Santa Catarina. In: V Reunião Centro-Sul de Adubação Verde e Rotação de Culturas. Resumos. EPAGRI, Chapecó. p. 154-156.

Penckowski, L.H. 2001. Fungos de solo, um problema para a cultura do feijão. In: Informativo Fundação ABC. Vol 3:14. p. 20-22.

Viedma, L.Q. de. 1997. Manejo de enfermedades de cultivos extensivos en el sistema de siembra directa. In: Curso sobre siembra directa. PROCISUR. Paraguay. p. 203-216.

Yepsen, R.B. 1984. The encyclopedia of natural insect and disease control. Revised Edition. Rodale press. p. 267-271.

Zerbino, M.S. 2001. Efecto de la siembra directa sobre la macro fauna del suelo. Serie de Actividades de Difusión no. 260. INIA. Uruguay. 22pp.

CAPÍTULO II

EFECTO DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN EN EL CONTROL DE MALEZAS

¿QUÉ ES UNA MALEZA?

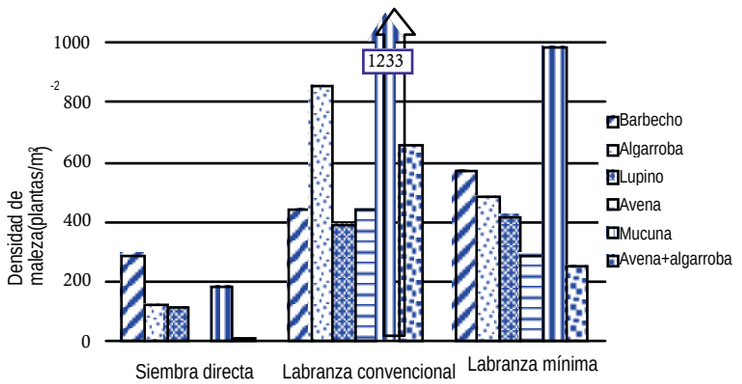
Aquellas plantas que interfieren con la actividad humana en áreas de cultivo y no cultivo, son consideradas malezas. Las malezas compiten con los cultivos por los nutrientes del suelo, el agua y la luz; ellas hospedan insectos y patógenos de plantas dañinos a las plantas de cultivos, y sus exudados de raíces y/o filtraciones de la hoja, pueden ser tóxicos para las plantas de los cultivos. Las malezas además, impiden la cosecha del cultivo e incrementan los costos de tales operaciones. Adicionalmente, en la cosecha, las semillas de las malezas, muchas veces contaminan la producción del cultivo. Por lo tanto, la presencia de malezas en áreas de cultivo, reduce la eficiencia de los insumos tales como el fertilizante y el agua de irrigación, realzan la densidad de otros organismos de plagas, y finalmente, reduce severamente el rendimiento y calidad del cultivo (Labrada y Parker 1999).

En cualquier sistema de cultivo, varias operaciones son dedicadas al control de malezas. Los procedimientos de la preparación de tierras y el cultivo entre hileras, son en su mayor parte, con miras a controlar las malezas. Sin embargo, en la agricultura de conservación, el número de operaciones de labranza es reducido y por lo tanto, las malezas deben ser controladas por otros medios.

Hay una opinión de que la reducción de las operaciones de labranza puede traer un aumento de la infestación de malezas. La realidad es que la agricultura de conservación demanda nuevos enfoques para la preservación de la fertilidad del suelo, así como para el manejo de malezas.

Ciertamente, la labranza reducida o mínima, no bien implementada, puede incrementar la infestación de malezas, particularmente de malezas perennes, cuando es combinada con el barbecho natural. La agricultura de conservación no solo basa su eficacia en la labranza reducida, sino en la combinación de ésta con el uso de cultivos de cobertura y la rotación de cultivos. Se ha visto que la labranza mínima puede reducir las malezas mejor que la aplicación de las prácticas de labranza convencional (Figura 46).

Figura 46
Número de malezas bajo diferentes regímenes de labranza y diferentes coberturas, 39 días después de la siembra Neto, 1993).



La Figura 46 muestra claramente que la *Mucuna pruriens* como un cultivo de cobertura, usado en la siembra directa (módulo Herramientas, maquinaria y equipos), puede efectivamente suprimir las malezas. Sin embargo, la *Mucuna* puede incrementar la infestación de maleza cuando es combinada con las prácticas de labranza reducida o convencional. Para un efectivo manejo de las malezas, es extremadamente importante comprender el comportamiento de las malezas y su competencia con los cultivos.

CONOCIMIENTOS BÁSICOS EN EL MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS

El entendimiento del comportamiento de la maleza ayuda a diseñar el control adecuado. Los principales componentes a ser tomados en consideración son:

1. Identificación de las malezas y su nivel de infestación.
2. Biología y ecología de las especies de malezas prevalecientes.
3. Los efectos competitivos de las especies de malezas prevalecientes.
4. El control de estrategias efectivas técnicamente, viables económicamente y seguras para el medio ambiente.

Las malezas usualmente compiten con los cultivos comerciales por agua, luz, espacio y nutrientes. Estos recursos son obtenidos en un cierto 'espacio biológico'. La competencia entre las malezas y el cultivo es variable, y depende de la capacidad de las plantas para ocupar el espacio.

Varias características están relacionadas con el éxito de las especies de malezas (Patterson, 1985):

- largo periodo de latencia,
- alta habilidad de dispersión de la semilla,
- alta diversidad genética, a tal punto que se adapta a un amplio rango de condiciones,
- alta velocidad de reproducción,
- reproducción tanto por semillas y por material vegetal,
- vigoroso y rápido crecimiento, y
- habilidad para sobrevivir y reproducirse bajo condiciones medio ambientales hostiles.

Pero el real éxito de las malezas, depende de su habilidad para invadir y colonizar- o dominar y persistir- en un área (Cousens y Mortimer, 1995).

El mecanismo de la latencia de la semilla, es la característica principal que asegura la supervivencia de las especies de la maleza en los campos agrícolas. Sin latencia, ciertas condiciones pueden conducir a la extinción de las especies. Entonces, la latencia asegura el mantenimiento de un determinado banco de semillas en el suelo, que es capaz de formar una población en diferentes períodos de tiempo y bajo diferentes condiciones. El suelo es un depósito para las semillas de malezas, ya que cada año las malezas colocan semillas y las dispersan por encima del área. Estas semillas:

- permanecen en la superficie, o
- son incorporadas con actividades de labranza superficial, o
- son incorporadas con actividades de labranza profunda.

Con la siembra directa, el banco de semillas difiere de la labranza convencional, porque:

- Las semillas de malezas permanecen en la superficie del suelo, donde ellas son susceptibles del ataque de insectos, pájaros y organismos del suelo, y de las influencias atmosféricas.
- El suelo permanece cubierto con residuos, lo que evita que la luz llegue a las semillas y entonces, reduce la germinación.
- Las semillas de malezas situadas ya a cierta profundidad, no son traídas de nuevo hacia la superficie, donde ellas podrían germinar.
- las semillas perennes no son más redistribuidas a través del implemento.

Las malezas se adaptan constantemente por si mismas a los cambios en su entorno, y un cambio de la labranza convencional a la agricultura de conservación, generará un cambio en la variedad de especies.

Con una capa de cobertura sobre la superficie del suelo, como en la agricultura de conservación, el cambio en la humedad del suelo y la temperatura y la intercepción de los rayos del sol, son los factores físicos principales que afectan la germinación de las semillas de malezas. Uno de los cambios químicos en el suelo que afectan la germinación de las semillas de malezas, es la liberación de sustancias alelopáticas.

INVENTARIO DE MALEZAS

Una base fundamental para introducirse en el manejo de las malezas, es conocer las especies presentes y el nivel de infestación. La identificación de la maleza puede ser importante en términos de diferenciar las malezas perennes de las parásitas, lo que no responderá con las prácticas de control de malezas tradicionales convencionales; mientras más precisa sea la determinación, incluso de las especies anuales de malezas, puede ser vital para la selección óptima de cualquier herbicida u otra medida de control. Los niveles exactos de infestación no son generalmente tan decisivos, pero puede ser necesario determinarlos, donde los márgenes económicos han sido establecidos. Las malezas pueden ser contadas y evaluadas visualmente, mediante un sistema apropiado de puntuación.

BIO-ECOLOGÍA DE LA MALEZA

Es vital conocer los patrones de las diferentes fases de crecimiento de las principales especies de malezas. Estas fases incluyen:

- latencia,
- germinación,
- desarrollo de plántulas,
- emergencia,
- crecimiento vegetativo,
- florecimiento,
- establecimiento de semillas,
- madurez, y
- dispersión de semillas.

Las influencias favorables y desfavorables de los factores bióticos y abióticos en cada fase, necesitan ser comprendidos.

Las especies de malezas terrestres persisten en el suelo en virtud de las estructuras latentes, típicamente semillas u órganos perennes vegetativos, como son los rizomas, los tubérculos y las raíces principales. En infestaciones densas, los bancos de semillas o meristemos enterrados, pueden ser excepcionalmente grandes y de los cuales nuevas plantas pueden ser obtenidas en poblaciones adultas. Rao (1968) ha estimado que en la *Cyperus rotundos* L. la población de tubérculos de 10 millones por hectárea fue posible, mientras que Soerjani (1970) calculó que la *Imperata cylindrica* puede producir anualmente seis toneladas de rizomas por hectárea. Típicamente, los bancos de semillas de malezas anuales en suelos cultivables, contienen desde 1,000 - 10,000 semillas por $m^{2,}$ mientras que en tierras de pastos el límite superior de este rango puede extenderse al menos a 1 millón por m^2 (Mortimer 1994).

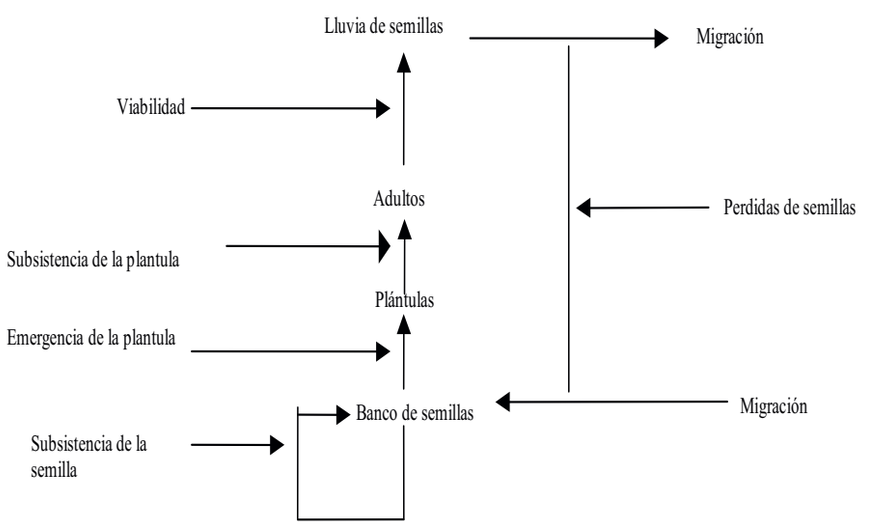
Las pérdidas de un banco de semillas pueden ser de germinación, pérdida de viabilidad *in situ*, y ataque de hongos y predadores. Mientras que la longevidad de las semillas de algunas especies de malezas en el suelo, se conoce que es considerable (p.ej. al menos 20 años en *Striga*), muchos estudios han mostrado que hay un riesgo de muerte constante para las semillas enterradas en el suelo y que la supervivencia de poblaciones de semillas enterradas viables, puede ser convenientemente definida como la mitad de la vida (el tiempo tomado por la población para disminuir en la mitad, semejante a la desintegración radioactiva).

La experimentación meticulosa (Roberts y Dawkins 1967; Roberts y Feast 1973) concerniente al enterramiento y recuperación de las semillas, han mostrado que viven la mitad, especies específicas, y varía con la profundidad de enterramiento, tendiendo a aumentar el tiempo de vida con la profundidad en muchas especies; y decrecen con la frecuencia de cultivo del suelo. De un examen de 15 especies comunes de malezas de la agricultura de Nigeria, Marks y Nwachuku (1986) concluyeron que en las especies de malezas tropicales, las semillas son menos longevas que en las templadas. Once de quince especies mostraron la mitad de vida de menos de 8 meses y la mayoría de los bancos de semillas fueron severamente agotados después de dos años. El examen del destino de las semillas enterradas sugirió que las pérdidas fueron debidas a, en lo fundamental, la muerte *in situ* de las semillas latentes. Tan alta declinación, indica claramente los meritos de los periodos de barbecho, así como la técnica de control de malezas en la agricultura tropical, y la implementación de los sistemas de la agricultura de conservación.

En contraste con la población de semillas enterradas, la longevidad de los bancos de meristemos bajo tierra, de órganos perennes de malezas (p.ej. tubérculos, rizomas, raíces trepadoras) puede ser considerable, particularmente donde el predominio apical puede suprimir el desarrollo de brotes o retoños. La persistencia de los retoños latentes es mucho más dependiente del destino de los brotes encima de la tierra en los cuales los órganos están adheridos. El cultivo regular que fragmenta las plantas perennes puede liberar retoños de la latencia interna y sirve para agotar los bancos de retoños.

La habilidad para desplegar germinaciones discontinuas, es un rasgo bien conocido de muchas (pero no todas) especies de malezas. La emergencia accidental de las plántulas de un banco persistente de propágulos, es una viva historia característica que puede conferir ventajas reproductivas en hábitats impredecibles, así como para maximizar la oportunidad de sembrar plantas adultas (Figura 47).

Figura 47
Esquema del ciclo de la maleza, su reproducción y formas de mantener el banco de semillas de malezas



La posesión de los mecanismos de latencia de las semillas confiere dos importantes oportunidades ecológicas a las especies de malezas. La primera, es la habilidad para resistir periodos de condiciones adversas, y la segunda, es la sincronización de las etapas no-resistente y resistentes con las condiciones del entorno apropiadas para maximizar la oportunidad de establecimiento de la plántula. Estratégicamente, la latencia puede ser predictiva o consecuencial (de mucha consecuencia). La latencia de la semilla predictiva en malezas, es generalmente referida como la

latencia innata (Harper 1959) y refleja la adaptación a entornos de temporadas predecibles, las semillas entran en latencia anticipadamente a las condiciones adversas. En contraste, la latencia de semillas consecuencial (forzada o inducida) refleja una respuesta a las condiciones adversas, e inevitablemente, conduce a los bancos de semillas persistentes como opuesto a lo transitorio de las primeras de lateral o inesperado (Grime 1989).

Los patrones de germinación pueden resultar en discretos florecimientos de emergencia de plántulas o, como es muchas veces, el caso de emergencia de plántulas, en grupo durante un periodo extenso. La posibilidad de supervivencia hasta el florecimiento, puede relacionarse al tiempo de emergencia en respuesta al clima, así como con las prácticas de control de malezas. En la *Avena fatua* hay un mayor riesgo de mortalidad natural, de las plántulas emergidas en otoño, debido a las condiciones duras del invierno, que en las plántulas emergidas en primavera. Los análisis comparativos críticos de las razones de crecimiento relativo de las malezas y los cultivos, son pocos y muchas veces se dificulta interpretar el por qué de la variación en condiciones experimentales. Aunque un rápido crecimiento en el estado vegetativo es esperado en las especies de malezas, esto no es para presumir que las malezas pueden uniformemente acumular biomasa o follaje, a una razón más rápida que los cultivos acompañantes. Por ejemplo, Cousens y otros (1991) han mostrado que las razones de crecimiento de la biomasa de la planta, encima de la tierra, en trigo y cebada, superan a la *Avena fatua*, pero este domino es invertido en etapas más largas de desarrollo.

El tiempo requerido para alcanzar la madurez reproductiva en las malezas, varía considerablemente y puede ser similar a la vida del cultivo acompañante, o ser considerablemente mas corto. En los trópicos, los ciclos de vida de las malezas pueden ser extremadamente cortos. Las *Echinochloa colona* (L.) Link, *Setaria verticillata* (L.) P. Beauv. y *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd. pueden ir hasta el florecimiento en 30-45 días, mientras que la *Rottboellia cochinchinensis* puede producir semillas maduras en 50 días de establecimiento (Fisher y otros. 1985). Similares ciclos de vida de corta duración, pueden ser observados en malezas de latitudes templadas (p.ej. *Capsella bursa-pastoris* L.), pero las malezas de mayor importancia tienden a tener un periodo de crecimiento extendido cercano a los 6 meses.

Debido a que las malezas se establecen rápidamente con el cultivo, los agrónomos han favorecido por mucho tiempo los procedimientos de control de malezas profilácticos, como se ha visto en la preparación de los lechos de siembras limpios. Las prácticas de labranza sirven para destruir las malezas existentes y para distribuir las semillas de malezas a profundidad, dentro del perfil suelo, desde

donde ellas pueden fallar en emerger. La fracción de semillas que germinan desde el banco de semilla enterrado, y el éxito de establecer las plántulas, es muchas veces una fracción pequeña (1 -10%) del total de especies desplegadas en un banco enterrado de semillas. En unas pocas especies, tales como *Bromus* spp y *Agrostemma githago* L., lo reverso es lo cierto y la población se renueva anualmente desde un banco transitorio de semillas. En estas especies, la inversión del suelo por aradura profunda, puede colocar las semillas a profundidades desde las cuales las plántulas no pueden emerger y la población declina rápidamente. En consecuencia, las prácticas de labranza pueden ejercer considerable mortalidad sobre las poblaciones de semillas de malezas, y una vegetación de maleza puede responder rápidamente a los cambios en las prácticas de labranza (Forcella y Lindstrom 1988).

De acuerdo a la labranza adoptada, las semillas de malezas serán colocadas diferentemente en el suelo. Bajo la labranza mínima o cero labranza, las semillas de malezas se encontrarán en las capas poco profundas del suelo, algo que facilita más la germinación. Las operaciones convencionales tienden a incorporar las semillas a una profundidad del suelo de 15-25 cm. La mayoría de estas semillas no germinan a esa profundidad, y esperan hasta que ellas sean traídas cerca de la superficie del suelo para germinar.

La semilla y la producción de rebrote, constituyen la fase multiplicativa en el ciclo de vida, y la regulación de la cantidad reproductiva producida, surge naturalmente de la competencia interna y externa en la comunidad de cultivos de malezas y de las pérdidas, durante y después de la cosecha. El estudio de la competencia maleza-cultivo sugiere que la producción de semillas por plantas de muchas malezas cultivables puede estar en dependencia de la densidad por encima de 1 - 100 plantas adultas por metro cuadrado. Las pérdidas de semillas en la cosecha puede originarse mediante la extracción de malezas por las propias combinadas del cultivo, y puede contabilizarse en fracciones significantes de semillas (hasta el 40% de la producción de semillas, Howard y otros, 1991) en especies que no se han propagado antes de la cosecha.

INTERFERENCIA DE MALEZA

Las malezas causan pérdidas “ocultas”, en contraste al daño hecho por los insectos, roedores, enfermedades de plantas y la mayoría de otras plagas, el agricultor no ve la declinación de la productividad por motivo de las malezas. La importancia del control de malezas oportuno para extraer la mayoría, si no todos, de los efectos

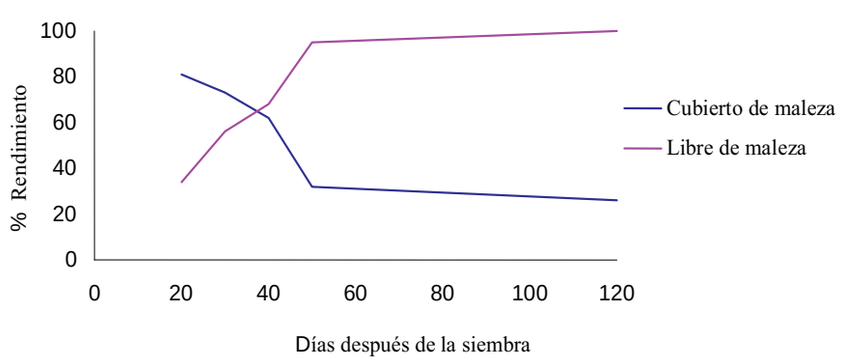
negativos de las malezas en los cultivos, ha estado también "oculta" porque ella es a menudo no reconocida por los agricultores. Un conocimiento de los principios y de algunas complejidades de las interacciones entre plantas, incrementará la conciencia de la importancia de la interferencia de malezas en los sistemas agrícolas.

En recientes años, los científicos de malezas han hecho numerosos estudios sobre los efectos inhibidores que pueden tener sobre los cultivos y otras malezas, ciertos productos químicos. Este fenómeno es conocido como alelopatía, y puede tener efectos significantes en algunas especies en ciertas situaciones. Los efectos combinados de la competencia y la alelopatía, son llamados interferencia de maleza.

El conocimiento de que las malezas compiten con los cultivos es, probablemente, tan antigua como la domesticación de los cultivos y el desarrollo de la agricultura no- nómada. El manejo de malezas fue creado para incrementar la productividad mediante la eliminación de la competencia. Está bien establecido que las malezas causan la mayoría de los daños a los cultivos durante ciertas etapas de crecimiento del cultivo, y el control durante este periodo es especialmente importante.

Uno de los aspectos más estudiados de la interferencia es sobre la duración de los periodos cubierto de malezas y libre de malezas (Figura 48). Para algunos cultivos anuales, el período crítico de competencia está aproximadamente entre el primer tercio y la mitad del ciclo de vida del cultivo. Por ejemplo, en arroz y maíz, los cuales toman frecuentemente de 100 a 120 días, para la madurez, se mantiene el cultivo libre de malezas de 30 a 40 días, lo que usualmente asegura casi la máxima productividad (Doll 1994).

FIGURA 48
Período crítico de competencia de maleza.



Las primeras secciones ascendentes y descendentes en la Figura 47, muestra el Periodo Crítico de la Competencia de Malezas. La última flecha ascendente muestra el periodo libre de malezas, lo cual indica que para obtener altos rendimientos del cultivo no es necesario controlar malezas durante todo el ciclo. La regla general del periodo crítico de competencia, es un tercio a la mitad del ciclo de vida del cultivo, varía considerablemente entre cultivos. Por ejemplo, la yuca es plantada en hileras relativamente anchas y crece lentamente, comparada con la mayoría de los cultivos de alimentos básicos. En Camerún, tres controles de malezas en yuca de 4, 12 y 20 semanas después de plantada, dio rendimientos óptimos (Ambe y otros. 1992). Si solo dos controles fueron hechos, en el cronograma de 4 y 12 semanas el cultivo rindió dos veces más que en dos controles a 2 y 12 semanas. Entonces los controles de malezas en este cultivo, pueden comenzar más tarde que en otros cultivos con menos impacto en el rendimiento.

Lámina 139
Los resultados de la labranza del suelo en la incorporación de semillas y material vegetativo a una profundidad que está relacionada con el tipo de labranza. Sin embargo, la total extinción de las malezas es un objetivo muy difícil de lograr.
S. Vaneph

El período crítico también varía entre las especies. Las malezas perennes agresivas como la *Cyperus rotundus* L. o la *Convolvulus arvensis* L. necesitaran controles de malezas mas frecuentes que los anuales, debido a que las perennes rebrotan varias veces de las reservas de alimentos en los órganos almacenados bajo tierra. Por otro lado, los campos con muy poca presión de malezas, no requieren prácticas de control tan intensivas y largas como en aquellos con abundante presión de malezas.

Si los nutrientes del suelo y la humedad son abundantes, la competencia de malezas es menos importante. Sin embargo, en muchas áreas tropicales y subtropicales, los suelos son pobres en nutrientes y el agua puede ser escasa y entonces la competencia es crítica. Por otro lado, aplicando fertilizante o agua de irrigación para incrementar el rendimiento del cultivo, se fracasará en alcanzar los beneficios máximos a menos que las malezas sean adecuadamente manejadas.

ESTRATEGIAS DE CONTROL Y MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS

El Manejo Integrado de Malezas (MIM) es definido como un sistema de manejo sostenible de malezas que combina juiciosamente varias estrategias de control, con el fin de reducir el impacto de las malezas a un nivel económicamente aceptable. El concepto de manejo integrado de maleza (MIM) ha estado dando vueltas por largo tiempo, pero no ha sido tomado muy seriamente. La razón principal es que los herbicidas han sido generalmente efectivos y medios relativamente no-laboriosos, para el control de las malezas en los cultivos. Tradicionalmente, la labranza y otras operaciones de control han estado integradas con el uso del herbicida como un medio de control. Los productores que adoptan los sistemas de cero

labranza o mínima, no pueden depender por largo tiempo de estas prácticas, como componentes de un sistema de MIM.

Las metas de un sistema de MIM puede ser reducir el movimiento de las semillas dentro del suelo y reducir el impacto de las malezas en los cultivos a un nivel económicamente aceptable. El énfasis debe ser más en el manejo que en la erradicación.

Hay dos enfoques principales para el control de las malezas:

- control preventivo de malezas, y
- técnicas de control pre y post plantación del cultivo.

MÉTODOS PREVENTIVOS

La prevención y saneamiento son componentes muy importantes del sistema MIM. El uso de semillas de cultivos limpios, libre de semillas de malezas, y prevenir la entrada de maquinaria desde campos con alta infestación dentro de los de baja infestación, están entre las principales actividades preventivas a ser tomadas.

El problema es el banco de semillas de malezas en el suelo, y cualquier cosa hecha para reducirlo, indudablemente resultara en menos interferencia de malezas y mejor crecimiento del cultivo.

OTRAS ESTRATEGIAS DE CONTROL

Los principales métodos de control de malezas aplicados antes y durante el ciclo del cultivo, son:

1. Métodos culturales (rotación de cultivos, buen levantamiento del cultivo y espacio entre hileras, intercalamiento de cultivos, cultivos de cobertura, capas de cobertura y otros).
2. Control físico (control de maleza manual y mecánico).
3. Control químico mediante el uso de herbicidas.

ROTACIÓN DE CULTIVOS

Este es un método clave para el control de las malezas. Con la introducción de herbicidas se pensó que la rotación de cultivos podía evitarse, pero la realidad

demostró lo contrario. Tener buenos cultivos precedentes, es importante en la reducción de la infestación de malezas y ayuda a los cultivos a competir mejor con las malezas. Normalmente, ciertas malezas están mejor adaptadas al entorno creado por un cultivo. El monocultivo tiende a aumentar la población de aquellas malezas bien adaptadas al cultivo. Las rotaciones de cultivos, que incluyen cultivos morfológica y fisiológicamente diferentes, sirven para romper el ciclo y adaptación de algunas especies de malezas.

La rotación de cultivos tiene un efecto claro en la supresión de las malezas, como es mostrado en la Figura 49.

Figura 49
Efecto de las prácticas de labranza y rotación en el número de malezas de hojas anchas (Ruedell, 1995) LC= Labranza convencional; SD= siembra directa

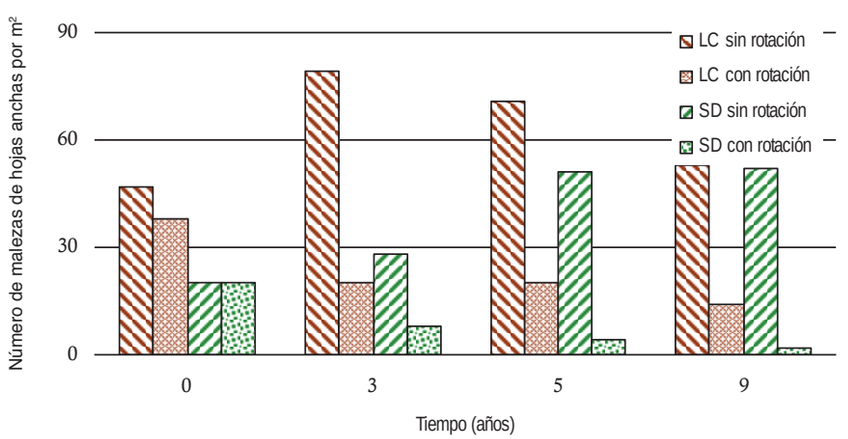


Figura 50
Efecto de las prácticas de labranza y rotación en el número de malezas de hojas angostas (Ruedell, 1995) LC= Labranza convencional; SD= siembra directa

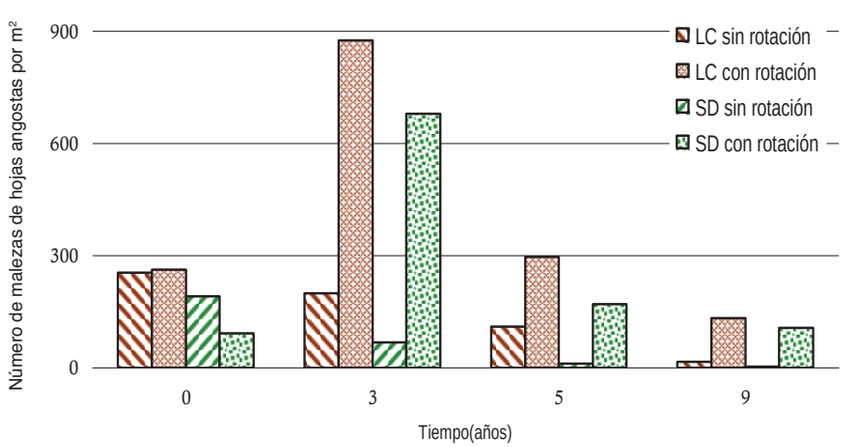


Lámina 140
La cantidad de cobertura de suelo en la agricultura de conservación, ahorra tiempo y mano de obra durante las operaciones de control de malezas.
A. Calegari

DISTANCIA DE SIEMBRA DEL CULTIVO

Una medición extremadamente importante, es tener un buen distanciamiento de siembra del cultivo y, posteriormente, un buen espacio entre hileras. Cualquier espacio dejado en el campo será normalmente ocupado por las malezas, y su reproducción puede convertirse en un depósito de semillas y un factor para su ulterior esparcimiento.

Un buen distanciamiento de siembra es, además, una garantía de la habilidad del cultivo para competir con las malezas, aún emergiendo temprano en el ciclo del cultivo. El espaciamiento estrecho en el caso de los cereales, puede ser también un posible método para prevenir el desarrollo de las malezas. La tendencia en el pasado era de mantener 70-90 cm de entre hilera, para permitir pasar al agricultor con su maquinaria por la entre hilera, algo que cambia cuando usamos la agricultura de conservación.

LAS COBERTURAS O MANTILLO NATURAL

Son producidas principalmente dejando los residuos del cultivo en la tierra, trozándolos o cortándolos si es necesario, por ejemplo con un simple rodillo de cuchillas. Estos materiales no son incorporados dentro del suelo, como en la agricultura convencional, pero ellos son gradualmente consumidos por la mesofauna del suelo. Además de proteger al suelo y al cultivo contra la erosión y pérdida de agua por escorrentía o evaporación, la cobertura del suelo además inhibe la germinación de muchas semillas de malezas, minimizando la competencia de malezas con el cultivo. Durante el primer par de años de agricultura de conservación en un campo, usualmente las existencias de semillas de malezas viables cerca de la superficie del suelo, declinan gradualmente. Algunos residuos de cultivos de cobertura contienen componentes conocidos como aleloquímicos, los que suprimen el crecimiento de otras plantas (Almeida, 1988). Por ejemplo, la paja de centeno suprime el crecimiento de muchas malezas de hoja ancha, pero debe tenerse cuidado porque el efecto alelopático puede además ser ejercido sobre algunos cultivos susceptibles, tales como vegetales y legumbres. Otros cereales, como la avena y el trigo, también tienen propiedades alelopáticas demostradas bajo algunas condiciones.

La mejor forma de sacar ventaja de la alelopatía, es segar o pulverizar la cobertura y manejar ésta como un mantillo, en lugar de incorporarla. La mayoría de las investigaciones muestran que el efecto alelopático puede durar cerca de un mes.

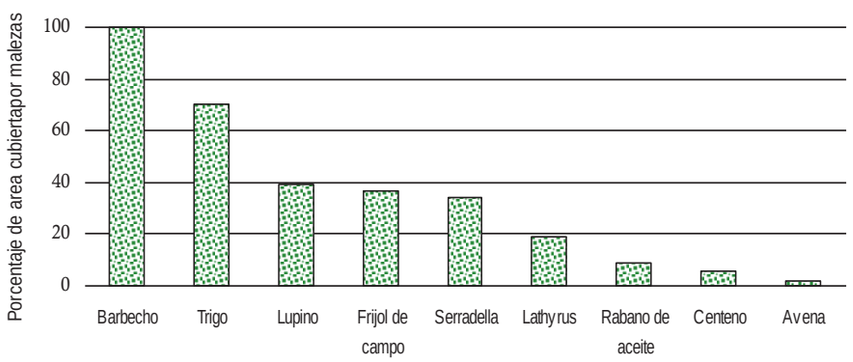
La selección de los cultivos de cobertura es de vital importancia en áreas donde otros métodos de control, p.ej. el uso de herbicidas, no son viables económicamente por los agricultores. Por consiguiente, una buena rotación de cultivo, usando cultivos de cobertura durante periodos de barbecho es una forma sostenible para además reducir la presión de las malezas.

En Paraguay el uso del herbicida fue reducido mediante la introducción del girasol (*Helianthus annuus*) y la *Crotalaria juncea* como cultivos de cobertura, en los sistemas de producción de soya/trigo/soya y maíz/trigo/soya (Kliewer, y otros. 1998).

Las coberturas de hierbas como la avena negra (*Avena strigosa*) y el centeno (*Secale cereale*) son altamente eficientes y suprimen la germinación de las semillas de malezas. Su efectividad es usualmente mayor que aquella con coberturas de leguminosas. Sin embargo, algunos otros cultivos, como el rábano de aceite y el lupino, han mostrado un alto efecto depresivo sobre muchas malezas.

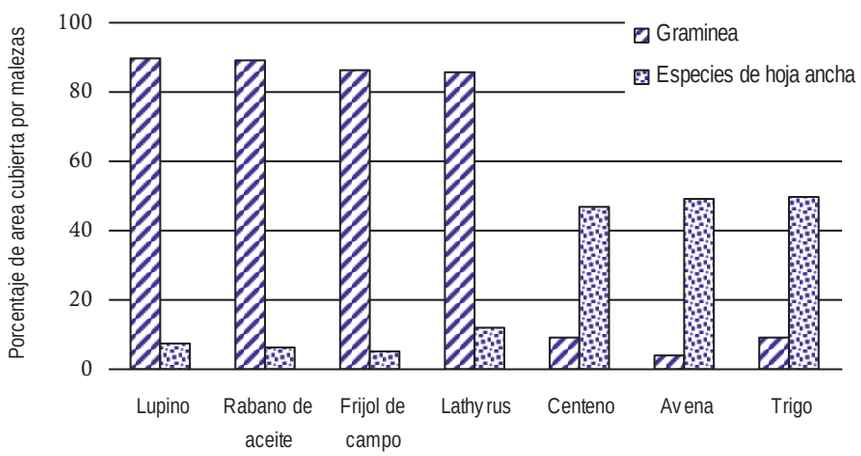
Lámina 141
En residuos no bien manejados de avena negra, en la izquierda, permite la germinación y crecimiento de *Cyperus rotundus*. En la derecha, la maleza obtiene menos oportunidad para germinar debido al efecto alelopático y la barrera física de residuos proporcionada.
A.J. Bot

Figura 51
Infestación de malezas bajo diferentes coberturas (Almeida, 1988).



El tipo de cobertura puede, además, afectar la composición de las especies de malezas como se muestra en la Figura 52. Los mantillos de especies de hoja ancha, afectan con menos población a las malezas de hierbas, mientras que las malezas de hoja ancha, prevalecen bajo la cobertura de mantillo de hierbas.

FIGURA 52
Porcentaje de suelo cubierto por diferentes especies de malezas bajo diferentes coberturas, 100 días después del manejo del cultivo de cobertura (Almeida, 1991).



CONTROL FÍSICO

Aunque la agricultura de conservación implica menos uso de maquinaria e implementos para la labranza, algunos controles de maleza manuales son aún llevados a cabo, particularmente en áreas de pequeños agricultores. Los agricultores usan algunas herramientas, entre ellos el rodillo de cuchillas o el machete. Más recientemente algunos otros aperos más productivos han sido desarrollados, como la segadora motorizada manual (Lámina 143), la cual puede ser usada para el control de malezas en el espacio entre hileras del cultivo. Los agricultores también usan un rodillo o cilindro con cuchillas de corte, para aplastar y/o matar un cultivo de cobertura. En algunas áreas donde la agricultura de conservación ha sido establecida por más de cinco años, no es requerido más el uso de productos químicos y el control manual de malezas, usando estos aperos es una opción económicamente factible.

CONTROL QUÍMICO: USO DE HERBICIDA

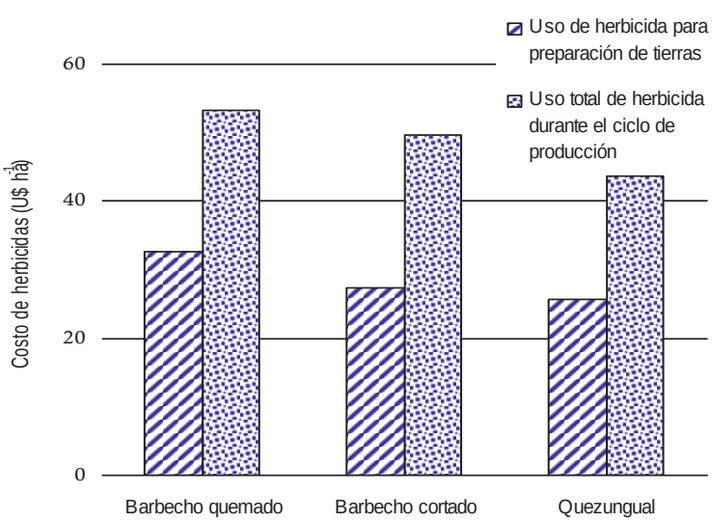
Los herbicidas juegan un rol importante en el control de malezas durante los primeros años, después de la adopción de la agricultura de conservación, al menos, en las grandes áreas de cultivo donde el control manual de malezas podría ser ineficiente. Tres o cuatro años después de comenzar la AC, el herbicida puede aún ser necesaria su aplicación en algunos entornos, fundamentados en un conocimiento específico local de las malezas.

En Brasil, donde la extensión de la agricultura de conservación ha crecido hasta más de 10 millones de hectáreas en las ultimas dos décadas, aún después de uno o dos años, la cantidad de herbicidas usado es generalmente disminuida hasta cerca del 10 % de las recomendaciones usuales (mediante la aplicación sólo en áreas puntuales con problemas), y hasta cero después de unos pocos años más. Algunos agricultores continúan usando el herbicida, sin embargo, por ejemplo, en lugar de usar el rodillo con cuchillas de corte para aplastar y matar los cultivos de cobertura.

Algunos herbicidas son usados en pre-siembra, pre-emergencia o post-emergencia, dependiendo de la selección del herbicida que se usará. Los herbicidas que actúan en el suelo son principalmente usados en tratamiento de pre-siembra o pre-emergentes, mientras que los post-emergentes carecen de largo efecto residual en los suelos. Más informaciones acerca de las características de los grupos de herbicidas, su desplazamiento, comportamiento en el suelo y métodos de aplicación son encontradas en el capitulo 10 "Herbicidas" escrito por J.C. Caseley (ver Weed Management for Developing Countries, FAO, 1994).

Con la introducción y uso de cultivos tolerantes a los herbicidas, en algunos países como EU, Canadá y Argentina, algunos herbicidas de amplio espectro, tales como el gluphosinate-amonio y el glyphosate, son pulverizados por encima del cultivo por poco tiempo después de declarada la emergencia de malezas. Estos herbicidas carecen de actividad en el suelo contra la germinación de malezas, y puede ser necesario ser usado dos veces, de acuerdo con el florecimiento de las malezas en el campo.

Figura 53
El uso de herbicidas en sistemas convencionales y agricultura de conservación (Quezungual) en Lempira Sur, Honduras (CDR-ULA, 2000).



La aplicación temprana del herbicida para eliminar la competencia de la maleza en cualquier sistema, es una garantía para el crecimiento del cultivo temprano y vigoroso. El uso racional de herbicidas incrementa la productividad del proceso completo del cultivo. Los herbicidas usados correctamente y a las normas de aplicación habituales, no presentan ningún problema para el medio ambiente. Los herbicidas que actúan en el suelo, regularmente se descomponen, y en un período de 4-6 semanas después de su aplicación, mientras sean de acción más post-emergente, más rápidamente se disipan en el suelo.

El problema principal con el uso repetido de un mismo herbicida, es la posibilidad de que algunas especies de malezas se vuelvan resistentes. Algunos grupos de herbicidas, tales como las úreas sulphonyl, imidazolinones, graminicidas, tienen una gran presión de selección y están aptos para crear problemas de resistencia en períodos de 4-6 años de su aplicación repetida. Los problemas de la resistencia son prevenidos principalmente por la rotación de cultivos, y evitando el uso del mismo herbicida repetidamente.

En la agricultura de conservación, los herbicidas pueden, además, ser usados para manejar los cultivos de cobertura y el control de su rebrote.

VENTAJAS DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DE MALEZAS

En la agricultura de conservación son incluidas varias prácticas agronómicas, las que al final favorecen la reducción del crecimiento de malezas. Por un lado, la rotación de cultivos es útil para romper el ciclo de vida adaptado a un cultivo en particular y coberturas de suelo que crean un entorno particular que inhibe la germinación de las semillas de malezas, bien impidiendo la exposición de las semillas a los rayos solares o mediante la exudación de sustancias alelopáticas.

Adicionalmente, el uso de herbicidas es reducido y a largo plazo, puede ser eliminado completamente, y en pequeñas áreas agrícolas, la presión de las malezas y el control manual de malezas son en gran medida reducidos. En la adopción temprana de la agricultura de conservación, algunas malezas perennes pueden convertirse en un problema, y esto requerirá el uso de herbicidas sistémicos particulares, con el fin de desalojar sus propágulos enterrados. Una vez que el suelo no está desnudo, una población como esa tenderá a ser reducida.

La agricultura de conservación tiene las siguientes ventajas:

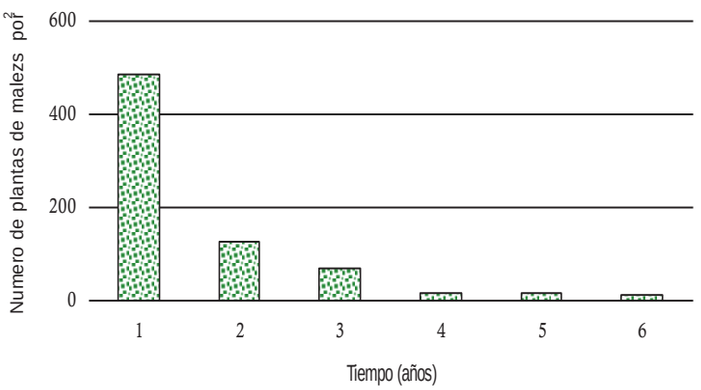
- las semillas de malezas no son diseminadas e incorporadas por mucho tiempo en el suelo, ni son desenterradas y llevadas a la superficie del suelo o redistribuidas por medio de las raíces,
- permite la integración de diferentes prácticas, lo que hace que el sistema sea mas sostenible.

Lámina 142
Una segadora motorizada manual, puede ser usada para controlar malezas entre las hileras del cultivo. Es menos eficiente que una azada, pero tiene un mayor retorno operacional.
A.J. Bot

RECOMENDACIÓN ADICIONAL SOBRE MANEJO DE MALEZAS

1. Inspeccionar regularmente sus áreas para registrar las especies de malezas principales en el campo.
2. Tener en mente que la rotación de cultivo es la clave para el buen manejo de malezas.
3. Seleccionar los cultivos de cobertura, considerando las infestaciones prevalecientes.
4. No dejar espacios sin cultivos o cobertura en el campo, y usar correctamente las densidades de semillas, así como el espacio entre hileras.
5. La mayoría de los herbicidas post-emergentes, deben ser usados en emergencia de malezas tempranas, aunque algunos compuestos sistémicos como el glyphosate son preferidos para usar un par de semanas después de la emergencia de las malezas.
6. Los herbicidas pre-siembra o pre-emergentes que actúan en el suelo, dan mejores resultados si se usan con humedad apropiada del suelo.
7. Para prevenir los problemas de resistencia es importante evitar el uso del mismo herbicida, repetidamente año tras año.
8. Es importante tener en cuenta que el manejo de malezas debe tener como uno de los objetivos principales la reducción sostenible del banco de semillas y no solo el control de las malezas, interfiriendo durante los períodos críticos de competencia.
9. Las especies de malezas perennes pueden requerir la integración de varios métodos de control para obtener la reducción requerida de su surgimiento.
10. Los métodos preventivos a nivel de campo no deben tampoco ser desechados.

La Figura 54 muestra la reducción de malezas durante el tiempo después de la adopción de la AC. Una población consistente en Brachiaria sp., Euphorbia sp., Digitaria sp., Richardia sp. y Sida sp. fue reducida en 95 por ciento.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.S. 1991. Controle de plantas daninhas em plantio direto. IAPAR Circular 67, Londrina.

Almeida, F.S. 1988. A alelopatia e as plantas. IAPAR Circular 53, Londrina.

Ambe J., A. Agboola and S. Hahn 1992. Studies of weeding frequency in cassava in Cameroon. Tropical Pest Management 38:302-304.

Balota, E.L., M. Kanashiro and A. Calegari. 1996. Adubos verdes de inverno na cultura do milho e a microbiologia do solo. In: I Congresso Brasileiro de Plantio Direto para uma Agricultura Sustentável. Ponta Grossa. Resumos expandidos p12-14.

Caseley J.C. 1994. Weed Management for Developing Countries. Edited R. Labrada, J. C. Caseley & C. Parker, Plant Production and Protection Paper No. 120, FAO, Rome, pp. 183-223.

CDR-ULA. 2000. Servicios financieros rurales y economía campesina sostenible. Un estudio de caso en el departamento de Lempira, Honduras. I. Informe principal. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural, Universidad Libre de Amsterdam. 80pp.

Cousens R.D., S.E. Weaver, T.D. Martin, A.M. Blair and B.J. Wilson 1991. Dynamics of competition between wild oats (Avena fatua L.) and winter cereals. Weed Research 31:203-210.

Doll J. D. 1994 Dynamics and Complexity of Weed Competition. Weed Management for Developing Countries. Edited R. Labrada, J. C. Caseley & C. Parker, Plant Production and Protection Paper No. 120, FAO, Rome, pp. 29-34.

Forcella F. and M.J. Lindstrom 1988. Weed seed populations in ridge and conventional tillage. Weed Science 36:500-503.

Grime J.P. 1989. Seed banks in ecological perspective In: M.A. Leck, V.T. Parker and R.L. Simpson (Eds.) Ecology of Soil Seed Banks pp xv-xxii. Academic Press.

Harper J.L. 1959. The ecological significance of dormancy and its importance in weed control. Proceedings, 4th International Conference Crop Protection pp 415-520.

Kliewer,I., J. Casaccia, F. Vallejos. 1998. Viabilidade da redução do uso de herbicidas e custos no controle de plantas daninhas nas culturas de trigo e soja no sistema de plantio direto, através do emprego de adubos verdes de curto período. In: I Seminário Nacional sobre Manejo e Controle de Plantas Daninhas. Resumos. Aldeia Norte (Ed), Passo Fundo. p.120-123.

Labrada R. & Parker C. 1994. Weed Control in the context of Integrated Pest Management. Weed Management for Developing Countries. Edited R. Labrada, J. C. Caseley & C. Parker, Plant Production and Protection Paper No. 120, FAO, Rome, pp. 3-8.

Marks M.K. and A.C. Nwachuku 1986. Seed bank characteristics in a group of tropical weeds. Weed Research 26:151-157.

Mortimer A. M. 1994. The Classification and Ecology of Weeds. Weed Management for Developing Countries. Edited R. Labrada, J. C. Caseley & C. Parker, Plant Production and Protection Paper No. 120, FAO, Rome, pp. 7-26.

Rao J. 1968. Studies on the development of tubers in nutgrass and their starch content at different soil depths. Madras Agricultural Journal 55:19-23.

Roberts H.A. and P.A. Dawkins 1967. Effect of cultivation on the numbers of viable weed seeds in the soil. Weed Research 7: 290- 301.

Roberts H.A. and P.M. Feast 1973. Changes in the numbers of viable weed seeds in soil under different regimes. Weed Research 13:298-303.

Ruedell, J. 1995. Plantio direto na região de Cruz Alta. FUNDACEP. 134pp.

Skora Neto F. 1993 Coberturas vegetais em differentes sistemas de preparo do solo no controle de plantas daninhas. In: I Encontro Latino Americano de Plantio Direto na Pequena Propriedade. Ponta Grossa. Anais, p 173-188.

Skora Neto, F. and M.R. Darolt. 1995. Estratégias de controle de plantas daninhas em pequenas propriedades. In: I Seminário internacional do sistema plantio direto. Passo Fundo. Resumos p. 155-156.

Soerjani M. 1970. Alang-alang, Imperata cyclindrica (L.) Beauv., pattern of growth as related to its problem of control. BIOTROP Bulletin 1, Regional Centre for Tropical Biology, P.O. Box 17, Bogor, Indonesia.

LECTURAS ADICIONALES

Report of the Expert Consultation on Weed Ecology and Management FAO, Rome, 22-24 September 1997, FAO Plant Production and Protection Division Available in PDF from http://www.fao.org/ag/AGp/agpp/IPM/Weeds

Report of the Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops FAO, Rome, Italy, 16-18 November 1998. The report of the technical meeting on HRCs presents summaries and papers on the benefits and risks of HRCs use; and on regulations necessary for the introduction of HRCs. Available in PDF from http://www.fao.org/ag/AGp/agpp/IPM/Weeds

Draft Guidelines for Hazard Assessment of Herbicide and Insect Resistant Crops. Available in PDF (English, French, Spanish) from http://www.fao.org/ag/AGp/agpp/IPM/Weeds

Weed management for developing countries. 1994. Edited by R. Labrada, J.C. Caseley and C. Parker, FAO Plant Production and Protection Paper 120. The book contains 18 chapters written by several outstanding weed scientists from all over the world.

CAPÍTULO 12

IMPACTOS SOCIO-ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

EFECTOS SOCIOECONÓMICOS

Las ventajas económicas de la utilización de la agricultura de conservación, es la razón principal de su amplia adopción por los pequeños, medianos y grandes agricultores en Brasil, Paraguay, Argentina y en otros países (Denardin, 1998; Ribeiro y otros, 1996). Diversos estudios se han llevado a cabo con el propósito de comparar el sistema de AC con los sistemas convencionales, así como la comparación de los sistemas basados en el uso de los tractores, con los basados en la tracción animal. Algunos resultados se indican en la siguiente síntesis:

- Bajo el sistema de AC, los riesgos de pérdida de producción debido a la falta de humedad del suelo, se reducen al mínimo;
- en la AC, los costos de los insumos son al inicio un poco más altos, debido principalmente, a un mayor uso de herbicidas, mientras que los costos de la maquinaria se reducen, por lo general resultando en un disminución total de los costos netos bajo AC;
- la vida útil de los equipos en la AC, es mayor que con los sistemas convencionales;
- la AC tiene una menor demanda de mano de obra, que ahora es mucho mejor distribuida a través del año;
- la rentabilidad de los cultivos es mayor bajo AC, debido tanto a la mayor productividad del trabajo y los altos rendimientos obtenidos en el tiempo;
- la AC abre oportunidades para el aumento de la superficie cultivada, la diversificación y la agregación de valor a los productos.
-

REDUCCIÓN DEL RIESGO

En el Sur de Brasil, es común sufrir retrasos en el tiempo de la siembra de los cultivos de verano, en los sistemas convencionales de siembra, debido ya sea al exceso o a la falta de lluvias en el momento de la preparación del suelo. El paso de maquinaria en suelos excesivamente húmedos es la causa primaria de la compactación, mientras que en suelos excesivamente secos se forman terrones, necesitando varias operaciones para romperlos y que exigen una mayor potencia de tractor. Estas condiciones obligan al agricultor a esperar que se presenten las condiciones adecuadas para la preparación del suelo, lo que puede dar lugar a retrasos en la siembra de los cultivos. Mello (1995) refiere que en la campaña 93/94 debido a las intensas lluvias en el momento de la siembra de arroz en Rio Grande do Sul la siembra se retrasó por un mes.

Según las estadísticas del Instituto de Arroz de Río Grande do Sul, este retraso ocasionó una pérdida media de la producción del 15%, alcanzando hasta el 40% en algunos casos. Mientras tanto, con la AC fue posible sembrar

en un plazo aceptable, lo que contribuyó a mantener los rendimientos normales. Al flexibilizar la AC el período de siembra, esto permite planificar las siembras de tal manera que se evita las deficiencias de humedad del suelo en las etapas críticas del desarrollo de las plantas. La reducción en el riesgo de perder productividad debido a la escasez de agua es otro aspecto benéfico que resulta de la AC, debido al aumento en la tasa de infiltración de agua y la reducción de las tasas más bajas de la evaporación del agua directamente desde el suelo.

USO DE MAQUINARIA

Sorrenson y Montoya compararon la intensidad de uso de la maquinaria (máquinas-hora) y el consumo de combustible de 4 sistemas de preparación del suelo. La preparación tradicional del suelo, que consiste en una pasada de rastra pesada de discos, más 3 o 4 rastras ligeras para nivelar el suelo antes de la siembra, casi siempre precedida por la quema de los residuos de la cosecha anterior. La labranza convencional, que consiste en la pasada de un arado de disco más dos pasadas de rastra. La labranza mínima consiste en una pasada de arado de cincel seguida de una nivelación con una rastra de discos. En comparación con la siembra directa, estos tres sistemas ocupan más horas-máquina y utilizan más combustible, como se puede ver en el Cuadro 31. El menor uso de maquinaria también se traduce en una mayor vida útil de los equipos de siembra directa, lo que reduce los costos operativos.

Cuadro 31. Horas-Máquina, consumo de combustible y costos de combustible en los sistemas de labranza tradicional (convencional y mínima) (EE.UU. $/ha) y siembra directa de soya. Mayo 1984.

SISTEMA	HORAS-MÁQUINA (H/HA)	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (L/HA)	COSTO DEL COMBUSTIBLE/HA
Siembra directa	2,4	13,9	4,45
Tradicional	5,4	34,3	10,97
Convencional	6,0	42,3	13,53
Labranza mínima	4,8	35,0	11,20

Nota: No incluye costo de la cosecha o de las aplicaciones de fertilizantes y cal. Tractor de potencia media.
Fuente: Sorrenson y Montoya, 1989

Mello Filho y Richetti (2001) compararon el uso de la maquinaria y el coste de las operaciones agrícolas para los cultivos de soya y maíz bajo siembra directa, y los sistemas convencionales en la región del Cerrado. Para la cosecha de soya con labranza convencional, los valores comprobados fueron 4,6 máquina-hora/ha, y el costo operacional de R $ 102,16, mientras que bajo siembra directa, que requiere 2,3 máquina-hora/ha, a un costo de R $ 47,03 / ha. Para un cultivo de maíz con máquina-hora/ha 4,5 en labranza convencional, se requiere de R $ 93,00, mientras que bajo siembra directa 3,6 horas-máquina eran necesarias y el costo observado fue de R $ 54,7. Estas diferencias se deben a las operaciones, en los sistemas convencionales, de necesaria re-formación de terrazas de conservación, escarificación, medianas discing y desgarradora, e incorporación de herbicidas de pre-emergencia. Una encuesta llevada a cabo en Santa Catarina (Heiden, 1999), encontró una reducción del 27% en el uso de la máquina en el crecimiento de la soya y del 19% en el cultivo de maíz. El mismo estudio se realizó de un cultivo de cebollas, registrando una reducción del 29% en el servicio de la maquinaria con la transición de convencional al sistema de siembra directa.

Ralisch y otros (1998), estudiaron los requisitos de fuerza, la energía y la potencia de los equipos de tracción animal en la siembra directa y la siembra convencional (Cuadro 32). La siembra directa proporcionó una reducción de la demanda de energía de aproximadamente 80% en comparación con la labranza convencional, con efectos positivos sobre el mantenimiento de la resistencia de los animales de trabajo.

Cuadro 32. Trabajo, energía y potencia requerida por los implementos de tracción animal. Ponta Grossa, 1997.

Implemento	Operación (m)		Fuerza (N)	Energía (kJ)	Potencia (kW)
	Ancho	Profundidad			
Arado de reja	0,21	0,16	1720	1135	2,27
Rastra de discos (preparación primaria).	1,25	0,10	1322	317	1,82
Rastra de discos livianos (preparación secundaria)	1,50	0,05	832	100	1,15
Rodillo de cuchillas	1,00	-	634	152	0,87
Sembradora directa	-	0,10	834	225	1,40

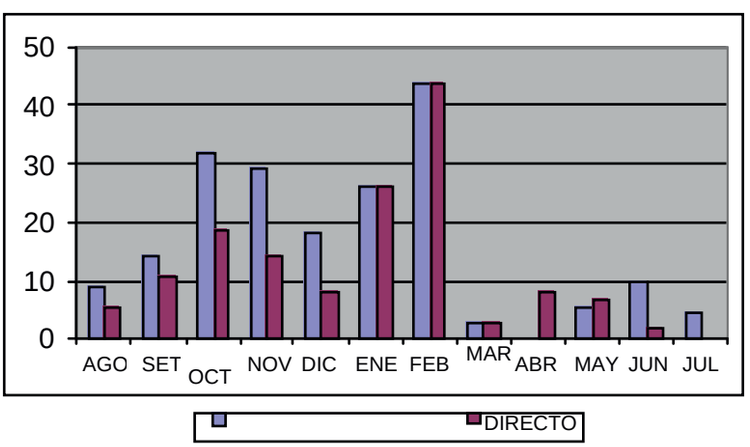
Fuente: Ralisch y otros, 1998.

IMPACTO SOBRE EL TRABAJO

Los efectos positivos de la siembra directa en el uso y [tiempo] de distribución del trabajo, ha sido el principal motivo para la adopción generalizada de este sistema en las explotaciones familiares en Brasil. Una encuesta llevada a cabo con estos agricultores del centro-sur, indicó que una de las principales razones para la adopción de este sistema fueron, en orden de importancia: la reducción de mano de obra, la reducción de la erosión y el aumento de la productividad de los cultivos "(Ribeiro y otros, 1996). En los sistemas de producción basados en mano de obra familiar y el uso de la tracción animal, la diferencia entre siembra de granos directa y convencional, fue de 139 horas / ha, frente a 189 horas / ha en el centro-sur de Paraná (Ribeiro y otros, (1993) Figura 55). En el sudoeste de Paraná, esta diferencia, para la cosecha de maíz, fue entre 91,7 horas / ha para la siembra directa y 121,7 horas / ha para el sistema convencional, con tracción animal (Ribeiro y otros, 1998). En los sistemas basados en la tracción animal en Santa Catarina, el cambio de labranza convencional a la siembra directa, dio lugar a una reducción de 55% y 59% de la demanda total de trabajo para los cultivos de maíz y habas respectivamente (Heiden, 1999).

La declaración del Sr. Félix Krupek, agricultor del municipio de Iratí, refuerza estos resultados en la práctica. De acuerdo con este titular: "hoy tenemos tiempo para descansar entre una cosecha y la siguiente. En la labranza convencional, para cosechar un cultivo de frijol teníamos que pasar doce veces por el mismo campo" (Revisión de siembra directa, 1998).

Figura 55. Distribución del trabajo (horas / ha) durante todo el año, para un cultivo de frijol en siembra directa y los sistemas convencionales con tracción animal. Iratí, 91/92 y 92/93 temporadas. (Fuente: Ribeiro y otros, 1993).

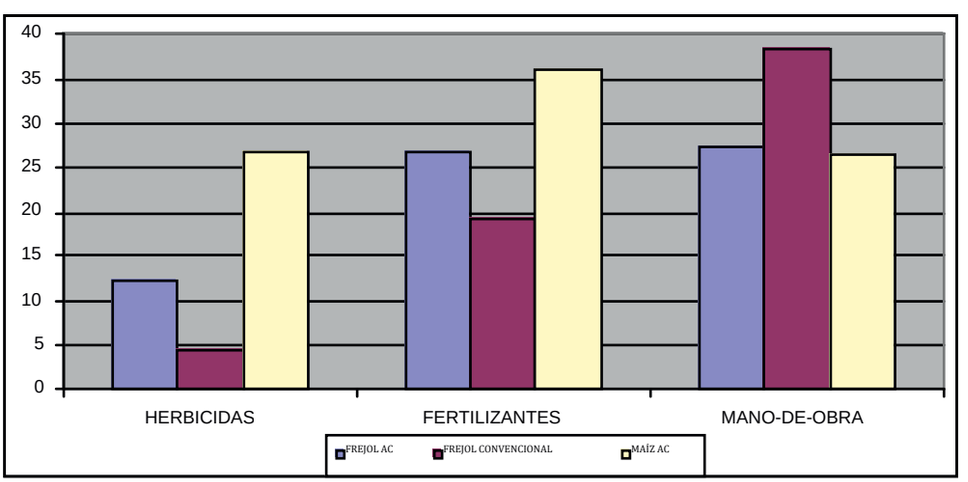


Un estudio realizado por Heiden (1999), con los agricultores de Santa Catarina, verificó que la adopción de la siembra directa hace posible un aumento de la superficie cultivada en el 54% de las explotaciones. En el 33% de los establecimientos, no hubo un aumento de la superficie cultivada, debido a la insuficiencia de tierras, aunque los agricultores tomaron ventaja de una mayor disponibilidad de mano de obra y equipo en otras actividades, como la prestación de sus servicios a los vecinos. Por último, el 13% de los agricultores redujo su superficie cultivada, porque el aumento de la productividad de los cultivos hace posible el abandono de las zonas marginales y / o áreas de cultivos alquiladas a otros.

LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN Y LA RENTABILIDAD DE LOS CULTIVOS

La mayoría de los estudios económicos emprendidos, han señalado el alto costo de los insumos de siembra directa, que ha sido compensado por menores costos operativos (maquinaria y mano de obra) y los rendimientos más altos. Si el uso de las entradas en la siembra directa es más grande o más pequeño en comparación con el convencional, depende de los sistemas de producción en cuestión y el momento en que se realizó el estudio. Ribeiro y otros (1993), observó un mayor uso de herbicidas y fertilizantes en la siembra directa en comparación con la convencional, como puede verse en la Figura 55. En un estudio similar llevado a cabo en el sur-oeste de Paraná, Ribeiro y otros (1998), no encontró diferencias en el uso de insumos como entre siembra directa y el sistema convencional (Cuadro 31).

Figura 56. El uso de herbicidas, fertilizantes y mano de obra en los sistemas de siembra directa y labranza convencional para el frijol, con la tracción animal. Iratí, PR. (Ribeiro y otros, 1993).



Estas diferencias se deben al hecho de que el uso de entradas en los sistemas convencionales, se ha incrementado en los últimos años, y se observa hoy, que hay un mayor uso de herbicidas incluso en los sistemas convencionales. El cuadro 33 muestra que los resultados de las siembras directas ahorran mano de obra en comparación con los sistemas convencionales. Incluso con rendimientos similares (resultados de sólo 2 cosechas), el resultado económico con la siembra directa era mayor debido a la menor utilización de mano de obra. Los resultados obtenidos con el sistema de labranza reducida son intermedios entre los dos. Sin embargo, esta opción aún se debe considerar que se está adaptado a las zonas rocosas, así como que no necesitan invertir en la plantación de maquinaria (el equipo utilizado -para abrir los surcos de siembra- es una adaptación de la fuçador arado, equipo utilizado para la preparación del suelo en las regiones rocosas del sur de Brasil).

Cuadro 33. Resultados económicos de 9 unidades de prueba/validación de maíz bajo tres sistemas de labranza en la región suroeste de Paraná (promedios de las temporadas 97/98 y 98/99)

INDICADOR	SIEMBRA DIRECTA	LABRANZA MÍNIMA	LABRANZA CONVENCIONAL
Costo total (R$/ha)	255,62	265,86	274,11
Productividad (kg/ha)	5929,20	5765,40	5722,80
Ingreso bruto (R$/ha)	604,81	588,08	583,70
Ingreso neto (R$/ha)	349,18	322,22	309,59
Productividad del trabajo (R$/h)	3,86	3,22	2,63
Demanda de trabajo (Horas – hombre hrs/ha)	91,67	102,63	121,73

Fuente: Ribeiro y otros, (1998).

Los resultados obtenidos por Reicher y otros (1999), en el municipio de Pelotas, demostraron los mejores resultados económicos de los cultivos de maíz en siembra directa, en comparación con el sistema convencional.

En los sistemas de producción de Santa Catarina, la introducción de la siembra directa en los cultivos de maíz, frijoles y soya, altera significativamente, la composición de los costos de producción, mediante la reducción de la proporción debido a la mano de obra y para la

mecanización, y por la mayor proporción de los costos de los insumos (Heiden, 1999). Este cambio en la composición de los costos de operación fue, en general, debido al aumento de los gastos en insumos y la reducción de los costos de maquinaria y mano de obra en la siembra directa (Cuadro 34). Por otro lado, el mayor costo se compensa por el costo operativo más bajo y por los mayores rendimientos de los cultivos bajo siembra directa. En un cultivo de cebolla, hubo una reducción de costos de los insumos con siembra directa, debido a la menor utilización de abonos orgánicos, cal y herbicidas selectivos. Los costos de los servicios de maquinaria y mano de obra representaron el 43% del coste total, disminuyeron un 29%, y los rendimientos de los cultivos aumentaron en un 26%, proporcionando un aumento del 58% en el ingreso neto de operaciones.

Cuadro 34. Los resultados económicos (R$/ha) de los cultivos de maíz, frijoles y cebollas bajo siembra directa y labranza convencional en los sistemas de producción en Santa Catarina.

ESPECIFICACIÓN	CEBOLLAS[1]		SOYA[2]		MAÍZ[2]		MAÍZ[3]		FRIJOLES[3]	
	CT[4]	DD[5]	CT	DD	CT	DD	CT	DD	CT	DD
Insumos	624	611	293	359	217	277	200	265	197	257
Maquinarias	186	152	153	138	137	129	164	127	232	213
Labor	570	505	9	8	66	54	161	131	188	116
Costos operativos	1,657	1,545	455	506	420	460	525	522	617	586
Ingreso neto	3,360	4,240	634	806	675	876	600	720	1,109	1,520
Margen neto operativo.	1,703	2,695	179	300	255	416	75	197	493	934

1: Laboreo con microtractor; 2: tracción motorizada; 3: La tracción animal; 4: labranza convencional; 5: Siembra directa
Fuente: Heiden, 1999.

En la región del Cerrado, Séguy y otros (1995) compararon los diferentes sistemas de siembra directa, incluido el uso de cubiertas y rotación de cultivos combinados con diferentes formas de fertilización, en tres temporadas de cultivo. Los resultados económicos son evidentes cuando las coberturas anuales son utilizadas tales como sorgo o coberturas permanentes como el calopogonium, comparados con la soya en monocultivo (Cuadro 35).

Cuadro 35. Resultados económicos de diferentes sistemas de labranza. Promedios de las estaciones 87/88, 88/89 y 89/90. 'Hacienda Progresso', Lucas do Rio Verde, Mato Grosso.

Sistemas de cultivo	Rendimiento (kg/ha)		Costo de producción (US$/ha)	Ingreso bruto (US$/ha)	Ingreso neto (US$/ha)
	Cultivo principal	Próximo cultivo			
Monocultivo de soya/discado/NPK	Soya: 1436		318	-77	-141
Arroz/soya/arroz, preparación del suelo -1, NPK	Arroz: 3770 Soya: 3396 Arroz: 2900		338	118	50
Arroz/soya/arroz, preparación del suelo-1, 1,5 t/ha of 'termofosfato'	Arroz: 3770 Soya: 3396 Arroz: 2900		376	171	99
Soya+sorgo/arroz/soya+ sorgo, preparación del suelo 2, NPK	Soya: 2785 Arroz: 2480 Soya: 3080	Sorgo: 648 Sorgo: 1620	323	143	79
Soya+sorgo/arroz/soya+ sorgo, preparación de suelos 2, 1,5 t/ha de 'termofosfato'	Soya: 3080 Arroz: 2980 Soya: 3580	Sorgo: 1711 Sorgo: 2830	395	189	110
Arroz/soya+sorgo/arroz, preparación de suelos 2, 2 t/ha de 'termofosfato'	Arroz: 4317 Soya: 3450 Arroz: 3360	Sorgo: 2022	441	221	153
Siembra directa de soya/maíz/soya después de calopogonium, NPK	Soya: 2940 Maíz: 5200 Soya: 3260		334	189	134
Siembra directa de soya/maíz/soya después de calopogonium, 1,5 t/ha de 'termofosfato'	Soya: 3486 Maíz: 6400 Soya: 3940		376	253	191

Fuente: adaptado de Séguy *y otros.,* 1995.

Los experimentos sobre la rotación de arroz con leguminosas en Goiás mostraron que la producción de la hierba después de las leguminosas, fue 40% a 50% mayor [que sin las leguminosas] (Santos y otros, 1972), siendo por lo tanto, sin fertilizantes nitrogenados, técnicamente viables, y económicamente rentables (Bueno y otros, 1978).

Estudios realizados por Martin y otros (1984) en la región de Ribeirão Preto-SP, mostraron que los agricultores de soya y los agricultores de algodón en el área de estudio mediante la rotación de cultivos con el maíz y el maní y el uso de mucuna como abono verde negro, obtuvieron más del doble de los rendimientos obtenidos por los agricultores que lograron el mismo nivel tecnológico, pero

no la adopción de la innovación. De acuerdo con estos resultados, incluso en condiciones adversas, los innovadores todavía tienen mejores resultados. Esto ocurrió en función de las ganancias en productividad, reducción en el número de operaciones y menos gasto en fertilizantes, insecticidas y fungicidas, con un aumento total de rendimiento de 5% (algodón) a 45% (maíz) y con la reducción de los costos de 3% (maíz) y de 25% (de soya).

Los estudios económicos realizados por Sorrenson y Montoya (1989) en Paraná, mostraron beneficios económicos del uso del lupino blanco antes de un cultivo de maíz. Se estimó que el nivel de ingresos era dos veces mayor en comparación con una situación de trigo / maíz, y 19% en comparación con barbecho / maíz. En el caso de la utilización de avena negra antes de soya, se estimó que vuelve a ser 3 veces mayor en comparación con el trigo / soya, y 68% mayor en el caso de barbecho / soya.

Ferro (1995) citado por Calegari y otros (1998), evaluando una finca de 50 hectáreas en el norte de Paraná, encontró que una cosecha de soya en una rotación de cultivos adecuada usando un sistema de siembra directa, podría proporcionar un ingreso adicional importante en comparación con el sistema convencional (Cuadro 36).

Cuadro 36. Indicadores económicos de una cosecha de soya (50 ha) bajo siembra directa en rotación en comparación con el sistema convencional.

Indicador	Valores observados (U$)
Incremento en rendimiento	3,960
Ahorro en mantenimiento	1,145
Ahorro en combustible	731
Ahorro en mano de obra	2,880
Ahorro en fertilizantes	186
TOTAL	8,902

Fuente: Calegari y otros. 1998.

VENTAJAS ECONÓMICAS INDIRECTAS

Más allá de los impactos económicos cuantificados directamente por análisis de costos y la rentabilidad de los cultivos, los sistemas convencionales que implican la quema de residuos de cosecha y preparación del suelo por medio de arados y rastras, resultan en pérdidas de fertilidad a través de la oxidación

de la materia orgánica y la pérdida de nutrientes arrastrados por la escorrentía superficial. Montoya (1984) llevó a cabo la cuantificación económica del costo de los nutrientes perdidos por la erosión, para los cultivos de maíz y de trigo, bajo siembra directa y labranza convencional, cuyos resultados se presentan en la Cuadro 37, que confirman los beneficios de la siembra directa.

Cuadro 37. El costo de los nutrientes perdidos por la erosión de la labranza convencional y siembra directa, la soya, el maíz y el trigo.

Cultivos/	Costo de	nutrientes	perdidos		Costo
sistemas	Úrea	SS	Cloro/Potasio	Calcio	Total
	(45% de N)	(20%P2O5)	(60%K2O)	Dolomítico	(US$/ha)
				(a)	
Soya convencional	5,98	0,03	3,11	0,23	9,35
Maíz convencional	6,02	0,01	0,74	0,05	2,23
Trigo convencional	3,76	0,02	1,95	0,14	5,87
Soya AC	1,69	0,01	0,87	0,06	2,63
Milho AC	0,34	0,00	0,17	0,01	0,53
	2,62	0,01	1,38	0,10	4,11
Trigo AC					

Fuente: Montoya, 1984

Merten y otros (1994), cuantificaron la pérdida de nutrientes equivalente a la formulación de fertilizante químico y el costo por hectárea de la quema de Brachiaria plantigenea (Cuadro 38). Esta hierba es una de las principales malas hierbas en las fincas familiares con tracción animal en Paraná, y se utiliza para ser quemado en los sistemas de preparación convencional. Se produjo un total de 5,000 kg de materia seca, junto con los residuos de maíz (Ribeiro y otros, 1993).

Cuadro 38. Las pérdidas de nutrientes, formulación de fertilizante químico equivalente, y el costo/ha de la quema de Brachiaria plantaginea.

	NUTRIENTES					COSTO TOTAL (US$/HA)
	N	P	K	Ca	Mg	
Valor promedio de pérdidas en kg/ha	45,2	9,2	84,7	26,8	16,9	
Formulación de fertilizante equivalente, en kg/ha	Úrea	Super triple	KCl	$CaCO_3$	$MgCO_3$	
	100,0	50,5	170,0	67,0	59,0	
Costo (US$/ha)	19,5	10,0	29,3	0,6	0,6	60,0

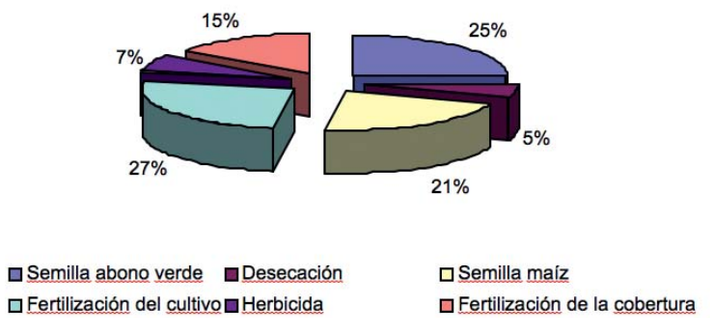
Fuente: Merten y otros (1994)..

LAS OPORTUNIDADES CREADAS POR LA ADOPCIÓN DE LA SIEMBRA DIRECTA.

Producción y venta de semillas de cultivos de cobertura

Junto con la rotación de cultivos, el uso de cultivos de cobertura es otro punto crucial para la sostenibilidad del sistema de siembra directa. A pesar de la existencia de varias opciones para materiales de cubierta de los cultivos, la falta de semillas en el mercado, o su alto costo, ha limitado la adopción por los agricultores de algunas regiones del sur de Brasil, debido a su falta de disponibilidad en el mercado local, o del alto costo cuando estén disponibles. Este problema es particularmente importante cuando se conocen las ventajas que se derivan de la utilización de mezclas y cócteles de cultivos de cobertura. A partir del trabajo realizado en el suroeste de Paraná, Ribeiro y otros (1998), declaró que el costo de adquirir semillas de cultivos de cobertura (mezclas de avena negra y veza) aportó el 25% de las entradas totales de costos para la producción de maíz en siembra directa (Figura 56), un costo que podría reducirse si el material fuera a producir en la granja y / o por la comunidad local.

Figura 56. La participación relativa de cada factor en el costo total de los insumos, para un cultivo de maíz en siembra directa, con el uso de la mezcla de avena negra (Avena strigosa) + veza (Vicia villosa). Región sudoeste de Paraná (Fuente:. Ribeiro y otros, 1998)



Por otra parte, esta restricción se puede convertir en una oportunidad, teniendo en cuenta que la producción de semillas de cultivos de cobertura en las fincas familiares, también podría ser una interesante fuente de ingresos sin la necesidad de recursos adicionales cuando los agricultores estén organizados para vender la producción.

Un ejemplo de cómo esto es posible, es el agricultor Alcides Matana, que vive en el municipio de Salgado Filho en el sudoeste de Paraná. Él tiene una propiedad de 24 hectáreas, que garantiza la alimentación de su familia, compuesta por 4 personas que viven y trabajan en la finca. Los principales cultivos comerciales en la finca son el tabaco, frijol y maíz, y en la leche y los cerdos que se producen para el autoconsumo. La finca cuenta con 12 hectáreas de cultivo, distribuidos así: 1,2 ha de maíz después del tabaco, 1 ha de maíz después de frijol; 6,2 ha de maíz + mucuna negro con el propósito de cubrir el suelo, y 3,6 ha maíz + mucuna negro para la producción de semillas de mucuna. Los resultados económicos que se presentan en el Cuadro 39, se obtuvieron en su propiedad y muestran el rendimiento económico posible a partir de la producción y comercialización de las semillas de mucuna negra. El Sr. Alcides es miembro de un grupo de agricultores que producen semillas de mucuna negra en el municipio, y que es organizado por la Unión de Trabajadores Rurales, y la producción se envía a Sao Paulo para la venta.

Cuadro 39. Resultados económicos de la producción de maíz, frijoles y semillas de mucuna negro, obtenido en la propiedad del Sr. Alcides Matana, municipio de Salgado Filho-PR., temporada 97/98.

Indicador	Mucuna negra	Frijoles	Maíz
Costo de producción (R$/ha)	16,2	142,06	222,20
Rendimiento (kg/ha)	2.370	1.200	3.240
Ingreso bruto (R$/ha)	395,00	460,00	351,00
Costo de jornales (R$/h)	6,80	2,37	1,26
Horas trabajadas/ha	55	134	102

Fuente: Registro de la experiencia, presentada por Rodrigues Jandir agricultores, durante el III Encuentro Latinoamericano de siembra directa en pequeñas fincas, Pato Branco-PR, 18-22 de octubre de 1998.

NUEVAS ALTERNATIVAS PARA OBTENER INGRESOS

Además de ofrecer una reducción de la demanda de mano de obra total, la siembra directa permite una mejor distribución de este factor durante todo el año. Junto con la reducción del arduo trabajo (sobre todo en las zonas rocosas, como es el caso en el sudoeste de Paraná, el oeste de Santa Catarina, y el Alto Uruguai en Rio Grande do Sul), la siembra directa hace posible el empleo alternativo de mano de obra familiar, como ha venido ocurriendo en el sur de Brasil, que surge de una nueva realidad conocida

como 'Novo Rural', o 'Multiactividad en el Campo' (Laurenti y Dal Grossi, 1999). En este nuevo escenario, los agricultores están buscando otras actividades no agrícolas, para complementar sus ingresos agrícolas, tales como la transformación de productos agrícolas (tartas, embutidos, quesos, mermeladas y dulces), y como mano de obra en la industria y el comercio, el servicio doméstico y en público servicios (enseñanza y salud).

IMPACTOS AMBIENTALES

La experiencia ha demostrado que los sistemas de agricultura de conservación obtienen altos niveles de rendimiento, comparables con los sistemas de agricultura convencional pero con menores fluctuaciones, debidas a los desastres naturales tales como sequías, tormentas, inundaciones y deslizamientos de tierra. La agricultura conservacionista contribuye, por lo tanto, a la seguridad alimentaria y reduce los riesgos para las comunidades -salud, condiciones de vida, abastecimiento de agua- y también reduce los costos para el Estado; por ejemplo, menos mantenimiento de caminos y cursos de agua, y menos asistencia de emergencia.

La agricultura de conservación también contribuye a mayores beneficios ambientales tales como:

- mejor manejo de los recursos de suelos y aguas en las fincas y en las cuencas: menos inundaciones, menos erosión, menos desertificación, flujo más constante en las corrientes de agua, mejor recarga de las aguas subterráneas, mejor calidad del agua gracias a la menor contaminación y menos sedimentos aguas abajo;
- mayor secuestro y menor liberación de carbono, o sea menor uso de combustibles, menor degradación de la materia orgánica; y
- mayor biodiversidad por medio de la diversificación.

En resumen, los principales impactos ambientales derivados de la siembra directa son en su mayor parte, positivos, aunque la cuestión de la utilización de herbicidas ha sido el objetivo principal de las consultas sobre el sistema. Sin embargo, este hecho no justifica un retorno a los sistemas convencionales. Como el señor Frank Dijkstra ha dicho (comunicación personal.): "siembra directa tiene problemas, pero tiene muchas más soluciones". Existen muchos principios disponibles y prácticas ya probadas

por los agricultores, que muestran caminos para la reducción o incluso la eliminación, del uso de herbicidas. Que todos los involucrados en el desarrollo del sistema (personal técnico y los agricultores) trabajen en pro de la adaptación de estas experiencias para sistemas de producción locales. Mientras tanto, los cambios son necesarios en los métodos de trabajo, en la forma de relacionar a los diversos actores, y principalmente, en el concepto adecuado acerca de lo que el sistema de siembra directo debe ser.

MITIGACIÓN DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS Y DE LOS GASES DE INVERNADERO

Las emisiones de los llamados gases de efecto invernadero resultantes de las actividades humanas están incrementando substancialmente, la concentración atmosférica de bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). La mitad del incremento del calentamiento global desde el inicio de la revolución industrial, es considerado consecuencia de un aumento del nivel de bióxido de carbono en la atmósfera (Lal, 1999). Las fuentes de emisión de bióxido de carbono incluyen la quema de combustibles fósiles, la producción industrial, la deforestación y la agricultura. Si bien las estimaciones del CO_2 varían considerablemente, la contribución de las actividades agrícolas y forestales a la emisión de bióxido de carbono se estima en solo el cinco por ciento del total global (Benites y otros., 1999).

RECUADRO 7: Secuestro de carbono (sur de Brasil)

La emisión de bióxido de carbono a la atmósfera, está relacionada con los procesos de mineralización y descomposición de la materia orgánica por los microorganismos (Lal, 1999). La emisión de CO2 del suelo aumenta con la labranza, al mezclar los residuos de los cultivos y otra biomasa de la superficie del suelo y por la quema de la biomasa.

Los estudios en el sur de Brasil, muestran un incremento del carbono orgánico del suelo bajo los sistemas de agricultura de conservación. Los diferentes cultivos de cobertura muestran efectos significativos sobre el nivel de carbono orgánico a dos profundidades (0-5 cm y 5-15 cm). Esto significa que todos los cultivos invernales de cobertura presentaron mayores valores de carbono orgánico que las parcelas en barbecho, a ambas profundidades (Calegari y Alexander, 1998).

Durante los primeros años, hasta el establecimiento del sistema de cultivo, el incremento en el contenido total de carbono orgánico, fue limitado solamente a las capas superiores del suelo (0-2,5 cm) (Testa y otros., 1992). Con el correr del tiempo, este efecto alcanzó capas de suelo mas profundas (2,5-7,5 cm). Castro Filho y otros., encontraron un 29 por ciento de incremento del carbono orgánico entre 0-10 cm del suelo sin labranza, comparado con el sistema de labranza convencional, sin considerar los sistemas de cultivo.

Comparado con el sistema de cultivo barbecho-maíz, que fue tomado como referencia, el contenido de carbono del suelo aumentó en 47 por ciento en el sistema maíz-lablab (Dolichos lablab) y en 116 por ciento en el sistema maíz-ricino (Ricinus communis). En los sistemas en que se aplicó nitrógeno como fertilizante, el contenido de carbono se incrementó aún más (Testa y otros., 1992).

Bayer y Mielniczuk (1997) encontraron que, cinco años después de la introducción de sistemas intensivos de cultivo, incluyendo leguminosas –especialmente en el sistema de cultivo avena+trébol-maíz y avena+trébol- maíz+caupí- el contenido de carbono orgánico de los suelos había sido restaurado, después de haber perdido 8,3 toneladas de carbono orgánico por hectárea, en los sistemas de producción anteriores.

Lámina 143
Las inundaciones y el transporte de sedimentos hacia el río aumentan el costo de tratamiento del agua
[WOCAT, FAO, 2000]

Del mismo modo, el potencial de la agricultura y de los bosques para secuestrar carbono -o sea, la absorción de carbono por la biomasa- es significativa (Recuadro 7). Por ejemplo, los sistemas basados en la adición de grandes volúmenes de residuos y la no labranza, tienden a acumular más carbono en el suelo que el que es liberado hacia la atmósfera (Greenland y Adams, 1992). Bayer (1996) encontró que los sistemas de rotación de cultivos acumulaban cerca de 11 t/ha de carbono en la parte superior del suelo (0-17,5 cm) después de nueve años. Bajo los sistemas de agricultura convencional, y con los sistemas de monocultura, la liberación del carbono hacia la atmósfera, era de cerca de 1,8 t/ha/año de CO_2 (Reicosky y otros, 1995).

REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

El cambio de uso y manejo de la tierra, junto con prácticas conservacionistas eficaces, lleva a una importante reducción de la erosión y con ello, a una disminución de la polución y contaminación de las aguas (Lámina 143).

Los indicadores que pueden ser usados para la reducción de la polución de las aguas incluyen:

- turbidez de las aguas y concentración de los sedimentos en suspensión;
- pérdida total de sedimentos asociada con pérdida de nutrientes; y,
- reducción de los costos de tratamiento del agua.

Bassi (2000) encontró una importante reducción de la turbidez del agua y de la concentración de sedimentos en un período de diez años (1988-1997) en diferentes cuencas en el sur de Brasil. Las reducciones variaron entre 50 y 80 por ciento, dependiendo de los suelos predominantes en esas áreas. Esas reducciones fueron debidas a un aumento de los cultivos perennes -bananos y pasturas- en las laderas, reduciendo de ese modo, el proceso erosivo. La pérdida total de sedimentos se redujo en 16 por ciento y la de nutrientes de las plantas en 21 por ciento. La reducción de pérdidas de sedimentos y el menor número de partículas en suspensión también redujeron el costo del tratamiento de las aguas. Los datos obtenidos en Chapecó indicaron que la cantidad de sulfato de aluminio usado para flocular los sólidos suspendidos en el agua disminuyó en 46 por ciento en un período de cinco años.

FORTALECIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD

El resultado del incremento de la cobertura del suelo por medio de los cultivos y de sus residuos, es un aumento en la variedad y variabilidad de los animales, plantas y microorganismos, los cuales son absolutamente necesarios para que se cumplan las funciones básicas del agroecosistema.

La agricultura de conservación proporciona más hábitats para las aves, los pequeños mamíferos, reptiles y lombrices de tierra, entre otros, y más alimentos, incluyendo insectos y semillas, lo cual a su vez, resulta en un incremento de las especies y de la población. El incremento de la producción causado por la agricultura de conservación, también hace posible establecer áreas naturales para regeneración (Recuadro 8).

MENOR VULNERABILIDAD A LOS DESASTRES NATURALES

Las mejores condiciones del suelo hacen que la tierra y los sistemas de producción tengan mejor capacidad de recuperación a eventos extremos.

Este efecto ha sido estudiado en el sistema Quesungual (Lempira, Honduras, Lámina 145) durante la Canícula, El Niño y lluvias excesivas de los huracanes como Mitch en 1998. Comparado con los agricultores que no cambiaron su sistema tradicional de roza y quema, los agricultores que usaron el sistema Quesungual no tuvieron mayores pérdidas de maíz durante el período de sequía de El Niño en 1997, tal como se muestra en la Figura 58. Incluso en el año siguiente cuando el huracán Mitch pasó sobre América Central con lluvias torrenciales y muchos agricultores perdieron sus cultivos por segunda vez, los agricultores que usaban el sistema Quesungual obtuvieron rendimientos similares a los del año anterior a El Niño.

El sistema Quesungual es un sistema agroforestal nativo caracterizado por la combinación de los árboles regenerados naturalmente y los árboles y arbustos podados con los elementos agroforestales más tradicionales como las maderas de alto valor y los árboles frutales. Los alimentos básicos tradicionales como maíz, sorgo y frijoles se siembran entre los árboles.

RECUADRO 8: Incremento de las áreas protegidas por medio del manejo del ganado – Costa Rica

Tradicionalmente, el ganado ha sido producido en zonas de ladera, en forma extensiva, sin ningún tipo de manejo de los recursos, lo que condujo a problemas erosivos y ambientales. Después del huracán César en 1996, se lanzó un programa de rehabilitación para reiniciar la producción agrícola en forma sostenible. La solución para la producción ganadera fue la intensificación de la producción con el objetivo de reducir el riesgo de degradación, mejorar la situación nutricional del ganado y liberar áreas que pudieran ser usadas para otras actividades, incluyendo la regeneración natural de la vegetación.

El sistema intensificado se basó en la producción de ganado en forma semi-estabulada y fue iniciada por medio de una planificación de las fincas, de modo de definir la capacidad de uso de la tierra y de seleccionar las áreas más adecuadas para la producción. Parte de esas áreas se sembraron con pasturas mejoradas y el resto con especies forrajeras. Las pasturas mejoradas se dividieron en pequeñas parcelas para permitir el pastoreo rotativo. El área con especies forrajeras se fertilizó con el abono orgánico obtenido en los pequeños establos.

La intensificación del sistema de producción ganadera llevó a incrementos

espectaculares en la producción de carne y leche. La reubicación de las actividades ganaderas ha llevado a la regeneración natural de tierras severamente erosionadas y de áreas inadecuadas para la producción agrícola, lo cual está teniendo un efecto positivo sobre la biodiversidad y permite que el gobierno "comercialice" el área en tratados internacionales sobre la protección forestal o el secuestro de carbono.

FIGURA 57
Producción de maíz en el sistema Quesungual (Álvarez y Flores, 1998)

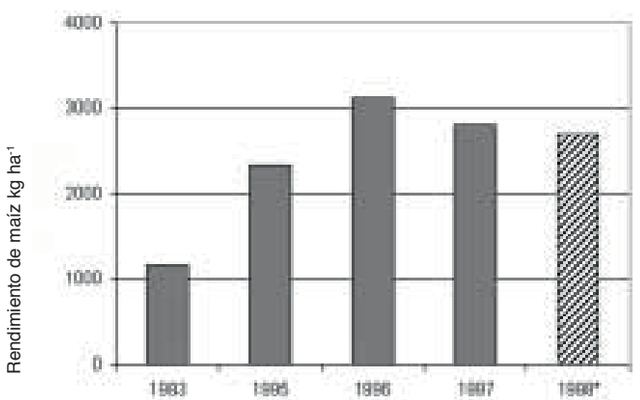


LÁMINA 144 [A.J. Bot]
Quesungual es un sistema agroforestal nativo que se usa en Honduras

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, W.L. y Flores, G. 1998. El mejoramiento de suelos en relación al uso de tecnologías de producción en laderas del sur de Lempira, Honduras, América Central. Taller: Experiencias en manejo de suelos y cultivos de cobertura en laderas. Siguatepeque 15-16 de Octubre 1998. Proyecto Lempira Sur GCP/ HON/018/NET.

Bassi, L. 2000. Impactos sociais, econômicos e ambientais na microbacia hidrográfica do Lajeado São José, Chapecó, SC. Estudio de caso. EPAGRI, Florianópolis. 50p.

Bayer, C. 1996. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Tese (Douctorado em Agronomia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 214p.

Bayer, C. and Mielniczuk, J. 1997. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 21: 105-112.

Benites, J., Dudal, R. y Koohafkan, P. 1999. Land, the platform for local food security and global environmental protection. In: FAO. Prevention of land degradation, enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land use change and sustainable land management with a focus on Latin America and the Caribbean. Proceedings of the IFAD/FAO Expert Consultation. Rome 15 April 1999. pp. 37-42.

Calegari, A. Towards sustainable agriculture with a no-tillage system in South Brazil. In: Conservation Tillage for Sustainable Agriculture. International Workshop. Edited by Benites, J.; Chuma, E.; Fowler, R.; Kienzle, J.; Molapong, K.; Manu, J.; Nyagumbo, I.; Steiner, K. & van Veenhuizen, R. Harare, Zimbabwe, 22-27 June, 1998. p. 239-246.

Calegari, A. y Alexander, I. 1998. The effects of tillage and cover crops on some chemical properties of an oxisol and summer crop yields in southwestern Paraná, Brazil. Advances in GeoEcology 31: 1239-1246.

Calegari, A., Darolt, M.R. y Ferro, M. 1998. Towards sustainable agriculture with a no-tillage system. Advances in GeoEcology 31: 1205-1209.

Denardin, J. E. 1998. Projeto Metas: uma parceria em pesquisa e desenvolvimento aplicada ao sistema plantio direto no sul do Brasil. In: Rasolo, F. & Raunet, M. (Eds.). Gestion Agrobiologique des sols et de systèmes de culture. Actes de l'Atelier International, Antsirabe, Madagascar, 23-28, ANAE-CIRAD-FAFIALA-FIFAMANOR, FOFIFA, TAFA. Montpellier, France, CIRAD Collection Colloques, 658 p. 419-436

Greenland, D.J. y Adams, D. 1992. Organic matter in the soils of the Tropics - From myth to complex reality. In: Myths and science of soils in the tropics. SSSA Special publication No. 29.

Heiden, F. C. 1999. Análise comparativa do plantio direto frente ao sistema convencional de manejo do solo em sistemas de produção de lavouras de Santa Catarina, nas regiões trabalhadas pelo Projeto Microbacias. . In: Memorias de la V Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Agricultura Conservacionista. Florianópolis, EPAGRI/FAO.

Lal, R. 1999. Global carbon pools and fluxes and the impact of agricultural intensification and judious land use. In: FAO. Prevention of land degradation, enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land use change and sustainable land management with a focus on Latin America and the Caribbean. Proceedings of the IFAD/FAO Expert Consultation. Rome 15 April 1999. pp. 45-52.

Laurenti, A. C. & Del Grossi, M. E. A Evolução das pessoas ocupadas em atividades agrícolas e não agrícolas nas área rurais do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 37, Foz do Iguaçú, PR. Anais SOBER, Brasília, 1999, p 269.

Mello, I. 1995. Plantio Direto em Arroz Irrigado: Resumo histórico. In: Revista Plantio Direto, Encarte Cultura do Arroz. Passo Fundo, Aldeia Norte, Ed. 29 set-out. p. 2-3.

Mello Filho, G. A. & Richetti, A. Menor uso de máquinas no sistema plantio direto: conseqüências ambientais e econômicas. Direto no Cerrado, Brasília, Associação de Plantio Direto no Cerrado, julho-agosto de 2001.

Merten, G. H., Fernandes, F.F.; Machado, M.; Ribeiro, M.F.S.; Samaha, M.; Benassi, D.A.; Gomes, E.P.; Siqueira, E.M.; Silva, F.A. Estratégias de manejo para solos de baixa aptidão agrícola da região Centro-Sul. In: Merten, G. (Org.) Manejo de solos de baixa aptidão agrícola no Centro-Sul do Paraná. Londrina, IAPAR, 1994. 112 p. (IAPAR, Circular, 84.)

Montoya, L. Aspectos de economicidade do manejo do solo em plantio direto. Londrina, IAPAR, 1984. (IAPAR, Informe da Pesquisa, 57). 19 p.

Ralisch et al, 1998 – Anais do III ELAPDPP (Completar) Encontro Latinoamericano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade. Pato Branco, 1 Anais... outubro de 1999.

Reichert , L.J.; Flores, C.A.; Medeiros, A.R.; Mattos, M.L.T.; Siqueira, O.J.W.; Migliorini, L.C.; Oliveira, M.A.C. 1999. Análise técnica e econômica do plantio direto de milho: propriedades familiares, Passo do Pilão - Pelotas/RS: Embrapa Clima Temperado. 27p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 64)

Ribeiro, M.F.S.; Benassi, D.A; Samaha, M. 1993. Implicações do plantio direto em pequenas propriedades no Centro-Sul do Paraná. Encontro Latinoamericano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade, I, Ponta Grossa, PR. Anais... Ponta Grossa, IAPAR, p. 285-292

Ribeiro, M.F.S.; Pichi, I.; Gorniak, A.; Peretti, I.; Burg, I.; Canterle, J.S.; Canalli, L.; Auashe, M.; Fritz,N. . PROJETO PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE DO PARANÁ: Rumo à colaboração entre técnicos e agricultores. Encontro Latinoamericano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade. Pato Branco, 1 Anais... outubro de 1998.

Ribeiro, M.F.S; Darolt, M.R.; Benassi, D.A; Muller, J.; Perotti, L. 1996. O plantio direto na região de Mata de Araucária. In: Alvarez, V.H.; Fontes, L.E.; Fontes, M.P.F. (Eds.) O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado. Viçosa, MG: SBCS; UFV, DPS, P. 201-216.

Seguy, L., S. Bouzinac, A. Trentini, N. A. Cortes. 1995. Gestão de fertilidade dentro dos sistemas de cultivo mecanizados nos Trópicos Úmidos: O caso das frentes pioneiras dos Cerrados e Florestas Úmidas do Centro-Norte do estado de Mato Grosso. Informe Técnico. I: Gestão da fertilidade pelo sistema de culturas.

Sorrenson, W. J. & Montoya, L. J. 1989. Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas no Paraná. Londrina, IAPAR, (IAPAR, Boletim Técnico, 21). 104p. ilust.

CAPÍTULO 13

ELEMENTOS DE UN PROGRAMA DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

ESTRATEGIA Y ENFOQUE

Las experiencias de Brasil, Argentina, Paraguay, Australia, Estados Unidos y Canada son útiles para elaborar y desarrollar un programa de agricultura de conservación en el Perú. Estos países líderes, cuentan con una rica experiencia, en donde el progreso de AC ha sido facilitado por una fuerte coparticipación del gobierno, la industria, las organizaciones conservacionistas y los agricultores innovadores.

Para desarrollar un proyecto de agricultura de conservación se requiere de una estrategia integral que debe incluir:

- Los sistemas de rotación: tipo de rotaciones, tipo de coberturas, cómo manejar las malezas, cómo manejar la fertilidad del suelo.
- Los sistemas de producción (¿cómo producir cultivos comerciales y, al mismo tiempo, proporcionar forraje para el ganado?).
- Los sistemas agrarios: la tenencia de tierras, las interacciones entre los diferentes sistemas de producción, tipos de organización de la comunidad, entorno institucional y las políticas de desarrollo.

También es necesario utilizar un enfoque sistémico que debe: a) identificar los sistemas de producción en la región, b) seleccionar a los beneficiarios de las acciones, c) diagnosticar las restricciones y oportunidades, d) identificar soluciones, e) adaptar soluciones, f) generar otras informaciones y su difusión a gran escala. Este proceso es dinámico, no termina con la etapa de difusión. La evolución de la agricultura de conservación, siempre genera preguntas de segundo orden originarios de la nueva dinámica, como por ejemplo, la cuestión del uso de herbicidas y el manejo de las plagas.

ESCENARIOS FAVORABLES PARA LA ADOPCIÓN DE LA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

La experiencia en varios países ha hecho posible la identificación de escenarios favorables para la expansión de la AC, y que se diferencian de acuerdo a la situación socio-económica de los agricultores.

Con respecto a la agricultura familiar, un escenario adecuado es aquel que apunta a una tendencia cada vez mayor de cambio de los sistemas de producción de grano, a los sistemas diversificados, con agregación de valor, o incluso a la agricultura a tiempo parcial. En este contexto, la AC es una práctica que, por el ahorro de tiempo, hace posible que los agricultores utilicen su tiempo libre en otras actividades que producen un mayor rendimiento económico.

Esta situación se está convirtiendo en realidad en Río Grande do Sul, Brasil. Esta experiencia demuestra que la promoción de la AC debe ser parte de una política más amplia para el desarrollo rural.

¿Y por qué no promover directamente, la adopción de la AC per se? La respuesta es que los agricultores familiares en general, no ven la erosión del suelo como un problema prioritario, sino que su principal preocupación es el aumento de sus ingresos y la satisfacción de sus necesidades a corto plazo. Por lo tanto -al menos en el caso de Brasil- la elaboración de proyectos que contemplan la promoción de la AC en las explotaciones familiares, sobre todo de los pequeños agricultores, debe ser visto como uno de los componentes de una estrategia más amplia de desarrollo.

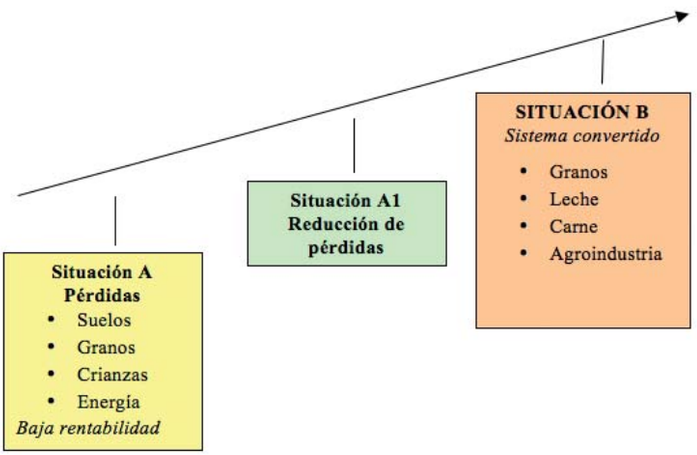
LA ETAPA DE REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS Y DE LA TRANSICIÓN DE LOS SISTEMAS CONVENCIONALES AL SISTEMA DE AC

El cambio de las prácticas agrícolas a prácticas más sostenibles, es un proceso gradual. Un enfoque programado que puede comenzar con cambios simples para minimizar los riesgos y distribuir las inversiones, y debería permitir a los agricultores un desarrollo progresivo de la capacidad necesaria antes de enfrentar cambios más complejos. Por ejemplo, para convertir un sistema convencional basado en la producción de granos, con pérdidas de diversas clases (suelos, energía humana, animales, etc.), se necesita detener las pérdidas antes de invertir en un cambio del sistema. Por ejemplo, en la conversión de un sistema convencional de producción de cereales, con grandes pérdidas por erosión, a un sistema de producción de leche en donde el maíz y los pastos son la base de la alimentación de las vacas de ordeño, se tiene que detener las pérdidas para tener una buena disponibilidad de alimento. En este contexto, la AC es una práctica que puede resolver diversos tipos de pérdidas de suelo, agua, energía humana, tiempo, etc.

En el Perú se han gastado enormes sumas de dinero en programas de conservación de suelo que enfatizaron más el control de la erosión en forma aislada, con obras físicas que son muy costosas y poco eficientes, para enfrentar la escorrentía del agua de lluvia y la erosión de los suelos y su pérdida de productividad. La estrategia técnica para la reducción de la erosión y las pérdidas de productividad debe basarse en los siguientes pasos:

- reducción del impacto de la lluvia sobre el suelo descubierto, evitando así la primera fase del proceso erosivo;
- control de la escorrentía superficial, mediante la reducción de la longitud de la pendiente en secciones más cortas; y
- aumentar la infiltración de agua.

La Figura 58. Estrategia de desarrollo de sistemas de producción de las explotaciones familiares en el sur de Brasil (adaptado de Machado, 1992).



La estrategia técnica para el manejo del suelo, no se basa únicamente en la AC, sino que implica una serie de otras prácticas asociadas. El uso de obras físicas, por ejemplo, podría ser necesario durante la fase de transición de convencional a AC. Bertol (2000) indica que, incluso con las menores pérdidas de suelo de sistemas conservacionistas por comparación con los sistemas convencionales, en algunas situaciones, estas pérdidas pueden llegar a ser extremadamente altas, dependiendo de las condiciones de la superficie del suelo, el grado de la pendiente y de la erosividad de la lluvia. En estas situaciones, el autor recomienda que no se deban abandonar el medio mecánico para controlar la escorrentía superficial, y se recomiendan retenerlas como complementos de la AC.

Una característica que distingue a la AC de los sistemas de labranza convencional, es la necesidad de una planificación. No es posible implantar un buen sistema de AC, si el agricultor no tiene previsto el uso de un plan de rotación de cultivos y no hace uso de una cantidad adecuada de cobertura muerta, por falta de semillas o porque no tenía previsto otras fuentes de alimentación animal. Más allá de esto, la implantación de AC en las zonas degradadas y sin el uso de cultivos de cobertura, resulta en efectos negativos sobre el rendimiento de los cultivos, debido a problemas de déficit de agua, la alta incidencia de malezas, compactación y altas temperaturas del suelo.

En la transición de un sistema convencional a una de AC, se debe recordar que habrá un periodo de aproximadamente 4 años, para que un suelo muestre cambios en su composición química, atributos físicos y biológicos, y que posiblemente requiera la implantación de algunas obras físicas para contener la escorrentía durante este período (Bertol, 2000; Merten et al, 1994). Además de esto, el agricultor y el personal técnico inician un proceso de aprendizaje, de modo que el sistema debe comenzar en áreas pequeñas. Sin pretender formular una receta universal, sugerimos algunos aspectos importantes de la fase de transición:

- las primeras experiencias se deben realizar en las mejores áreas de la finca, con baja infestación de malezas, con buena fertilidad de suelo y en donde hay posibilidad de encontrar cultivos que se puedan utilizar como cobertura. El período inicial es de aprendizaje, y por esta razón no se debe introducir muchas variables difíciles;
- llevar a cabo un análisis químico del suelo, y evaluar su estado de fertilidad;
- en las zonas más húmedas del país, los suelos son ácidos y contienen alto contenido de aluminio, y por lo general, requieren corrección de la acidez y reducción del aluminio con encalado y se requiere aplicar fósforo;
- determinar si hay problemas de compactación y la profundidad en la cual se produce para decidir qué acción tomar para su eliminación. En el caso de presencia de pie de arado a profundidades de entre 12 y 25 cm, se recomienda utilizar escarificadores, y en el caso de compactación superficial (provocado por ejemplo por pisoteo del ganado), el surcador de los equipos de siembra puede ser suficiente para descompactarlo. El uso de cultivos de cobertura con sistemas radiculares profundos, son importantes para mantener y aumentar la estructura creada inicialmente por el método mecánico que se utiliza;
- planificar las rotaciones de los cultivos con 2 años de anticipación, empezando por un cultivo que produce abundante biomasa, como la avena negra, centeno, ryegrass perenne, mijo, sorgo forrajero, etc., que también tienen buenos efectos alelopáticos sobre la maleza. En el caso de los sistemas de producción animal, planificar el uso de cubiertas vegetales para la alimentación animal (pastoreo rotativo), y las fuentes de los suplementos -heno y forraje– para los períodos críticos;
- planificar zonas de producción de semillas de cultivos de cobertura. Un aspecto fundamental de un sistema de AC es la producción de residuos para cobertura, por lo que esta debe ser una preocupación constante para cualquier sistema sostenible de AC;
- planificar el uso de otros medios de conservación del suelo, si fuera

necesario, durante la fase de transición. En pequeñas áreas de cultivos anuales, se debe evitar el uso de grandes estructuras como 'terraza', a pesar de asegurar la adecuación de la profundidad del suelo y la inclinación de la pendiente. Hay que ajustar las prácticas de conservación tomando en cuenta la disponibilidad de mano de obra y otras necesidades del sistema de producción, como por ejemplo, el uso de franjas de vegetación con especies forrajeras para la alimentación animal. Algunos ejemplos de opciones de conservación de suelos durante la transición se describen en Merten et al. (1994); y,

- comprobar la adecuación de las prácticas para el sistema de la producción AC, respecto a la disponibilidad de mano de obra y de capital.

ENTORNO INSTITUCIONAL Y LA PARTICIPACIÓN

Los proyectos de agricultura de conservación requieren de una amplia participación de una serie de instituciones, en particular, la de las organizaciones de agricultores. Esta integración es decisiva para el impacto de los proyectos de AC. La identificación de los actores, sus funciones y sus efectivos que trabajan junto con los agricultores, pueden ser identificados por medio de métodos participativos (Pretty et al., 1995). A través de este ejercicio, es posible identificar a los socios más capaces de aprovechar el potencial del proyecto, evitar la duplicación y facilitar la complementariedad de diversas acciones.

Otra condición fundamental para un proyecto de AC, es la participación efectiva de todos los agentes, no sólo en la ejecución del proyecto, sino también en los debates de la manera de ponerla en práctica, y cómo analizar los resultados. Diversas técnicas se han desarrollado para promover la participación de los agricultores, pero el más importante y difícil, es alterar la actitud del personal técnico, que muchas veces están acostumbrados a ver al agricultor sólo como alguien con quien hablar de sus problemas y soluciones (Ribeiro et al., 1997).

La concepción de la AC como un sistema basado en principios y no como un "paquete tecnológico"

El hecho de que los agricultores -principalmente aquellos con escasos recursos financieros- acepten con mucha renuencia "paquetes" específicos (y mucho menos cuando se ven obligados a hacerlo), ha sido reconocido por muchos promotores de AC. Por este motivo se debe evitar que se presenten proyectos de AC como un paquete de de alto costo, especialmente para los pequeños agricultores.

Cuando los paquetes tecnológicos son promovidos con el objetivo de aumentar los ingresos de los sistemas de producción, hay que tener en cuenta el hecho de que los agricultores pueden estar corriendo un riesgo que ellos no tienen las condiciones de asumir. Si los agricultores -principalmente los pequeños agricultores- hacen uso del crédito para comprar insumos en un año en el que, por ejemplo, hay sequía, ellos pueden perder sus tierras y su capital.

Incluso, para los agricultores que tienen más capital, la relación del costo de los insumos puede ser mayor que los ingresos, lo cual lleva a la necesidad de reducir los costos. La AC no puede ser considerada como un paquete tecnológico, sino más bien como un sistema basado en los principios de no -perturbación del suelo, el uso de cultivos de cobertura y la rotación de cultivos-, y la comprensión de estos principios debe ser la base de cualquier mensaje ofrecido a los agricultores.

Estas consideraciones son particularmente importantes para el desarrollo de sistemas sostenibles de AC desde los puntos de vista medioambientales, económicos y sociales, como por ejemplo aquellos que prevén la reducción o incluso la eliminación de los herbicidas. Esto se puede hacer mediante el desarrollo participativo de la tecnología, el mayor número posible de opciones que se ofrecen a los agricultores para que puedan tener la oportunidad de escoger las opciones que mejor se adapten a sus sistemas de producción.

DESARROLLO PARTICIPATIVO DE TECNOLOGÍAS

Las experiencias de Paraná, Santa Catarina y Rio Grande do Sul en Brasil, demuestran la eficacia del Desarrollo Participativo de Tecnologías como instrumento de investigación, extensión y enseñanza tanto para el personal técnico como de los agricultores. En 1985, IAPAR ya había puesto en marcha una sembradora de siembra directa para tracción animal, mientras que la apropiación del sistema por los pequeños agricultores, se inició a partir de 1991, con el primer trabajo de investigación adaptativa desarrollada en colaboración con los agricultores y acompañado por el personal de extensión rural. En Paraná, para cada Unidad de Pruebas/Validación que se creó, un promedio de diez agricultores vecinos adoptó la tecnología (Darolt y Ribeiro, 1996). En Santa Catarina, los avances en la implementación de sistemas de conservación eficaces de preparación de la tierra se produjo, en su forma más intensa, cuando el agricultor participó en la experimentación con distintas especies de cultivos de cobertura, y en el desarrollo y la adaptación de los equipos (Freitas, 1997).

El desarrollo participativo de tecnologías tiene que considerar el estudio de los sistemas de AC, al mismo tiempo que la selección de sus componentes, de acuerdo con los diferentes recursos y los objetivos de los sistemas de producción, tratando siempre de ofrecer el mayor número posible de opciones para los agricultores.

Es importante que las actividades realizadas en el campo deben ir acompañadas de los agricultores y técnicos en todas las etapas críticas del desarrollo de los cultivos, y que los agricultores realmente participen en todo el proceso, desde la planificación hasta la evaluación. El seguimiento de los resultados también es necesario en los aspectos técnicos/económico, de acuerdo con los criterios de evaluación de los agricultores. Algunas de las técnicas de evaluación participativa de las técnicas se describen en Ashby et al., (1991) y Ribeiro et al. (1997).

TRABAJAR CON GRUPOS DE AGRICULTORES Y CON LOS AGRICULTORES INDIVIDUALES

El trabajo con grupos de agricultores es uno de los mecanismos más eficaces para la adaptación y difusión de tecnologías. El ejemplo más conocido es el de los clubes Amigos de la Tierra en Brasil. También hay otras formas de organización (sindicatos, grupos de jóvenes, grupos de agricultores experimentadores, etc.) que pueden estar disponibles antes del inicio de un proyecto de AC, y que pueden usarse y reforzarse.

Por otro lado, trabajar con grupos no debe ser visto como la única receta. En el medio rural existen varios agricultores que realizan sus propios experimentos y que están innovando continuamente. Estos agricultores tienen un gran potencial para llegar a soluciones, y un proyecto debe ser lo suficientemente flexible como para hacer posible el trabajo con grupos, así como con las personas innovadoras, de acuerdo al caso.

EXPANSIÓN A NIVEL MUNDIAL DEL ÁREA BAJO AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

La agricultura de conservación se practica en gran escala durante unos 30 años. Aunque el arado sigue siendo la norma, la superficie de tierra en AC aumentó de alrededor de 11 millones de hectáreas en 1990 hasta 106.000.000 de hectáreas en 2008 / 09 (fuente: FAO).

Se estima que AC actualmente se practica en alrededor de 125 millones de hectáreas en todo el mundo (Cuadro 40). El crecimiento de la AC ha sido el más rápido en América Latina, especialmente en Brasil, Argentina y Paraguay, donde AC representa en la actualidad, casi dos tercios de las tierras de cultivo. Otros países en los que la AC es importante, son los EE.UU., Canadá y Australia.

Cuadro 40. Extensión de la Adopción de la Agricultura de Conservación a Nivel Mundial (Países con >100,000 ha)

País	CA (ha)
EE.UU.	26,500,000
Argentina	25,553,000
Brasil	25,502,000
Australia	17,000,000
Canadá	13,481,000
Rusia	4,500,000
China	3,100,000
Paraguay	2,400,000
Kazajistan	1,600,000
Bolivia	706,000
Uruguay	655,100
España	650,000
Ucrania	600,000
África del Sur	368,000
Venezuela	300,000
Francia	200,000
Zambia	200,000
Chile	180,000
Nueva Zelanda	162,000
Finlandia	160,000
Mozambique	152,000
Reino Unido	150,000
Zimbabwe	139,300
Colombia	127,000
Otros	409,440
Total	**124,794,840**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ashby, J.; Quiros, C.; Rivers, Y. Farmer participation in technology development. In: Chambers, R.; Pacey, A.; Thrupp, L.A. Farmer First. London, Intermediate Technology, 1991. p. 115-122.

Bertol, I. Manejo do solo e da água em plantio direto. In: VII Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha. Foz do Iguaçu, FEBRAPDPP, 2000. (Resumos). P. 83-85.

Darolt, M.R. & Ribeiro. M.F.S. Pesquisa e desenvolvimento do plantio direto para a pequena propriedade no Paraná, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Plantio Direto, I. Ponta Grossa, 1996. anais. Ponta Grossa, 1996.

Freitas, V. H. Plantio direto em pequenas propriedades em Santa Catarina: como viabiliza-lo. In: . In: Peixoto, R.; Ahrens, D. C.; Samaha, M. (Eds.) Plantio Direto: caminho para uma agricultura sustentável. Ponta Grossa, PR, IAPAR, 1997. p. 101-106.

Macedo, S. de F. S.; Fregonezi, G. A. de F.; Guilherme, P. R. G.; Guimarães, M. F.; Araújo, A. G. Ralisch, R. C.; Benassi, D. A. Siqueira, E. M.; Caracterização física e química de um Latossolo Bruno sob plantio direto a tração animal. Encontro Latinoamericano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade. Pato Branco, 1 Anais, outubro de 1998.

Machado, M. L. S. Gerenciamento de propriedades no Centro-Sul do Paraná: uma abordagem sistêmica privilegiadora do s recursos naturais. Londrina, IAPAR, 1992. 8p. mimeo.

Merten, G. H., Fernandes, F.F.; Machado, M.; Ribeiro, M.F.S.; Samaha, M.; Benassi, D.A.; Gomes, E.P.; Siqueira, E.M.; Silva, F.A. Estratégias de manejo para solos de baixa aptidão agrícola da região Centro-Sul. In: Merten, G. (Org.) Manejo de solos de baixa aptidão agrícola no Centro-Sul do Paraná. Londrina, IAPAR, 1994. 112 p. (IAPAR, Circular, 84.)

Pretty, J.; Guijt, I.; Thompson, J.; Scoones, I. Participatory Learning and Action: a trainers guide. London, International Institute for Environment and Development, 1995. 260 p.

Ribeiro, M.F.S.; Pichi, I.; Gorniak, A.; Peretti, I.; Burg, I.; Canterle, J.S.; Canalli, L.; Auashe, M.; Fritz,N. . PROJETO PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE DO PARANÁ: Rumo à colaboração entre técnicos e agricultores. Encontro Latinoamericano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade. Pato Branco, 1 Anais, outubro de 1998.

CAPÍTULO 14

CONCLUSIONES

El incesante abuso de los recursos naturales está llevando al país a una espiral de seguridad alimentaria decreciente, y a un aumento de su dependencia de la ayuda externa. Para retardar y revertir esta espiral, es necesario enfrentar urgentemente, el problema de la degradación y la pérdida de los recursos agrícolas del Perú. La adaptación y la adopción de técnicas de labranza conservacionista, pueden reducir e invertir esas tendencias, pero esas opciones deben ser identificadas y comunicadas a los agricultores de escasos recursos (Fowler y Rockstrom, 2000). El reconocimiento de que en el ámbito rural es fundamental la existencia de un medio de vida sostenible para que haya sociedades y ambientes estables, que los agricultores son el centro del mejor manejo de la tierra y que éste será más efectivo y aceptable, que el mero incremento de tamaño o número de las obras físicas de conservación para prevenir la degradación, es un hecho que tiene múltiples implicaciones para organizar el apoyo a los agricultores.

Las políticas que afectan el uso y el manejo de la tierra, deberían ser coordinadas entre las distintas reparticiones gubernamentales, para facilitar la toma de decisiones apropiadas por parte de los agricultores, para el mejor manejo de la tierra. El nivel de capacidad y los sistemas de recompensa del sector público, deben ser ajustados de manera que estimulen a los técnicos gubernamentales a ofrecer asesoramiento efectivo, para que el conservacionismo sea además, aceptable para los agricultores. Los incentivos o los subsidios agrícolas, no deberían poner en peligro el buen manejo de la tierra.

La capacitación del personal técnico profesional, debe incluir el desarrollo de su capacidad técnica en temas de colaboración interdisciplinaria y relaciones interpersonales: debe también incluir la enseñanza del buen manejo de la tierra sobre una base general.

Los programas y las actividades de investigación, deben hacer aún más para enfrentar los problemas que los agricultores tienen cotidianamente y deben incluir agricultores en el diseño y la implementación de programas que satisfagan sus necesidades. La generación de nuevos conocimientos técnicos, puede llegar a ser menos importante que identificar y considerar los factores centrales que inhiben el mejor desarrollo de un buen manejo de la tierra, el cual puede estar relacionado con los aspectos económicos, sociales, infraestructurales o de mercado.

Las organizaciones gubernamentales deben servir a sus agricultores-clientes, en formas más interdisciplinarias y participativas, enfocando conjuntamente, grupos particulares, problemas o áreas, antes que planear en forma vertical, o de ejecutar programas técnicos, independientemente uno de otro.

La legislación debería estar ajustada de modo de facilitar los requerimientos y las iniciativas de los grupos locales, alejada de instrumentos legales, coercitivos o punitivos, en los casos en que estos todavía existan (como ocurre, por ejemplo, en muchos casos en los Departamentos Forestales), como un medio para tratar de estabilizar los recursos de la tierra.

Con la agricultura de conservación, el buen manejo del suelo ha ganado un concepto global, comercialmente productivo, permitiendo un manejo cuidadoso de los recursos de aguas y suelos, y también de cultivos, animales y sus plagas y pestes. También ofrece contribuciones positivas al medio ambiente, incluyendo la conservación de la diversidad biológica, el combate de la desertificación y la sequía, y el secuestro de carbono en lo que hace a la conservación de los recursos atmosféricos.

En el mundo, en general, se reconoce cada vez más que hay una necesidad de buscar formas de gestión de los agroecosistemas que sean sostenibles, contribuyendo a una mayor biodiversidad, la diversificación de la producción, el uso equilibrado del suelo, el reciclaje y el uso de la toma de nutrientes por el mantenimiento y/o recuperación de las propiedades biológicas del suelo química y física. Así, la integración de las prácticas sistematizadas, de manera ordenada, permiten avances no sólo en los sistemas de cultivo, sino también en las condiciones socio-económicas de los productores rurales.

La experiencia brasileña y de otros países, está llena de ejemplos que demuestran que el enfoque puramente técnico de los programas destinados a promover una agricultura más sostenible, no fueron suficientes para 'arrancar en marcha' el proceso de cambio. La participación de los agricultores y sus organizaciones, las nuevas formas de relación entre los agricultores, investigadores, servicios de extensión oficiales y el sector privado ("socios"), siempre estaban viajando juntos a lo largo de la historia, del desarrollo y la consolidación del sistema de agricultura de conservación. Por lo tanto, es fundamental que se sigan creando más mecanismos que hagan posibles acciones sinérgicas entre los diversos actores.

De la misma manera, las políticas formuladas con el objetivo de conservar el suelo, no lograron cumplir su objetivo, ya que los agricultores -principalmente aquellos con escasos recursos financieros– no consideran el control de la erosión como una prioridad. En el caso brasileño, la agricultura de conservación, a través de la reducción de la demanda de mano de obra, llegó a crear oportunidades de empleo de la fuerza de trabajo en otras actividades, atendiendo la conservación y mejoramiento del suelo y el aumento de los ingresos familiares.

El sistema de siembra directa, cuando se realiza correctamente con la rotación de cultivos, permite una mejor distribución del trabajo durante todo el año, lo que permite una mejor planificación y la diversificación hacia otras actividades. Este sistema conduce a un mejor control de la erosión, la mejora de la fertilidad y el aumento de la capacidad productiva del suelo, por medio de un mayor reciclado y la adición de nutrientes en el sistema, y una mayor diversidad biológica con el consiguiente mejor

equilibrio de las propiedades del suelo, el aumento de rendimiento de los cultivos, mejor estabilidad de la producción, así como hacer posible un uso racional y constante de la tierra, y contribuir a una mejor calidad de vida para las familias agrícolas. Los datos obtenidos por la investigación y las experiencias de los agricultores, prueban que esto es un medio eficiente y eficaz de la producción con la sostenibilidad.

Todavía hay un largo camino a seguir en el sentido de aumentar la adopción de la siembra directa por un mayor número de agricultores, así como en el sentido de perfeccionar el sistema desde un punto de vista cualitativo. Menor uso de herbicidas (o incluso su eliminación en ciertos casos), alternativas para el manejo de nuevas plagas y enfermedades que surgen de las nuevas dinámicas de las relaciones suelo-agua-planta, como consecuencia de la no perturbación del suelo y de la presencia de la planta, residuos y un mayor acceso de los agricultores a semillas de cultivos de cobertura, son algunos de los retos que le dará una mayor sostenibilidad al sistema de siembra directa.

En el ámbito de las políticas públicas, es necesario que haya incentivos a los agricultores para que adopten el sistema. Por ejemplo, las nuevas líneas de crédito que son diferentes de las actuales, sólo para la inversión y los costes de producción, y las diferentes normas sobre el seguro agrícola, son algunos de los mecanismos que pueden estimular la adopción del sistema. Es también la responsabilidad del Estado para financiar líneas de investigación que buscan medios alternativos para el control de malezas, plagas y enfermedades, con el fin de que los sistemas sean más sostenibles en términos ambientales y económicos en desarrollo.

El impacto de este sistema en la mejora de la calidad del agua, en la reducción del gasto público en materia de protección de las carreteras, la protección y el tratamiento del agua y los recursos hídricos -y, más recientemente articulado- en la mejora del medio ambiente en función de la contribución de este sistema a la reducción de las emisiones de carbono a la atmósfera, y el aumento de su captura (secuestro) en el medio ambiente, tiene que ser mejor cuantificado, y comprendido, no sólo entre los agricultores, sino como un medio de despertar a toda la sociedad.

Agrobanco

Servicios Financieros para el Perú Rural

Foto de Portada: Agricultura de conservación en plantación de naranjo dulce *Citrus sinensis* - cultivar "Pera Rio" injertada en la variedad "Cleopatra" sembrada a un distanciamiento de 6.5 x 2.8 m. La cobertura es de pasto brachiaria *(Brachiaria ruziziensis)*. La foto fue tomada el 12 de noviembre de 2007 por el Sr. Alfonso Peche Filho en la Fazenda Triunfo - Holambra II - Paranapanema, Estado de Sao Paulo, Brasil.

Agrosaber línea editorial de Agrobanco