

Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos

BOLETÍN
DE TIERRAS
Y AGUAS
DE LA FAO

8



INSTITUTO
INTERNACIONAL
DE
AGRICULTURA
TROPICAL



Organización
de las
Naciones
Unidas
para la
Agricultura
y la
Alimentación



Fotografía de la cubierta de Francis Shaxson. En una finca familiar se usan abonos orgánicos y composte para mejorar la fertilidad del suelo y la producción de cultivos.

Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos

BOLETÍN
DE TIERRAS
Y AGUAS
DE LA FAO

8

Basado en el curso de
Capacitación sobre el manejo y conservación de suelos,
dictado en el IITA, Ibadan, Nigeria
21 de abril-1 de mayo de 1997

Patrocinado por el
Servicio de Gestión de las Tierras y de la Nutrición
de las Plantas
Dirección de Fomento de Tierras y Aguas
y la
Subdirección de Ingeniería Agrícola de la
Dirección de Sistemas de Apoyo a la Agricultura de la FAO

en cooperación con el
Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA)
Ibadan, Nigeria

INSTITUTO
INTERNACIONAL
DE
AGRICULTURA
TROPICAL



Organización
de las
Naciones
Unidas
para la
Agricultura
y la
Alimentación



Roma, 2000

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

ISBN 92-5-304417-9

Reservados todos los derechos. No se podrá reproducir ninguna parte de esta publicación, ni almacenarla en un sistema de recuperación de datos o transmitirla en cualquier forma o por cualquier procedimiento (electrónico, mecánico, fotocopia, etc.), sin autorización previa del titular de los derechos de autor. Las peticiones para obtener tal autorización, especificando la extensión de lo que se desea reproducir y el propósito que con ello se persigue, deberán enviarse a la Dirección de Información, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.

© FAO 2000

Prólogo

Los procesos de degradación de tierras en varias regiones de América Latina y África, tienen su origen en factores sociales, económicos y culturales, que se traducen en la sobreexplotación de los recursos naturales y en la aplicación de prácticas inadecuadas de manejo de suelos y aguas. La consecuencia de todo ello, es la inhabilitación productiva de muchas tierras agrícolas que va en detrimento de la producción de alimentos para una población creciente en estos dos continentes.

Durante las últimas décadas se han realizado numerosos esfuerzos para detener la degradación de las tierras agrícolas, pero el proceso de cambio para la adopción de nuevas tecnologías conservacionistas por parte de los agricultores, todavía presenta un índice bajo. Es más, la disponibilidad de personal técnico preparado para este cambio es limitada.

Las estrategias tecnológicas generadas para el manejo y conservación de suelos y aguas, a menudo no son adaptadas a los beneficiarios, principalmente por la falta de su participación en el proceso de diagnóstico, planificación y ejecución de acciones. Por otra parte, la aplicación de sistemas de labranza y prácticas conservacionistas no adaptadas al entorno de una región específica, probablemente por haber sido desarrolladas en otros lugares e introducidas sin efectuar un diagnóstico correcto de la situación local, han causado problemas de credibilidad entre los agricultores.

Desarrollar tecnologías que garanticen el mantenimiento de la productividad de las tierras agrícolas en América Latina y África es un reto que tanto técnicos como agricultores deben afrontar mediante investigaciones y trabajos conjuntos en el lugar de los hechos. Estos incluyen la identificación de los problemas de manejo y conservación de suelos y aguas y gran énfasis en la evaluación del potencial de sistemas de labranza conservacionistas adaptadas a las condiciones propias de cada región.

Precisamente, este Manual se elaboró con el objetivo de apoyar la acción de las diversas instancias humanas que intervienen en la conservación de los recursos naturales, y del suelo y agua en particular, en el ámbito de cada continente, país, región o zona. Contiene un conjunto de conceptos, experiencias y sugerencias prácticas que pueden ser de utilidad al momento de identificar problemas, formular, ejecutar y evaluar acciones en beneficio del mejoramiento de la productividad y conservación del suelo y el agua.

Este Manual es el resultado del Curso de Capacitación sobre Manejo y Conservación de Suelos, especialmente referido a Métodos Eficaces de Labranza Conservacionista, llevado a cabo en el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) en Ibadan, Nigeria, del 21 de abril al 1° de mayo de 1997. Fue organizado conjuntamente por el IITA y la FAO, con la contribución de prestigiosos especialistas de organismos nacionales e internacionales.

Esta publicación pretende ser una guía que permita a técnicos y agricultores encontrar de manera conjunta las vías de solución a los problemas y limitaciones de la degradación de tierras en América Latina y África. Una activa participación de técnicos y agricultores será la base del éxito en beneficio de sus regiones y se espera que este Manual ayude a alcanzar el objetivo último de mejorar la productividad de los suelos y aguas en forma rápida y eficaz.

Agradecimientos

Este manual es el resultado de las actividades de un Curso de Capacitación sobre Manejo y Conservación de Suelos con especial énfasis en Métodos Conservacionistas efectivos de Labranza organizado por José Benites del Servicio de Gestión de las Tierras y de la Nutrición de las Plantas (AGLL) y Theodor Friedrich de la Subdirección de Ingeniería Agrícola (AGSE) de la FAO en cooperación con el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), Ibadán, Nigeria. El curso de capacitación no hubiera sido posible sin la activa colaboración del Director General del IITA, Lucas Brader y del personal del IITA, especialmente R. Booth, J. Gulley, R. Zachmann, R. Carsky, Y. Osinubi, B. Akisinde, G. Kirchof y G. Tian a quienes expresamos nuestro reconocimiento por su apoyo. También deseamos agradecer a los autores de los trabajos presentados por su colaboración en esta publicación, especialmente Elvio Giasson, Leandro do Prado Wildner, José Barbosa dos Anjos, Valdemar Hercilio de Freitas y Richard Barber así como a Cadmo Rosell, John Ashburner y Robert Brinkman por su asistencia en la edición en distintos idiomas.

Se extiende un agradecimiento especial a la Sra. Lynette Chalk por la eficiente preparación del documento y al Sr. Riccardo Libori por la elaboración de las gráficas.

Índice

	Página
PRÓLOGO	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	2
Estructura y contenido	2
2. LOS PRINCIPALES FACTORES AMBIENTALES Y DE SUELOS QUE INCLUYEN SOBRE LA PRODUCTIVIDAD Y EL MANEJO	5
Topografía	5
Lluvia	5
Limitaciones del suelo	6
Condiciones del suelo	8
Productividad	12
3. PRINCIPIOS GENERALES PARA EL DESARROLLO DE ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE SUELOS	13
Los objetivos del manejo de suelos para la agricultura	13
Principios para desarrollar estrategias sobre el manejo de suelos	14
4. CONCEPTOS Y OBJETIVOS DE LA LABRANZA EN UNA AGRICULTURA CONSERVACIONISTA	29
¿Porqué conservar el suelo?	29
El concepto del manejo integrado – la agricultura conservacionista	30
Parámetros técnicos de la labranza	34
5. IMPLEMENTOS DE LABRANZA	39
Arado de vertedera	39
Implementos de discos	40
Cinceles	42
Púas – gradas y rastras	43
Rotocultores	44
Siembra directa – labranza cero	44
6. IMPLEMENTOS Y MÉTODOS PARA LA PREPARACIÓN DEL SUELO AGRÍCOLA	47
Objetivos de la preparación del suelo	48
Implementos para la preparación del suelo	49
7. EFECTO DE LA LABRANZA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO	53
Causas de la degradación física del suelo	53
Etapas del proceso de degradación física del suelo	54
Principales características físicas afectadas por la labranza	54

	Página
8. LOS PRINCIPALES TIPOS DE LABRANZA	59
Terminología, definiciones y clasificación de los sistemas de labranza	59
Los tipos principales de sistemas de labranza	61
Labranza en bandas	74
Labranza en camellones	74
Sistemas combinados de labranza-siembra	80
Labranza de subsolación	81
9. EL USO DE LAS TIERRAS DE ACUERDO CON SU CAPACIDAD DE USO	87
Evaluación de las tierras	87
10. COBERTURA DEL SUELO	93
Cobertura del suelo vs. pérdidas de suelo y agua	94
Cobertura del suelo vs. plantas y sus residuos	94
11. CULTIVO EN CONTORNO	97
12. ABONOS VERDES	99
Concepto	99
Funciones del abono verde	99
Características que deben ser observadas para seleccionar abonos verdes	100
Principales especies utilizadas como abonos verdes	101
Características del abono verde	101
Manejo del abono verde	104
Efectos del abono verde en las propiedades del suelo	108
13. BARRERAS FÍSICAS PARA EL CONTROL Y ENCAUZAMIENTO DE LA ESCORRENTÍA	119
Terraceo	119
Canales de desagüe	127
14. CONTROL DE CÁRCAVAS	133
Concepto	133
Dimensiones de las cárcavas	133
Medidas para el control y estabilización	134
15. MÉTODOS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA <i>IN SITU</i> E IRRIGACIÓN	139
Factores determinantes en la implantación de sistemas de captación de agua de lluvia <i>in situ</i>	139
Métodos de captación de agua de lluvia <i>in situ</i>	140
Nociones sobre irrigación	145
16. LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS	151
Fuentes de información sobre tecnologías alternativas	151
La selección de tecnologías en base a la situación actual del agricultor	152
La selección de tecnologías en base a las consideraciones ambientales	154
La selección de tecnologías en base a las relaciones “problemas-soluciones”	154
Reflexiones sobre la selección de tecnologías para el manejo de suelos	176
17. PLANIFICACIÓN PARTICIPATIVA EN LA EJECUCIÓN DE PROGRAMAS DE MANEJO DE SUELOS	177
La microcuenca como unidad de planificación	178
Implementación de programas/proyectos	179
Objetivos de un programa/proyecto	179

	Página
El entusiasmo como fuerza impulsora del desarrollo	180
El éxito – la fuente del entusiasmo	180
La participación – el camino a seguir	181
Participación destructiva	181
Como mejorar la participación constructiva	182
Como aumentar la participación	182
Algunos criterios para seleccionar una tecnología apropiada	186
Participando con las familias rurales en la planificación de las prácticas de manejo del suelo	187
Planificación comunitaria	188
Elaboración de mapas temáticos	188
Priorización de las acciones a desarrollar en la microcuenca	189
Elaboración de proyectos	190
Planificación conservacionista de propiedades	190
Mapeamiento comunitario	191
Implementando planes de manejo de suelo	191
BIBLIOGRAFÍA	193
ANEXOS	
1. Una comparación de la eficiencia de trabajo de los implementos de la labranza	203
2. Costos de adquisición y de mantenimiento de los implementos de labranza	205
3. Cuaderno de planificación participativa de nuestra comunidad	207

Lista de cuadros

	Página
1. Curso de capacitación sobre manejo y conservacionistas de suelos, especialmente sobre métodos eficaces de labranza conservacionistas	4
2. Cobertura orgánica y pérdidas de suelo en dos lluvias simuladas	15
3. Efecto promedio de la clase y orientación de los residuos del cultivo en la erosión de un suelo franco arenoso por viento de velocidad uniforme	15
4. Efectos de la cobertura orgánica y el tipo de labranza sobre la cantidad de humedad (mm) almacenada en un suelo de 120 cm de profundidad	17
5. Tipos de labranza y su efecto sobre la humedad, temperatura y emergencia de caupí y soya.	17
6. La aplicación de cobertura orgánica y la cantidad de huecos de lombrices	18
7. Efectos de cultivos de cobertura con y sin la actividad de lombrices sobre las tasas de infiltración	19
8. Producción de rastrojo y las relaciones de C/N y de peso grano/peso rastrojo en cultivos anuales, Santa Cruz, Bolivia	20
9. Efectos de labranzas profundas sobre algunas propiedades físicas y el desarrollo de las raíces en un suelo compactado	24
10. Tiempos de trabajo por unidad de superficie necesarios para efectuar algunas operaciones agrícolas en las fincas	48
11. Efecto de sistemas de labranza sobre la densidad y la porosidad del suelo	55
12. Cantidad de residuos que permanecen sobre el suelo después de diferentes labranzas	60
13. Sistemas de labranza clasificados en base del grado de remoción del suelo y de la cobertura de rastrojos	61
14. Contenido de humedad, cobertura de rastrojos y rendimiento de maíz para cuatro sistemas de labranza	66
15. Características de trabajo del arado cincel rastrojero	67
16. Efectos de camellones cerrados sobre los rendimientos de diferentes cultivos en Tanzania	75
17. Efecto de labranzas sobre la escorrentía y pérdida de suelo de terrenos cultivados con maíz en Nigeria	76
18. Cuadro-guía para la definición de las clases y subclases de capacidad de uso de la tierra para suelos (grupo 1) de la Cuenca del Lageado Atafona, Santo Ângelo, Brasil	92
19. Evaluación del efecto de la cantidad creciente de residuos de maíz en la cobertura del suelo, la corriente de agua, la velocidad de escurrimiento y las pérdidas totales de suelo	94
20. Efecto del tipo de cultivo anual sobre las pérdidas de suelo por erosión	95
21. Efecto del tipo de uso del suelo sobre las pérdidas de suelo por erosión	95

	Página
22. Pérdidas de suelo y agua durante el ciclo de los cultivos de soya, trigo, maíz y algodón en un Latosol Rojo Distrófico, 8% de pendiente	95
23. Pérdidas totales de suelo en parcelas de 7,5% de pendiente en un suelo Podzólico Rojo-Amarillo, en condiciones de lluvia simulada (64 mm/h) con diferentes cantidades de residuos de cosecha	96
24. Composición química de algunos residuos utilizados como cobertura muerta (mantillo)	96
25. Porcentaje de cobertura del suelo en función del manejo de los residuos de diferentes cultivos	96
26. Efecto de prácticas conservacionistas en cultivos anuales sobre las pérdidas por erosión	97
27. Lista de las principales especies usadas como abonos verdes/cobertura del suelo	102
28. Producción de biomasa y análisis de nutrimentos en el tejido vegetal de especies de abonos verdes de invierno	112
29. Contenido de nutrimentos por componentes de la biomasa (tallos y hojas) de especies anuales de ciclo estival, para abono verde, cobertura y recuperación del suelo	112
30. Contenido de nutrimentos por componentes de la biomasa (tallos y hojas) de las especies semiperennes y perennes de ciclo estival, con potencial como abonos verdes, cobertura y recuperación de suelos	113
31. Efecto de distintas especies de abonos verdes en el control de nemátodos en un Latosol Rojo-Oscuro (LE) del Cerrado	114
32. Efecto alelopático de cultivos o especies usadas para la cobertura del suelo sobre la germinación de las semillas de algunas malezas	116
33. Cuadro de desnivel o gradiente para terrazas de drenaje	126
34. Espaciamiento recomendado para la localización de terrazas de banco	129
35. Recomendaciones de distanciamiento para la construcción de empalizadas dentro de las cárcavas	135
36. Precipitación pluviométrica mensual registrada en Petrolina, PE, Brasil en el período 1985 – 1994	140
37. Valores de coeficiente del tanque clase A (K_p) para valores estimativos de la evapotranspiración de referencia (E_o)	149
38. Las limitaciones, causas y posibles soluciones para el manejo de suelos	155
39. Producción de rastrojo y su clasificación del grado de aporte de materia orgánica al suelo	165
40. Lista de rotaciones y secuencias no recomendadas para las zonas subhúmedas de Santa Cruz, Bolivia	166
41. Especies utilizadas y promisorias como barreras vivas	173
42. Guía sobre la selección de prácticas de conservación de suelos para diferentes cultivos y pendientes en El Salvador	174

Lista de figuras

	Página
1. Efectos de la cobertura en la reducción de la erosión por salpicadura	16
2. Relación entre la cobertura de suelos y los riesgos de erosión	16
3. Tasas de infiltración bajo parcelas con y sin cobertura	17
4. Relación entre la materia orgánica en los primeros 15 mm de suelo y la cantidad de residuos de cultivos aplicados durante cinco años en Georgia	18
5. Distribución de materia orgánica en el suelo después de 10 años de labranza cero y labranza convencional	18
6. Un modelo simple para cuantificar la cantidad de forraje adicional requerida para satisfacer los requisitos del ganado y para la protección de los suelos	20
7. Sistema de arada en fajas efectuado con tracción animal	49
8. Punta arrancadora de maní tipo pata de ganso	50
9. Sistema de carpida con tracción animal	50
10. Surcamiento con tracción animal	50
11. Plantadora manual para semillas de algodón con borra	51
12. El triángulo de labranza	62
13. Arado cincel rastrojo	65
14. Vibrocultivador equipado con placa niveladora y peine de dedos largos	65
15. Cultivador de campo rastrojero	65
16. El arado cincel vibrador “Vibroflex”	68
17. Clases de puntas	69
18. Peine de dedos largos	70
19. Rastra de dientes	70
20. Rodillos livianos tipo canasta	70
21. Rodillo desterronador pesado	71
22. Cultivador de hileras, equipado con aspersora de bandas	72
23. Escarificador	73
24. Sembradora de siembra directa para granos finos	78
25. Equipo para la labranza profunda – sembradora combinada	81
26. Aflojamiento del suelo con subsolador bajo condiciones húmedas y secas	82
27. Tipos de brazos del subsolador	83
28. Representación de las relaciones entre la profundidad de trabajo del subsolador, el ancho de aflojamiento, y el espaciamiento entre brazos	83

	Página
29. Subsolación y siembra en la misma operación	84
30. Principio operativo y construcción de un “Paraplow”	85
31. Efecto de la dirección de la plantación y preparación del suelo en la producción de maíz	98
32. Fluctuación de las temperaturas máximas y mínimas en períodos de 5 días, determinadas a 5 cm de profundidad del suelo, en un ensayo de incorporación y cobertura de materia seca al suelo antes de la siembra de frijol	110
33. Efecto de los residuos de cosecha sobre la humedad del suelo en capas de 0-10 y 10-20 cm de profundidad, durante el cultivo de maíz	111
34. Número de artrópodos en muestras de 300 cm ³ de suelo, en siembra directa y convencional de soya, precedida de abono verde o de trigo	113
35. Influencia de la intensidad de movimiento del suelo en la población de organismos del suelo	114
36. Efecto de la mucuna y de la fertilización nitrogenada en la producción de maíz. Promedio de dos localidades y tres años de cultivo	116
37. Influencia de la cobertura muerta de diversos cultivos de invierno en la distribución porcentual de gramíneas y especies de hoja ancha	117
38. Representación esquemático del perfil de una terraza mostrando: A: el movimiento de tierra; B: el dique y C: el canal	121
39. Representación esquemático de una terraza mostrando el movimiento de las aguas de esorrentía y las secciones del declive	122
40. Perfiles esquemáticos de terrazas de base ancha (A), base media (B) y base angosta (C) que podrían ser adaptadas en función de las condiciones locales del suelo, de los cultivos y de las maquinarias disponibles	124
41. Perfil esquemático de una terraza Patamar mostrando la plataforma con pequeño declive en el sentido del talud y el talud (b) con inclinación variable en función de la textura del suelo	125
42. Una terraza Patamar transforma el terreno en una plataforma cultivada con un cultivo económico sin problemas de erosión	125
43. Barrera vegetativa	136
44. Barrera de ramas de uso común	136
45. Barrera de ramas con trama de alambre	136
46. Barrera de piedra	137
47. Barrera de ramas en manojos	137
48. Barrera de troncos de árboles	137
49. Arada y plantación en tierras llanas	141
50. Surcamiento post-plantación	141
51. Surcamiento pre-plantación	142

	Página
52. Cerrado de los surcos efectuado con barra porta herramientas	142
53. Cerrador de surco para tracción de un solo animal	142
54. Sistema de surcos barrados	143
55. Sistemas de aradura en fajas	143
56. Método de efectuar la carpida mecánica con tracción animal	143
57. Camellones altos y anchos, sistema del método “Guimarães Duque”	144
58. Esquema del sistema de irrigación localizada	147
59. Rotaciones de cultivos anuales de dos años de ciclo, recomendadas para Santa Cruz, Bolivia, para suelos de textura mediana a moderadamente pesada y bien drenados	167
60. Sistemas de labranza apropiados para los trópicos	168

Capítulo 1

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha identificado como una de las principales causas de la degradación del suelo en varias partes de África, la aplicación de técnicas de preparación de tierras y de labranza inadecuadas. Este problema está conduciendo a un rápido deterioro físico, químico y biológico de una gran parte de los suelos, con consecuentes fuertes descensos en la productividad agrícola y deterioro del medio ambiente.

Los recursos naturales y el medio ambiente de estas áreas afectadas se pueden mejorar apreciablemente y a corto plazo con el empleo acertado de prácticas de labranza y prácticas auxiliares de manejo y conservación de suelos, que contribuyan a la preparación de un buen lecho de siembra, y que además puedan remover o eliminar ciertas limitaciones de los suelos que afectan la producción sostenible de cultivos, tales como: compactación, encostramiento, infiltración deficiente, drenaje pobre y regímenes de humedad y temperatura desfavorables.

Lamentablemente el desarrollo de la investigación sobre sistemas de labranza y prácticas auxiliares de manejo y conservación de suelos orientados a enfrentar los graves y acelerados procesos actuales de degradación de suelos en África, se ha visto limitado por la falta de personal técnico y profesional capacitado en tecnologías conservacionistas de manejo de suelos, así como por la falta de políticas y estrategias adecuadas para un desarrollo rural y agrícola sostenible a largo plazo.

En vista de lo anterior, la FAO inició en 1986 una “Red de labranza conservacionista” para apoyar a las instituciones nacionales de investigación de varios países de África y América Latina, y con el fin de generar tecnología y difundir conocimientos y métodos para la identificación de los problemas de manejo y conservación de suelos y la evaluación del potencial de los sistemas de labranza conservacionista.

El Curso de Capacitación sobre Manejo y Conservación de Suelos: Métodos Eficaces de Labranza Conservacionista se organizó conjuntamente por la FAO y el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) en Ibadan, Nigeria. El Curso contó con el apoyo económico y técnico del Programa Regular del Servicio de Recursos, Manejo y Conservación de Suelos de la Dirección de Fomento de Tierras y Aguas (AGLS) y de la Subdirección de Ingeniería Agrícola (AGSE), de la Dirección de Sistemas de Apoyo Agrícola de la FAO.

Para el desarrollo del programa se obtuvo la participación de expertos brasileños de la Empresa de Investigación Agropecuaria y de Investigación Rural de Santa Catarina S.A. (EPAGRI), de la Facultad de Agronomía de la Universidad Federal de Río Grande do Sul, Departamento de Suelos, (UFRGS), y de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (EMBRAPA), a través del Programa de Cooperación Técnica entre Países en Desarrollo (CTPD) de la FAO. También participaron técnicos del IITA y de la FAO.

El Curso se llevó a cabo en la Sede del Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) en Ibadan, Nigeria del 21 de abril al 1 de mayo de 1997.

OBJETIVOS

La finalidad del Curso fue ofrecer capacitación a técnicos de países de habla española y portuguesa de África, con el fin de señalar los problemas de la conservación del suelo y el agua, preparar estrategias y planes y organizar programas de acción, teniendo en cuenta un planteamiento de ordenación integrada de suelos.

Específicamente, se esperaba que al finalizar el curso los participantes estuvieran familiarizados con los conceptos generales de la ordenación de suelos; la caracterización de los problemas de degradación del suelo y el agua; la elaboración de una estrategia de ordenación eficaz para la conservación del suelo; los sistemas de labranza predominantes, sus ventajas y limitaciones; los principios y prácticas auxiliares de los sistemas de labranza conservacionista; los conceptos y procedimientos metodológicos para la elección de las prácticas de labranza; las metodologías de planificación, con la participación de los agricultores en la planificación para mejorar los métodos eficaces de labranza de conservación y otras prácticas de manejo del suelo; la aplicación de planes de manejo de suelos y programas de manejo integrado de suelos; las organizaciones institucionales; el establecimiento de prioridades; los incentivos de financiación y crédito.

ESTRUCTURA Y CONTENIDO

El programa se estructuró en 23 temas agrupados en nueve módulos:

Conceptos generales del manejo del suelo y el agua

- Propiedades, procesos y funciones del suelo
- Caracterización; factores importantes de la tierra.

Caracterización de los problemas de degradación del suelo y el agua

- Síntomas de los problemas
- Análisis de las causas principales
- Prioridad de los problemas.

Elaboración de una estrategia de ordenación eficaz para la conservación del suelo

- Principios generales para desarrollar estrategias de ordenación del suelo.

Labranza del suelo

- Conceptos y objetivos de la labranza
- Aperos de labranza
- Relación entre la labranza del suelo y las características físicas de los suelos y viceversa
- Principales tipos de labranza y su eficacia según los distintos niveles de tecnología.

Otras tecnologías de mejoramiento del suelo

- Utilización del suelo de acuerdo con su aptitud agrícola
- Capa vegetal del suelo y siembra en contorno
- Abono verde
- Fertilización/enmiendas
- Explotación agrícola y cría de ganado
- Barreras físicas transversales a la pendiente y encauzamiento de la escorrentía
- Irrigación, recogida del agua de lluvia
- Sistemas agroforestales conservacionistas
- Control de malezas, insectos y enfermedades bajo sistemas de labranza conservacionista.

Planificación del mejoramiento de la productividad del suelo

- Participación de los agricultores en la planificación para mejorar los métodos de labranza conservacionista y otras prácticas de manejo del suelo
- Selección de alternativas técnicas.

Aplicación de los planes de manejo de suelos

- Ejecución participativa de los planes de acción.

Ejemplos de programas integrados de manejo del suelo en Brasil

- Tierras de ladera húmedas y subhúmedas
- Regiones semiáridas
- Sabanas ácidas.

Ejemplos de programas integrados de manejo del suelo en África

- Angola
- Cabo Verde
- Guinea Ecuatorial
- Guinea-Bissau
- Mozambique
- Santo Tomé y Príncipe.

Las presentaciones de clase fueron complementadas con trabajos en grupo y con una visita al campo donde los participantes tuvieron la oportunidad de observar parcelas demostrativas con algunos de los sistemas de labranza descritos y discutir con el personal técnico del IITA sobre temas relacionados con el Curso; también se visitaron predios de agricultores que estaban conduciendo parcelas demostrativas de prácticas de manejo y conservación de suelos.

En el Cuadro 1 se esquematiza la secuencia y distribución de cada tema durante el período lectivo del Curso.

CUADRO 1
Curso de capacitación sobre manejo y conservacionistas de suelos, especialmente sobre métodos eficaces de labranza conservacionistas

		Lunes (21 de abril)	Martes (22)	Miércoles (23)	Jueves (24)	Viernes (25)	Sábado (26)	Domingo (27)
P R I M E R A	M A Ñ A N A	<ul style="list-style-type: none"> Inscripción Apertura Introducción Propiedades, procesos y funciones del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> Principios generales para desarrollar estrategias de manejo del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> Conceptos y objetivos de la labranza Aperos de labranza 	<ul style="list-style-type: none"> Aptitud de tierras Cubierta vegetal y siembra en contorno Abono verde Fertilización/enmiendas Explotación agropecuaria Barreras físicas 	<ul style="list-style-type: none"> Participación de los agricultores en la planificación del manejo de suelos 	<ul style="list-style-type: none"> Visita a las parcelas de investigación en manejo de suelos en el IITA 	Libre
	S E M A N A	T A R D E	<ul style="list-style-type: none"> Caracterización de los problemas de degradación de suelos 	<ul style="list-style-type: none"> Principios generales para desarrollar estrategias de manejo del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> Relación entre el laboreo y las características de los suelos Principales clases de labranza 	<ul style="list-style-type: none"> Irrigación, recogida de agua de lluvia Sistemas agroforestales Control de plagas 	<ul style="list-style-type: none"> Selección de alternativas técnicas 	<ul style="list-style-type: none"> Visita a campos de productores
		(28)	(29)	(30)	(1 de mayo)			
S E G U N D A	M A Ñ A	<ul style="list-style-type: none"> Ejecución participativa de los planes 	<ul style="list-style-type: none"> Tierras de ladera húmedas y subhúmedas Regiones semiáridas Sabanas ácidas 	<ul style="list-style-type: none"> Resumen evaluación y conclusiones Recomendaciones y seguimiento Clausura 	<ul style="list-style-type: none"> Partida de Lagos 			
	S E M A N A	T A R D E	<ul style="list-style-type: none"> Ejecución participativa de los planes 	<ul style="list-style-type: none"> Angola Cabo Verde Guinea Ecuatorial Guinea Bissau Mozambique Santo Tomé y Príncipe 	<ul style="list-style-type: none"> Partida de Ibadan a Lagos 			

Capítulo 2

Los principales factores ambientales y de suelos que influyen sobre la productividad y el manejo

Cuando se evalúan la aptitud agrícola de una cierta área y la necesidad de introducir prácticas específicas de manejo y recuperación de suelos, se deben observar una serie de características importantes de la tierra. Además de las características ambientales tales como la lluvia, otros aspectos relacionados con las condiciones de la tierra como la topografía y las condiciones reales del suelo, se debe examinar la presencia de factores limitantes a fin de poder considerar las implicaciones que puede acarrear la adopción de ciertas prácticas agrícolas.

TOPOGRAFÍA

La topografía se caracteriza por los ángulos de las pendientes y por la longitud y forma de las mismas. La topografía es un importante factor para determinar la erosión del suelo, las prácticas de control de la erosión y las posibilidades de labranza mecanizada del suelo, y tiene una influencia primaria sobre la aptitud agrícola de la tierra.

Cuanto mayor es el ángulo de la pendiente de la tierra y la longitud de esa pendiente, mayor será la erosión del suelo. Un aumento del ángulo de la pendiente causa un aumento de la velocidad de escorrentía y con ello la energía cinética del agua causa una mayor erosión. Las pendientes largas llevan a una intensificación de la escorrentía, aumentando su volumen y causando así una erosión mas seria.

Además de los problemas de erosión, las áreas con pendientes agudas también presentan un menor potencial de uso agrícola. Esto es debido a la mayor dificultad o a la imposibilidad de la labranza mecánica o al transporte en o del campo, en este tipo de pendientes. La labranza en estos casos puede además ser limitada por la presencia de suelos superficiales.

LLUVIA

La lluvia es uno de los factores climáticos mas importantes que influyen sobre la erosión. El volumen y la velocidad de la escorrentía dependen de la intensidad, la duración y la frecuencia

de la lluvia. De estos factores, la intensidad es el más importante y las pérdidas por la erosión aumentan con la intensidad más alta de las lluvias. La duración de la lluvia es un factor complementario.

La frecuencia de la lluvia también tiene influencia sobre las pérdidas causadas por la erosión. Cuando la lluvia cae en intervalos cortos, la humedad del suelo permanece alta y la escorrentía es más voluminosa, aún si la lluvia es menos intensa. Después de largos períodos, el suelo está más seco y no debería haber escorrentía en lluvias de poca intensidad, pero en casos de sequía la vegetación puede sufrir debido a la falta de humedad y así reducir la protección natural de la tierra.

Durante una tormenta fuerte, decenas de gotas de lluvia golpean cada centímetro cuadrado de tierra, aflojando las partículas de la masa de suelo. Las partículas pueden saltar a más de 60 cm de alto y a más de 1.5 m de distancia. Si la tierra no tiene una cobertura vegetativa, las gotas pueden destruir muchas toneladas de suelo por hectárea que son así fácilmente transportadas por la escorrentía superficial.

Las gotas de lluvia contribuyen a la erosión de varias maneras:

- aflojan y rompen las partículas de suelo en el lugar del impacto;
- transportan las partículas así aflojadas;
- proporcionan energía bajo forma de turbulencia al agua en la superficie.

Para prevenir la erosión es necesario, por lo tanto, evitar que las partículas de suelo sean aflojadas por el impacto de las gotas de lluvia cuando golpean el suelo.

De acuerdo a Wischmeier y Smith (1978), cuando se considera solo el factor lluvia, la pérdida de suelo por unidad de área de suelo desnudo es directamente proporcional al producto de dos características de la lluvia: la energía cinética y la máxima intensidad durante un período de 30 minutos. Este producto es usado para expresar el potencial de erosividad de la lluvia.

LIMITACIONES DEL SUELO

Acidez

La acidez del suelo depende del material parental del suelo, su edad y forma y los climas actual y pasado. Puede ser modificado por el manejo del suelo.

La acidez del suelo está asociada con varias características del suelo (Rowell, 1994):

- bajo nivel de calcio y magnesio intercambiables y bajo porcentaje de saturación de bases;
- alta proporción de aluminio intercambiable;
- una capacidad de intercambio de cationes más baja que en suelos similares menos ácidos debido a un número reducido de cargas negativas en la superficie de la materia orgánica y a un creciente número de cargas positivas en la superficie de los óxidos;
- cambios en la disponibilidad de nutrientes; por ejemplo, la solubilidad del fósforo es reducida;
- aumento de la solubilidad de los elementos tóxicos, por ejemplo, aluminio y manganeso;

- menor actividad de muchos microorganismos del suelo llevando, en casos extremos, a una acumulación de la materia orgánica, a una menor mineralización y a una mas baja disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre.

Alcalinidad

Las áreas con suelos alcalinos ocurren predominantemente en regiones áridas y su ocurrencia depende del tipo de material del suelo original, de la vegetación, de la hidrología y del manejo del suelo, especialmente en áreas con sistemas de irrigación mal manejados.

La alcalinidad del suelo ($\text{pH} > 7$) se presenta en suelos donde el material es calcáreo o dolomítico o donde ha habido una acumulación de sodio intercambiable, naturalmente o bajo irrigación. Tales suelos tienen altas concentraciones de iones OH^- asociados con altos contenidos de bicarbonatos y carbonatos; los suelos sódicos tienen una baja estructura y estabilidad a causa del alto contenido de sodio intercambiable y muchos de ellos tienen la capa superior o el subsuelo densos.

Las condiciones alcalinas del suelo causan varios problemas nutricionales a las plantas como la clorosis, en razón de la incapacidad de las plantas de absorber suficiente hierro o manganeso. También pueden ocurrir deficiencias de cobre y zinc y también de fósforo a causa de su baja solubilidad. Si el suelo tiene un alto contenido de CO_3Ca puede ocurrir una deficiencia de potasio porque este puede ser rápidamente lixiviado. También puede haber deficiencia de nitrógeno debido al generalmente bajo contenido de materia orgánica (Rowell, 1994).

Salinidad

Los suelos salinos tienen altos contenidos de diferentes tipos de sales y pueden tener una alta proporción de sodio intercambiable. Los suelos fuertemente salinos pueden presentar eflorescencias en la superficie o costras de yeso (SO_4Ca), sal común (ClNa), carbonato de sodio (CO_3Na_2) y otras.

La salinidad del suelo puede originarse en un material parental salino, por la inundación de aguas marinas, por sales llevadas por el viento o por irrigación con agua salada. Sin embargo, la mayoría de los suelos salinos se originan por ascensión capilar y evaporación de agua que acumula sal con el pasar del tiempo.

Las sales afectan los cultivos a causa de los iones tóxicos, los cuales por un desbalance de los nutrimentos inducen deficiencias y por un aumento de la presión osmótica de la solución del suelo causan una falta de humedad. La estructura y la permeabilidad del suelo pueden ser dañadas por el alto contenido de sodio intercambiable que queda en el suelo cuando las sales son lavadas, salvo que se tomen medidas preventivas o remedios, tales como la aplicación de yeso.

Baja capacidad de intercambio de cationes (CIC)

La CIC del suelo es una medida de la cantidad de las cargas negativas presentes en las superficies minerales y orgánicas del suelo y representa la cantidad de cationes que pueden ser retenidos en esas superficies. Un suelo con alta CIC puede retener una gran cantidad de cationes de los nutrimentos en los lugares de intercambio. Los nutrimentos aplicados al suelo que puedan exceder esa cantidad pueden fácilmente ser lavados por el exceso de lluvia o por el agua de riego. Esto implica que esos suelos con baja CIC necesitan un manejo diferente en lo

que hace a la aplicación de fertilizantes, con pequeñas dosis de nutrimentos aplicadas frecuentemente.

Fijación de fósforo

La fijación de fósforo en el suelo es un proceso natural que puede llevar a una deficiencia de este elemento aun cuando el contenido total de fósforo en el suelo pueda ser alto. La fijación fosfórica es un proceso específico de adsorción que ocurre principalmente en los suelos con altos contenidos de óxidos de hierro -hematita, goethita- y óxidos de aluminio -gibbsite- y minerales arcillosos -principalmente caolinita. Estos suelos son típicos de zonas tropicales y subtropicales. A un bajo nivel de pH tienden a fijar los fosfatos y aumentando el pH del suelo por medio de la aplicación de cal y materia orgánica, la adsorción específica del fosfato se reduce.

Propiedades de dilatación y contracción

La propiedad de dilatarse y contraerse comúnmente ocurre en suelos arcillosos que contienen predominantemente minerales arcillosos, tales como los del grupo de la esmectita. Estos suelos son sometidos a considerables movimientos durante la dilatación y la contracción a causa de los pronunciados cambios de volumen con variaciones en el contenido de humedad. Los suelos se contraen y se resquebrajan cuando están secos y se expanden, volviéndose plásticos y pegajosos cuando están húmedos. El movimiento del suelo puede causar la formación de un microrelieve típico en la superficie -pequeñas ondulaciones- y de agregados en forma de cuña en el subsuelo.

Estos suelos presentan serios problemas para la labranza ya que tienen una consistencia inadecuada para ello, no solo cuando están secos sino también cuando están húmedos. Cuando están secos son suelos muy duros, haciendo que la labranza sea extremadamente difícil y requiriendo fuerza adicional del tractor, causando un mayor desgaste de los implementos y no permitiendo la formación de una buena cama de semillas ya que los terrones no se rompen. En contraste, cuando estos suelos están húmedos, son extremadamente plásticos y pegajosos, siendo también en este caso de difícil labranza ya que el suelo se adhiere a las herramientas y aumenta la fuerza de tracción necesaria o impide también el pasaje de la maquinaria.

CONDICIONES DEL SUELO

Profundidad

La profundidad del suelo puede variar de unos pocos centímetros a varios metros. Las raíces de las plantas usan el suelo a profundidades que van de unos pocos centímetros a más de un metro; en algunos casos esas raíces pueden llegar a varios metros.

La profundidad del suelo es un factor limitante para el desarrollo de las raíces y de disponibilidad de humedad y nutrimentos para las plantas, afectando además la infiltración y las opciones de labranza. Cuanto más superficial es un suelo, más limitados son los tipos de uso que puede tener y más limitado será también el desarrollo de los cultivos. Los suelos superficiales tienen menor volumen disponible para la retención de humedad y nutrimentos y también pueden impedir o dificultar la labranza; también pueden ser susceptibles a la erosión porque la infiltración del agua está restringida por el sustrato rocoso. Estos factores adversos varían en severidad de acuerdo a la naturaleza de la interfase entre el suelo y el lecho rocoso. Si el suelo está en contacto con un lecho rocoso parcialmente descompuesto puede haber alguna infiltración de agua y penetración de las raíces y los instrumentos de labranza pueden ser

capaces de romper esa estructura. Los lechos de rocas duras pueden constituir, sin embargo, una fuerte limitante para la agricultura.

Textura del suelo

La fase sólida está compuesta prevalentemente de partículas de naturaleza mineral, las que de acuerdo a su diámetro pueden ser clasificadas en fracciones de arena, limo y arcilla, además de grava gruesa, media y fina.

La proporción relativa de las fracciones de arena, limo y arcilla que constituyen la masa del suelo es llamada textura del suelo. La textura está íntimamente relacionada con la composición mineral, el área superficial específica y el espacio de poros del suelo. Esto afecta prácticamente a todos los factores que participan en el crecimiento de las plantas. La textura del suelo tiene influencia sobre el movimiento y la disponibilidad de la humedad del suelo, la aireación, la disponibilidad de nutrimentos y la resistencia a la penetración por las raíces. También tiene influencia sobre las propiedades físicas relacionadas con la susceptibilidad del suelo a la degradación tal como la agregación.

Consistencia

Un terrón seco de arcilla es normalmente duro y resistente a la fractura; a medida que se agrega agua y este se humedece, su resistencia a la rotura se reduce; con mas agua, en vez de fracturarse, tiende a formar una masa compacta e informe que cuando se la comprime se vuelve maleable y plástica; si se agrega mas agua aún, tiende a adherirse a las manos.

Esta resistencia del suelo a la rotura, su plasticidad y su tendencia a adherirse a otros objetos son aspectos de la consistencia del suelo que dependen de su textura, del contenido de materia orgánica, de la mineralogía del suelo y del contenido de humedad.

La determinación de la consistencia del suelo ayuda a identificar el contenido óptimo de humedad para la labranza. Bajo condiciones ideales, el suelo debería sufrir compactación, no debería ser plástico y debería ser fácil de preparar ya que no debería ser muy resistente.

Estructura y porosidad

La estructura y la porosidad del suelo ejercen influencia sobre el abastecimiento de agua y de aire a las raíces, sobre la disponibilidad de los nutrimentos, sobre la penetración y desarrollo de las raíces y sobre el desarrollo de la microfauna del suelo. Una estructura de buena calidad significa una buena calidad de espacio de poros, con buena continuidad y estabilidad de los poros y una buena distribución de su medida, incluyendo tanto macroporos como microporos (Cabeda, 1984).

La humedad es retenida en los microporos; el agua se mueve en los macroporos y estos tienden a ser ocupados por el aire que constituye la atmósfera del suelo. El espacio de poros del suelo es una propiedad dinámica y cambia con la labranza. Los límites entre los cuales su valor puede variar son muy amplios y dependen de la compactación, la forma de las partículas, la estructura y la textura del suelo. La porosidad total está también estrechamente ligada a la estructura del suelo y esta aumenta a medida que el suelo forma agregados. Cualquier práctica que altere la estructura del suelo, afectará también la porosidad del mismo.

Según Larson (1964), la capa superior del suelo agregada junto a la semilla y a las plántulas debería ser de pequeño tamaño de manera de promover un régimen adecuado de humedad y un contacto perfecto entre el suelo, las semillas y las raíces. Sin embargo, no debería ser tan pequeña que favorezca la formación de costras superficiales y capas compactadas. De acuerdo con Kohnke (1968), el tamaño ideal de los agregados es un diámetro entre 0.5 y 2 mm. Un tamaño mayor de los agregados limita el volumen del suelo explorado por las raíces y los agregados mas pequeños dan lugar a poros demasiado pequeños que no drenarán el agua sino que permanecerán saturados.

Es importante que en los horizontes mas profundos la estructura mantenga sus características originales. Es posible verificar si ha habido alteraciones estructurales tomando una muestra de suelo húmedo y separando sus agregados. La existencia de superficies de separación entre los agregados que pueden ser angulares o suaves y de forma bien definida, indican una alteración estructural – o dilatación o contracción en ciertos suelos arcillosos. La presencia de superficies irregulares y de poros tubulares de varios tamaños indican que la estructura y el espacio de poros son favorables para el desarrollo de los cultivos agrícolas. La formación de este tipo de estructura y porosidad pueden ser estimuladas por medio de prácticas de manejo tales como el uso de abonos verdes y la incorporación de residuos de cultivos con raíces densas.

Densidad del suelo

La densidad del suelo es la relación de la masa de las partículas de suelo seco con el volumen combinado de las partículas y los poros. Se expresa en g/cm³ o t/m³.

La densidad de los suelos está relacionada con otras características de los suelos. Por ejemplo, los suelos arenosos de baja porosidad tienen una mayor densidad (1,2 a 1,8 g/cm³) que los suelos arcillosos (1,0 a 1,6 g/cm³) los cuales tienen un mayor volumen de espacio de poros. La materia orgánica tiende a reducir la densidad suelo/masa debido a su propia baja densidad y a la estabilización de la estructura del suelo que resulta en mayor porosidad. La compactación causada por el uso inadecuado de equipos agrícolas, por el tráfico frecuente o pesado o por el pobre manejo del suelo pueden aumentar la densidad del suelo de los horizontes superficiales a valores que pueden llegar a 2 g/m³. La densidad de los suelos a menudo es usada como un indicador de la compactación.

Contenido de nutrimentos

La disponibilidad de los nutrimentos es fundamental para el desarrollo de los cultivos. El contenido de nutrimentos del suelo depende del material y el proceso de formación del suelo –el contenido original del suelo-, del abastecimiento y naturaleza de los fertilizantes, de la intensidad de la lixiviación y la erosión, de la absorción de los nutrimentos por parte de los cultivos y de la CIC del suelo.

Aunque la deficiencia de nutrimentos en muchos casos puede ser fácilmente corregida, los suelos con mejor disponibilidad natural de nutrimentos requerirán menores inversiones y, por lo tanto, muestran una aptitud natural para dar mejores rendimientos. El conocimiento de la necesidad de aplicar o no grandes cantidades de nutrimentos en forma de fertilizantes, comparado con la disponibilidad de recursos, es un factor determinante para la recomendación de uso de la tierra.

Además de evaluar los contenidos y proporciones de cationes intercambiables (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ y Na⁺) también será necesario evaluar el contenido de nitrógeno del suelo –a través de la

materia orgánica-, el contenido de fósforo disponible, el contenido de micronutrientes esenciales y el valor de la CIC del suelo.

La materia orgánica y los organismos del suelo

La materia orgánica del suelo está compuesta por todos los materiales orgánicos muertos, de origen animal o vegetal, junto con los productos orgánicos producidos en su transformación. Una pequeña fracción de la materia orgánica incluye materiales ligeramente transformados y productos que han sido completamente transformados, de color oscuro y de alto peso molecular, llamados compuestos húmicos.

Después que se han añadido residuos orgánicos frescos al suelo hay un rápido aumento en la población de organismos debido a la abundancia de material fácilmente descompuesto, incluyendo azúcares y proteínas. Estos elementos son transformados en energía, CO_2 y H_2O y en compuestos sintetizados por los organismos. A medida que la cantidad de materia orgánica de fácil descomposición disminuye, el número de organismos también disminuye. Los sucesores de estos organismos atacan los restos, formados por compuestos más resistentes de celulosa y lignina y también compuestos sintéticos, reduciendo su proporción gradualmente a medida que aumenta el humus. La velocidad de transformación de los residuos orgánicos frescos depende de la naturaleza de la materia orgánica inicial y de las condiciones ambientales del suelo.

Después de la aplicación, por ejemplo, de materiales leñosos u otros residuos orgánicos que tienen un alto contenido de carbono y un bajo contenido de nitrógeno –o sea una relación C/N alta- los organismos consumen el nitrógeno disponible en el suelo, inmovilizándolo. Como resultado, durante algún tiempo habrá poco nitrógeno disponible para las plantas. Con la descomposición gradual de la materia orgánica, la población de organismos se reduce y el nitrógeno vuelve a estar disponible para las plantas, estableciendo una relación C/N entre 10 y 12. Para evitar la competencia por el nitrógeno entre los organismos y las plantas, es conveniente esperar que los residuos orgánicos alcancen un estado avanzado de descomposición antes de la siembra de un nuevo cultivo.

La materia orgánica agregada al suelo normalmente incluye hojas, raíces, residuos de los cultivos y compuestos orgánicos correctivos. Como que muchos de los residuos vegetales se aplican en la superficie o en la capa superior del suelo, el contenido de materia orgánica de esta capa tiende a ser más alto y a decrecer con la profundidad.

El contenido de nutrientes de la materia orgánica es importante para las plantas. Por medio de la actividad de la flora y la fauna presentes en el suelo esos nutrientes son transformados en sustancias inorgánicas y pasan a estar disponibles para las plantas. A medida que los rendimientos aumentan, el uso correcto de fertilizantes minerales y las masas de las raíces aumentan el contenido de materia orgánica del suelo en razón de la mayor cantidad de residuos que se incorporan. La materia orgánica también puede ser agregada usando abonos verdes o residuos orgánicos como estiércol o composte.

La materia orgánica favorece la formación de una estructura estable de agregados en el suelo por medio de la estrecha asociación de las arcillas con la materia orgánica. Esta asociación incrementa la capacidad de retención de agua ya que puede absorber de tres a cinco veces más de su propio peso, lo cual es especialmente importante en el caso de los suelos arenosos. La materia orgánica incrementa la retención de los nutrientes del suelo disponibles para las plantas debido a su capacidad de intercambio de cationes –la CIC del humus varía entre 1 y 5 meq/g.

La fauna del suelo, especialmente las lombrices de tierra, crean macroporos verticales de varios tamaños en el suelo indisturbado, aumentando la aireación, la tasa de infiltración y la permeabilidad. La microflora del suelo produce sustancias gelatinosas, incluyendo polisacáridos que ayudan a estabilizar la estructura del suelo.

La labranza afecta las características físicas del suelo y puede incrementar la porosidad y la aireación, pero también puede afectar negativamente la fauna del suelo debido al disturbio que causan los implementos agrícolas en el mismo. Los sistemas de labranza mínima y de labranza cero contribuyen a salvaguardar la fauna y la estructura de poros creadas por ellos. A causa de que esos sistemas tienden a mantener más estable los regímenes de temperatura y humedad del suelo, también protegen la población microbiana durante los períodos de altas temperaturas o sequías prolongadas. La quema continua de los residuos tiende a reducir la microflora, sobre todo cerca de la superficie. Dejando los residuos de los cultivos en la superficie del suelo y usando una cobertura vegetativa perenne con un sistema radical denso, se favorecerá un mejor desarrollo de la fauna del suelo y de la biomasa microbiana.

La fertilización, tanto orgánica como mineral, tienden a estimular los organismos del suelo y el uso de pesticidas puede disminuir sensiblemente su número. Las monoculturas pueden afectar esas poblaciones ya sea porque proporcionan continuamente el mismo tipo de material orgánico o por la acumulación de sustancias tóxicas exudadas por las raíces, reduciendo así la diversidad de las especies y rompiendo su equilibrio.

PRODUCTIVIDAD

La productividad es un buen indicador de las condiciones de la tierra, ya que esta refleja directamente los cambios en la calidad y las limitaciones de la misma. La evaluación de la productividad de ciertas áreas específicas y la comparación con áreas similares vecinas que ya están aplicando prácticas adecuadas de manejo de los cultivos permite la identificación de la necesidad de introducir prácticas específicas de mejoramiento de suelos.

El principal objetivo de la agricultura sostenible es obtener una alta productividad sin degradar los suelos. La productividad muestra una respuesta positiva a todos los factores que controlan el crecimiento, el desarrollo y la producción de los cultivos. Una buena productividad sostenida es sinónimo de buenas condiciones de la tierra y de buenas prácticas de manejo, las que al mismo tiempo mantienen o mejoran la calidad de la tierra.

Capítulo 3

Principios generales para el desarrollo de estrategias para el manejo de suelos

LOS OBJETIVOS DEL MANEJO DE SUELOS PARA LA AGRICULTURA

El objetivo principal del manejo de suelos para la agricultura es crear condiciones edafológicas favorables para el buen crecimiento de los cultivos, la germinación de las semillas, la emergencia de las plantas jóvenes, el crecimiento de las raíces, el desarrollo de las plantas, la formación del grano y la cosecha.

Las condiciones edafológicas deseables son:

- condiciones físicas (tamaño de agregados, humedad y temperatura) que favorezcan la germinación de las semillas. El tamaño óptimo de los agregados varía con el tamaño de las semillas y debería ser de tal tamaño que haya un contacto máximo entre el suelo y la semilla para facilitar el movimiento de humedad del suelo a la misma sin sufrir falta de oxígeno; un exceso o falta de humedad y temperaturas extremas limitan seriamente la germinación;
- estructura superficial que no impida la emergencia de las plantas jóvenes. La presencia de encostramientos fuertes restringe la emergencia de las plántulas; además, hay interacciones entre el espesor, la composición y el contenido de humedad de la costra y su fuerza, y entre el tamaño de la semilla, el tipo de cultivo, la profundidad de siembra y el vigor de la semilla;
- estructura, porosidad y consistencia del suelo en la primera capa que favorezcan el crecimiento inicial de la planta joven y de las raíces. Suelos arcillosos con agregados grandes y duros, y suelos arenosos que forman estructuras masivas y duras cuando se secan (“suelos duros”) retrasan el crecimiento inicial de los cultivos;
- estructura, tamaño y continuidad de los poros en el subsuelo que permitan la libre penetración y desarrollo de las raíces. La presencia de capas compactadas originadas por las labranzas, u horizontes compactados debido a procesos naturales de compactación, restringen la penetración de las raíces y el volumen de suelo que las mismas pueden explorar para absorber humedad y nutrimentos. Además, debilitarán la capacidad de enraizamiento y fijación de muchos cultivos.

- un suministro adecuado y oportuno de nutrimentos que coincida con la demanda del cultivo durante todo el ciclo de crecimiento. El sistema de manejo debería maximizar el reciclaje de los nutrimentos dentro del perfil y dentro de la finca, y minimizar la pérdida de nutrimentos por procesos naturales o por el manejo. La meta del sistema de manejo de nutrimentos debería aceptar que los únicos nutrimentos que se pierden de los suelos son aquellos que se exportan de la finca con las cosechas;
- una alta saturación de la capacidad efectiva de cationes intercambiables (CECI) con aluminio o manganeso, sales, o un exceso de sodio a niveles tóxicos para muchos cultivos; existe, sin embargo, mucha variación en la tolerancia de los cultivos a los mismos;
- un suministro adecuado y oportuno de humedad al cultivo durante todo su ciclo, y especialmente durante las etapas críticas del mismo. Un exceso de humedad en la etapa inicial del cultivo puede ser perjudicial para muchos cultivos, y viceversa su falta en las etapas más sensibles al déficit de humedad como la floración y la formación de grano pueden disminuir seriamente los rendimientos. Durante la cosecha, un exceso de humedad puede reducir el rendimiento debido al vuelco y a la pudrición del grano; además, en suelos mojados las cosechadoras pueden degradar la estructura y la porosidad del suelo;
- un suministro adecuado y oportuno de oxígeno a las raíces del cultivo y a los microorganismos del suelo. Condiciones de mal drenaje o drenaje deficiente causan una falta de oxígeno en el suelo debido a que el mismo se difunde unas 10 000 veces más lentamente a través del agua que a través del aire y de ese modo no puede satisfacer las demandas de oxígeno de las raíces ni de los microorganismos. La falta de oxígeno resulta en trastornos fisiológicos que afectan la absorción de nutrimentos por las plantas y en la producción de toxinas a causa de procesos de reducción microbiana;
- una alta actividad biológica en el suelo. La diversidad de la fauna y de los microorganismos, y especialmente la población de la macrofauna, es muy importante para sostener la productividad de los suelos. La macrofauna tiene influencia sobre la porosidad del suelo y la incorporación y humificación de los residuos orgánicos;
- condiciones estables para el área de cultivo, para que estos no sean perjudicados por inundaciones, erosión hídrica o vientos fuertes. Las inundaciones pueden causar daños físicos a los cultivos y una disminución en la tasa de difusión de oxígeno dentro del suelo. La erosión hídrica disminuye la fertilidad de los suelos y puede causar la pérdida de terreno por el desarrollo de cárcavas o deslizamientos de tierra. Los vientos fuertes pueden causar daños a los cultivos, y pérdidas de hojas y flores. Además, pueden acentuar los déficit de humedad al incrementar las tasas de evaporación y resultar en la erosión eólica. En épocas frías, la combinación de bajas temperaturas con vientos fuertes produce el efecto de temperaturas aún más bajas debido al efecto del enfriamiento, causando procesos fisiológicos adversos a los cultivos.

PRINCIPIOS PARA DESARROLLAR ESTRATEGIAS SOBRE EL MANEJO DE SUELOS

Hay nueve principios generales que se deberían considerar como lineamientos básicos para desarrollar estrategias sobre los sistemas de manejo de suelos:

1. Aumentar la cobertura de los suelos

Es el principio más importante en el manejo sostenible de suelos porque conlleva múltiples beneficios:

- **Reduce la erosión hídrica y eólica**

Una cobertura sobre el suelo lo protege de la fuerza de las gotas de lluvia y disminuye la separación de las partículas de los agregados de suelo, que es el primer paso en el proceso de erosión hídrica. Existe evidencia que un 40% de cobertura del suelo reduce las pérdidas de suelo a valores menores de 10% de lo que ocurriría en el mismo suelo desnudo (Figura 1), si bien esto se refiere sólo a la erosión por salpicadura. Cuando la erosión es causada por una combinación de los procesos erosivos, como erosión por salpicadura y erosión en surcos, es muy probable que se requiera una cobertura más elevada del 40% para reducir las pérdidas de suelo a sólo 10% de lo que ocurriría en el mismo suelo desnudo. Investigaciones en Kenia sobre el efecto de diferentes coberturas orgánicas sobre las pérdidas de suelo con lluvias simuladas que provocaron erosión por surcos y salpicadura, mostraron que se requiere entre 67 y 79% de cobertura para reducir las salpicaduras (Cuadro 2).

CUADRO 2

Cobertura orgánica y pérdidas de suelo en dos lluvias simuladas (Barber y Thomas, 1981)

Cobertura orgánica (t/ha)	Cobertura (%)	Pérdida de suelo (t/ha)		
		1ª Lluvia	2ª Lluvia	Promedio
0	0	1,40	6,27	3,84
1	46	0,22	1,70	0,96
2	67	0,12	0,83	0,48
4	79	0,03	0,26	0,15
Promedio		0,44	2,27	1,36

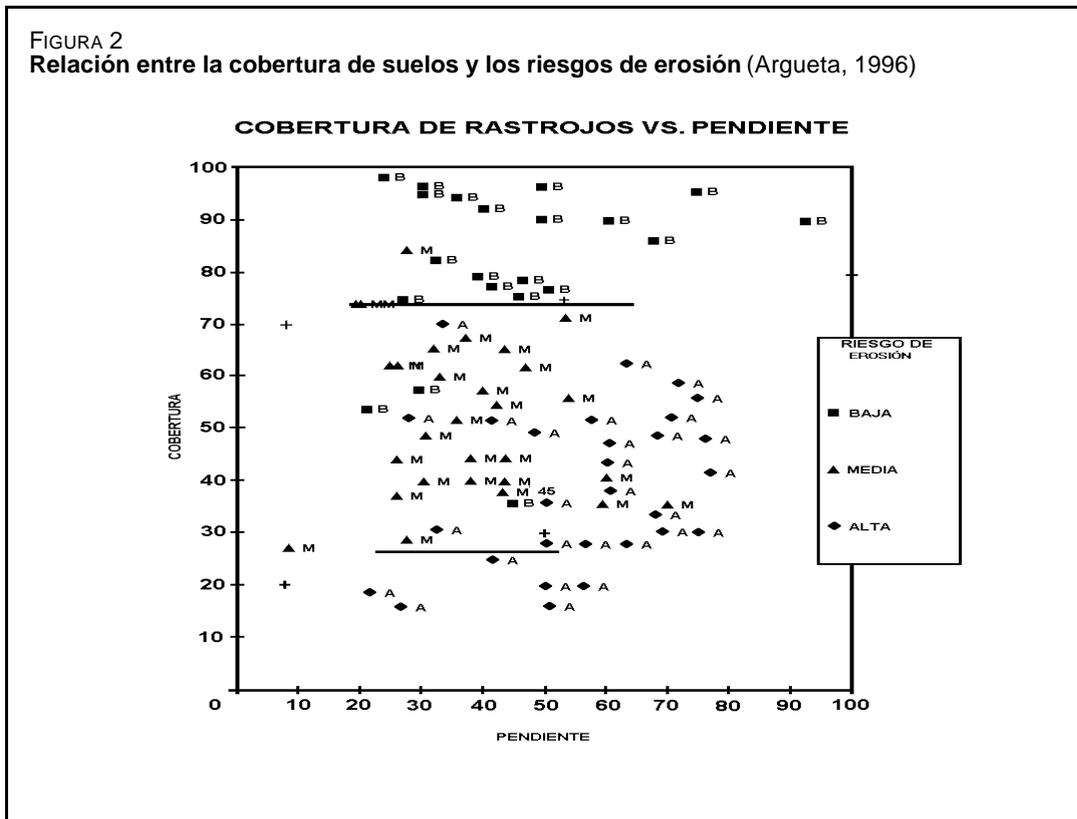
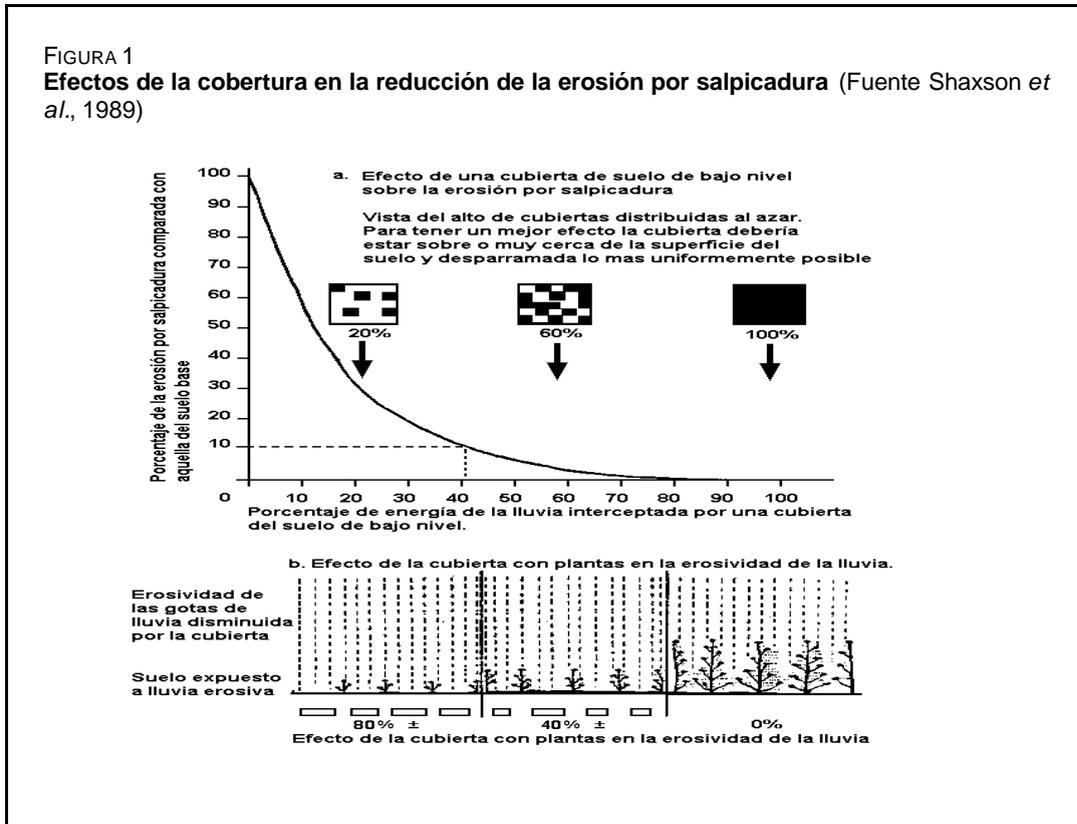
En pendientes muy inclinadas la velocidad de la escorrentía aumentará con la pendiente, y también aumentará la capacidad de transporte de las partículas sueltas por la escorrentía. En esta situación la cobertura que está en contacto con el suelo, es muy importante, más aún que la cobertura aérea; la cobertura de contacto no solamente disipa la energía de las gotas de lluvia, sino que también reduce la velocidad de la escorrentía, y consecuentemente las pérdidas de suelo por un menor transporte de partículas (Paningbatan *et al.*, 1995). Investigaciones empíricas en El Salvador han indicado que se requiere una cobertura de contacto de aproximadamente 75% para tener “bajos” riesgos de erosión (Figura 2). Esta cifra se aproxima al rango de 67-79% de cobertura de Kenia, que se requiere para reducir las pérdidas de suelo a 10% de las que ocurrirían en el mismo suelo desnudo.

La presencia de una cobertura protectora también reduce la erosión eólica al disminuir la velocidad del viento sobre la superficie del suelo (Cuadro 3).

CUADRO 3

Efecto promedio de la clase y orientación de los residuos del cultivo en la erosión de un suelo franco arenoso por viento de velocidad uniforme (Finkel, 1986)

Cantidad de residuos en la superficie (t/ha)	Cantidad de suelo erosionado en túnel de viento (t/ha)			
	Residuos de trigo		Residuos de sorgo	
	Rastrojo 25 cm alto	Rastrojo plano	Rastrojo 25 cm alto	Rastrojo plano
0	35,8	35,8	35,8	35,8
0,56	6,3	19,0	29,1	32,5
1,12	0,2	5,6	18,1	23,3
2,24	traza	0,2	8,7	11,9
3,36	traza	traza	3,1	4,9
6,72	traza	traza	traza	0,4



- **Aumenta la infiltración de la lluvia**

La protección del suelo debido a la cobertura evita la formación de costras y mantiene una mayor tasa de infiltración. La Figura 3 muestra la diferencia en las tasas de infiltración para un suelo en Nigeria con y sin cobertura (Lal, 1975).

- **Reduce la pérdida de humedad por evaporación y aumenta la humedad disponible**

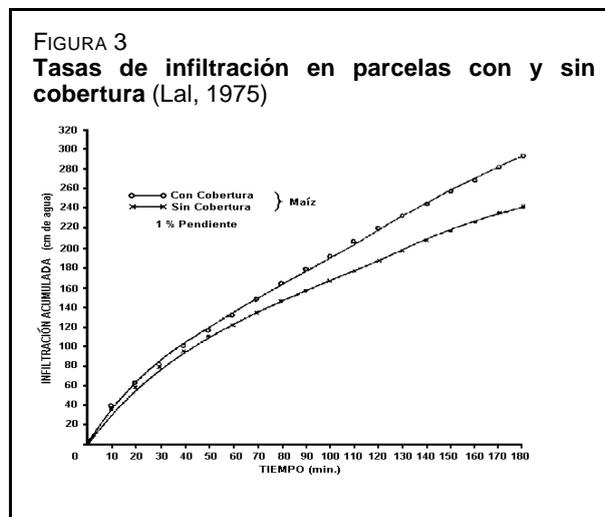
La combinación de mayor infiltración y menor pérdida de humedad por evaporación resulta en mayor humedad disponible para el cultivo. El Cuadro 4 muestra como la presencia de una cobertura orgánica aumenta la cantidad de humedad almacenada en el suelo.

- **Baja la temperatura**

La presencia de una cobertura disminuirá sustancialmente la temperatura en los primeros 5 cm de profundidad del suelo; en zonas o épocas donde las temperaturas son muy altas, una cobertura tendrá efectos benéficos sobre la germinación de las semillas, la actividad biológica, los procesos microbiológicos y el crecimiento inicial del cultivo. Temperaturas superiores a 40°C inhiben la germinación de las semillas de muchos cultivos, y temperaturas superiores a 28-30°C a 5 cm de profundidad restringen el crecimiento de las plántulas de muchos cultivos (Lal, 1985).

- **Mejoran las condiciones de germinación**

La mayor humedad y las menores temperaturas crean mejores condiciones para la germinación de las semillas. El Cuadro 5 presenta datos sobre la humedad, temperatura y porcentaje de emergencia de caupí y soya en relación a los diferentes sistemas de labranza. La comparación de los datos para labranza cero y labranza convencional representan condiciones opuestas de con y sin cobertura.



CUADRO 4
Efectos de la cobertura orgánica y el tipo de labranza sobre la cantidad de humedad (mm) almacenada en un suelo de 120 cm de profundidad. Faizabad, India, 1983 (Sharma, 1991)

Sistema de labranza	Sin cobertura	Con cobertura	Promedio
Labranza mínima	117	154	135,5
Labranza reducida	150	181	165,5
Arado	165	185	175,0
Promedio	144	173	-
DMS _{0,05}	8,4	14,3	

CUADRO 5

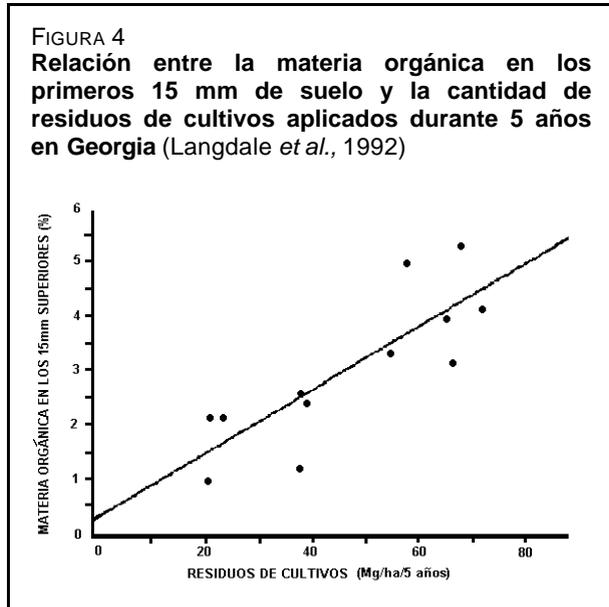
Tipos de labranza y su efecto sobre la humedad, temperatura y emergencia de caupí y soya.
(Fuente: Nangju *et. al.*, 1975)

Labranza	Temperatura máxima del suelo (°C)	Humedad del suelo (%)	Emergencia de plantas jóvenes (%)	Días para la emergencia	Peso fresco de plantas jóvenes (g)
Caupí					
Convencional	41	11,2	89,4 ^b	4 ^b	1,32
Cero	36	14,4	97,8 ^a	3 ^a	1,60
Soya					
Convencional	41	11,6	33,4 ^d	6 ^d	0,53
Cero	36	14,3	53,9 ^c	5 ^e	0,43

a, b, c, d = diferencias a 5% de probabilidad

- **Aumenta el contenido de materia orgánica de la capa superficial**

La Figura 4 muestra que el incremento en la acumulación de materia orgánica en el suelo está directamente relacionado con la cantidad de residuos aplicados como cobertura. El mayor incremento en el contenido de materia orgánica se encuentra inicialmente en los primeros 15 mm de profundidad del suelo bajo labranza cero, y con el paso del tiempo el contenido de materia orgánica de los horizontes inferiores aumentará. La Figura 5 presenta la distribución de materia orgánica en el suelo después de 10 años de labranza cero donde los rastros quedaron sobre el suelo.

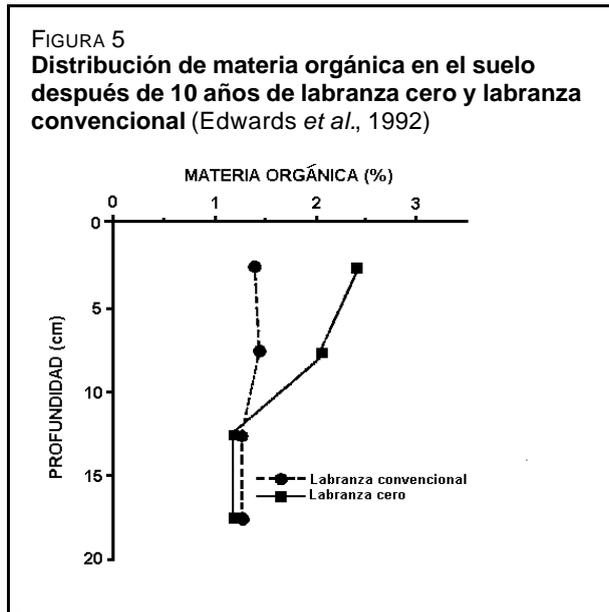


- **Mejora la estabilidad estructural de los agregados superficiales**

El aumento en el contenido de materia orgánica del suelo mejora la resistencia de los agregados a la erosión y al encostramiento.

- **Estimula la actividad biológica del suelo**

Las mejores condiciones de humedad y temperatura estimulan la actividad de los microorganismos y de la fauna; la macrofauna también requiere la presencia de una cobertura vegetal muerta sobre la superficie para su alimentación. Se ha demostrado la gran influencia de la aplicación de cobertura orgánica sobre la cantidad de lombrices en una parcela de maíz (Cuadro 6). Además, Lal, *et al.*, (1980) han obtenido una relación lineal entre la actividad de las lombrices y la cantidad de cobertura aplicada.



CUADRO 6
La aplicación de cobertura orgánica y la cantidad de huecos de lombrices (Fuente: Lal, 1975)

Tratamiento	Huecos de lombrices/m ²	Cobertura orgánica (t/ha)
Con cobertura a toda el área	568	127
Cobertura entre las hileras	264	59
Sin cobertura	56	13

- **Aumenta la porosidad**

El incremento en la actividad de la macrofauna resulta en mayor porosidad (Lal *et al.*, 1980), y especialmente en la macroporosidad que sirve como un control de circulación para el drenaje de gran parte de la lluvia. Esto resulta en menor lixiviación de los nutrientes del suelo más alejados de los macroporos. Otra consecuencia de la mejor porosidad debido a la actividad de la macrofauna es una mayor tasa de infiltración como se observa en el Cuadro 7.

CUADRO 7

Efectos de cultivos de cobertura con y sin la actividad de lombrices sobre las tasas de infiltración (Wilson *et al.*, 1982)

Cultivo de cobertura	Infiltración acumulativa (cm/3h)		Infiltración equilibrada (cm/h)	
	Con lombrices	Sin lombrices	Con lombrices	Sin lombrices
<i>Brachiaria sp.</i>	490	64	75	19
<i>Centrosema sp.</i>	220	72	30	18
<i>Pueraria sp.</i>	270	76	90	16
<i>Stylosanthes sp.</i>	390	74	60	16

- **Favorece el control biológico de las plagas**

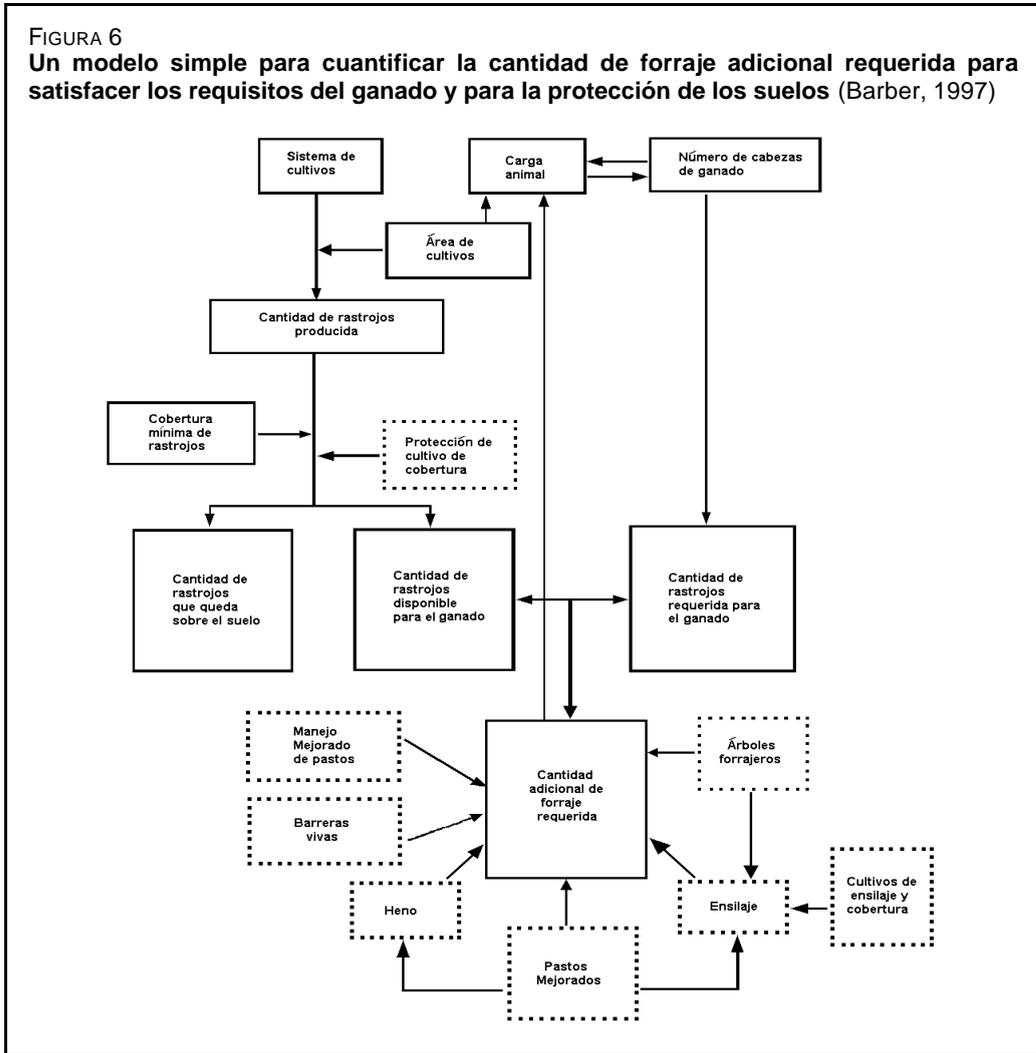
Las mejores condiciones biológicas pueden estimular la proliferación de insectos predadores de plagas.

- **Reduce el enmalezamiento**

Por lo general una buena cobertura de los rastrojos ayuda a reducir sensiblemente la emergencia de muchas malezas; sin embargo, con cantidades insuficientes de cobertura pueden ocurrir problemas de malezas, especialmente de algunas especies.

Los mecanismos para lograr una mayor cobertura son:

- ❑ Dejar todos los residuos de los cultivos dentro de la parcela, no quemarlos, no llevarlos fuera de la parcela y no pastorearlos o por lo menos reducir el pastoreo al mínimo; esto implica el cercamiento de las parcelas para poder controlar la intensidad del pastoreo. Si normalmente los agricultores retiran los rastrojos como forraje para su ganado, será necesario revisar todo el sistema de producción para identificar como se pueden producir fuentes alternativas de forraje para sustituir los rastrojos. Un modelo simple que ayuda a cuantificar la cantidad adicional de forraje requerido se presenta en la Figura 6.
- ❑ Practicar un sistema de labranza conservacionista que deje los rastrojos sobre la superficie del suelo y no los entierre como en los sistemas convencionales de labranza.
- ❑ Aplicar abonos o cobertura orgánica para aumentar la cobertura del terreno.
- ❑ Aumentar la producción de biomasa en la parcela por medio de la siembra de cultivos de cobertura, cultivos intercalados, cultivos de relevo y aumentar la densidad de siembra de los cultivos.
- ❑ Sembrar, dentro de la rotación, cultivos que producen grandes cantidades de rastrojos, (Ver Cuadro 8).



CUADRO 8
Producción de rastrojo y las relaciones de C/N y de peso grano/peso rastrojo en cultivos anuales, Santa Cruz, Bolivia (Barber, 1994)

Cultivo (época)	Rastrojo kg/ha ⁻¹	Relación C/N	Relación peso grano/peso rastrojo
Cultivos de verano			
Soya	1570	22	1,56
Maíz	3760	40	0,51
Sorgo de grano	3600	32	0,82
Algodón	3520	22	0,29
Cultivos de invierno			
Soya	900	22	1,56
Trigo	970	75	1,70
Sorgo de grano	2680	32	0,82
Frijol	900	26	0,87
Girasol	3590	33	0,34
Cultivos de descanso			
<i>Crotalaria juncea</i> (verano)	7590	19	-
<i>Avena strigosa</i> (invierno)	3010	28	-

- ❑ Aumentar la fertilidad química de los suelos para producir mayores cantidades de biomasa por medio de aplicaciones de fertilizantes y abonos orgánicos.
- ❑ Dejar las malezas muertas en la superficie como una cobertura por medio del uso de herbicidas o por el control mecánico con cultivadoras de campo que arrancan las malezas y las dejan sobre el suelo, en lugar de arar para enterrarlas.
- ❑ Dejar las piedras sobre el suelo porque sirven como una cobertura que aumenta la infiltración de la lluvia; esto es mejor que retirarlas para construir barreras muertas.

2. **umentar la materia orgánica del suelo**

Este principio está estrechamente relacionado con el principio anterior de aumentar la cobertura, porque al incrementar la cobertura del suelo con materiales orgánicos se incrementa el contenido de materia orgánica de los horizontes más superficiales. Es más difícil aumentar el contenido de materia orgánica de los horizontes inferiores, y especialmente de los horizontes del subsuelo. Los efectos beneficiosos del aumento de la materia orgánica del suelo son:

- ***Incrementa la estabilidad de los agregados superficiales***

Esto resulta en mayor resistencia de los agregados al encostramiento, a la erosión hídrica y eólica, y una mayor tasa de infiltración.

- ***Aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo***

Este incremento es importante especialmente en suelos muy arenosos.

- ***Incrementa la capacidad del suelo para retener nutrimentos***

Esto se atribuye al incremento en la capacidad de intercambio catiónico del suelo; como para la capacidad de retención de humedad, el incremento logrado a menudo no es importante excepto en suelos muy arenosos.

- ***Estimula la actividad biológica del suelo***

Una mayor actividad de la macrofauna resultará en una mayor macroporosidad del suelo y mayor incorporación y humificación de los residuos orgánicos.

Los mecanismos para incrementar la materia orgánica de los suelos son los mismos que para incrementar la cobertura de los suelos, con la excepción de dejar las piedras en la superficie.

3. **Aumentar la infiltración y la retención de humedad**

Los efectos beneficiosos de aumentar la infiltración y la retención de humedad de los suelos son:

- ***Disminuir el déficit de humedad en los cultivos***
- ***Incrementar el rendimiento y la producción de biomasa del cultivo***
- ***Reducir la escorrentía.***

Esto resulta en menor pérdida de agua, suelo, fertilizantes, y menor uso de pesticidas que podrían provocar contaminación del ambiente.

Los mecanismos para aumentar la infiltración y la retención de humedad en los suelos son:

- ❑ Mantener una cobertura protectora de residuos sobre el suelo para evitar la formación de costras superficiales que impidan la infiltración de la lluvia. La presencia de una cobertura protege el suelo del impacto de las gotas de lluvia y evita la degradación de los agregados y la formación de costras, facilitando así la infiltración del agua. Además, el contacto entre la cobertura de residuos y el suelo frena la escorrentía dando más tiempo a la lluvia para infiltrar; por lo tanto, se deberían dejar todos los rastrojos de los cultivos sobre la superficie del suelo y practicar un sistema de labranza conservacionista que no los entierre.
- ❑ Reducir las pérdidas de humedad por evaporación reduciendo la velocidad del viento, lo que se puede lograr con cortinas rompevientos.
- ❑ Crear una superficie rugosa entre las hileras de los cultivos para demorar la formación de las costras y promover así la infiltración de la lluvia. Para lograr este efecto se hace una labranza, normalmente una arada, que deja agregados grandes sobre la superficie para aumentar la porosidad de las capas superficiales de los suelos con problemas de encostramiento o compactación superficial y permitir así una mayor infiltración de las lluvias y crecimiento de las raíces. En África occidental se hace una arada al terminar la época de lluvias; esta práctica no deja rastrojos sobre la superficie pero deja una superficie rugosa que facilita la infiltración de la lluvia. Sería aún más conservacionista si hubiera rastrojos para proteger la superficie; Lal (1995) sugiere que se pueden lograr beneficios permanentes solamente por mejoras en los contenidos de materia orgánica de estos suelos ya sea por el uso de barbechos, pastoreo controlado y no quemando los rastrojos.
- ❑ Pasar después de cada lluvia un cultivador de campo; sin embargo, si se hacen muchos laboreos se promueve la degradación biológica de los suelos y se dificulta el mantenimiento de una cobertura protectora de rastrojos sobre la superficie. Los problemas de encostramiento surgen mayormente donde no hay rastrojos y en suelos con altos contenidos de arena fina; los problemas de compactación superficial son más comunes en los suelos livianos a medianos.
- ❑ Aumentar el tiempo disponible para la infiltración de la lluvia por medio de períodos de descanso del suelo antes de establecer el cultivo. Esto funciona mejor donde es factible tener dos cultivos por año y se sacrifica una de las dos épocas de siembra; es necesario controlar el crecimiento de la vegetación durante el período de descanso sin dejar el suelo desnudo, para no agotar la humedad que se acumula.
- ❑ Crear micro-barreras que impiden la escorrentía y dan mayor tiempo para la infiltración de la lluvia. Haciendo las labranzas y la siembra paralelas al contorno resultan pequeñas ondulaciones paralelas al mismo que dan mayor tiempo para la infiltración del agua de lluvia. De la misma manera la formación de camellones para formar el contorno, con o sin los surcos tapados, aumenta el tiempo disponible para la infiltración; no es sin embargo, aconsejable en pendientes mayores de 7% debido a los riesgos del desborde y de la erosión.
- ❑ Mejorar la permeabilidad de los horizontes impermeables, que impiden la percolación de la humedad hacia horizontes inferiores, para aumentar la capacidad de retención de humedad en el perfil. Para lograr esto se debe hacer una labranza profunda de modo de aflojar el horizonte impermeable e incrementar su porosidad.
- ❑ Aplicar abonos orgánicos para incrementar la capacidad de retención de humedad del suelo. Normalmente se requieren grandes cantidades de abonos orgánicos; habrá mayor efecto en los suelos arenosos con valores bajos de retención de humedad.

- Disminuir la pendiente del terreno para dar más tiempo para la infiltración de la lluvia. La construcción de terrazas de campo, terrazas de huerta y terrazas individuales reducirá el grado de inclinación del terreno y se facilitará la infiltración.

4 Reducir la escorrentía

Los efectos beneficiosos de la reducción de la escorrentía son:

- **reducir la pérdida de suelo, agua, nutrimentos, fertilizantes y pesticidas;** esto resulta en menor erosión de la parcela y menor contaminación ambiental aguas abajo;
- **aumentar el agua disponible para el cultivo, y con ello la producción de grano y de biomasa.**

Hay una relación muy estrecha entre la infiltración del agua de lluvia y la iniciación de la escorrentía; por lo tanto los principios que influyen en la infiltración también influirán en la iniciación de la escorrentía. A continuación se discutirán los elementos útiles para reducir la escorrentía una vez que ha comenzado.

- Recolectar la escorrentía en estructuras dentro de las que filtra el agua. El tamaño, número, ubicación y distancia entre las estructuras, deben ser adecuados para recolectar toda la escorrentía y evitar desbordes que podrían causar erosión. Ejemplos son tinas o recipientes ciegos, que son más aptos para cultivos perennes, y barreras muertas que son más apropiadas para sistemas mecanizados y de tracción animal y donde las piedras pueden dañar los implementos o dificultar las operaciones. Para sistemas manuales, es mejor dejar las piedras en la superficie como una cobertura para promover la infiltración de la lluvia, y no removerlas y dejar los suelos desnudos y más susceptibles a la erosión.
- Construir estructuras que recolectan y conducen la escorrentía fuera de la parcela. Las acequias de ladera y los canales interceptores hechos a mano o con maquinaria, colectan y conducen la escorrentía a velocidades reducidas fuera de la parcela. Es muy importante que las acequias tengan un grado de inclinación suficiente para conducir la escorrentía a una velocidad que no causará erosión de las acequias. También debe existir un curso de drenaje donde se puede descargar la escorrentía, y la descarga no debe causar ningún problema de erosión al punto de entrada ni a lo largo del curso de drenaje debido al flujo mayor.
- Establecer barreras permeables y paralelas al contorno que frenan la velocidad de la escorrentía, creando así condiciones más favorables para su infiltración, como barreras vegetativas (o barreras vivas). El tipo de vegetación de la barrera, su forma de crecimiento, su densidad (es decir, el grado de contacto entre el suelo y los tallos de la vegetación), el ancho de la barrera vegetativa, el largo de la pendiente, su inclinación, y la presencia de rastros superficiales en la parcela, influirán en la eficacia de la barrera vegetativa para reducir la escorrentía.

5. Mejorar las condiciones de enraizamiento.

Los efectos beneficiosos producidos por la mejora en las condiciones de enraizamiento son:

- **mejorar el desarrollo y crecimiento de las raíces y por eso la absorción de nutrimentos y agua por las plantas;**
- **reducir las probabilidades de que los cultivos sufran una sequía.**

Los mecanismos para mejorar las condiciones de enraizamiento de los cultivos son:

- Aflojar los horizontes compactados y los horizontes endurecidos que impiden la penetración de las raíces por medio de una labranza profunda. El aflojamiento de estos horizontes aumentará la porosidad y entonces las raíces podrán penetrar. El Cuadro 9 muestra el efecto de labranzas profundas con el arado de disco y con subsolador sobre algunas propiedades físicas y el desarrollo de las raíces de soya en un suelo compactado en Bolivia. En lo posible se debería utilizar una labranza conservacionista que no entierre los rastros ni traiga los agregados grandes del subsuelo a la superficie. En este caso el subsolador es mejor y más conservacionista que el arado de discos o el arado de vertedera. El arado de cinceles se puede usar en suelos que presentan una compactación incipiente; en suelos bien compactados se debe usar un subsolador.

CUADRO 9

Efectos de labranzas profundas sobre algunas propiedades físicas y el desarrollo de las raíces en un suelo compactado (Barbosa *et al.*, 1989)

Labranza	Densidad aparente (mg m ⁻³)		Porosidad (%)	Profundidad de raíces (m)	Peso de raíces (g/planta)	Resist. del penetrómetro (MPa)
	0,05-0,1m	0,15-0,2m				
Rastra de discos	1,61	1,73 ^a	35 ^a	0,24 ^a	3,7 ^b	2,0 ^a
Arado de disco	1,54	1,56 ^b	41 ^b	0,32 ^b	4,8 ^{ab}	1,4 ^b
Subsolación	1,58	1,64 ^{ab}	38 ^{ab}	0,33 ^b	4,1 ^b	1,2 ^b
Subsolación + tráf. contr.	1,49	1,55 ^b	41 ^b	0,31 ^b	5,8 ^a	1,3 ^b

a, b = diferencias a 5% de probabilidad

Tráf. contr.= tráfico controlado

Fuente: Orellana *et al.*, 1990.

- Mejorar el drenaje por la instalación de canales en aquellos suelos mal drenados o con drenaje deficiente y donde la falta de oxígeno impide el desarrollo de las raíces. La construcción de camellones elevados es otra práctica que incrementa la profundidad de la zona de enraizamiento sin problemas de drenaje; los surcos entre los camellones pueden ser hechos con una cierta inclinación para facilitar el drenaje superficial del exceso de agua.
- Mejorar las condiciones químicas donde hayan una deficiencia o un desequilibrio nutricional, o la presencia de tóxicos que inhiben el desarrollo de las raíces. Los problemas nutricionales más comunes para el crecimiento de las raíces son deficiencias de fósforo y niveles tóxicos de aluminio.

6. Mejorar la fertilidad química y la productividad.

Los efectos beneficiosos causados por la mejora de la fertilidad química y la productividad de los suelos son:

- **incrementar la producción del rendimiento;**
- **incrementar la producción de la biomasa del cultivo;** mayores producciones de follaje y de raíces del cultivo darán más residuos, y por lo tanto una mayor cobertura al suelo y una devolución mayor de materia orgánica al mismo.

Los mecanismos para aumentar la fertilidad química y la productividad de los suelos son:

- Superar cualquier deficiencia o desequilibrio nutricional identificados a través de un diagnóstico cuidadoso del estado nutricional del suelo y preferentemente de la planta. El análisis foliar contribuye a la interpretación del estado nutricional; es muy importante muestrear la parte apropiada en la época indicada para poder interpretar correctamente los análisis foliares. En cuanto a la fertilización inorgánica es importante saber la dosis de aplicación económica, la aplicación que corresponde a la producción máxima, la forma y la época oportuna de aplicación.

- ❑ Aprovechar el uso de cualquier abono orgánico disponible para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos debido a sus efectos benéficos sobre las propiedades físicas y químicas.
- ❑ Introducir rotaciones de cultivos para aumentar la productividad de los suelos debido a los efectos benéficos sobre las infestaciones de malezas, las incidencias de enfermedades y plagas y sobre las competencias entre cultivos por la humedad y el nitrógeno. Las rotaciones de cultivos también tienden a rejuvenecer los suelos, especialmente los suelos “cansados.”
- ❑ Evitar el desperdicio de nutrimentos; no permitir la quema de los rastrojos, ni la exportación de los nutrimentos fuera de la propiedad, y particularmente fuera de la parcela, con la excepción de aquellos nutrimentos extraídos por las cosechas.
- ❑ Aumentar los niveles de materia orgánica, especialmente en los suelos arenosos de baja fertilidad general, por medio de aplicaciones masivas de abonos orgánicos y materiales de cobertura, la siembra de leguminosas, los cultivos de cobertura, los cultivos intercalados, los cultivos de relevo, las rotaciones de cultivos, mayores densidades de población, y aumentos en la fertilidad química para lograr una alta producción de biomasa.
- ❑ Intentar la sustitución al máximo del uso de fertilizantes nitrogenados por la siembra de cultivos de leguminosas como cultivos de rotación, cultivos intercalados, cultivos de relevo y cultivos de cobertura.
- ❑ Aprovechar de los procesos del reciclaje de nutrimentos especialmente en zonas con problemas graves de lixiviación. Introducir cultivos con sistemas de raíces muy profundas que absorben nutrimentos de los horizontes profundos que están normalmente fuera del alcance de las raíces de la mayoría de los cultivos; de este modo los llevan a la superficie en forma de hojas y tallos muertos, para ser utilizados posteriormente por los otros cultivos. Se pueden introducir cultivos de enraizamiento profundo en las rotaciones de cultivos, en sistemas agroforestales como cultivos en callejones, o en barbechos de vegetación natural o de vegetación natural enriquecida.
- ❑ Superar los problemas de toxicidad debido a altos niveles de aluminio o manganeso por la sustitución de los cultivos/variedades por otros cultivos/variedades más tolerantes, o por la sustitución de los cationes de aluminio y manganeso por calcio o magnesio, por medio de aplicaciones de cal, cal dolomítica o yeso.

7. Reducir los costos de producción

Los efectos positivos de las reducciones en los costos de producción son:

- ***incremento en la rentabilidad neta***
- ***sistemas de producción más sostenibles***

Los principios o mecanismos para reducir los costos de producción son:

- ❑ Utilizar en lo posible pesticidas biológicos y herbicidas botánicos o semibotánicos, y practicar el manejo integrado de plagas para reducir los costos de los pesticidas.
- ❑ Sembrar cultivos de leguminosas que nodulan libremente sin necesidad de inoculantes, para reducir las necesidades de fertilizantes inorgánicos.
- ❑ Aplicar roca fosfórica cuando esté disponible para reemplazar los fertilizantes inorgánicos.

- ❑ Aplicar dosis económicas de fertilizantes inorgánicos, en la forma y época más oportunas para maximizar su eficiencia.
- ❑ Aplicar abonos orgánicos, cuando están disponibles, para reducir el uso de fertilizantes inorgánicos.
- ❑ En zonas donde la mano de obra es escasa o cara, introducir sembradoras y abonadoras manuales para acelerar las operaciones de siembra y aplicación de fertilizantes.
- ❑ Aprovechar al máximo aquellos sistemas de manejo que involucran el reciclaje de nutrientes. Utilizar cultivos de enraizamiento profundo en rotaciones de cultivos, como cultivos de descanso, y en sistemas agroforestales como cultivos en callejones y callejones forrajeros. Asegurar en lo posible que todos los residuos queden sean devueltos a la parcela y no quemados ni pastoreados.

8. Proteger las parcelas

Se deben proteger las parcelas de los efectos de las inundaciones, la erosión hídrica, los vientos fuertes, la erosión eólica, y los deslizamientos de tierra. Los vientos fuertes pueden provocar no solamente problemas de erosión eólica sino también problemas en la aplicación oportuna de los herbicidas e insecticidas.

Los principios para proteger las parcelas de las inundaciones son:

- ❑ Instalar canales de diversión para captar la escorrentía que entra a la parcela; trasladarla y descargarla en un canal de drenaje sin provocar erosión a la salida del canal ni a lo largo del canal de drenaje.

Los principios para proteger la parcela de la erosión hídrica son:

- ❑ Llevar al máximo la cobertura del suelo, incrementar la tasa de infiltración y reducir la escorrentía.

Los principios para proteger la parcela de erosión eólica y vientos fuertes son:

- ❑ Instalar cortinas rompevientos para reducir la velocidad del viento, llevar al máximo la cobertura del suelo y crear una superficie irregular.

Los principios para proteger la parcela de deslizamientos son:

- ❑ Introducir cultivos de árboles o cultivos en asociación con árboles de enraizamiento profundo; las raíces profundas ayudan a estabilizar el suelo y aumentar la absorción de humedad por la transpiración de los árboles y los cultivos.
- ❑ Instalar canales de diversión para reducir la entrada de aguas superficiales y subsuperficiales dentro de la parcela que reducen la estabilidad de los suelos y facilitan los deslizamientos.

9. Reducir la contaminación del suelo y del ambiente.

Los principios para reducir la contaminación de los suelos y del ambiente son:

- ❑ Aplicar el manejo integrado de plagas y de malezas en lugar de usar pesticidas; reemplazar en lo posible el uso de pesticidas tóxicos con pesticidas no tóxicos, o preferentemente con pesticidas biológicos o botánicos.
- ❑ Capacitar a los agricultores sobre la forma correcta de manejar los compuestos químicos para uso agrícola.
- ❑ Aplicar los fertilizantes en forma fraccionada según las necesidades del cultivo y la capacidad de retención de nutrimentos del suelo para evitar la pérdida de estos en las aguas superficiales y subterráneas.
- ❑ Aplicar las prácticas de conservación de suelos para reducir al mínimo las cantidades de sedimentos y pesticidas en las aguas superficiales y subterráneas.
- ❑ Supervisar la calidad de las aguas subterráneas y superficiales que servirá como pauta y base de datos para la práctica eficaz del manejo de los suelos.

Capítulo 4

Conceptos y objetivos de la labranza en una agricultura conservacionista

¿POR QUÉ CONSERVAR EL SUELO?

Erosión

En todo el mundo el uso agrícola de la tierra está causando graves pérdidas de suelo. Es muy probable, que la raza humana no pueda alimentar una población creciente, si la pérdida de suelos fértiles por el uso agrícola continua con esta tendencia. Las causas del uso inadecuado de la tierra son múltiples. En muchos países en desarrollo el hambre obliga a la gente a cultivar tierras que no son aptas para agricultura o que sólo con esfuerzos muy grandes y costosos como la construcción de terrazas, pueden ser convertidas en áreas para uso agrícola.

Sin embargo, los daños más graves, porque se hacen en mayor escala, ocurren en las grandes extensiones de la agricultura mecanizada. Como ejemplo pueden servir los Estados Unidos de América, que en los años 30 perdieron vastas áreas de tierras fértiles por erosión eólica. Hoy en día, los mismos errores causan todavía enormes pérdidas de suelo en todo el mundo.

La erosión se transformó así en una amenaza directa al agricultor. Se desarrollaron sistemas y prácticas para controlar la erosión con el fin de conservar el suelo, es decir, para evitar que el suelo se moviera de un lugar a otro. Evidencias de esta idea de conservación de suelo con respecto a la erosión hídrica eran cultivos en curva de nivel, camellones o zanjas también en curvas de nivel para evitar que el agua corriera en las pendientes. Se hicieron grandes esfuerzos para construir terrazas. Además se recomendó no dejar la superficie del suelo descubierto, dejar rastrojos o alguna capa de cobertura en la superficie para frenar tanto la energía cinética tanto del viento como del agua. En suma, se hicieron muchos esfuerzos para evitar mecánicamente, que las fuerzas del viento y del agua movieran el suelo.

Conservación del agua

Sin embargo, no se tomó en cuenta que la erosión no es la causa del problema pérdida de suelo, sino una consecuencia de la forma como la agricultura, sobretodo la agricultura mecanizada,

está tratando a los suelos agrícolas. Como ejemplo puede servir el caso del occidente de Nicaragua. Esta zona con los suelos más fértiles del país siempre ha sido intensivamente cultivada y en los últimos 40 años se convirtió en zona aldonera. Hasta hoy el cultivo se hace exclusivamente con gradas de discos y así aumentaron los problemas de erosión. La solución al problema fueron terrazas, que se construyeron siguiendo estrictamente las curvas de nivel. Las terrazas tenían formas irregulares y algunas eran tan pequeñas, que un tractor apenas las podía cultivar. Estas terrazas se cultivaron en los últimos 20 o 30 años en la misma forma de antes: con implementos de discos. Para agravar la situación, los tractores tenían que hacer mas vueltas en las terrazas debido a las formas irregulares de las mismas. Como consecuencia, todos los suelos del occidente de Nicaragua están hoy en día degradados y compactados. Pero lo que es más grave aún, es que la compactación no permite la infiltración del agua (Kayombo y Lal, 1994). Esta se está sacando con canales de desagüe, para evitar su estancamiento en las terrazas. La consecuencia no sólo son enormes cárcavas, que atraviesan la zona, sino también un rápido descenso del nivel freático.

Esto demuestra, que la pérdida de suelo por erosión es sólo una parte del problema. La pérdida de agua, que no llega a infiltrar suficientemente en los suelos agrícolas puede causar a largo plazo problemas aún más graves.

Como consecuencia de estos ejemplos tenemos que cambiar drásticamente la forma de labranza del suelo. La erosión y la pérdida de agua no se combaten con medidas de control mecánico, sino con una estructura viva y estable del suelo. Sólo esto permite, que el agua de la lluvia no comience a correr en la superficie, sino que se infiltre lo más posible.

EL CONCEPTO DEL MANEJO INTEGRADO - LA AGRICULTURA CONSERVACIONISTA

Concepción de la labranza dentro de una agricultura conservacionista

Lamentablemente no existe ningún implemento mecánico capaz de crear una estructura estable del suelo. La labranza mecanizada sólo puede destruirla. Por lo tanto, necesitamos un nuevo concepto de la labranza y sobretodo conocimientos profundos sobre la forma de intervención que estamos ejerciendo con cada uno de los equipos.

Naturalmente existen diferencias entre distintos tipos de suelo con respecto a la susceptibilidad a la pérdida de estructura. Pero una estructura estable y óptima tanto para el crecimiento de las plantas como para asegurar una buena infiltración de agua, minimizando las pérdidas de suelo por erosión, se logra sólo por procesos biológicos como la formación de humus en el suelo.

Cuando labrar la tierra

De acuerdo con los conceptos vertidos anteriormente, la mejor forma de labranza mecanizada sería no hacer ninguna. Sin embargo, los conceptos de la labranza cero no funcionan en todos los casos. La agricultura significa una intervención en los procesos naturales y por lo tanto tenemos que aceptar, que en algunos casos determinados tenemos que intervenir y corregir. Hasta en la labranza cero se hace una labranza en la forma de tráfico de maquinaria en el campo para sembrar, controlar plagas y cosechar; tráfico significa compactación y esta es una forma de labranza.

Cada vez que ocurre un problema que requiere una intervención tipo labranza, se debe preguntar, cuál es el problema y como se puede controlar en la forma que menos afecte al suelo.

En la labranza podemos distinguir básicamente un primer grupo de cinco operaciones:

- voltear
- mezclar
- roturar
- desmenuzar/pulverizar
- compactar

Además, hay en un segundo grupo de algunas operaciones agrícolas, que tienen un efecto directo en el suelo, tales como:

- control mecánico de malezas
- formación de la superficie (camellones, nivelado)
- cosecha de productos subterráneos (papas, remolachas, maní).

Cada implemento de labranza realiza operaciones específicas. Su conocimiento y la disponibilidad del equipo adecuado permitirán limitar la intervención al mínimo necesario. Algunas operaciones del segundo grupo no se pueden evitar, pero la mayoría de las operaciones del primer grupo no es necesaria para la agricultura; esto es especialmente válido para la operación de voltear, que es precisamente la intervención más drástica en el suelo.

Volteo

Esta operación da vuelta el suelo en el horizonte labrado, es decir incorpora (entierra) las capas superficiales del suelo y lleva las capas inferiores del mismo a la superficie. La necesidad de llevar materiales de la superficie al interior del suelo y de llevar horizontes profundos a la superficie son limitadas a casos muy especiales. El argumento de que el arado controla malezas no es válido, cuando se ara cada año: de esta forma se lleva la misma cantidad de semilla de malezas a la superficie. El uso del arado se justificó en situaciones de limitada fuerza de tracción y con equipos sencillos para la siembra, que necesitaban una superficie limpia del suelo.

Mezcla

Esta operación homogeneiza y mezcla todos los materiales del suelo hasta una profundidad determinada. En algunas circunstancias puede ser justificada, por ejemplo para facilitar la descomposición de rastrojos en zonas de clima templado. La profundidad de la mezcla es generalmente limitada, alrededor de 10 cm.

Roturación

Esta operación rotura suelos compactos abriendo grietas y aflojando los terrones sin moverlos. En situaciones de suelo compactado por maquinaria o de suelo con una estructura no estable, esta operación abre suficientes poros en el suelo para permitir la infiltración de agua. Sin embargo, el efecto residual de la roturación varía mucho dependiendo de las características del suelo y los tratamientos siguientes (Kayombo y Lal, 1994).

Pulverización

Esta operación se usa para desmenuzar terrones y grumos y para formar un horizonte de gránulos finos, o sea, es la preparación de la cama de semilla. Esta operación se lleva a cabo en una capa superficial muy delgada. Por ningún motivo se justifica la pulverización de horizontes profundos, como se hace con el rotavador o la rastra de discos. Hoy en día existe maquinaria adecuada para sembrar la mayoría de los cultivos agrícolas sin necesidad de pulverizar la cama de semilla y sólo en muy pocos casos, por ejemplo, en horticultura, se requiere todavía una preparación fina de la cama de semilla.

Compactación

Esta operación es necesaria después de una labranza profunda realizada poco tiempo antes de la siembra. Se compacta el suelo para garantizar el contacto capilar con el agua subterránea. En menor escala, se compacta en el proceso de la siembra después de colocar la semilla en el suelo para asegurar el contacto de la semilla con el agua.

Como comportarse en el campo

En los capítulos previos se puso en evidencia que el suelo no necesita la labranza para crear una estructura ideal, sino que al contrario, hay que limitar las intervenciones mecánicas en el suelo al mínimo posible. Sin embargo, algunas operaciones agrícolas no se pueden evitar, tales como la siembra, las operaciones de cultivo, la fertilización, el control de plagas y la cosecha. Inevitablemente, estas operaciones llevan a la compactación del suelo y algunos suelos podrán ser recuperados mientras que otros no. De todos modos los operadores de maquinaria deben ser conscientes de esta situación, organizando el movimiento de la maquinaria al mínimo posible. La selección de equipos apropiados como tractores de oruga (Erbach, 1994), llantas blandas de baja presión (Vermeulen y Perdok, 1994) y la selección del momento apropiado para entrar al campo – p.ej. evitando suelos excesivamente húmedos - ayuda a minimizar los efectos negativos sobre el suelo (Larson *et al.*, 1994).

Una forma interesante para evitar compactaciones innecesarias en el suelo es el tráfico controlado. En forma ideal, todos los equipos que un agricultor usa deberían trabajar sobre el mismo ancho de trocha. De este modo se establecen zonas muy compactadas pero muy limitadas en el campo, que sirven para el tráfico. En el resto del área el suelo no será compactado reflejándose en requerimientos de labranza muy reducidos (Taylor, 1994). Sin embargo, este sistema requiere muchas veces un cambio total de la maquinaria de una finca y de disciplina de sus operadores.

Referente a la compactación hay que tomar en cuenta siempre dos aspectos:

- La presión de la superficie de contacto: esta puede ser muy alta en caso de pisoteo por animales y puede ser muy baja en caso de tractores de oruga; esta presión determina el grado de compactación.
- El peso total que compacta: este puede ser bajo en el caso de animales y alto en el caso de tractores, máquinas y camiones y determina la profundidad de la compactación.

El significado para el agricultor

Agricultores pequeños

Debido a que los efectos más desastrosos sobre el suelo resultan de las altas velocidades de trabajo y de los implementos accionados por la toma de fuerza, estos problemas son menos pronunciados en los sistemas de tracción animal. Además, con la tracción animal, el efecto en el suelo es muy limitado en términos de profundidad.

Esto no significa que no se cause erosión o degradación de suelo en los sistemas en que se usa tracción animal. El origen de estos problemas no es el mal uso de la técnica o el uso de la técnica equivocada, sino que la forma de cultivar la tierra no es adecuada. Por ejemplo, si se quita la vegetación de una ladera para establecer un cultivo, poco importa como se lo hace, porque inevitablemente va a causar erosión.

Existen equipos para siembra directa para tracción animal en sistemas de labranza cero. Pero en muchos casos estos equipos son demasiado caros o sofisticados para justificar la compra por un campesino que cultiva sólo para su subsistencia.

Agricultores con equipos mecanizados

Para el agricultor moderno el concepto de una labranza cuidadosa dentro de una agricultura conservacionista significa tener acceso a implementos más específicos y en la mayoría de los casos necesitará más implementos. Sólo agricultores en situaciones especiales, que cultivan un rango muy limitado de cultivos, podrán tener un parque reducido de equipos, limitándose básicamente a sembradoras, aplicadoras de fertilizantes, otros equipos específicos y cosechadoras. Otros agricultores siempre van a necesitar algún equipo adicional de labranza, ya que el agricultor en situaciones de tiempo adverso u en otras ocasiones debería estar preparado para hacer las intervenciones necesarias (Gogerty, 1995).

Un agricultor que tiene acceso, por ejemplo, a un arado de disco y a una rastra de disco, puede necesitar un subsolador, un arado de cincel, un arado de vertedera y otros equipos dependiendo del tipo de suelo y clima (Reynolds, 1995). Sin embargo, muchos de estos equipos probablemente no los va ni siquiera a usar cada año. Esto significa que el agricultor, a primera vista, tendrá una carga mas alta de inversiones en maquinaria.

Además serán necesarios otros cambios en el parque de maquinaria del agricultor. Aún cuando se aplique un sistema de labranza reducida o de labranza cero, siempre va a existir una cantidad mayor de residuos en la superficie. Esto trae como consecuencia que la tecnología de siembra tiene que ser adaptada a las nuevas circunstancias lo que significa la compra de nuevas sembradoras de acuerdo a los distintos cultivos. Para cultivos de hileras serán además necesarias nuevas cultivadoras que permitan el control mecánico de malezas dejando los residuos en la superficie.

Estos son cambios importantes y sobretodo caros y arriesgados para el agricultor. Sin asistencia técnica específica y otros incentivos será difícil generar un proceso de cambios.

PARÁMETROS TÉCNICOS DE LA LABRANZA

Efectos de la velocidad

Rendimiento

La velocidad es, aparte del ancho del equipo, el factor que permite aumentar el rendimiento de la operación. Mientras la velocidad en el caso de la tracción animal está limitado según el tipo de animal a un valor más o menos fijo, en el caso del uso de tractor existe un margen bastante amplio de velocidades posibles. Muchas veces los agricultores y sobre todo los operadores de tractores no pueden resistir al aumento de velocidad como la manera más fácil y - obviamente - más barata de aumentar el rendimiento. Con esto se está saliendo muchas veces de los límites recomendados para cada operación particular.

Acción sobre el suelo

Cada implemento tiene un rango de velocidad en el cual el resultado del trabajo es el mejor: para arados de vertedera cilíndrica y vertical son velocidades bajas, hasta 4 o 5 km/h; para vertederas helicoidales e inclinadas puede ser hasta 10 km/h. Sin embargo, a más alta velocidad el arado pulveriza demasiado el suelo y lo tira demasiado lejos. Al contrario, el arado de cincel y la rastra de púas solo trabajan bien con velocidades comprendidas entre 8 y 12 km/h porque desmenuzan y mezclan los grumos por impacto. Por otro lado la rastra de púas o la de disco usadas con tracción animal no tienen tanto un efecto de pulverización sino solamente de nivelación.

Consumo de energía

Con el aumento de la velocidad de labranza hay un aumento exponencial de la fuerza de tiro y por lo tanto de la energía necesaria. Esto se refleja en el consumo de combustible del tractor y así en los costos operativos. Por esta razón el aumento de velocidad no es la manera adecuada para aumentar el rendimiento de una operación de labranza: con la doble velocidad (8 km/h en vez de 4 km/h) se duplica el rendimiento pero se necesitan cuatro veces más energía y combustible.

Conclusión: mientras en la tracción animal el problema es la velocidad limitada que no permite a algunos implementos desarrollar su acción completa, en el caso de la tracción a motor existe el problema de exceso de velocidad con sus repercusiones sobre la estructura del suelo y el consumo de energía.

Profundidad

Se puede distinguir el tipo de labranza según la profundidad de trabajo. Cada tipo tiene características particulares y necesidades definidas.

Subsolado

El subsolado llega debajo de la capa arable para quebrar compactaciones que están fuera del alcance de la labranza normal. Esta operación sirve para crear grietas que mejoran la infiltración del agua y la penetración de las raíces. La profundidad del subsolado se debe determinar según la compactación encontrada y la humedad del suelo a esta profundidad.

La operación del subsolado requiere mucha energía, por lo tanto, no es adecuada para la tracción animal. Con el tractor se debe considerar como una operación de mejoramiento de suelo muy costosa que no se hace de manera rutinaria.

Especialmente en los suelos inestables hay que tener cuidado de no recompactar el suelo inmediatamente después del subsolado pues esto puede crear compactaciones profundas y peores que antes. Además existe en algunos suelos limosos el peligro que el material fino se acumule en las grietas y forme compactaciones por sedimentación. En general, al hacer la labor de subsolado hay que determinar el origen de la compactación y tratar de mejorarlo estabilizando la nueva estructura suelta por ejemplo con un cultivo de raíces profundas.

Labranza primaria

La labranza primaria es la labranza tradicional que se extiende a toda la capa arable o sea al horizonte A. Esta sirve para eliminar compactaciones superficiales, abrir el suelo y crear una estructura grumosa para acumular agua y muchas veces también incorporar, a través de la arada, plagas, malezas y semillas de malezas.

La profundidad de la labranza primaria depende de la fuerza de tracción disponible. Con tracción animal es normalmente entre 10 y 20 cm; con el tractor, especialmente con el aumento de potencia de los tractores modernos, se llega en algunos países hasta 40 cm.

Existe una amplia polémica sobre la profundidad de la labranza primaria. En general no se debería aumentar la profundidad de labranza sólo porque se dispone de la potencia necesaria. En suelos con una capa de suelo delgada esto puede literalmente destruir el suelo, lo que ocurre frecuentemente cuando se usan tractores. El incremento de cosecha que coincide a veces con una profundización de la capa arable, sólo en pocos casos es sostenible. Esto depende mucho de la fertilidad y la profundidad del suelo. Por otro lado: con una buena estructura del suelo las raíces de las plantas llegarán a las partes más profundas sin necesidad de una labranza profunda. A largo plazo, la labranza profunda consume más combustible mientras que los beneficios no están asegurados.

Labranza secundaria

La labranza secundaria sirve para preparar el suelo para la siembra. Esto incluye la formación de la superficie, la nivelación, la formación de camellones o surcos para irrigación y para establecer la cama de siembra. La cama de semilla debería extenderse solamente sobre un horizonte muy delgado hasta la profundidad prevista de la siembra. Normalmente la labranza secundaria nivela y pulveriza el suelo y una profundización de la misma solamente llevaría a una pérdida innecesaria de humedad. Cuando el suelo está todavía suelto hay que incluir también una recompactación en la labranza secundaria.

La creación de una cama de siembra tradicional surge a consecuencia de la insuficiencia de la técnica para sembrar en un terreno virgen. Hoy en día esta tecnología está suficientemente avanzada para permitir la siembra de la mayoría de los cultivos sin ninguna labranza. Además se debe considerar que la labranza secundaria deja, en un clima tropical, una superficie pulverizada en condiciones críticas con gran peligro de erosión.

Cultivo, deshierbe

Este tipo de labranza, que normalmente es muy superficial sirve para controlar malezas, incorporar abono, quebrar superficies encrostadas o aporcar. Las funciones de este tipo de labranza y por lo tanto la selección de la herramienta correcta depende del problema y de la maleza encontrados. Para el deshierbe, las funciones básicas son las de arrancar y dejar en la superficie y las de enterrar o de cortar las raíces; hay que tener mucho cuidado con los ajustes del equipo y la profundidad para no dañar el cultivo. Una falla muy común es por ejemplo dejar crecer la maleza demasiado y después tratar de controlarla con un cultivo profundo. En el caso del maíz esto destruye todas las raíces superficiales del cultivo que son las más importantes para la nutrición de la planta.

Características del suelo - textura y humedad

Las características del suelo tienen mucha influencia sobre la selección del tipo de herramienta, del gasto de material, del requerimiento de potencia para la labranza y el tiempo disponible para el laboreo del suelo.

Humedad, ventana de laboreo

Cada suelo tiene, para la labranza, un rango óptimo de humedad. Por lo tanto, no existen, en general “suelos duros”. Sin embargo los límites del rango óptimo para la labranza, o sea la “ventana de laboreo”, pueden ser más pronunciados y estrechos en caso de suelos arcillosos o menos pronunciados y amplios en suelos arenosos. En general hay que buscar esta “ventana de laboreo” para obtener un resultado óptimo con costos energéticos aceptables. En suelos extremos esta “ventana” puede ser muy estrecha y prácticamente no permitir la labranza. Estos son casos más indicados para la siembra directa o la labranza cero. Mientras que con la tracción animal se está limitado obligatoriamente a la labranza dentro de la ventana óptima, el tractor permite salir de esta en los dos extremos de la misma. Esto, sin embargo, puede resultar en daños al suelo o el equipo.

Labranza en seco y en húmedo

Salir del rango óptimo de humedad para la labranza puede ser justificado en determinados casos; del punto de vista del suelo tiene los siguientes efectos:

- En suelos arenosos la labranza en seco no tiene el efecto deseado porque la arena no tiene fuerzas cohesivas. Por ejemplo un arado no voltea sino que crea solamente un surco. La labranza en arena demasiado húmeda no es tan peligrosa como en suelos más pesados pero también puede llevar a serios problemas de compactación.
- En suelos limosos se puede labrar en seco. Sin embargo esto consume más energía que la labranza en suelo húmedo. Además puede formar polvo y por lo tanto pérdida de suelo por erosión eólica. Hay que evitar absolutamente la labranza en suelo muy húmedo por el peligro grave de compactaciones.
- Los suelos arcillosos son casi imposibles de labrar en seco. Esto requiere demasiada fuerza del tractor y puede causar daños al implemento y al tractor. Además cualquier labranza en seco crea grandes terrones que después son muy difíciles de desmenuzar. La labranza en suelo demasiado húmedo causa patinaje del tractor y serias compactaciones.

- El laboreo de suelos pesados en seco se puede justificar como método de mejoramiento de suelo, especialmente cuando se trata del subsolado: el efecto del subsolado es más pronunciado en suelo seco, la zona de rotura es mayor. Después se deja el suelo a la intemperie para que las fuerzas atmosféricas desmenuen los terrones gracias a los cambios de temperatura y humedad.
- El laboreo en húmedo, como caso especial, se aplica para arroz bajo riego con la operación de embarrar.

Abrasión

La abrasión de los implementos y por lo tanto el desgaste de la herramienta depende de la textura y del origen geológico del suelo. En general los suelos livianos, arenosos son más abrasivos que los suelos pesados arcillosos.

Capítulo 5

Implementos de labranza

ARADO DE VERTEDERA

Modo de acción, fuerzas y ajustes

El arado de vertedera (o reja) es uno de los más clásicos implementos de labranza después del arado de madera. Mientras el arado de madera trabaja como un cincel, el arado de vertedera fue desarrollado de tal manera que corta un prisma de suelo y le da vuelta aproximadamente 130°. El arado de vertedera es el implemento más indicado para la operación de voltear el pan de tierra mientras su acción mezcladora es muy limitada.

Las fuerzas que actúan sobre el arado de vertedera se pueden subdividir en tres componentes: el componente longitudinal de la resistencia del suelo, el componente lateral dado por la aceleración lateral del prisma de suelo y el componente vertical dado por la forma del arado, dirigida hacia abajo. Estas fuerzas son compensadas por la línea de tiro, el operador (o el tractor), y partes del arado mismo como la cola del talón y el lado de campo que soportan parte de las fuerzas verticales y laterales. El ajuste del arado se hace de tal forma que las fuerzas laterales están neutralizadas por los componentes del arado y la línea de tiro. Las fuerzas verticales pueden, parcialmente, ser cargadas al operador del arado de tracción animal o al tractor.

Esto significa en la práctica que si el operador de un arado de tracción animal debe empujar el arado hacia un lado o aplicar alguna fuerza, el arado no está ajustado correctamente. Lo mismo vale para el tractor: el arado debe seguir al tractor en línea recta sin necesidad de ajustar las cadenas de los brazos inferiores del enganche en tres puntos o de corregir el rumbo del tractor con la dirección.

Existen dos grupos mayores de arados para tractores: arados montados o semi-montados y arados remolcados. Los arados montados y semi-montados tienen la ventaja que pueden transferir parte o todo el peso del arado y la fuerza vertical al tractor, mejorando así la tracción. La regulación automática del sistema hidráulico permite mantener la profundidad o la fuerza de tiro del implemento. Lamentablemente, son muy pocos los operadores de tractores que saben usar el sistema hidráulico correctamente.

Formas de arados

- Arados de tracción animal: los arados más comunes son sin estabilizador, o sea sin rueda o patín de apoyo o con estabilizador longitudinal, o sea con una simple rueda o patín de apoyo. Son menos usados los arados más pesados con estabilizador lateral y longitudinal, o sea con un antetrén de dos ruedas. Referente a la rueda de apoyo muchas veces es preferible un simple patín, sobre todo en terreno arcilloso y poco abrasivo. Las ruedas comunes normalmente son muy pequeñas y por lo tanto frecuentemente no corren mejor que un patín y son más caras.
- Existe una gama de tipos diferentes de arados, grandes y profundos, livianos, simples y reversibles para tractores. Es importante observar que el ancho del surco sea mayor que el ancho de la llanta del tractor. El ancho de corte o del surco determina también la profundidad máxima que permite determinado arado. Esta puede ser no más que 0.8 - 1 vez el ancho de corte. Por lo tanto, los arados para labor superficial tienen muchos cuerpos pequeños mientras que los arados para labores profundas tienen cuerpos anchos.
- Existe una gama amplia de tipos de vertedera según el tipo de suelo, el uso o la velocidad. Existen también vertederas en fajas y vertederas laminadas con aceros especiales, teflón u otros materiales sintéticos para reducir la resistencia en suelos pegajosos.
- Una forma especial del arado de vertedera es el arado aporcador para formar camellones. En determinados sistemas de labranza con tracción animal y cultivos en surcos y camellones este arado aporcador es el único implemento usado en la finca.

IMPLEMENTOS DE DISCOS

Modo de acción, fuerzas y ajustes

En este capítulo se describen todos los implementos de discos que básicamente funcionan con el mismo principio de acción. El disco, dependiendo del ángulo de ataque, también corta un prisma de suelo y lo voltea. Sin embargo, por el movimiento del disco mismo, la aceleración es diferente según la posición del disco y la resultante fricción interna; el suelo resulta así pulverizado y mezclado.

Mientras el disco no voltea tan perfectamente como la vertedera, está haciendo al mismo tiempo la labor de pulverizar y mezclar. Además, los implementos de discos generalmente son menos susceptibles a daños por piedras o troncos y por lo tanto se prestan muy bien para terrenos menos cultivados. Por estas razones, siendo una herramienta muy universal y robusta, el disco ha tenido mucho éxito en la agricultura tropical mecanizada. Sin embargo, bajo el concepto de una agricultura conservacionista y una labranza más cuidadosa y dirigida, los implementos de discos deben ser considerados muy críticamente.

Las fuerzas que actúan sobre un disco se pueden también subdividir en tres componentes: el componente longitudinal que tiene aproximadamente los mismos valores del componente respectivo de la vertedera, el componente lateral que puede ser muy alto y el componente vertical que con respecto a la vertedera está actuando en la dirección opuesta, es decir hacia arriba. Estas características tienen dos repercusiones:

- Para soportar las fuerzas laterales los implementos de discos necesitan una rueda de apoyo muy fuerte, en caso del arado, o un diseño de dos juegos de discos actuando en direcciones opuestas, en caso de rastras.
- El implemento de disco sólo penetra al suelo por su peso ya que la fuerza vertical está dirigida hacia arriba. En caso de suelos pesados hay que aumentar el peso del implemento poniéndole pesos adicionales. Por lo tanto los implementos de discos generalmente son muy pesados y no se prestan bien para la tracción animal.

Estas características del disco son las razones de los problemas de degradación de suelos que se pueden observar frecuentemente en zonas donde se abusa de ellos. La acción pulverizadora del disco lleva a una pérdida de estructura, una fuerte mineralización, una mayor erosión y pérdida de humedad y una peor infiltración de agua. En la dirección vertical el disco entra por su peso en el suelo hasta el punto donde la resistencia del suelo junto a la fuerza vertical tiene el mismo valor de la fuerza del peso. Esto significa que el disco se apoya en el suelo sobre su filo y puede así ser comparado con un rodillo compactador del subsuelo. En zonas con frecuente uso de rastras de disco se pueden encontrar horizontes muy compactados debajo del horizonte de trabajo del implemento. Estas compactaciones inhiben la infiltración de agua y causan así problemas de sequía a corto plazo y también pueden contribuir a la desertificación de regiones grandes a largo plazo.

Para los ajustes hay que distinguir los dos tipos de implementos de discos: implementos con los discos individuales como los arados de disco o implementos con los discos montados sobre un eje común como las rastras.

En el caso del arado se pueden ajustar tanto el ángulo vertical como el ángulo horizontal. Con estos ajustes se puede adaptar al tipo de suelo o se puede determinar el grado de pulverización y la facilidad de penetración en el suelo. En el caso del arado de discos vale la misma regla como para la vertedera: el arado ajustado correctamente soporta todas las fuerzas laterales y procede en línea recta sin necesidad de ajustar las cadenas de los brazos inferiores del enganche de tres puntos.

En el caso de las rastras se puede solamente ajustar el ángulo horizontal. Con esto - y con pesos adicionales - se ajusta la profundidad de trabajo y el grado de pulverización.

Formas de los implementos de disco

- Debido al peso y las fuerzas laterales exigidas, hay muy pocos implementos de disco para tracción animal. La única excepción son rastras de discos específicos que existen en algunos países.
- Para el uso con tractores los implementos de discos son probablemente los implementos de labranza más comunes en los países tropicales. Este grupo de implementos se puede subdividir de la siguiente manera:
 - ❑ los arados de discos son montados o remolcados por el tractor, simples o reversibles, lo cual por la simetría del disco es mucho más sencillo que el arado reversible de vertedera. Con el arado de disco reversible se está simplemente girando todo el arado sobre un eje vertical cuando se cambia la dirección;
 - ❑ como forma intermedia entre arado y rastra existen los arados - rastra: tienen los discos montados todos sobre un eje como una rastra, pero trabajan solamente hacia un

lado como un disco. Existen montados o remolcados, en forma sencilla o combinados con sembradoras para la siembra directa;

- ❑ las rastras de disco están siempre formadas por grupos de discos en número par que trabajan en direcciones opuestas para neutralizar las fuerzas laterales. Existen también rastras montadas o remolcadas, grandes para cultivar tierras vírgenes o pequeñas para labranzas secundarias. Las rastras de discos son muy populares, robustas y versátiles pero también son probablemente los implementos que más contribuyen a la degeneración de los suelos agrícolas a nivel mundial;
 - ❑ actualmente, están recibiendo creciente popularidad los discos para aporcar, hacer o tapar surcos.
- Los discos planos o con una curvatura muy ligera son usados para sembradoras de labranza cero y otros implementos para cortar el suelo y los rastrojos y depositar semilla o abono.

CINCELES

Modo de acción, fuerzas y ajustes

Los cinceles, por su modo de acción, son la herramienta de labranza que más se parece al arado de madera. Al introducir el cincel en el suelo causa la compresión de este. El suelo finalmente escapa hacia arriba dejando una zona de rotura que parte de la punta del cincel aproximadamente en un ángulo de 45° en suelos secos. Por lo tanto, el cincel sirve para roturar el suelo. Los cinceles usados con tracción animal se limitan prácticamente a este tipo de acción.

Aplicando velocidades mayores el suelo es también movido a los lados. Esta acción puede ser apoyada por ciertos tipos de punta del cincel. Por esta razón los arados de cinceles para tractores usados a velocidades alrededor de 10 - 12 km/h tienen una buena acción mezcladora. El impacto del cincel sobre los grumos y los terrones lleva también a una pulverización del suelo. Sin embargo, este efecto no es muy pronunciado en suelos sueltos. Por lo tanto, la repetición de un pase de cincel en suelos sueltos no lleva a una mayor pulverización del suelo.

Los cinceles dejan el suelo ondulado tanto en la superficie como en el fondo por la zona de rotura partiendo de la punta en un ángulo de 45°. Por eso se recomienda, para el uso de cinceles en la labranza primaria hacer al menos dos pases cruzados para emparejar el perfil.

Las fuerzas que actúan sobre un cincel en el suelo dependen mucho de la forma y sobre todo del ángulo de ataque. Un ángulo de ataque agudo mejora la penetración y reduce la fuerza de tracción. Además mejora el efecto de la roturación y la mezcla del suelo porque lleva una parte del material del suelo de horizontes inferiores hacia arriba.

Esta característica puede ser una desventaja en situaciones donde la punta del cincel toca material húmedo de horizontes inferiores y los transporta a la superficie en forma de pequeños cilindros o terrones que después son difíciles de desmenuzar.

Mientras el cincel simple no necesita mucha fuerza de tracción y se presta para la tracción animal, el uso de grupos de cinceles para la homogeneización del suelo y la mezcla a altas velocidades está limitado a tractores relativamente potentes. Esto resulta de la necesidad de cubrir con el implemento al menos el ancho del tractor y de usarlo a altas velocidades.

Los cinceles vibratorios montados sobre resortes sirven generalmente para mejorar la acción de pulverización y para arrancar malezas. Generalmente se usan para la labranza secundaria en profundidades hasta 15 cm, mientras que los cinceles rígidos se usan para la labranza primaria y el subsolado.

Formas de cinceles

Cinceles rígidos

- Los subsoladores son cinceles grandes y fuertes que pueden llegar hasta profundidades mayores de 1 m. Su uso por la alta fuerza de tracción necesaria se limita al tiro con tractores. Se distingue la forma tradicional (vertical), la forma parabólica y el “Paraplow”. La forma vertical solo trabaja bien en condiciones secas y requiere más fuerza de tiro que la forma parabólica. Sin embargo, la forma parabólica tiene la desventaja de llevar terrones a la superficie. Para evitar esto se usan ahora cinceles parabólicos inclinados. Esta misma característica tiene también el “Paraplow”. El “Paraplow” necesita una fuerza de tiro relativamente baja en comparación a otros subsoladores, deja un perfil del subsuelo más emparejado que un cincel normal y su acción se limita absolutamente a la roturación. Para mejorar la roturación y emparejar el perfil del horizonte de trabajo de cinceles verticales o parabólicos se pueden usar rejas de alas abiertas.
- Los arados de cincel para la labranza primaria existen tanto para tracción animal con un máximo de tres cinceles o para tractores. Son usados para roturar y - en el caso del tractor - mezclar la capa arable. Según el tipo de suelo y el efecto deseado pueden ser equipados con una variedad de rejas. Sin embargo para esta labor normalmente se usan rejas angostas.
- Existen también los cultivadores con cinceles rígidos para la labranza secundaria y el deshierbe, para tracción animal con hasta cinco cinceles y para tractor. Las rejas en este caso son más anchas como pata de ganso o alas abiertas con anchos de hasta más de 1 m para el control superficial de malezas en zonas áridas.

Cinceles vibratorios

Estos cinceles son tanto para tracción animal como para uso con tractor. Las formas más pesadas se usan para mezclar el suelo, las más livianas para la labranza secundaria, la preparación de la cama de siembra y el deshierbe.

PÚAS - GRADAS Y RASTRAS

Las púas son una forma de cinceles que se usan para gradas y rastras. Su modo de acción es bastante similar al cincel con la limitación que la púa está siempre vertical. Por esta razón, la profundidad de trabajo de las gradas de púas depende del peso de la grada y del ángulo de tiro.

Como en el caso de los cinceles, las gradas de púa para tracción animal se limitan a nivelar la superficie del suelo, mientras gradas de tractor a causa de su mayor velocidad pueden desmenuzar, hasta cierto grado, los grumos por impacto.

Como en caso del cincel este efecto de pulverización no se puede aumentar con repeticiones sobre el mismo terreno. Al contrario pases repetidos de la grada llevan a un efecto de clasificación de grumos en el cual las partículas finas van hacia abajo y los grumos grandes quedan sueltos en la superficie donde no pueden ser más desmenuzados.

ROTOCULTORES

Los rotocultores son ejemplo de implementos accionados por la toma de fuerza del tractor. Normalmente los rotocultores giran en la dirección del avance de la máquina. Por lo tanto no requieren fuerza de tracción sino solamente fuerza de accionamiento y pueden ser usados con tractores muy livianos.

Estos rotocultores son muy populares en trabajos hortícolas aunque también se usan en agricultura, sobre todo en suelos pesados para pulverizar el suelo. Con este propósito forman parte de muchos equipos para siembra directa combinando subsoladores, rotocultores y sembradoras en una máquina para hacer la preparación del terreno y la siembra en una sola operación.

Pueden ser considerados implementos críticos bajo situaciones de clima tropical por su fuerte impacto sobre la estructura del suelo y el alto riesgo de erosión relacionado con ello.

RODILLOS

Los rodillos son implementos importantes pero en algunos países tropicales son casi desconocidos. Existen rodillos muy diferentes según el uso:

- los rodillos lisos que compactan la superficie y se usan para recompactar pasto, carreteras o apretar la superficie en cultivos como la alfalfa para producción de semilla o la lenteja mecanizada;
- los rodillos desterronadores se usan para desmenuzar terrones. Existen en forma de rodillos para uso separado o en combinación con otros implementos como arados o cultivadores de cincel para pulverizar y recompactar la superficie de una cama de siembra. Sobre todo en los suelos pesados es recomendable pasar un rodillo desterronador inmediatamente después del arado para desmenuzar los terrones húmedos antes que se vuelvan secos y duros.;
- los compactadores de subsuelo son una forma especial de rodillos desterronadores. Consisten de una serie de anillos que se apoyan sobre su filo en el suelo y así compactan el suelo desde el fondo hacia arriba. Están simulando la recompactación natural del suelo y se usan normalmente junto con el arado o la sembradora.

SIEMBRA DIRECTA - LABRANZA CERO

Conceptos

Los conceptos de siembra directa y labranza cero representan ambos un tipo de labranza de conservación de suelos o labranza mínima. Mientras la “labranza cero” está claramente excluyendo cualquier tipo de labranza los términos “siembra directa” pueden ser interpretados de varias maneras. Una forma sería la combinación de todas las labores de labranza convencional en una operación incluyendo la siembra.

Interpretada así, la siembra directa trae ventajas en términos de tráfico y compactación, organización de trabajo y tal vez costos de preparación de terreno, tiempo necesario para la siembra y la reducida exposición del suelo a la intemperie. Sin embargo, incluye muchas veces una labranza muy intensiva con implementos accionados por la toma de fuerza y requiere tractores grandes y potentes.

La labranza cero al contrario no incluye ningún tipo de labranza y puede ser realizada a nivel manual, de tracción animal o de tractor a pequeña o gran escala. En este sistema la semilla se coloca directamente en el suelo en forma de inyección o con rejas sembradoras de disco o de cincel que cortan los rastrojos, abren el suelo y depositan la semilla. La tecnología de labranza cero disponible hoy en día permite usar este concepto para casi cualquier cultivo agrícola.

Equipos

Siembra directa

Para la siembra directa se pueden básicamente usar dos tipos de implementos:

- los implementos tradicionales combinados; por ejemplo: un arado de cincel en el frente del tractor y una combinación para la preparación de la cama de siembra y la sembradora detrás; o un arado de cincel corto, una rastra giratoria y la sembradora detrás del tractor. En este caso todos los implementos son simples y se combinan solamente para esta operación;
- los implementos hechos a propósito para la siembra directa; en general consisten de cinceles para roturación profunda, un rotocultor y una sembradora. Estos implementos forman una unidad.

Labranza cero

Para la labranza cero se usan implementos que depositan la semilla en el suelo sin hacer ningún tipo de labranza:

- a nivel manual se parte del simple palo para hacer huecos para la siembra hasta la sembradora manual para inyectar la semilla y a veces fertilizante al suelo;
- existen sembradoras para labranza cero a tracción animal de una o dos hileras para cultivos en hileras; trabajan con rejas de discos o con ruedas estrellas;
- existen sembradoras para resiembra de pasto, cereales y para cultivos de hileras para tractores. Según las características del suelo trabajan con cinceles, discos sencillos o dobles discos o también con ruedas estrellas; los dobles discos son los más comunes. Para asegurar la penetración uniforme a la profundidad de siembra deseada en suelos duros estas sembradoras son en general muy pesadas. La distancia entre rejas de una fila no puede ser demasiado estrecha para asegurar la pasada en los rastrojos. Por este motivo las rejas están puestas en dos o tres filas logrando distancias mínimas entre surcos de alrededor de 15 cm.

Capítulo 6

Implementos y métodos para la preparación del suelo agrícola

La agricultura explotada en régimen de secano en la región semiárida del Nordeste del Brasil es, en buena parte, efectuada usando como implemento de preparación del suelo la azada manual para abrir los hoyos y cuando el contenido de humedad del suelo es suficiente para recibir las semillas. En este caso no hay preparación convencional del suelo (arada); este solamente es movido superficialmente en ocasión de las carpidas, para eliminar las malezas y disminuir la pérdida de agua en el suelo por evaporación.

Otro tipo de cultivo en Brasil, es la siembra al voleo de semillas de frijoles (*Phaseolus vulgaris* L) que es practicado en las regiones con pluviosidad fuertemente influenciada por el Océano Atlántico y caracterizada por lluvias regulares. Las semillas del cultivo son distribuidas manualmente al voleo, en caminos previamente abiertos en la vegetación nativa, herbácea o arbustiva que después de la siembra es cortada para dar lugar al cultivo. Se trata de un sistema de cultivo sin ninguna preparación del suelo, donde la vegetación nativa vuelve a recomponerse juntamente con el cultivo y que después de cosechada queda en reposo por un período de dos a tres años; esto es ecológicamente válido y hace parte de un programa del gobierno del Estado de Pernambuco, denominado de "Mata Viva", que tiene por finalidad proteger el suelo de la erosión en una región montañosa, con lluvias abundantes, conservando así los recursos naturales del ambiente.

En la región Norte y Nordeste del Brasil el sistema de explotación agrícola, principalmente la preparación del suelo para la siembra, difiere de aquel practicado en las demás regiones del país, debido a que las lluvias son más intensas. En las regiones templadas con lluvias moderadas, la siembra puede efectuarse en el fondo del surco, donde hay más humedad disponible en el suelo; esta sería también ideal para la región tropical, pero eso no es aceptable por caracterizarse o por lluvias de alta intensidad en tiempos relativamente cortos, la solución es efectuar la siembra sobre los camellones (Kepner *et al.*, 1972).

A pesar de las técnicas conocidas de agricultura conservacionista del suelo, todavía existe en Brasil la agricultura "itinerante"; es un sistema primitivo de cultivar la tierra, que consiste en la tala del bosque, seguido de la quema para facilitar la instalación de los cultivos. El área es abandonada cuando el suelo se torna improductivo y de ahí el agricultor parte en busca de nuevas áreas todavía no explotadas. Ese tipo de agricultura es común en la región Norte (Amazonia) y conocida como agricultura migratoria (Kitamura, 1982).

OBJETIVOS DE LA PREPARACIÓN DEL SUELO

Los objetivos de la preparación del suelo están basados en los principios siguientes (Mazuchowski y Derpsch, 1984):

- eliminación de plantas no deseables, disminuyendo la concurrencia con el cultivo implantado;
- obtener condiciones favorables para la siembra o la colocación de partes vegetales en el suelo, permitiendo su germinación, emergencia y buen desarrollo;
- mantenimiento de la fertilidad y productividad en el tiempo, preservando la materia orgánica en el suelo y evitando la erosión;
- eliminación de pisos compactados para aumentar la infiltración de agua en el perfil del suelo, evitando la erosión;
- incorporación y mezcla de cal, fertilizantes o productos agroquímicos al suelo;
- incorporación de restos vegetales y residuos agrícolas;
- nivelación del terreno para facilitar el buen trabajo de las máquinas, desde la siembra hasta la cosecha.

La opción sobre el tipo de preparación del suelo depende de varios factores y cada situación a nivel de propiedad, requiere una decisión propia. Cada operación tiene requerimientos de tiempos diferentes en función de la fuerza de trabajo (manual o tracción animal) utilizada (Cuadro 10).

CUADRO 10

Tiempos de trabajo por unidad de superficie necesarios para efectuar algunas operaciones agrícolas en las fincas

Implementos y herramientas utilizadas en las fincas (tracción animal y manual)	Tiempo empleado (horas/hectárea)
Arado (tracción animal)	20
Rastra de dientes (tracción animal)	6
Rastra de discos (tracción animal)	4
Sembradora de una hilera de frijol (tracción animal)	10
Sembradora de frijol (plantadora manual) "matraca"	16
Sembradora de una hilera de maíz (tracción animal)	6
Sembradora de maíz (plantadora manual) "matraca"	8
Sembradora de una hilera de arroz (tracción animal)	11
Sembradora de arroz (plantadora manual) "matraca"	18
Cultivador tipo "planet" (tracción animal)	8
Cultivador tipo "planet" (tracción animal) + azada manual	40
Azada manual (carpida)	80
Cosecha manual de maíz (40 bolsas)	60
Cosecha manual de frijol (15 bolsas)	80
Cosecha manual de arroz, corte con pequeña guadaña manual (35 bolsas)	64
Trilla de frijol con taco de madera (manual) (15 bolsas)	30
Trilla de arroz manual con "girau" (cama de madera), (35 bolsas)	35

- En el cálculo del número de horas necesarias para preparar una hectárea, con tracción mecánica o animal, se tienen que considerar los siguientes parámetros: ancho de trabajo, velocidad de avance de los implementos y longitud del área. La ecuación (1) se aplica para calcular el tiempo usado en maniobras (Tm).

$$T_m = \frac{L}{3600} \times t \times f \quad (\text{ec. 1})$$

donde:

T_m = tiempo usado en maniobras (h/ha);
 L = ancho del área (m);
 t = tiempo
 l = ancho de trabajo del implemento (m)
 f = factor $\left(\frac{100}{L}\right)$

- El tiempo efectivo (h/ha) es calculado en base a la ecuación (2).

$$T_e = \frac{10}{l \times V \times 3} \quad (\text{ec. 2})$$

donde:

T_e = Tiempo efectivo (h/ha);
 l = ancho de trabajo del implemento(m);
 V = velocidad de avance del implemento(km/h).

- El tiempo operativo(h/ha) es la suma de ($T_m + T_e$) según la ecuación (3).

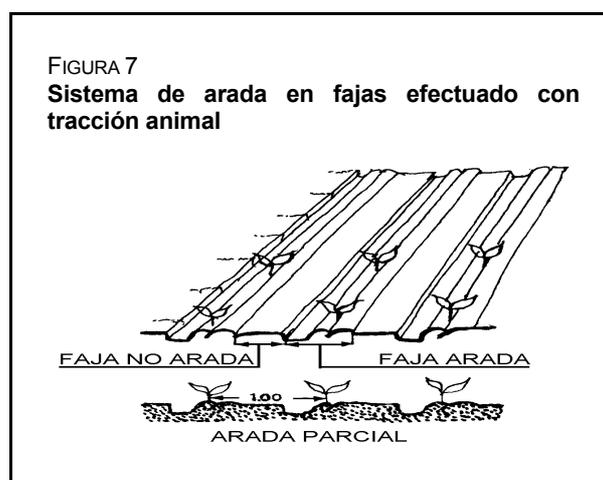
$$T_o = T_m + T_e \quad (\text{ec. 3})$$

donde:

T_o = tiempo operativo (h/ha);
 T_m = tiempo usado en maniobras(h/ha);
 T_e = tiempo efectivo de trabajo(h/ha).

IMPLEMENTOS PARA LA PREPARACIÓN DEL SUELO

- Los arados más comunes son los de tracción animal (reja) y los de tracción motora (reja o de discos), aunque la eficiencia del trabajo reside más en la elección del método de preparación del suelo, que en el implemento (Figura 7). La arada en fajas, es un método donde apenas el 50% del área es movida; la parte no arada entre dos fajas es la responsable por la colección y conducción del agua de lluvia hasta la zona de plantación (Anjos *et al.*, 1988).



La Figura 8 presenta la punta tipo pata de ganso utilizada para la cosecha de maní. Otra forma es arar en fajas con arados de discos reversibles, traccionado por tractores de neumáticos, para implantación del cultivo de sandía en condiciones de secano.

- Las rastras son equipos utilizados para completar el trabajo hecho por el arado, rompiendo los terrones y nivelando el suelo después de la arada; algunos modelos más pesados (tracción motora) denominados de arado rastra, son utilizados con frecuencia, pero su uso continuado como implemento de preparación del suelo en substitución del arado, tiende a degradar el suelo causando su compactación, conocida como pie de rastra (o piso de arado). Las piezas de las rastras que remueven el suelo son los dientes (fijos o flexibles) o los discos (lisos o recortados) y puede ser con tracción animal o tracción motora.
- Los cultivadores son utilizados para escarificar superficialmente el suelo, con la finalidad de controlar malezas y mejorar sus condiciones físicas (Figura 9). Esa operación puede ser considerada el cultivo mínimo del suelo, cuando es efectuada antes de la siembra o en post-plantación en los trabajos culturales (carpidas).
- El surcador tiene por finalidad la abertura de surcos en el suelo (Figura 10), ya sea para la conducción del agua, orientar y/o marcar las líneas de siembra para distribuir abonos o efectuar trabajos culturales para el control de malezas. Es posible acoplar surcadores a las sembradoras, con el objetivo de realizar simultáneamente las operaciones de siembra y apertura de surcos de regadío (Franz y Alonço, 1986).
- Las sembradoras o sembradoras abonadoras son equipos individuales (sembradora) o múltiples (sembradora y abonadora) para efectuar el trabajo en una sola operación: la distribución de semillas o de abonos y semillas en el suelo, en la cantidad prefijada y a la profundidad adecuada. Los modelos de tracción animal

FIGURA 8
Punta arrancadora de maní tipo pata de ganso



FIGURA 9
Sistema de carpida con tracción animal

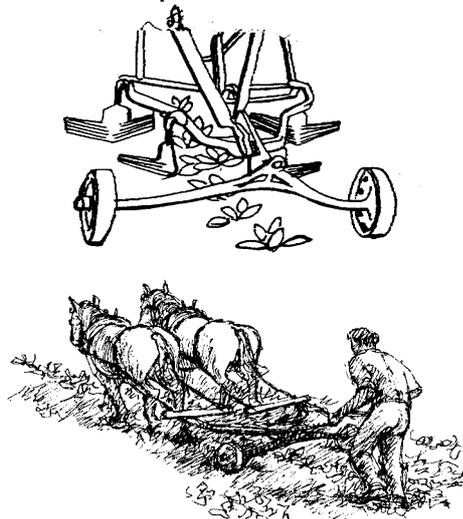
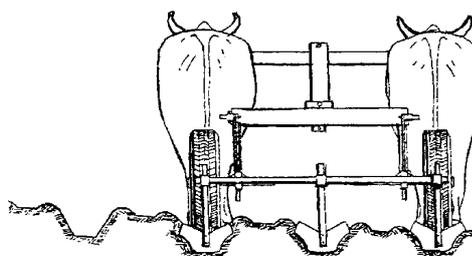


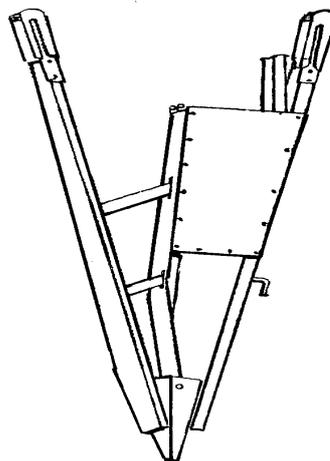
FIGURA 10
Surcamiento con tracción animal



y los de tracción motora, distribuyen las semillas y abonos linealmente formando la línea de plantación; la faja de distribución del fertilizante está localizada paralelamente y por debajo de las semillas, a fin de que el abono no dañe la germinación de las mismas.

- Las plantadoras manuales son equipos destinados a la siembra en hoyos; pueden ser simples sólo para semillas, o múltiples para semillas y abonos en una sola operación (Figuras 11). El abono se coloca en el hoyo lateralmente y por debajo de las semillas para no perjudicar la germinación de las mismas. Hay modelos específicos para ciertos cultivos, como es el caso de las semillas de algodón con borra, semillas de maní sensibles a daños mecánicos y adaptaciones especiales para siembra de gramíneas como pasto búfel (*Cenchrus ciliaris L.*) (Anjos *et al.*, 1983) o para la plantación directa sobre rastrojo u otro tipo de cobertura vegetal (Almeida, 1993).

FIGURA 11
Plantadora manual para semillas de algodón con borra



Capítulo 7

Efecto de la labranza sobre las características físicas del suelo

Los sistemas de cultivo, que son definidos por el conjunto de los sistemas de labranza y de manejo de los cultivos y de sus residuos, tienen una influencia importante en las propiedades físicas del suelo. En gran parte, el tipo y la magnitud de esta influencia depende de la labranza del suelo.

La labranza del suelo es hecha con el propósito de alterar sus propiedades físicas y posibilitar a las plantas la expresión de todo su potencial. Las técnicas de labranza del suelo son utilizadas a fin de proporcionar una buena sementera y desarrollo de raíces, controlar malas hierbas, manejar los residuos de los cultivos, reducir la erosión, nivelar la superficie para el plantío, riego, drenaje, trabajos culturales y operaciones de cosecha e incorporar fertilizantes o pesticidas. La labranza incorrecta del suelo, causada por la falta de conocimiento de los objetivos y de las limitaciones de las técnicas de labranza, puede resultar negativa para el mismo. La labranza incorrecta del suelo es una de las causas de la erosión y de la degradación física del suelo.

La degradación física del suelo puede ser definida como la pérdida de la calidad de la estructura del suelo. Esa degradación estructural puede ser observada tanto en la superficie, con el surgimiento de finas costras, como bajo la capa arada, donde surgen capas compactadas. Con esa degradación, las tasas de infiltración de agua en el suelo se reducen, mientras las tasas de escorrentía y de erosión aumentan (Cabeda, 1984).

CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN FÍSICA DEL SUELO

Las principales causas de la degradación de las características físicas del suelo son (Cabeda, 1984):

- Cobertura inadecuada de la superficie del suelo, que expone los agregados de la superficie del suelo a la acción de lluvias; como consecuencia ocurre el colapso estructural de estos agregados, formándose costras con espesor medio de un milímetro que reducen drásticamente la infiltración de agua.
- Excesiva labranza y/o labranza con humedad inadecuada: la labranza en exceso y superficial lleva a la rotura de los agregados, favoreciendo la formación de costras, escurrimiento y el transporte de partículas (erosión). La reducción de la rugosidad provocada por la labranza

induce a una elevación de la velocidad del escurrimiento y a la disminución de la tasa de infiltración, aumentando los efectos erosivos por la mayor energía cinética del agua en la superficie del suelo. A su vez, la utilización de equipos inadecuados y pesados y el pasaje de maquinaria sobre el suelo cuando este presenta consistencia plástica lleva al surgimiento de capas compactadas subsuperficiales, normalmente situadas entre 10 y 30 cm de profundidad y con un espesor de 10 a 15 cm. Esas capas ofrecen fuerte resistencia a la penetración de las raíces de las plantas y restringen la capacidad de infiltración de agua y la aireación.

- Pérdida de la materia orgánica del suelo: el manejo inadecuado lleva a una reducción del contenido de materia orgánica del suelo, teniendo como consecuencia alteraciones en su densidad, en la capacidad de retención de agua y en la estabilidad de los agregados, que contribuyen a la pérdida de su calidad y de la estabilidad de su estructura.

ETAPAS DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN FÍSICA DEL SUELO

La degradación de los suelos agrícolas ocurre en tres etapas (Mielniczuk y Schneider, 1984):

Etapa 1 Las características originales del suelo son destruidas gradualmente; la degradación es poco perceptible debido a la poca intensidad de los procesos y al mantenimiento de la productividad por el uso de correctivos y fertilizantes.

Etapa 2 Ocurren pérdidas acentuadas de la materia orgánica del suelo, con fuerte daño de la estructura (colapso estructural). Hay, además de encostramiento superficial, compactación subsuperficial, que impide la infiltración del agua y la penetración de raíces. De esta forma, la erosión se acentúa y los cultivos responden menos eficientemente a la aplicación de correctivos y fertilizantes.

Etapa 3 El suelo está intensamente dañado, con gran colapso del espacio poroso. La erosión es acelerada y hay dificultad de operación de la maquinaria agrícola. La productividad cae a niveles mínimos.

El tiempo para llegar a esa tercera etapa de degradación depende de la intensidad de uso de prácticas inadecuadas de labranza y manejo, de la pendiente de las tierras, de la textura del suelo y de la resistencia del suelo a la erosión hídrica (Mielniczuk y Schneider, 1984).

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS AFECTADAS POR LA LABRANZA

La pérdida de la calidad física de un suelo puede ser evaluada por la alteración de algunas de las más importantes características físicas del suelo, tales como la densidad, la porosidad, la distribución del tamaño de poros, la estructura y la tasa de infiltración de agua en el suelo.

Densidad y porosidad del suelo

Los suelos poseen naturalmente diferentes densidades debido a variaciones de la textura, de la porosidad y del contenido de materia orgánica. Brady (1974) cita que suelos arenosos poseen una densidad del suelo de 1,20 a 1,80 g/cm³ y una porosidad de 35 a 50%, mientras que suelos arcillosos poseen una densidad de 1,00 a 1,60 g/cm³ y una porosidad de 40 a 60%. Sin embargo la densidad y la porosidad del suelo son características que pueden variar en función del tipo y de la intensidad de labranza, siendo por eso buenos indicadores de lo adecuado de los sistemas de labranza del suelo, indicando la mayor o menor compactación que estos promueven.

Los valores adecuados de la densidad del suelo fueron definidos por Archer y Smith (1972), como aquellos que proporcionan la máxima disponibilidad de agua y por lo menos 10% de espacio de aire en un suelo sometido a una succión de 50 mb. Según esos autores, las densidades del suelo oscilan alrededor de 1,75 g/cm³ para suelos de textura arena franca, 1,50 g/cm³ para suelos franco arenosos, 1,40 g/cm³ para suelos franco limosos y 1,20 g/cm³ para franco arcillosos.

Las modificaciones de las propiedades físicas del suelo a causa de los sistemas de labranza pueden dar origen a una elevación de la densidad del suelo, una mayor resistencia a la penetración de las raíces y a una disminución en la porosidad, caracterizándose por una capa compactada abajo de la capa arada. Esa capa compactada afecta el movimiento del agua y el desarrollo del sistema radicular por el impedimento mecánico, por la deficiencia de aireación, por la menor disponibilidad de agua y por alteraciones en el flujo de calor.

La capa compactada tiene origen en la base de la capa arable. La profundidad en la que esa se encuentra tiene mayor o menor efecto sobre el desarrollo del cultivo; capas compactadas a diferentes profundidades tienen efecto negativo diferenciado sobre el rendimiento de los cultivos: el efecto es más negativo a 10 cm que a 20 o 30 cm de profundidad. (Lowry *et al.*, 1970).

Como consecuencia de la elevación de la densidad, hay una elevación de la resistencia a la penetración de las raíces mucho más significativa que el aumento de la densidad. Voorhes *et al.* (1978), trabajando en un suelo franco arcillo-limoso, observó, bajo el mismo peso de vehículos, que la densidad del suelo aumentó 20%, mientras que la resistencia a la penetración aumentó más de 400%. Los valores de resistencia a la penetración de las raíces que limitan el desarrollo de las plantas varían de un cultivo a otro.

La importancia de las alteraciones producidas por los sistemas de cultivo sobre la densidad del suelo, porosidad y resistencia a penetración es destacada en el trabajo de Cintra (1980), que observó que el suelo en un monte, comparado con el mismo suelo bajo sistemas de labranza convencional, tiene mayor porosidad y menor densidad y resistencia a la penetración de raíces. França da Silva (1980) encontró una disminución en la porosidad y aumento en la densidad del suelo y en la resistencia a la penetración, en el siguiente orden: suelo bajo bosque, área cultivada con tracción animal, área bajo plantío directo, área desbrozada con tractor con tapadora y área bajo cultivo convencional (Cuadro 11). Cannell y Finney (1973) afirman que, generalmente, la densidad del suelo es mayor bajo plantío directo que bajo cultivo convencional, pudiendo no ocurrir eso debido a la textura grosera y/o al alto tenor de materia orgánica de estos suelos. Por eso, se observa que estos índices son útiles para la evaluación del efecto de los diferentes sistemas de cultivo e identifican las condiciones físicas actuales de un suelo.

CUADRO 11
Efecto de sistemas de labranza sobre la densidad y la porosidad del suelo (França da Silva, 1980)

Labranza	Profundidad (cm)	Densidad del suelo (g/cm ³)	Porosidad (%)
Monte	2-15/20	1,01	64,7
	15/20-35	1,28	56,6
	35-60	1,22	57,9
Tracción animal	0-10	1,04	63,1
	10-30	1,18	59,6
	30-56	1,21	58,9
Plantío directo	0-15	1,40	51,6
	15-30	1,41	51,7
	30-60	1,22	57,9
Desbrozado con tractor con topadora	0-15/30	1,33	52,7
	15/30-55	1,53	46,1
	55-110	1,44	49,6
Labranza convencional	0-10	1,17	60,3
	10-18	1,44	51,4
	18-45	1,22	59,1

Estructura del suelo

La estructura del suelo está dada por la ordenación de las partículas primarias (arena, limo y arcilla) en la forma de agregados en ciertos modelos estructurales, que incluyen necesariamente el espacio poroso. Aunque no sea considerada un factor de crecimiento para las plantas, la estructura del suelo ejerce influencia en el aporte de agua y de aire a las raíces, en la disponibilidad de nutrimentos, en la penetración y desarrollo de las raíces y en el desarrollo de la macrofauna del suelo.

Desde el punto de vista del manejo del suelo, una buena calidad de la estructura significa una buena calidad del espacio poroso, o sea, buena porosidad y buena distribución del tamaño de poros. Así, la infiltración del agua, juntamente con la distribución de raíces en el perfil son los mejores indicadores de la calidad estructural de un suelo (Cabeda, 1984).

El tamaño y la estabilidad de los agregados pueden ser indicativos de los efectos de los sistemas de labranza y de cultivo sobre la estructura del suelo. Suelos bien agregados proporcionan mayor retención de agua, adecuada aireación, fácil penetración de raíces y buena permeabilidad.

La distribución de los tamaños de los agregados es uno de los factores importantes en el desarrollo de los cultivos. Según Larson (1964), los agregados deben ser de tamaño reducido alrededor de las semillas y raíces de plantas nuevas, con la finalidad de proporcionar una adecuada humedad y un perfecto contacto entre el suelo, la semilla y las raíces. Sin embargo, los agregados no deben ser tan pequeños al punto de favorecer la formación de costras y capas compactadas. Para Kohnke (1968), el tamaño ideal de agregados está entre 0,50 y 2,00 mm de diámetro; agregados mayores restringen el volumen de suelo explorado por las raíces y agregados menores originan poros muy pequeños y no drenables por acción de la gravedad. La desagregación del suelo es causada por el movimiento intenso del suelo a causa de las prácticas de labranza, por la reducción del tenor de materia orgánica, por el intenso pisoteo del ganado y por el impacto de la gota de lluvia sobre la superficie desprotegida.

El contenido de humedad del suelo en el momento de la labranza es un factor que determina la intensidad de desagregación del mismo. El efecto perjudicial del peso de la maquinaria agrícola y la labranza excesiva del suelo, bajo condiciones de humedad desfavorables, tiende a ser acumulativo, intensificándose con la secuencia de labranzas anuales.

La desagregación del suelo puede ser reducida por su menor labranza, por la rotación de cultivos y por la protección de la superficie del suelo con residuos de cultivos. Así, las pasturas facilitarán una mejor agregación del suelo, seguida por el plantío directo y por el cultivo convencional.

Tasa de infiltración de agua en el suelo

La tasa de infiltración de agua en el suelo determina la rapidez de infiltración del agua en el mismo y, como consecuencia, el volumen de agua que escurre sobre la superficie. Cuando la tasa de infiltración es baja, la disponibilidad de agua en la zona de las raíces puede ser limitante. La tasa de infiltración de agua en el suelo es condicionada por los siguientes factores: estado de la superficie del suelo, tasa de transmisión de agua a través del suelo, capacidad de almacenamiento y características del fluido. La infiltración de agua en el suelo refleja las condiciones de las propiedades físicas. Los sistemas de cultivo y labranza influyen la tasa de infiltración final del

agua en el suelo, tanto por la modificación de la rugosidad y cobertura de la superficie, como por la alteración de la estructura, de la densidad y de la porosidad.

La labranza del suelo puede, inicialmente, mejorar la infiltración y, algunas veces, beneficiar el drenaje. Pero, con el tiempo, la labranza favorece la degradación de la estructura y la reducción de la tasa de infiltración.

Capítulo 8

Los principales tipos de labranza

TERMINOLOGÍA, DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LABRANZA

Existe confusión en la literatura acerca de la terminología de la labranza, porque muchos de los términos utilizados son muy generales, y porque además existe un gran número de diferentes sistemas que varían en los implementos, las combinaciones de los implementos y las intensidades de laboreo. Más aún, los autores utilizan los mismos términos para sistemas distintos.

La mayor confusión existe entre los términos labranza conservacionista, labranza reducida y labranza mínima.

La labranza conservacionista es un término general que ha sido definido como "*cualquier secuencia de labranzas que reduce las pérdidas de suelo y agua, en comparación con las de la labranza convencional*" (Lal, 1995). Normalmente se refiere a un sistema de labranza que no invierte el suelo y que retiene rastrojos sobre la superficie. El porcentaje de rastrojos que permanecen después de diferentes sistemas de labranzas se presentan en el Cuadro 12. Otra definición de labranza conservacionista utilizada es "*cualquier sistema de labranza o siembra que mantenga al menos 30% de la superficie del suelo cubierta con residuos después de la siembra, para reducir la erosión hídrica*" (Unger *et al.*, 1995).

Sin embargo, en algunas situaciones, especialmente en zonas semiáridas, no existen rastrojos u otros materiales suficientes para dar una cobertura protectora al suelo. Esto puede ser debido a la baja producción de rastrojos por razones de clima o de suelo, o porque los rastrojos son utilizados para otros propósitos como forraje, o porque son consumidos por los termites. En esta situación se pueden reducir las pérdidas de humedad y de suelo en comparación con las de labranza convencional, por la formación de estructuras como camellones y surcos. El sistema de la labranza en camellones puede ser considerado como un sistema de labranza conservacionista (Lal, 1995), aunque sería más consistente si hubiera una cobertura de rastrojos.

Usando la primera definición, la labranza conservacionista incluiría los siguientes sistemas:

- La labranza cero (sinónimo de siembra directa y de no labranza) se refiere a la siembra dentro de los rastrojos del cultivo anterior sin ninguna labranza o disturbio del suelo, salvo lo

necesario para colocar la semilla a la profundidad deseada. El control de las malezas depende mayormente del uso de herbicidas.

CUADRO 12

Cantidad de residuos que permanecen sobre el suelo después de diferentes labranzas (Steiner et al., 1994)

Implemento	Cobertura de residuos (%)	
	Cultivos no-frágiles ¹	Cultivos frágiles ²
Arado de vertedera	0-10	0-5
Arado de discos	10-20	5-15
Subsolador	70-90	60-80
Arado cincel con puntas	60-80	40-60
Arado cincel rastrojero con puntas	50-70	30-40
Rastra de discos, tándem, rastra pesada	25-50	10-25
Rastra de discos, una dirección, hojas de 30-40 cm	40-50	20-40
Cultivador de campo con puntas pie de ganso	60-70	35-50
Rastras de discos para final con niveladores	50-70	30-50
Arado rotatorio, operación secundaria a 8cm profundidad	40-60	20-40

¹ Cultivos no-frágiles incluyen: cebada, trigo, maíz, algodón, avena, pastos, arroz, sorgo.

² Cultivos frágiles incluyen: frijoles, cultivos de cobertura, maní, papas, cártamo, soya, girasol, hortalizas.

- La labranza en bandas se refiere a un sistema donde se preparan hileras para la siembra de 5-20 cm de ancho, mientras entre las hileras no se disturba el suelo y queda con su cobertura de rastrojos. En este sistema hay mayor remoción del suelo y una menor cobertura de rastrojos en las hileras de siembra que en la labranza cero.
- La labranza vertical se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con implementos que no invierten el suelo y causan poca compactación. Por lo tanto, el suelo queda normalmente con una buena cobertura de rastrojo de más de 30% sobre la superficie. Los implementos más comúnmente utilizados son el arado de cincel, la cultivadora de campo y el vibrocultivador.
- La labranza en camellones se refiere al sistema de camellones y surcos. Los camellones pueden ser angostos o anchos, y los surcos pueden ser paralelos al contorno o contruidos con una ligera pendiente dependiendo de si el propósito es conservar la humedad o drenar su exceso. Los camellones pueden ser semi-permanentes o contruidos cada año, lo que afectará la cantidad de rastrojos que queda sobre el suelo. En los sistemas semi-permanentes que tienen una buena cobertura de rastrojos entre los camellones, habrá más remoción y menor cobertura de rastrojos en comparación con la labranza cero. En general este sistema es menos conservacionista que la labranza en bandas.
- La labranza reducida se refiere al cultivo de toda el área del suelo pero con la eliminación de uno o más laboreos en comparación con los sistemas convencionales de labranza. Esto se refiere a un rango amplio de sistemas distintos, como por ejemplo:
 - rastra de discos o cultivadora, luego sembrar;
 - arado de cinceles o cultivadora, luego sembrar;
 - rotocultor, luego sembrar.

Dependiendo de los implementos utilizados y el número de pasadas, la labranza reducida puede ser clasificada como un sistema conservacionista o no conservacionista según la cobertura de rastrojos que queda al momento de la siembra. Por lo tanto, no todos los sistemas de labranza reducida son sistemas conservacionistas. De los tres ejemplos citados anteriormente, es probable que solamente el arado de cinceles o cultivadora luego de sembrar, pudiera ser clasificado como un sistema conservacionista.

La labranza mínima es el concepto que ha causado mayor confusión. Ha sido definido como "la remoción mínima del suelo necesaria para la producción de cultivos..."; pero el laboreo

mínimo para producir un cultivo varía de cero hasta un rango de labranzas primarias y secundarias dependiendo del cultivo y del tipo de suelo. A veces este término significa labranza en bandas o el arado del suelo al final de las lluvias. Para algunos autores este término es sinónimo de labranza conservacionista, para otros es sinónimo de labranza cero, o es igual a labranza reducida. Para evitar confusión se sugiere no usar el término labranza mínima.

La labranza convencional involucra la inversión del suelo, normalmente con el arado de vertedera o el arado de discos como labranza primaria, seguida por labranzas secundarias con la rastra de discos. El propósito principal de la labranza primaria es controlar las malezas por medio de su enterramiento, y el objetivo principal de la labranza secundaria es desmenuzar los agregados y crear una cama de siembra. El control de malezas siguiente se puede hacer por medio de cultivaciones o herbicidas. La característica negativa de este sistema es que al suelo le falta una protección de rastrojos y queda casi desnudo, por lo tanto es susceptible a las pérdidas de suelo y agua debido a los procesos de erosión.

Una manera de visualizar la terminología de las labranzas es imaginar un triángulo (ver Figura 12). En la base se encuentra la labranza convencional que incluye un rango completo de operaciones para la preparación de la tierra. Cuando el triángulo se hace más angosto el número de labranzas disminuye, lo que corresponde a la labranza reducida. En el vértice del triángulo la preparación de la tierra está eliminada completamente como en la labranza cero. También se pueden clasificar las labranzas en base al grado de remoción del suelo y a la cobertura de rastrojos que queda a la siembra (Ver Cuadro 13).

CUADRO 13

Sistemas de labranza clasificados en base del grado de remoción del suelo y de la cobertura de rastrojos

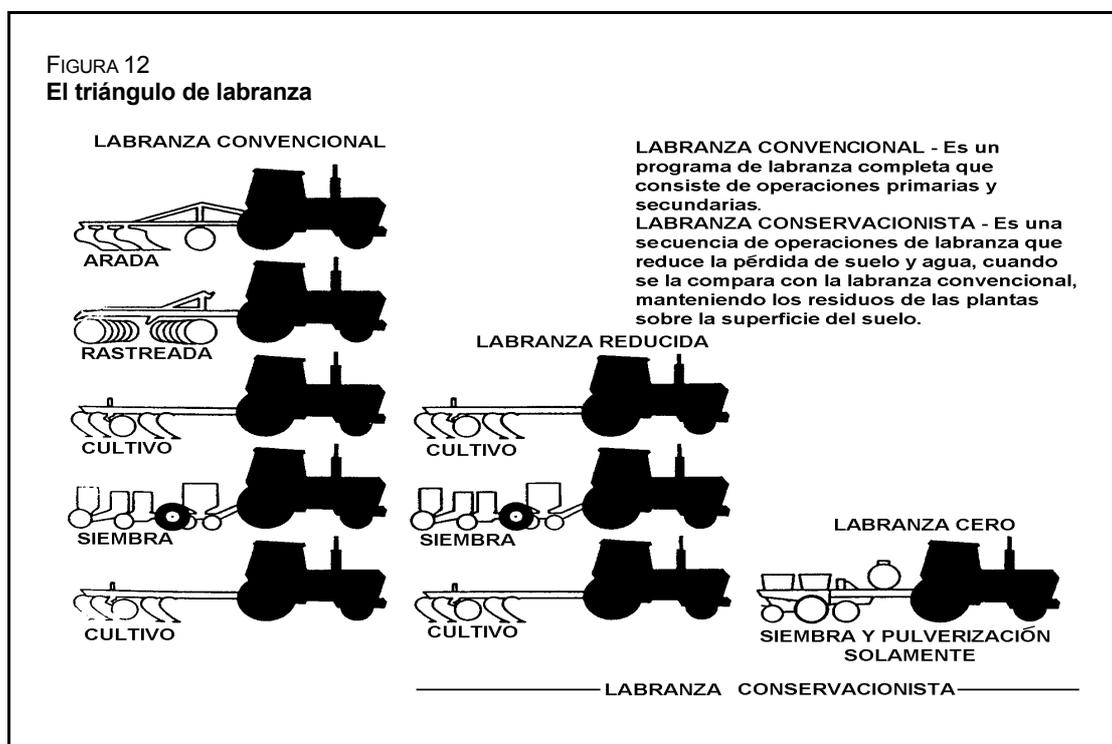
Labranza convencional		Labranza no conservacionista	Labranza conservacionista				
Arado vertedera	Arado de discos	Labranza reducida	Labranza reducida	Labranza en camellones	Labranza vertical	Labranza en bandas	Labranza cero
----->							
Menor remoción en intensidad y frecuencia del suelo							
----->							
Mayor cobertura de rastrojos							

LOS TIPOS PRINCIPALES DE SISTEMAS DE LABRANZA

Los sistemas de labranza más importantes serán tratados a continuación en más detalle, o sea: labranza convencional, labranza reducida, labranza en camellones, labranza vertical, labranza en bandas, labranza cero y los sistemas combinados de labranza-siembra y labranza profunda o subsolación.

Labranza convencional

El principio de la labranza convencional se basa en la inversión del suelo con el objetivo de controlar las malezas, seguido por varias operaciones para la preparación de la cama de siembra.



Ventajas

- Controla muy bien las malezas, menor costo de herbicidas.
- Permite el control de enfermedades e insectos al enterrar los rastrojos de los cultivos.
- Facilita la incorporación de fertilizantes, cal, pesticidas y herbicidas pre-siembra.
- Facilita el aflojamiento del perfil, de capas compactadas y costras.
- Apto para la incorporación de pastos en sistemas de rotaciones de cultivos.
- Crea una superficie rugosa que mejora la infiltración de la lluvia con solamente una arada.

Limitaciones

- Los suelos quedan desnudos, y por lo tanto susceptibles al encostramiento y a la erosión hídrica y eólica.
- Requieren muchos equipos para las diferentes operaciones.
- Para ahorrar tiempo a menudo se utilizan tractores pesados y grandes que aumentan la compactación.
- Mayor consumo de combustible, tarda más para sembrar y es menos flexible cuando la época de siembra está perjudicada por el clima.
- El subsuelo puede eventualmente llegar a la superficie lo cual a su vez, si las características físicas y químicas del subsuelo no fueran favorables, podría provocar problemas de germinación y del crecimiento inicial del cultivo.
- La inversión y las muchas labranzas del suelo resultan en un suelo blando y susceptible a la compactación.

- La base de la vertedera alisa el suelo resultando en el tapado de los poros lo que perjudica la permeabilidad de la capa superficial.
- Al arar cada año a la misma profundidad se forma una zona compactada, el “piso de arado”. Esto es común cuando la superficie del suelo está seca pero el contenido de humedad a 20 cm de profundidad es aún alto.
- El alto número de labranzas para preparar la cama de siembra resulta en la pérdida de humedad; aunque al comienzo de las labranzas el suelo tuviera un contenido de humedad apropiado para la germinación, al terminar la preparación de la cama de siembra podría estar demasiado seco para poder sembrar; entonces hay que esperar otra lluvia antes de poder sembrar.

La maquinaria

Se requiere un arado de vertedera o un arado de discos para la labranza primaria. Un arado de vertedera reversible aumenta la eficiencia del trabajo. Después de la labranza primaria se necesita una rastra de discos y a veces también una rastra de dientes. Se utiliza una sembradora convencional y para el control de malezas se requieren una aspersora y/o cultivadores de hileras.

Operaciones

Con el arado de vertedera o con el arado de discos se logra la inversión de la primera capa del suelo, normalmente hasta una profundidad de unos 30 cm. Luego se hacen varias pasadas con rastra de discos, cuyo número dependerá de la textura y contenido de humedad del suelo, hasta formar agregados de un tamaño apropiado para la cama de siembra. Como una guía general, para evitar o demorar la formación de costras superficiales, la preparación del suelo debería dejar agregados del tamaño de una naranja (6-8 cm de diámetro) en los suelos livianos a medianos, y agregados del tamaño de un huevo pequeño de gallina (4-5 cm de diámetro) en los suelos pesados.

Si es necesario emparejar el terreno se pasa una rastra de dientes. No es aconsejable utilizar un tablón de madera en suelos livianos a medianos porque provoca la pulverización del suelo, pero se puede utilizar sin embargo en suelos pesados. Sería mejor usar una placa niveladora montada en la rastra para hacer un buen emparejamiento.

En muchos cultivos se aplica un herbicida pre-siembra incorporado, con la última pasada de la rastra de discos o la rastra de dientes. Para la siembra se utiliza una sembradora convencional que debería estar equipada con ruedas de presión en lugar de una cadena para cubrir la semilla. Si la sembradora tiene cadenas para cubrir la semilla es necesario preparar el suelo más mullido para conseguir una buena germinación; sin embargo el suelo mullido es más susceptible al encostramiento y por eso a la erosión hídrica.

Labranza reducida

Los términos labranza reducida se refieren a los sistemas de labranza donde hay menor frecuencia o menor intensidad de labranza en comparación con el sistema convencional. Esta definición es bastante amplia y por lo tanto los sistemas de labranza que varían en los implementos, frecuencia, e intensidad pueden ser considerados como la labranza reducida. Los tipos de implementos y el número de pasadas también varía; la consecuencia es que en algunos sistemas quedan muy pocos rastros y en otros más de 30%. Por ello, algunos sistemas de labranza reducida son clasificados como labranza conservacionista mientras que otros no. En general, los sistemas de labranza reducida no ocupan el arado de vertedera ni el arado de discos.

Debido a la gran variabilidad de los sistemas de labranza reducida es difícil generalizar sobre sus ventajas y limitaciones. Sin embargo todos los sistemas tienen la ventaja de reducir el consumo de combustible, el tiempo de trabajo y los equipos requeridos en comparación con la labranza convencional. Por lo tanto los sistemas de labranza reducida son más flexibles que los sistemas convencionales. Debido a la roturación del suelo las condiciones de germinación de las semillas son mejores que en labranza cero; además hay mayor flexibilidad en el control de malezas, por medio de cultivaciones y/o herbicidas, en comparación con labranza cero.

A continuación se discuten brevemente los tres sistemas de labranza reducida:

Con rastra de discos

En este sistema se hacen una o dos pasadas de rastra de discos, luego se siembra normalmente con una sembradora convencional. Las ventajas están en el ahorro en combustible y tiempo, y en la formación de condiciones favorables para la germinación.

Las limitaciones son que muchas veces queda una baja cobertura de rastrojos aunque eso depende del ángulo de los discos y el número de pasadas. Cuanto mayor es el ángulo de los discos, mayor será la remoción del suelo y menor la cobertura de rastrojos; de esta manera los suelos quedan susceptibles al encostramiento. En suelos susceptibles a la compactación, se hacen varias pasadas con la rastra de discos a la misma profundidad (normalmente 10-15 cm) cada año; esto resultará en la formación de un piso de arado. La labranza poco profunda dificulta el control mecánico de las malezas y entonces es necesario confiar más en el uso de herbicidas.

Con arado de cincel o cultivador de campo

Este sistema consiste en dos pasadas del arado cincel o del cultivador de campo y luego la siembra. Normalmente una pasada con el arado cincel no afloja todo el terreno. Las ventajas son las mismas mencionadas anteriormente, pero además aumentará la infiltración de la lluvia especialmente en suelos susceptibles a la compactación y el endurecimiento. Normalmente con este sistema queda una cobertura de rastrojos mayor del 30%, por lo que el sistema es considerado conservacionista y da protección al suelo contra la erosión.

Las limitaciones son que las condiciones físicas del suelo y las ondulaciones superficiales dificultan la siembra y por lo tanto la germinación. También existe una cierta dificultad para incorporar uniformemente los herbicidas pre-siembra.

Con rotocultor

Este sistema tiene las mismas ventajas de los sistemas citados arriba. La mayor limitación es que el rotocultor tiende a pulverizar los suelos y dejar una baja cobertura de rastrojo sobre el mismo, el que queda así en condiciones susceptibles al encostramiento. Además, se puede provocar la formación de un piso de arado con el paso de tiempo.

Labranza vertical

Introducción

La siguiente sección ha sido tomada de la publicación "Labranza Vertical" escrito por Barber, Navarro y Orellana (1993), para los agricultores, suelos y clima del área de Santa Cruz, Bolivia. Santa Cruz se encuentra dentro del trópico sub-húmedo y está caracterizada por dos épocas de lluvia y dos cultivos por año. En la segunda época, el invierno, hay menos lluvia y temperaturas más bajas que en la primera época, el verano.

La principal característica de la labranza vertical es que utiliza brazos o flejes equipados con puntas en lugar de discos para aflojar el suelo sin invertirlo, dejando en la superficie una cobertura protectora formada por los residuos del cultivo anterior y por las malezas arrancadas.

Los implementos principales en la labranza vertical son el arado cincel rastrojero (Figura 13), el vibrocultivador (Figura 14), y el cultivador de campo rastrojero (Figura 15). Se debe notar que la terminología empleada para los implementos ilustrados sigue la usada por los fabricantes o aquella mas comúnmente usada. Las ilustraciones sirven para clarificar las definiciones empleadas.

Ventajas de la labranza vertical

La labranza vertical sostiene mejor la productividad de los suelos debido a la presencia de los rastrojos en la superficie que protegen el suelo contra los procesos de erosión. Esta cobertura de rastrojos también impide la formación de costras superficiales (planchado) que pueden provocar una baja emergencia de los cultivos.

Los implementos de labranza vertical causan poca compactación, es decir no forman una capa dura en el subsuelo (piso de arado) que limita la profundización de las raíces. En cambio los discos de labranza convencional ocasionan capas duras.

Debido a que la labranza vertical no invierte el suelo, hay menos descomposición de la materia orgánica y menos pérdida de humedad, que es muy importante antes de la siembra. (Ver Cuadro 14 para un ejemplo de los efectos de la labranza vertical sobre el contenido de humedad en

FIGURA 13
Arado cincel rastrojero

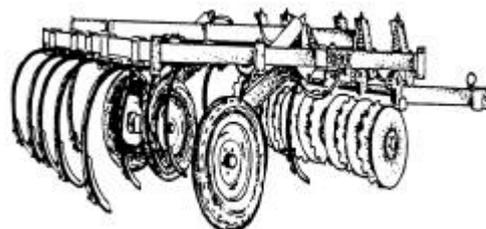


FIGURA 14
Vibrocultivador equipado con placa niveladora y peine de dedos largos

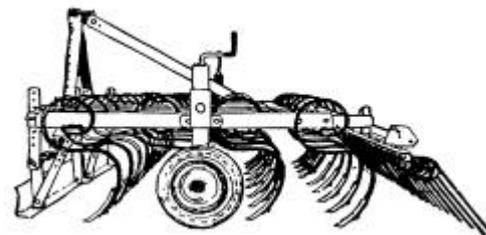
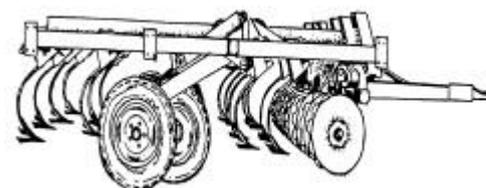


FIGURA 15
Cultivador de campo rastrojero



el suelo, la cobertura de rastrojo y el rendimiento de maíz en comparación con otros sistemas de labranza).

CUADRO 14

Contenido de humedad, cobertura de rastrojos y rendimiento de maíz para cuatro sistemas de labranza en Oxford, North Carolina, EE.UU. en 1985. (Fuente: Cook y Lewis, 1989)

Sistema de labranza	Humedad (%)	Cobertura de rastrojos (%)	Rendimiento de maíz (t/ha)
Labranza cero	13	90	5,77
Labranza vertical	12	33	5,58
Arado cincel disco	9	14	4,70
Labranza convencional	6	3	3,57

La labranza vertical es un sistema ventajoso en un amplio rango de tipos de suelo, inclusive en los que tienen problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación. La eficacia operativa del sistema de labranza vertical es más alta que la de labranza convencional, sobretodo debido a que el vibrocultivador trabaja con mayor velocidad y tiene mayor ancho de trabajo que la rastra de discos. Por consiguiente es posible preparar entre 50 hasta 80% más de superficie por día con labranza vertical, si se la compara con labranza convencional (Ver Anexo 1).

Además, se ha estimado que el costo de adquirir y de mantener los implementos de labranza vertical durante 10 años es por lo menos 25% menor que el de los implementos de labranza convencional. Eso es sobre todo debido a un costo más elevado para el mantenimiento de los discos que de las puntas. (Ver Anexo 2).

Las limitaciones de la labranza vertical

La mayor limitación de la labranza vertical es la dificultad de controlar mecánicamente las malezas estoloníferas y rizomatosas en condiciones húmedas, especialmente las gramíneas, como por ejemplo el pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*). En la labranza vertical los implementos arrancan las malezas y las dejan en la superficie. Si por algunos días no llueve y la superficie del suelo está húmeda rebrotan fácilmente; por eso, en el caso de una parcela muy enmalezada y con pasto Bermuda es mejor no usar la labranza vertical.

Este problema es mucho más grave en los cultivos de maíz y sorgo donde no existen herbicidas (o son antieconómicos) para el control de post-emergencia de malezas gramíneas. En cambio no es un problema serio en la soya, donde existen buenos herbicidas pre-siembra incorporados y de post-emergencia para controlar las gramíneas.

Otra limitación de la labranza vertical es que podría incidir en incrementos de plagas y enfermedades asociadas con los rastrojos que no se entierren completamente. Esto sucedería más probablemente, donde se practica el monocultivo (por ejemplo soya-soya cada año), o debido a la misma sucesión de cultivos cada año, (por ejemplo soya-trigo); sin embargo hasta ahora no hay evidencia de este problema en el área de Santa Cruz.

Pre-requisitos para la implementación de la labranza vertical

La labranza vertical, como cualquier sistema de labranza, da los mejores resultados en suelos fértiles, no compactados, bien drenados, emparejados y sin problemas de malezas. Antes de iniciar la labranza vertical, si el suelo está compactado se debe descompactar, emparejar las parcelas si fuera necesario, y rectificar cualquier deficiencia nutricional que se presente.

También es aconsejable elegir parcelas no enmalezadas con gramíneas, y comenzar con los cultivos de soya de verano y trigo, soya o girasol de invierno. En el caso de trigo, generalmente no

hay problemas serios de malezas gramíneas, y con soya o girasol es fácil controlar las gramíneas con herbicidas de post-emergencia.

Para la implementación exitosa de la labranza vertical es importante que los rastros y las malezas sean bien triturados y uniformemente distribuidos en la parcela. Así se puede evitar el atascamiento en los implementos. Para ello, es recomendable que la cosechadora esté equipada con picadora y distribuidora de paja.

Además, para disminuir el tamaño de los tallos de maíz, sorgo, girasol o algodón que quedan después de la cosecha, es necesario pasar una desbrozadora. Tampoco se debe dejar crecer las malezas en el barbecho. Una vez que alcanzan a unos 15 cm de altura, se debería desbrozar para evitar problemas de competencia de las malezas y de atascamiento de la maquinaria.

La labranza primaria para el cultivo de verano

Se recomienda el uso del arado cincel tipo rastrojero es decir, un arado cincel con discos cortadores de rastrojo delanteros (ver Figura 15) con puntas rectas de aproximadamente 4 a 5 cm de ancho. Los brazos deberían ser distribuidos sobre cuatro barras para reducir las posibilidades de atascamiento y el tractor debería avanzar con una velocidad de 6 a 9 km/h.

El espaciamiento entre los brazos variará con la profundidad del trabajo, el número de pasadas, y la potencia requerida del tractor. Como regla general la profundidad del trabajo debería ser igual al espaciamiento entre los brazos dividido entre 1,1 para lograr un buen aflojamiento de la tierra a todo lo ancho. Si los brazos están muy espaciados, es decir más de 30 cm, es necesario hacer dos pasadas intercaladas. Además, cuando la profundidad del trabajo excede 18 cm, normalmente se requieren dos pasadas, dependiendo de la textura y humedad del suelo. Por lo general se necesitan 9 a 12 HP por cada cincel. Las recomendaciones sobre estas especificaciones se presentan en el Cuadro 15.

CUADRO 15

Características de trabajo del arado cincel rastrojero. (Fuente: Barber *et al.*, 1993)

Espaciamiento entre brazos (cm)	Número de brazos	Profundidad de trabajo (cm)	Número de pasadas	Ancho de trabajo (m)	Potencia mínima del tractor (HP)
21	11	18-20	1	2,31	110
21	13	18-20	1	2,73	130
26-28	9	17-18	2*	2,43	90
26-28	9	24-26	1-2	2,43	90
26-28	11	17-18	2*	2,97	110
26-28	11	24-26	1-2	2,97	110
26-28	13	17-18	2*	3,51	130
26-28	13	24-26	1-2	3,51	130
35	7	18-20	2*	2,45	70
35	9	18-20	2*	3,15	90
35	11	18-20	2*	3,85	110
35	13	18-20	2*	4,55	130

* Cruzadas

Se recomienda trabajar con el arado cincel rastrojero cuando el suelo esté friable, lo que corresponde a un contenido de humedad entre seco y ligeramente húmedo. En esta condición el suelo se desagrega fácilmente y los cinceles romperán los terrones por su acción vibratoria. Además controlará las malezas. Si el contenido de humedad del suelo es demasiado alto, el suelo es más plástico, y los cinceles sólo producirán hendiduras sin desagregar los terrones y sin controlar las malezas. En cambio si el suelo está muy seco, los terrones estarán muy duros y no se desintegrarán.

La primera pasada se debería hacer lo más pronto posible después de la cosecha y de todos modos antes de que las malezas lleguen a 15 cm de altura; así se reducen los riesgos de enmalezamiento y de atascamiento.

En el caso que sea necesaria una segunda pasada para lograr la profundidad deseada y un buen aflojamiento del suelo y desenraizamiento de las malezas de todo el ancho del trabajo, es preferible hacerla al sesgo en la primera, con una inclinación en la dirección de trabajo de 90°, y nunca menos de 30°. Sin embargo, muchas veces esto no es factible porque las parcelas son demasiado largas y angostas.

La segunda pasada se puede hacer el mismo día si la humedad es óptima, pero si el terreno está más húmedo de lo requerido será necesario esperar algunos días para que se seque.

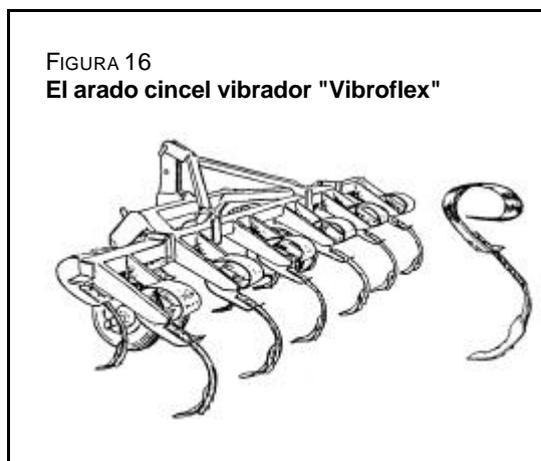
Si el suelo es de textura liviana o mediana con síntomas incipientes de compactación, se aconseja una segunda pasada del arado cincel rastrojero de por lo menos 25 cm de profundidad. Es importante recordar que el arado cincel no es un subsolador. Si el suelo está verdaderamente compactado, será necesario descompactar con dos pasadas cruzadas del subsolador. En esta situación no será necesario hacer las labranzas primarias con el arado cincel rastrojero, sino que se harán las labranzas secundarias directamente.

El uso de otros implementos para la labranza primaria

En lugar de usar un arado cincel rastrojero, se puede utilizar un arado cincel vibrador como el "Vibroflex", (Figura 16), que tiene brazos vibrantes y puntas rectas de 6,5 cm de ancho. Los brazos están espaciados a unos 23 cm y distribuidos en cuatro barras. Este implemento funciona como un arado cincel, pero trabaja más rápidamente debido a que es más liviano y a la vibración de sus brazos.

Además, las vibraciones favorecen el desmenuzamiento de los terrones y el desprendimiento de tierra de las raíces de las malezas. En los suelos livianos y medianos se requieren aproximadamente 6 HP por brazo; para que el tractor funcione en forma óptima, debe trabajar a una velocidad alta, de 8 a 12 km/h; por lo tanto tiene una eficacia operativa mayor que el arado cincel rastrojero. Sin embargo, debido a la falta de discos cortadores delanteros, se pueden encontrar problemas de atascamiento cuando hay grandes cantidades de malezas o rastrojos.

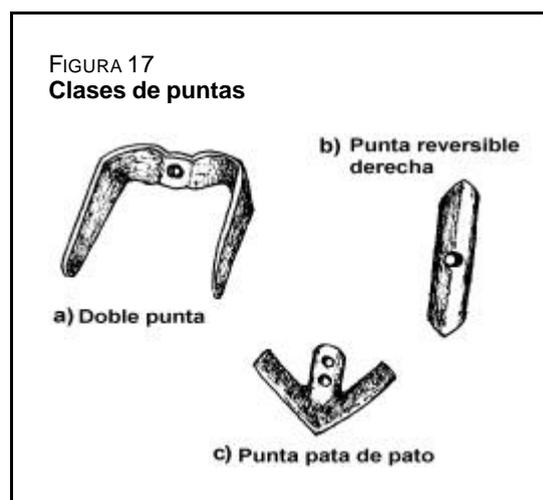
Si no se posee un arado cincel rastrojero, pero se cuenta con el arado cincel común que no tiene los discos cortadores delanteros, es probable que se presenten problemas de atascamiento, especialmente cuando hay abundantes rastrojos o malezas. Sólo será aconsejable usar el arado de cincel común, cuando hay pocos rastrojos y malezas (especialmente malezas del tipo rastrero) y cuando el suelo está friable. Además el tractor tiene que avanzar a una velocidad de 7 a 9 km/h. Una buena opción podría ser un arado cincel rastrojero, o modificar un arado agregándole los discos cortadores y sus resortes de presión.



La labranza secundaria para el cultivo de verano

La función de la labranza secundaria es preparar la cama de siembra desmenuzando los terrones más grandes, arrancando las malezas, emparejando el terreno, y dejando la mayor parte de los rastrojos en la superficie. También sirve para la incorporación de los herbicidas pre-siembra.

Para la labranza secundaria se recomienda el uso del vibrocultivador (ver Figura 16), que reemplaza con ventajas a la rastra liviana de discos en la preparación de la cama de siembra. El vibrocultivador consta de brazos vibratorios, espaciados a unos 10 cm y montados en cuatro barras. En el caso que haya bastante rastrojo y/o malezas, se recomienda aumentar la distancia entre los brazos hasta 15 cm para reducir los riesgos de atascamiento. Se deben usar puntas rectas de unos 3,5 cm de ancho o, si no hay grandes cantidades de rastrojo, puntas dobles (Figura 17).



La profundidad del trabajo aconsejable es de 8-10 cm. Es muy importante hacer estas labranzas con una alta velocidad de 8-12 km/h, para optimizar las vibraciones que sueltan las malezas y desmenuzan los terrones grandes. La acción vibratoria deja los terrones grandes en la superficie, que resiste mejor la formación de costras, y deja agregados más pequeños en la parte inferior, lo que facilita la germinación de las semillas.

El vibrocultivador funciona bien en suelos friables, provocando un buen desmenuzamiento de los terrones, pero con terrones grandes y en condiciones secas, causa muy poca desagregación. Bajo estas condiciones podría ser necesario hacer una pasada con la rastra liviana de discos con discos de no más de 22 pulgadas de diámetro (55 cm) para desmenuzar los terrones más grandes.

Se recomienda hacer una o dos pasadas del vibrocultivador; el número de pasadas depende del control de malezas y el tamaño de los terrones. Para obtener una cama de siembra adecuada en suelos livianos a medianos, los terrones deberán tener un tamaño de 6 a 8 cm de diámetro; en cambio, en suelos pesados, es necesario reducir el tamaño de los terrones hasta 4 o 5 cm de diámetro. Así se obtiene una buena cama de siembra que reducirá los riesgos de encostramiento y facilitará la germinación. Para reducir el tamaño de los terrones en suelos livianos y medianos, se recomienda hacer las labranzas secundarias cuando los suelos están friables. No se recomienda el uso de rodillos tipo canasta ni tipo helicoidal, porque provocarán una pulverización de estos suelos.

Para emparejar el suelo es aconsejable acoplar un peine de dedos largos (Figura 18) o una rastra de dientes (Figura 19) atrás del vibrocultivador. Pero si existe en la superficie una cobertura excesiva de rastrojos, el acoplamiento de estos implementos provocará el arrastre de los mismos. Si las irregularidades superficiales no son muy pronunciadas y no perjudican la siembra, sería mejor no emparejar. En cambio, si el suelo queda muy ondulado o acamellonado después de la labranza primaria y el vibrocultivador no puede emparejar bien, sería aconsejable emparejar con una pasada de la rastra liviana de discos con discos no más de 22 pulgadas (55 cm) de diámetro cuando el suelo está bien seco.

El acoplamiento de una placa niveladora del vibrocultivador (ver Figura 14) no se recomienda para emparejar suelos livianos a medianos debido a que tiende a pulverizar el suelo; sin embargo, es recomendable para suelos moderadamente pesados.

Para disminuir el tamaño de los terrones en suelos moderadamente pesados y pesados, se recomienda acoplar al vibrocultivador uno o dos rodillos livianos, tipo canasta con barras anguladas (Figura 20). Ajustando la presión de los rodillos, se controla el grado de desagregación de los terrones, y al mismo tiempo se empareja. Sin embargo este tipo de rodillo, debido a sus barras anguladas, provoca la incorporación parcial del rastrojo. Para superar esto, se puede usar un rodillo desterronador pesado con barras helicoidales (Figura 21), acoplado atrás del vibrocultivador. Alternativamente, se puede tirarlo directamente con el tractor. El rodillo desterronador pesado, si las condiciones de humedad son óptimas desagrega el suelo, empareja y no incorpora los rastrojos superficiales.

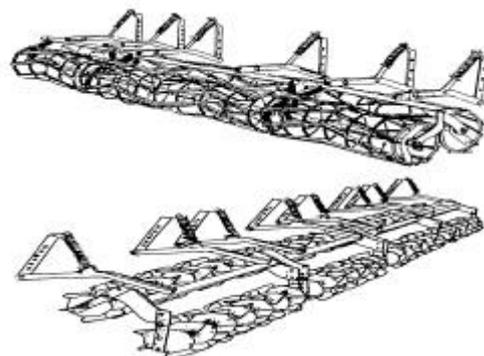
FIGURA 18
Peine de dedos largos



FIGURA 19
Rastra de dientes

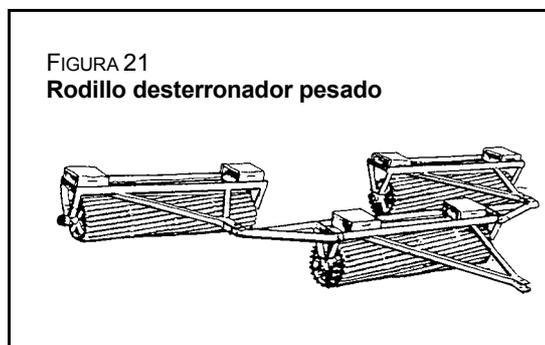


FIGURA 20
Rodillos livianos tipo canasta



El uso de otros implementos para la labranza secundaria

Si no se dispone de vibrocultivador, se podrá usar un cultivador de campo, preferentemente del tipo rastrojero que cuenta con discos cortadores delanteros (ver Figura 15), o un arado cincel vibrador (Figura 16). Estos implementos deberían ser equipados con puntas tipo de pie de ganso, de unos 25 cm de ancho (Ver Figura 17). Los brazos deberán estar espaciados 17 a 22 cm y montados en cuatro barras para reducir los problemas de atascamiento. La velocidad de trabajo debería ser 8-10 km/h, y se requiere un máximo de 5 HP de potencia por brazo. Se recomienda usar estos implementos solamente cuando los suelos están secos, y hasta 7-9 cm de profundidad. Bajo condiciones aún ligeramente húmedas, los pie de ganso pueden provocar compactación del suelo.



Alternativamente se podría usar una rastra liviana de discos para la labranza secundaria si bien no es la más recomendada, porque incorpora una gran parte de los rastros, dejando el suelo desnudo; además aumenta la pérdida de humedad y causa compactación.

Tampoco se recomienda colocar un tablón de madera detrás de la rastra para emparejar suelos livianos y medianos; eso provoca una fuerte pulverización del suelo superficial favoreciendo el encostramiento y la erosión del mismo.

La labranza vertical para el cultivo de invierno

La preparación de los suelos con labranza vertical para el cultivo de invierno debería ser parecida a la de verano, pero con menos pasadas y menos profunda, salvo que el suelo haya sido severamente compactado en verano.

En suelos livianos a medianos, cuando los primeros 10 cm del suelo están secos, se recomiendan dos pasadas con el cultivador de campo rastrojero, equipado con puntas tipo pie de ganso de 25 cm de ancho y hasta 7 a 9 cm de profundidad. Luego el terreno debería estar pronto para sembrar. Si el suelo está algo húmedo en la capa superficial, se recomienda una pasada de arado de cincel rastrojero con puntas rectas hasta sólo 10 a 15 cm de profundidad.

Posteriormente, se harán una o dos pasadas del vibrocultivador con los brazos espaciados a 15 cm, y a una profundidad de trabajo de 8 a 10 cm. El número de pasadas dependerá del tamaño de los terrones y del grado de control de las malezas. Además, para emparejar debe acoplarse un peine de dedos largos o una rastra de dientes detrás del cultivador de campo o del vibrocultivador.

Para suelos pesados se recomienda dos pasadas con el arado cincel rastrojero con puntas rectas hasta 10 a 15 cm de profundidad. Seguidamente se hará una pasada del vibrocultivador con puntas rectas hasta 8 a 10 cm de profundidad con un doble rodillo tipo helicoidal o canasta detrás. Concluidos estos pasos el terreno estará pronto para la siembra.

El control de malezas en labranza vertical

Se recomienda aplicar herbicidas pre-siembra e incorporarlos con el vibrocultivador. Para el control de malezas post-emergencia, es preferible aplicar herbicidas con el fin de evitar el riesgo de compactación que puede ser causada en condiciones húmedas por el uso de cultivadoras de hileras.

Cuando el suelo está seco, las cultivadoras de hileras no provocan compactación, y se pueden combinar con aspersoras de bandas (Figura 22). Este tipo de aspersora aplica herbicidas en franjas angostas, solamente a lo largo de las hileras de los cultivos, y así se ahorra aproximadamente 50 % de herbicida.

Las cultivadoras de hileras deben estar provistas con ruedas de control de profundidad, brazos vibrantes ajustables, puntas tipo pie de ganso, y protectores para las plantas pequeñas. Los tamaños de las puntas y el espaciamiento de los brazos, dependerán de las distancias entre hileras.

Es aconsejable que la barra porta-herramientas tenga una distancia del suelo lo más alta posible, para permitir carpidas mecánicas en los cultivos más altos.

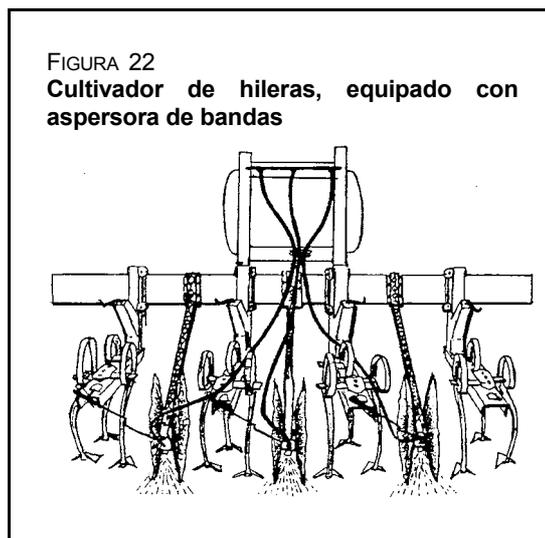
Con cultivadoras de hileras se debe trabajar a una velocidad de 8 a 12 km/h y a 5 a 8 cm de profundidad. Si no se posee una cultivadora de hileras, se puede adaptar un arado cincel o vibrocultivador. En el último caso se necesitará colocar brazos más largos.

El uso de implementos de labranza vertical después del desmonte

Es aconsejable utilizar un sistema de labranza convencional con el "Rome Plow" (rastra moderadamente pesada de discos) hasta un máximo de 15 a 18 cm de profundidad para emparejar las tierras solamente en la primera o al máximo en las dos primeras épocas inmediatamente después del desmonte.

Durante este período es importante hacer una buena uniformización de las parcelas. Algunas pasadas hasta 15 a 20 cm de profundidad con un escarificador, que es un apero parecido a un subsolador pero que realiza un trabajo más superficial (ver Figura 23), ayuda a lograr una buena uniformización.

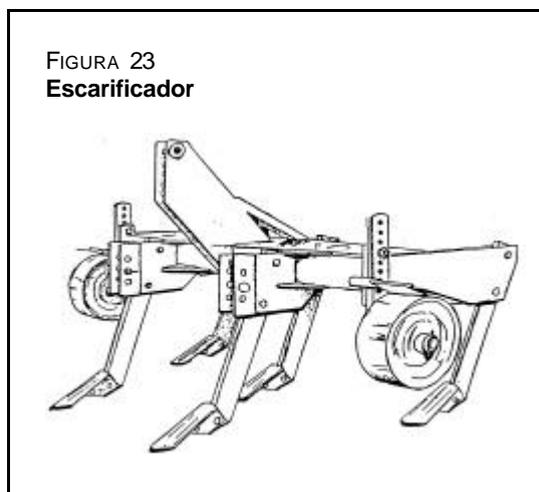
Luego se puede comenzar con la labranza vertical trabajando a una profundidad de 12 a 15 cm durante los primeros años hasta que las raíces más profundas se hayan descompuesto. Así se reducen los riesgos de quebrar los brazos y discos cortadores de los implementos verticales. Además las raíces que quedan en el suelo a mayor profundidad de 15 cm sirven como abonos y por esta razón no es aconsejable sacarlas.



La siembra después de la labranza vertical

Por lo general, para la siembra después de la labranza vertical, se pueden usar sembradoras convencionales. Puesto que las cantidades de rastrojo al momento de sembrar no son generalmente grandes debido a su alta tasa de descomposición, será difícil que perjudiquen la siembra.

Para asegurar un buen contacto entre las semillas y el suelo, es aconsejable usar ruedas de presión atrás de la sembradora en lugar de cadenas.



Conclusiones

- a. La labranza vertical es más conservacionista, eficaz y económica que la labranza convencional.
- b. La labranza vertical es apta para un amplio rango de suelos, pero no es aconsejable su implementación en suelos muy enmalezados, y que tienen mucho pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*).
- c. Es importante que la cosechadora está equipada con picadora y distribuidora de paja, y que se haga desbrozamiento de los rastrojos y malezas para mantener una distribución uniforme de los mismos. Así se pueden evitar problemas de atascamiento.
- d. Se recomiendan una o dos pasadas del arado cincel rastrojero, a una profundidad que dependa del espaciamiento entre los lazos para la labranza primaria. Se debería hacer la primera pasada lo antes posible después de la cosecha; el tractor debe avanzar a una velocidad de 7 a 9 km/h. Alternativamente se puede usar un arado cincel vibrador que avanza más rápido que el arado cincel, pero no tiene discos cortadores delanteros.
- e. Se recomiendan una o dos pasadas del vibrocultivador de 8 a 10 cm de profundidad para la labranza secundaria, y que el tractor avance a una velocidad de 8 a 12 km/h.
- f. Para emparejar suelos livianos y medianos se aconseja el uso de un peine de dedos largos o una rastra de dientes. No se recomienda el uso de rodillos tipo canasta ni tipo helicoidal para suelos de estas texturas.
- g. Para suelos moderadamente pesados y pesados se recomienda acoplar uno o dos rodillos livianos tipo canasta, o un rodillo desterronador pesado, de modo de disminuir el tamaño de los terrones y emparejar.
- h. El cultivador de campo equipado con puntas tipo pie de ganso, puede sustituir el vibrocultivador. Además puede ser usado para la preparación de tierras en invierno; no debe usarse cuando el suelo esté aún ligeramente húmedo.
- i. Después del desmonte, se aconseja usar el "Rome plow" solamente la primera o las dos primeras épocas, mientras que se incorporan todas las raíces de los primeros 15 cm de profundidad. Luego se puede comenzar con la labranza vertical trabajando a una profundidad de 12 a 15 cm.

- j. Después de preparar las tierras con labranza vertical se puede sembrar con una sembradora convencional equipada con ruedas de presión.

LABRANZA EN BANDAS

En este sistema se preparan hileras para la siembra de sólo 5 a 20 cm de ancho y 5 a 10 cm de profundidad. El suelo entre las hileras no es disturbado, solamente se controlan las malezas y queda con una cobertura protectora de malezas muertas y rastrojos.

Ventajas

- El aflojamiento del suelo en las bandas da buenas condiciones para la siembra y germinación de la semilla y para el crecimiento inicial de las plantas.
- Se puede usar una sembradora convencional.
- La presencia de una cobertura protectora sobre el suelo entre las bandas facilita la infiltración de la lluvia.
- Hay menos problemas de erosión y encostramiento en el suelo entre las bandas de siembra.
- Hay menor uso de combustible, gasto de equipos y es necesario menos tiempo para preparar las tierras.
- No se requieren tractores de gran potencia.
- Es más fácil colocar fertilizantes en las bandas de suelo removido.
- El sistema es apto para suelos compactados y suelos endurecidos.

Limitaciones

- El suelo en las bandas de siembra puede formar costras que impiden la emergencia del cultivo; es menos apto para suelos susceptibles al encostramiento.
- Es más difícil preparar las bandas para producir buenas condiciones para la siembra con implementos convencionales. Es mejor usar maquinaria especial que muchas veces no está disponible. (Ver el sistema de labranza en bandas en la sección que trata de sistemas combinados de labranza-siembra).

LABRANZA EN CAMELLONES

En este sistema los camellones pueden ser anchos o angostos, y los surcos pueden funcionar de dos maneras: atrapar y acumular la lluvia en zonas semiáridas, o drenar el exceso de agua en zonas húmedas. Por lo tanto el sistema debe ser diseñado para necesidades específicas, o sea para conservar humedad, para drenar humedad o para aceptar humedad como en sistemas de riego por gravedad. Los camellones y surcos pueden ser construidos a mano, con tracción animal o con maquinaria. Además, los camellones pueden ser construidos cada año o pueden ser semi-permanentes haciendo solamente operaciones de mantenimiento cada año. En los sistemas construidos cada año queda una baja cobertura de rastrojos sobre la superficie, mientras que en los sistemas semi-permanentes, la cobertura depende del sistema del control de las malezas y el manejo de los rastrojos. También existen camellones anchos con lomos ligeramente combados que tienen un ancho que varía entre siete y diez metros.

Ventajas

- Cuando los camellones están contruidos paralelos al contorno conservan la humedad en zonas semi-áridas y sub-húmedas. La lluvia queda atrapada entre los surcos donde se infiltra, en lugar de perderse como escorrentía. Para aumentar la infiltración se pueden construir tapones o barreras en los surcos a distancias de uno a tres metros. (Ver Cuadro 16 para un ejemplo del efecto de camellones cerrados sobre los rendimientos de diferentes cultivos en Tanzania).

CUADRO 16

Efectos de camellones cerrados sobre los rendimientos de diferentes cultivos en Tanzania
(Prentice, 1946)

Año	Lluvia (mm)	Cultivo	Rendimiento (kg/h)		Diferencia (%)
			En plano	En camellones	
1939	610	Algodón	323	542	68
1939	610	Sorgo	202	734	263
1940	787	Sorgo	808	1 122	39
1942	1 245	Algodón	1 049	854	-18
1943	585	Maíz	172	825	380
1944	660	Algodón	101	393	290
1944	660	Sorgo	853	869	2
1944	660	Sorgo	343	798	133
1945	787	Algodón	684	1 234	80
1945	787	Sorgo (rast.)	1 467	3 747	139
1945	787	Sorgo	976	892	-9

Cuando los camellones y surcos se construyen con una ligera pendiente drenan el exceso de humedad en suelos con problemas de drenaje y/o en zonas húmedas y muy húmedas. El sistema drena el exceso de humedad por movimiento superficial del agua y lateralmente de los camellones hacia los surcos. Sembrando en los camellones también tiene el efecto de elevar la zona de enraizamiento del cultivo arriba del horizonte impermeable o de la napa freática. Esto resulta en mejor germinación y un crecimiento más profundo de las raíces. Este sistema es muy apto para los vertisoles y otros suelos arcillosos con problemas de drenaje.

- El suelo en los camellones no sufre compactación.
- El aflojamiento del suelo en los camellones presenta mejores condiciones para la germinación.
- El sistema de camellones y surcos facilita la combinación de diferentes cultivos sembrados en el surco y en los camellones al mismo tiempo.
- La fuerza de las costras que se forman en los camellones angostos es menor en la cumbre debido a la formación de grietas de tensión que favorecen la emergencia.

Limitaciones

- En los sistemas contruidos cada año queda poca cobertura protectora sobre el suelo y por lo tanto hay muchos riesgos de encostramiento y erosión hídrica.
- El sistema no es apto para pendientes mayores de 7% debido a los riesgos de la acumulación de exceso de agua en los surcos que podría causar derrumbamientos o desbordes de los camellones.
- Requiere mucha mano de obra para construir los camellones en sistemas manuales y mayor tiempo para sistemas de tracción animal y de mecanización.
- Requiere más tiempo para el mantenimiento de los camellones y surcos.
- En los camellones semi-permanentes se pueden sembrar sólo cultivos con el mismo espaciamiento que en sistemas mecanizados.

- Los suelos se vuelven susceptibles a la erosión después de las obras de mantenimiento de los camellones o de las cultivaciones para controlar las malezas.

Labranza cero

Ventajas

- Reduce los riesgos de erosión y por lo tanto se puede implementar la labranza cero en pendientes mucho mayores que bajo labranza convencional. (Ver Cuadro 17 para una comparación de los efectos de labranza cero y labranza convencional sobre las pérdidas de agua y suelo en Nigeria).

CUADRO 17

Efecto de labranzas sobre la escorrentía y pérdida de suelo de terrenos cultivados con maíz en Nigeria (Fuente Rockwood y Lal, 1974)

Pendiente %	Barbecho desnudo		Arado		Labranza cero	
	Escorr. %	Erosión (Mg/ha)	Escorr. (%)	Erosión (Mg/ha)	Escorr. (%)	Erosión (Mg/ha)
1	18,8	0,2	8,3	0,04	1,2	0,001
5	20,2	3,6	8,8	2,16	1,8	0,001
10	17,5	12,5	9,2	0,39	2,1	0,005
15	21,5	16,0	13,3	3,92	2,2	0,002

- Aumenta la tasa de infiltración de la lluvia, reduce la evaporación y por ello aumenta la retención de humedad en el suelo.
- Aumenta el contenido de materia orgánica en el horizonte superficial, mejorando la estructura del suelo.
- Estimula la actividad biológica; la mayor actividad de la macrofauna resulta en mayor macroporosidad.
- Reduce las temperaturas muy altas y las fluctuaciones de temperatura en la zona de la semilla.
- Reduce el consumo de combustible hasta un 40-50% debido al número limitado de operaciones: sólo una pasada para la preparación y la siembra.
- Reduce el tiempo y la mano de obra hasta un 50-60%. Esto es ventajoso en períodos críticos, especialmente cuando hay pocos días disponibles, por ejemplo para la siembra del cultivo. Este sistema es por lo tanto, más flexible que otros sistemas convencionales. A veces, gracias al poco tiempo requerido para sembrar, pueden ser sembrados dos cultivos por año en lugar de uno.
- Reduce el número de maquinaria, el tamaño de los tractores y los costos de reparación y mantenimiento de la maquinaria.
- Frecuentemente, los rendimientos son mayores bajo labranza cero, especialmente en zonas con déficit de humedad.
- Es apta para suelos livianos y medianos, suelos bien drenados, suelos volcánicos, y para áreas subhúmedas y húmedas.

Limitaciones

- No es apta para suelos degradados o severamente erosionados.
- No es apta para suelos muy susceptibles a la compactación o para suelos endurecidos debido a que no puede aflojar las capas compactadas que perjudican la emergencia, el desarrollo inicial del cultivo y el crecimiento de las raíces.

- No es apta para suelos mal drenados, o arcillosos y masivos debido a las dificultades de crear buenas condiciones para la germinación excepto en suelos naturalmente muy esponjosos.
- No son aptas para suelos recién desmontados que todavía tienen ramas en la capa superficial debido a los riesgos de daños a la sembradora.
- Requiere un buen conocimiento sobre el control de malezas, porque no es posible corregir los errores por medio del control mecánico.
- Puede haber un incremento en la población de las malezas más difíciles controlar.
- No es apta para suelos infestados con malezas debido a los problemas de control.
- Requiere maquinaria específica y cara.
- Es más difícil incorporar pesticidas contra insectos del suelo y fertilizantes fosforados que tienen que ser colocados bajo tierra.
- Para modificar una sembradora de siembra directa de modo que pueda colocar fertilizantes bajo tierra será necesario introducir unidades adicionales de discos cortadores y discos abresurcos.
- Pueden surgir problemas con enfermedades y plagas debido a la persistencia de rastrojos sobre el suelo que crean un mejor ambiente para su desarrollo. Sin embargo la presencia de los rastrojos también puede estimular la proliferación de los predadores naturales de las plagas. Es muy importante supervisar periódicamente el campo para controlar la incidencia de las plagas. En el caso del algodón pueden surgir más problemas de plagas porque no es factible enterrar los rastrojos como una práctica fitosanitaria normal.
- No es apta para las rotaciones trigo-maíz ni trigo-sorgo porque no es posible aplicar herbicidas pre-siembra incorporados contra las malezas gramíneas. Esta situación puede cambiar cuando se disponga de herbicidas post-emergentes específicos contra las gramíneas en los cultivos de maíz y sorgo.
- No es apta cuando no se puede tener una buena cobertura de rastrojos sobre el suelo.
- Este sistema requiere operadores más capacitados.

Maquinaria

Se requiere una desbrozadora, sembradoras de siembra directa para granos gruesos y granos finos, aspersora y cosechadora. Las sembradoras para siembra directa tienen las siguientes características para que funcionen bien (Ver Figura 24): en la parte delantera está colocado bajo un resorte un disco cortador que corta los rastrojos y abre una ranura o corte en el suelo; el disco cortador puede ser plano, lo que facilita el corte de los rastrojos y del suelo, o puede ser estriado o rizado, lo que da mayor aflojamiento del suelo en la pequeña banda donde se colocarán las semillas; los discos cortadores estriados y rizados requieren más presión para cortar el rastrojo y penetrar en el suelo; a veces un disco cortador plano en la parte externa y rizado en la parte interna cumple mejor las dos funciones.

Atrás del disco cortador se encuentra el doble disco abresurco que debería tener ruedas reguladoras de profundidad; su función es abrir una ranura donde cae la semilla. A veces atrás del doble disco hay un disco o cuchilla que cubre lo sembrado.

En la parte trasera está colocada una rueda de presión. Hay muchos tipos de ruedas de presión, simples, dobles o algunas con una o dos varillas. Su función es colocar suelo encima de la semilla y asegurar un contacto firme entre la semilla y el suelo. El tipo de rueda de presión más apropiada dependerá de la textura y consistencia del suelo y la cantidad de rastrojos encima del suelo; es aconsejable cambiar las ruedas de presión de una parcela a otra si cambia el tipo de suelo.



Las sembradoras de tachos para la siembra de maíz, girasol y algodón normalmente tienen unidades adicionales para la colocación de fertilizantes a un lado y un poco más profundo de la semilla. Los componentes de la fertilizadora son parecidos a los de la unidad para la semilla. En cambio, hay menos espacio para introducir recipientes para fertilizantes en las sembradoras de granos finos, porque el espaciamiento entre las hileras en estos casos puede ser sólo de 18 cm.

Requisitos previos

Antes de iniciar un programa de labranza cero es importante determinar si el suelo tiene algunas deficiencias nutricionales, especialmente de fósforo, que se deberían corregir antes del comienzo de las actividades. De la misma manera se deberían aflojar los suelos si están compactados y eliminar infestaciones de malezas. Si existen problemas graves de enmalezamiento se debería aplicar herbicidas en el cultivo anterior o alternativamente sembrar un cultivo de cobertura para eliminar las malezas antes de iniciar la labranza cero. Además, para terrenos con una microtopografía irregular es aconsejable aflojar el horizonte superficial del suelo con una pasada de arado cincel y luego emparejar la parcela con una rastra niveladora acoplada con una rastra de dientes. Aunque la labranza cero no es muy apropiada para suelos con problemas de drenaje, si está previsto implementar la labranza cero en este tipo de suelo se deberían instalar canales de drenaje. Además en zonas con vientos fuertes es necesaria la instalación de cortinas rompevientos.

Es mejor iniciar la labranza cero cuando haya una cobertura de 80% o más del suelo, por ejemplo con un cultivo que produce mucho rastrojo o un cultivo de cobertura. Para los dos primeros cultivos se recomienda sembrar especies que dan altas cantidades de masa verde y/o permiten un buen control de las malezas. Los cultivos de soya y girasol permiten un buen control tanto de malezas de hoja ancha como de gramínea, pero sólo el girasol da buenas cantidades de masa verde y por ende de rastrojos.

Operaciones

1. El primer paso es asegurar que los rastrojos del cultivo anterior, antes de iniciar la labranza cero, estén bien picados y uniformemente distribuidos en la parcela. Para ello la cosechadora debe estar equipada con picadora y distribuidora de paja.

2. Para reducir el tamaño de los tallos de maíz, sorgo, girasol o algodón que quedan después de la cosecha, será necesario hacer una pasada de desbrozadora. En el período entre la cosecha del cultivo anterior y la siembra del cultivo de labranza cero es importante no dejar crecer demasiado las malezas; una vez que lleguen a 15 cm. de altura o que estén a punto de semillar, se debería desbrozar otra vez. Si hay humedad suficiente para permitir la siembra de un cultivo de cobertura en este período, sería mucho más aconsejable que dejar crecer las malezas.
3. Para eliminar las malezas se recomienda la aplicación de herbicidas sistémicos como glifosato. En varios trabajos en Bolivia la aplicación de 2 l/ha de glifosato mezclado con 0,5 l/ha de 2,4-D amina, y con la adición de 3 kg/ha de urea para aumentar la eficiencia del glifosato, controló muy bien las malezas. Es muy importante, para lograr un buen control, que se apliquen los herbicidas sistémicos cuando hay humedad en el suelo, hay sol, y las malezas no sean demasiado grandes. Si las malezas no están transpirando bien o no hay sol, los herbicidas sistémicos no actúan eficientemente. Si la operación coincide con un día ventoso y la parcela no tiene protección del viento hay que tener cuidado que el herbicida no sea llevado fuera de la parcela donde hay otros cultivos.
4. Un cultivo de cobertura se puede eliminar por medio de una pasada del rollofaca (un tipo de rodillo que aplasta las malezas) combinada con la aplicación de herbicidas. Si hay un volumen grande del cultivo de cobertura se debería esperar una semana hasta que el follaje se haya secado y el volumen haya disminuido suficientemente para no causar problemas en la siembra.
5. Antes de sembrar se debe controlar el funcionamiento de la sembradora:
 - i. que la profundidad de penetración del disco cortador sea de uno a tres centímetros mayor que la profundidad de siembra; si no, será necesario aumentar la presión del resorte.
 - ii. que la densidad de siembra y la profundidad de la semilla sean adecuadas; si no, hay que ajustar la profundidad del doble disco abresurco y del regulador de la semilla.
 - iii. que el contenido de humedad del suelo sea adecuado para cerrar la ranura y tapar bien la semilla; si la ranura no cierra, probablemente el contenido de humedad del suelo es demasiado alto para la siembra y en este caso hay que esperar unos días hasta que el suelo se haya secado.
6. La siembra será cerca del 70% más lenta que en un sistema convencional; controlar periódicamente la profundidad y densidad de siembra de la semilla.
7. Cuando sea necesario, controlar las malezas por medio de la aplicación de herbicidas y en lo posible aplicar el manejo integrado de plagas con la aplicación de insecticidas selectivos y biológicos.
8. Asegurar que la cosechadora esté ajustada para picar bien los rastrojos y distribuirlos uniformemente sobre la parcela.

SISTEMAS COMBINADOS DE LABRANZA-SIEMBRA

Los sistemas combinados de labranza-siembra se refieren a sistemas donde la preparación del suelo y la siembra se hacen en una misma operación. Se requiere maquinaria especial que consiste de varios componentes y de los cuales existen muchas variaciones. La maquinaria tiende a ser muy larga debido al espacio requerido por los componentes y para dejar espacio para el

movimiento del suelo y rastros sin causar problemas de atascamiento. Hay tres sistemas combinados comunes: labranza en bandas-siembra, labranza en camellones-siembra, y labranza profunda-siembra.

Labranza en bandas-siembra

En este sistema se prepara y siembra en bandas de 5 a 20 cm de ancho y 5 a 10 cm de profundidad sin disturbar el suelo entre las bandas. Hay variaciones en el tipo de maquinaria, pero la mayoría tiene adelante un disco cortador, luego un fleje o disco para aflojar el suelo y atrás una unidad de siembra como en las sembradoras directas. A veces hay ruedas pesadas sobre la punta del cincel para evitar la formación de agregados grandes.

Las ventajas de este sistema son el rápido establecimiento y crecimiento inicial de los cultivos debido al aflojamiento del suelo en las bandas de suelo trabajado. La sembradora funciona mejor porque se pueden colocar las semillas más uniformemente y cubrirlas mejor. Además es más fácil colocar fertilizante en la banda aflojada. En las zonas entre las hileras no se disturba el suelo lo que resulta en una mejor infiltración. En este sistema, en comparación con los sistemas convencionales se utiliza menos combustible y potencia.

El sistema es apropiado para suelos endurecidos y en suelos susceptibles a la compactación. La mayor limitación de este sistema es que muchas veces la maquinaria no está disponible, y las bandas pueden formar costras.

Labranza en camellones-siembra

En una sola operación se remueven el suelo y los residuos de la cumbre de los camellones angostos formados en la época anterior, y se colocan las semillas dentro de las hileras limpias, planas y lisas de los camellones. En la zona entre las hileras no se hace ningún laboreo antes de la siembra y quedan con una cobertura protectora de rastros; una o dos veces durante el crecimiento del cultivo se controlan las malezas y al mismo tiempo se reconstruyen los camellones con cultivadores. Este sistema conlleva un tráfico de vehículos controlado porque las ruedas de los equipos quedan en los mismos surcos y no causan compactación del suelo en los camellones. Para este sistema se requiere una sembradora equipada para remover el suelo de la cumbre de los camellones antes de la siembra. Este sistema utiliza menos herbicida, da mejor establecimiento en el suelo aflojado en los camellones, y es más apta para suelos mal drenados. La mayor limitación es que se requiere maquinaria especial.

Labranza profunda-siembra

Este sistema es parecido a la labranza cero con la excepción que la sembradora tiene un subsolador montado entre el disco cortador y los discos dobles abresurco (Ver Figura 25). Además se deberían montar ruedas de presión atrás del doble disco abresurco para cerrar el corte. Este sistema tiene todas las ventajas de la labranza cero y ha sido desarrollado especialmente para suelos endurecidos y compactados. Las limitaciones son la disponibilidad de las máquinas y la alta potencia de tiro requerida.

LABRANZA DE SUBSOLACIÓN

La labranza de subsolación se debería considerar como una práctica de recuperación de suelos degradados debido a problemas graves de compactación. Por lo general, la subsolación no es una labranza que se puede usar cada año en la rutina de la preparación de suelos.

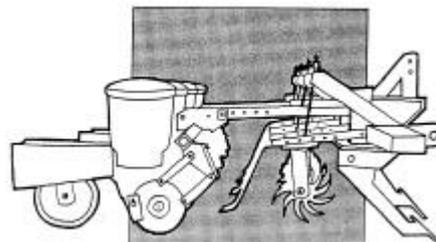
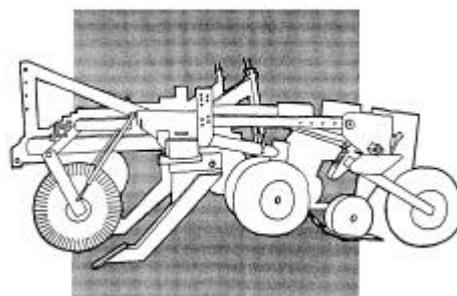
La labranza de subsolación tiene un efecto de levantamiento, de rompimiento y de aflojamiento del suelo. Esto resulta en un mejor desarrollo de las raíces y muchas veces también mejora el drenaje del suelo.

Ventajas

- La ventaja principal es que rompe las capas compactadas y afloja el suelo sin invertirlo como en las aradas; así no lleva el subsuelo a la superficie y deja la mayoría de los rastrojos sobre el suelo.
- En suelos bien drenados la mayor profundización de las raíces puede aumentar los rendimientos, especialmente en áreas con déficit de humedad. También se puede mejorar el drenaje de los suelos con problemas de drenaje, obteniendo mayores rendimientos. A menudo la subsolación de suelos arcillosos beneficia tanto el enraizamiento del cultivo como el drenaje del suelo y por lo tanto supera tanto los problemas de déficit de humedad en la época seca como el exceso de humedad en la época de lluvia. En Carolina del Norte, EE.UU., la subsolación ha dado incrementos en el rendimiento de maíz de 0,94-1,57 t/ha, y 0,19-0,25 t/ha de soya, en comparación con el sistema convencional de arado de disco (Naderman, 1990). En Santa Cruz, Bolivia, la subsolación dio incrementos en el rendimiento de la soya en un suelo muy compactado de 0-90% dependiendo de la lluvia estacional. Se estimó que la respuesta mínima a la subsolación en el invierno, siete años cada diez, sería de 56%, equivalente a un margen bruto de \$EE.UU. 98/ha/año.

FIGURA 25

Equipo para la labranza profunda - sembradora combinada

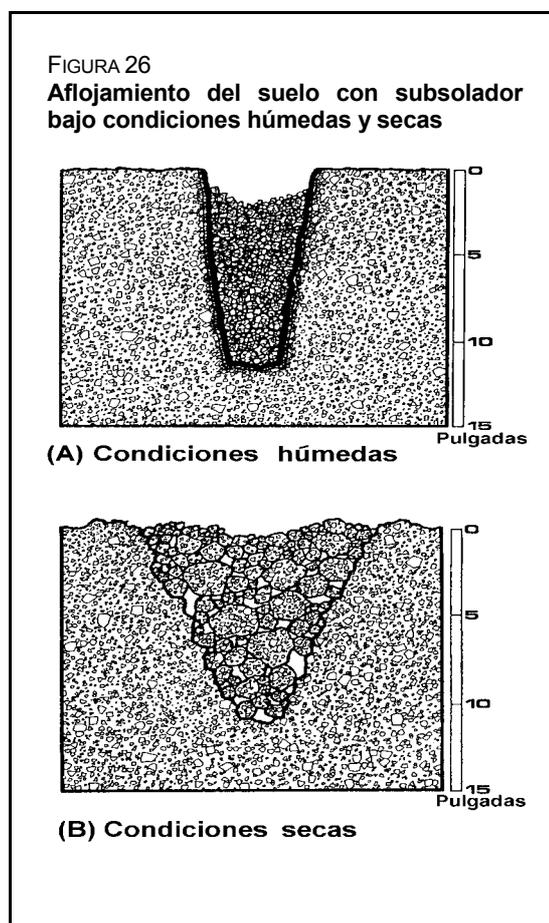


Limitaciones

- La subsolación se puede hacer solamente cuando el suelo está seco hasta ligeramente húmedo lo cual es más difícil en suelos arcillosos. La subsolación en el estado seco requiere mucha potencia y frecuentemente deja agregados y vacíos grandes entre ellos o sea, condiciones no favorables para la germinación y crecimiento inicial de las plántulas. La subsolación de suelos arcillosos en estado húmedo crea un hueco donde pasa la punta del subsolador sin aflojar el perfil o romper la capa compactada. (Ver Figura 26 que muestra la diferencia en el grado de aflojamiento del suelo con subsolador bajo condiciones húmedas y secas).
- Donde se hicieron los cortes, la subsolación deja el suelo muy suelto, lo que puede perjudicar el establecimiento de los cultivos.
- La subsolación en el estado seco a veces deja agregados muy grandes en la superficie, lo que requiere labranzas secundarias para formar condiciones deseables para la siembra; estos laboreos podrían causar compactación si llueve entre el momento de la subsolación y el momento de hacer las labranzas secundarias.
- La subsolación requiere mucha potencia y lleva mucho tiempo.
- El efecto beneficioso de la subsolación dura muy poco en algunos suelos, especialmente en los suelos endurecidos; en suelos muy susceptibles a la compactación, puede durar sólo una época.

Requisitos previos

- El suelo debe estar seco o ligeramente húmedo.
- La presencia de muchos rastrojos y especialmente rastrojos gruesos de maíz y sorgo puede causar atascamientos.
- En suelos con problemas de drenaje se requieren canales de drenaje a una profundidad mayor que la de la sub-solación.



Maquinaria

El subsolador consta de tres o más brazos montados sobre una barra de herramientas. Los brazos deberían tener una inclinación vertical mayor de 25-30°, preferentemente de 45°, y es aconsejable que la altura sea regulable. (Ver Figura 27 para ejemplos de los diferentes tipos de brazos). Las puntas de los brazos normalmente son de 1,5 pulgadas de ancho, y deben ser de fácil recalzado. La condición de la punta es muy importante y muchas veces la subsolación no da buenos resultados debido a la mala condición de las mismas.

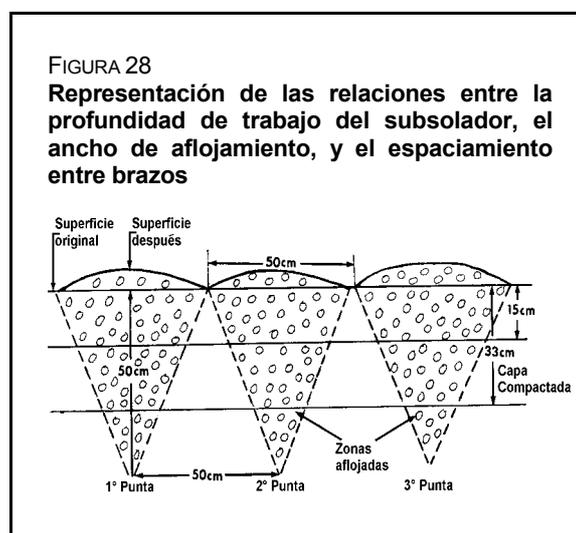


El acoplamiento de otros discos o rodillos puede ser útil; un disco cortador delante del subsolador facilita la operación en sistemas de labranza conservacionista; un rodillo desterronador acoplado detrás de los brazos ayuda a desmenuzar los agregados grandes, y la combinación de ruedas o discos ayuda a cerrar las hendiduras.

Para sistemas combinados de labranza-siembra se puede combinar el subsolador con una sembradora o con discos para formar camellones y además una sembradora. Estos sistemas tienen la ventaja de preparar la tierra y sembrar en una sola operación.

Operación

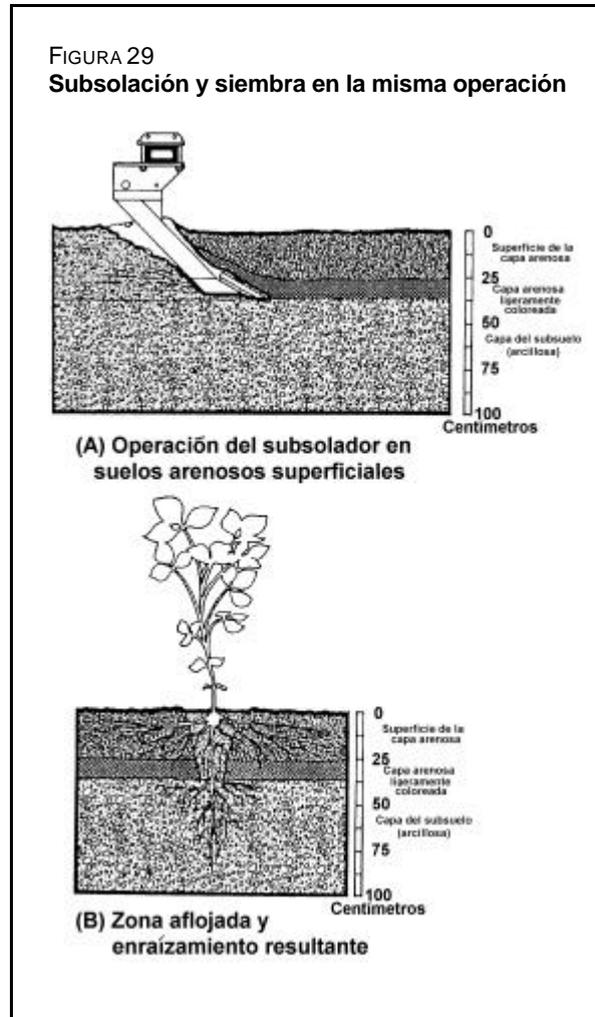
El número de brazos y el espaciamiento entre ellos dependerán de la potencia del tractor y de la profundidad de penetración deseada. Cuando el brazo del subsolador pasa a través del suelo, afloja un volumen de suelo que tiene una sección triangular (Figura 28). El ancho del área de aflojamiento en la superficie se aproxima a la profundidad de penetración; para asegurar que la capa compactada esté bien aflojada, la profundidad de penetración de los brazos debería igualar 1,5 veces la profundidad del límite inferior de la capa compactada. Para asegurar una buena superposición del aflojamiento en la parte superior y en la parte inferior, el espaciamiento entre los brazos no debe ser mayor que la profundidad de trabajo.



La potencia requerida por cada brazo varía con el estado de compactación del suelo, con el tipo de subsolador y especialmente con el estado de la punta. Por lo general se requieren 20-30 HP/brazo.

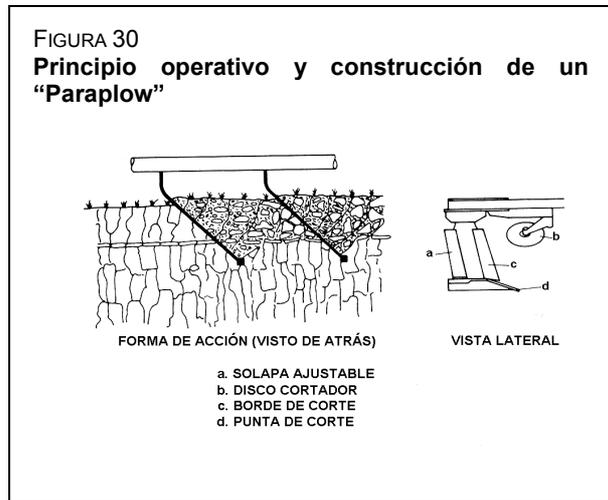
Para un tractor de 90 HP, donde el límite inferior de la capa compactada se encuentra a unos 26 cm de profundidad, se requiere que el subsolador llegue hasta 39 cm.

Un tractor de 90 HP puede arrastrar tres brazos; los brazos se deberían ubicar de tal manera que haya uno atrás de cada rueda del tractor y el tercero quede en el medio. La distancia entre las ruedas del tractor es aproximadamente 1,5 m. y el espaciamiento entre los brazos sería 75 cm. Con este espaciamiento no se lograría el aflojamiento completo de la capa compactada, especialmente en el lugar entre los brazos; en esta situación sería aconsejable hacer dos pasadas del subsolador de tal manera que la combinación de la primera pasada de ida con la segunda pasada de vuelta sea a una distancia entre los cortes de 37 cm. Alternativamente se podrían utilizar cuatro brazos con un tractor de 100 HP y una profundidad de trabajo de 50 cm para aflojar mejor la capa compactada. Si se tuviera una máquina para hacer la subsolación y la siembra en la misma operación, o si fuera factible sembrar el cultivo de tal manera que las hileras coincidan con las hendiduras hechas por la subsolación, sólo será necesario que el subsolador profundice hasta el límite inferior del horizonte compactado, lo que requerirá menos potencia (Ver Figura 29).



En suelos con problemas de drenaje se debería hacer la subsolación en una dirección perpendicular a la de los canales de drenaje para facilitar el flujo de agua hacia los drenes. Para sistemas de labranza convencional, se debería hacer el laboreo de la subsolación en la época seca después de la cosecha y antes de la preparación de la cama de siembra. En el caso de que se haga la subsolación después de haber preparado el suelo, las llantas del tractor pueden no adherir bien y habrán mayores problemas de patinaje con grandes riesgos de compactación de los suelos. Se debería hacer un desbrozamiento de los rastrojos antes de la subsolación para evitar problemas de atascamiento. Después de la subsolación podría ser necesario hacer otras labranzas para desmenuzar los agregados grandes y preparar el terreno para la siembra. Si se pueden acoplar discos y ruedas al subsolador para tapar las hendiduras se puede sembrar una vez que llega la lluvia, pero si eso no es factible es mejor esperar un tiempo para dejar asentar el suelo aflojado. Muchas veces los agricultores dicen “hay que dejar el suelo curarse antes de sembrar”.

Para sistemas de labranza conservacionista es necesario hacer un desbrozamiento de los rastrojos, especialmente en el caso de maíz y sorgo, y es aconsejable que el subsolador tenga discos cortadores delanteros para cortar los rastrojos para evitar problemas de atascamiento. Luego será necesario desmenuzar los agregados grandes, si están presentes, con una labranza en bandas antes de la siembra. En este caso la combinación del subsolador con discos y rodillos y acoplado con una sembradora de siembra directa es más apropiada.



El "Paraplow" es parecido al subsolador pero los brazos son inclinados en dos direcciones, es decir, en la dirección delantera y también en una dirección transversal a la del movimiento en la parte inferior del brazo. El "Paraplow" tiene varias ventajas en comparación al subsolador convencional. Requiere menor potencia y no lleva agregados del subsuelo a la superficie como pasa a veces con los subsoladores Figura 30.

Capítulo 9

El uso de las tierras de acuerdo con su capacidad de uso

Muchos agricultores en el mundo, basados en generaciones de experiencia, están usando sus tierras en una manera sostenible. Otros hacen lo mismo en base a las recomendaciones de los servicios de extensión o de los resultados experimentales. Pero en muchos lugares, se han abierto nuevas tierras para la agricultura o el uso de la tierra ha cambiado drásticamente a causa de los cambios de población o de presiones económicas. A menudo tales cambios en el uso de la tierra han sido hechos sin estudios previos que indiquen cual sería el uso más apropiado y que efectos pueden tener sobre el ambiente los diferentes usos que se podrán hacer. Esto ha llevado a pobreza, degradación ambiental, explotación económica ineficiente y pérdida de recursos naturales como suelo y agua. Los mejores usos de la tierra dependen de condiciones económicas, sociales, políticas y culturales, de las características del suelo y de su respuesta al uso.

Gran parte de las tierras han sido utilizadas sin estudios previos que muestren cual es el tipo de uso más adecuado y cual es el efecto ambiental de los diferentes usos. Muchos tipos de uso de la tierra, agrícolas o no, son hechos de forma y en lugares inadecuados, lo que ha resultado en pobreza, degradación ambiental, explotación económicamente ineficiente y pérdida de recursos naturales como suelo y agua. La mejor forma de uso de la tierra depende de las condiciones económicas, sociales, políticas y culturales, además de las características del suelo y su respuesta al uso.

Las tierras, en un sentido económico, tienen muchos otros atributos como el tamaño de las fincas, la proximidad al agua y a otras tierras, las facilidades de transporte y de mercado (FAO, 1967). Según FAO (1993), *tierra* es un segmento de la superficie del globo terrestre definido en el espacio y en función de características y propiedades comprendidas por los atributos de la biósfera, que sean razonablemente estables o cíclicamente previsibles, incluyendo aquellas de la atmósfera, el suelo, el substrato geológico, la hidrología y el resultado de las actividades humanas actuales y futuras hasta el punto que estos atributos tengan influencia significativa en el uso presente o futuro de la tierra por el hombre.

EVALUACIÓN DE LAS TIERRAS

Las tierras varían en sus características y esa variación afecta el uso de las mismas, pues para cada tipo de uso hay tierras más o menos aptas física y económicamente, esto es, en cuanto a la

E. Giasson
Departamento de Solos de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre, Brasil

roductividad y en cuanto al retorno del capital invertido. La variación de las tierras es en gran parte sistemática y provocada por factores conocidos, por lo tanto, esta puede ser mapeada, separándose en áreas homogéneas. Esas áreas particulares pueden tener un comportamiento previsible con algún grado de certeza cuando son sometidas a cierto tipo de uso. Ese grado de certeza depende de la calidad de los datos disponibles y del conocimiento usado para relacionar las características de la tierra con su respuesta al uso.

La evaluación de las tierras es el proceso de evaluación de la respuesta de las tierras cuando son usadas para fines específicos. Este proceso permite que sea hecho un planeamiento racional del uso de las tierras y un uso adecuado y sostenible ambiental y económico de los recursos naturales y humanos. De esta forma, puede ser un importante instrumento para el planeamiento del uso, tanto por usuarios individuales, por grupos o por la sociedad como un todo.

Es necesario que haya un sistema de evaluación de la aptitud de uso de las tierras que utilice parámetros objetivos y que pueda ser aplicado en cualquier escala, desde el reconocimiento hasta el planeamiento individual de propiedades, que sea adecuado a las condiciones locales y que considere los aspectos económicos involucrados en cada tipo de uso de la tierra, así como que sea aplicable a la mayoría de las situaciones de disponibilidad de recursos naturales.

En la clasificación técnica, los casos individuales son agrupados en función de pocas características de interés práctico y específico, relacionadas con el comportamiento agrícola de los suelos, involucrando los aspectos físicos y socio-económicos y resultando así un trabajo de naturaleza interdisciplinaria. De esta forma, este tipo de clasificación es un proceso estimativo del comportamiento o de la aptitud del uso de la tierra cuando es usada para propósitos específicos (Resende *et al.*, 1995).

En el Brasil, los principales sistemas utilizados en trabajos de levantamiento de suelos para la clasificación de la aptitud de uso de los suelos son:

- a. el Sistema de Clasificación de la Capacidad de Uso de la Tierra (Klingebiel y Montgomery, 1961);
- b. el Sistema de Evaluación de la Aptitud Agrícola de las Tierras (Bennema *et al.*, 1964, modificado por Beek, 1975).

Además, otros sistemas son usados para tales fines, habiendo sido desarrollados para adaptarse mejor a condiciones específicas, como es el caso del sistema actualmente en estudio en la Universidad Federal de Río Grande do Sul.

Un sistema de clasificación de la aptitud de uso de los suelos debe responder a una serie de preguntas, tal como sugieren Brinkman y Smyth (*apud* Klamt, 1978):

- a. ¿Cómo está siendo usado el suelo y que sucederá si el uso actual no fuera modificado?
- b. ¿Qué otros usos del suelo son posibles bajo las condiciones sociales y económicas existentes?
- c. ¿Cuál o cuáles alternativas de uso muestran posibilidades de mantenimiento de la calidad del medio ambiente?
- d. ¿Qué limitaciones o efectos adversos están asociados con cada alternativa de uso?
- e. ¿Qué inversiones son necesarias para minimizar las limitaciones y efectos adversos?
- f. ¿Cuáles son los beneficios de cada alternativa de uso?
- g. ¿Hay previsión de grandes modificaciones en el uso del suelo o sistema de manejo? ¿Cuáles? ¿Cómo ejecutarlas? ¿Cuáles inversiones? ¿Cuáles beneficios? ¿Quién será beneficiado?

Sistema de clasificación de la capacidad de uso

El Sistema fue estructurado por el Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos, desarrollado por Klingebiel y Montgomery (1961) y adaptado y divulgado en Brasil por Marques (1971). Después fueron efectuadas otras aproximaciones, como las hechas por Lepsch (1983) y Lepsch (1991).

La utilización de este sistema es recomendada para fines de planeamiento de prácticas de conservación del suelo, al nivel de propiedades o empresas agrícolas, o para pequeñas cuencas hidrográficas. Su uso para otras finalidades, como en el caso de estudios regionales, debe ser hecho con adaptaciones y con acompañamiento de estudios que consideren las condiciones socioeconómicas y aptitud agroclimática de los cultivos (Lepsch, 1991).

Conceptualmente, el sistema se basa en la interpretación de las características y propiedades intrínsecas del suelo, del medio físico y del nivel tecnológico de los agricultores, con el objetivo de obtener clases homogéneas de tierras, y definir su máxima capacidad de uso sin riesgos de degradación del suelo, especialmente con relación a la erosión acelerada. De esta forma, el sistema toma en cuenta las limitaciones permanentes de la tierra, relacionándolas con las posibilidades y limitaciones de uso de la misma. Considera, sin embargo, aspectos socioeconómicos y de política agrícola (Lepsch, 1991).

Este sistema es jerarquizado de la siguiente forma:

- *grupos de capacidad de uso* (A, B y C): establecidos en base a los tipos de intensidad del uso de las tierras;
- *clases de capacidad de uso* (I a VIII): basadas en el grado de limitación del uso;
- *subclases de capacidad de uso* (IIe, IIIe, IIIa, etc.): basadas en la naturaleza de la limitación del uso;
- *unidades de capacidad de uso* (IIe-1, IIe-2, IIIa-1, etc.): basadas en condiciones específicas que afectan el uso o manejo de la tierra.

Son por lo tanto ocho clases organizadas en tres grupos, con la intensidad de uso en escala decreciente de I a VIII. El grupo A contiene tierras cultivables con cultivos anuales, perennes, pasturas y/o reforestación y/o vida silvestre, comprendiendo las clases I, II, III y IV. El grupo B comprende tierras adaptadas a las pasturas y/o reforestación y/o vida silvestre, incluyendo las clases V, VI y VII. El grupo C son tierras no cultivables, pero apropiadas para protección de la flora y de la fauna silvestre, recreación y almacenamiento de agua, abarcando la clase VIII.

Las clases II a VII, excepto la V, son subdivididas en subclases en función de sus limitaciones permanentes, relacionadas con erosión (e), suelo (s), agua (a) y clima (c). Las unidades de capacidad de uso tornan más explícita la naturaleza de las limitaciones, o sea, facilitan el proceso de establecimiento de las prácticas de manejo.

El sistema de clasificación de la capacidad de uso tiene como ventaja el hecho de poder ser usado para trabajos de planeamiento e indicar el uso y las prácticas conservacionistas a nivel de finca. Como desventaja, el sistema presupone la utilización de un nivel avanzado de manejo del suelo, no considerando el uso de niveles de manejo menos desarrollados, como por ejemplo, los que utilizan tracción animal, pudiendo con eso subestimar el potencial agrícola de ciertas fincas. De esta forma, tierras pedregosas con declives poco acentuados que con tracción animal pueden ser cultivadas con cultivos anuales, en ese sistema de evaluación son clasificadas como clase VI (inaptas para cultivos anuales), por no permitir la motomecanización. Además, el sistema exige un mapa básico de suelos o de atributos del medio físico a nivel detallado, no siempre disponible. Las

recomendaciones conservacionistas de uso de la tierra y la rigidez con la cual los riesgos de erosión son interpretados y mapeados, particularmente en las clases VI y VII (tierras inaptas para el uso con cultivos anuales), y la falta de informaciones científicas en cuanto a la recomendación de uso de estas áreas dificulta la determinación del potencial agrícola de las mismas (Streck, 1992).

Otras limitaciones del sistema, según Klamt (1978), se refieren a la ausencia de informaciones sobre ciertos parámetros utilizados para la definición de las unidades de capacidad de uso, como datos de producción de los principales cultivos y definición exacta de las condiciones de manejo en que estas producciones son obtenidas. Además, son destacados los problemas relacionados a la erosión del suelo sin considerar detalladamente las limitaciones a nivel de fertilidad natural, lo que es un grave problema en las regiones en desarrollo.

Sistema de evaluación de la aptitud agrícola de las tierras

Este sistema fue propuesto inicialmente por Bennema *et al.* (1964), reformulado por Beek (1975), por Ramalho Filho *et al.* (1977), Ramalho Filho *et al.* (1978) y por Ramalho Filho y Beek (1995). También es conocido como “Sistema FAO/Brasileño”.

El sistema está estructurado en las siguientes categorías:

- *niveles de manejo* (A, B y C): para diagnosticar el comportamiento de las tierras en diferentes niveles tecnológicos;
- *grupos de aptitud agrícola* (1 a 6): identifica en el mapa el tipo de utilización más intenso de las tierras;
- *subgrupos de aptitud agrícola* (1ABC, 1bC, etc.): indica el tipo de utilización de la tierra, de acuerdo con el nivel de manejo;
- *clases de aptitud agrícola* (buena, regular, limitada e inapta): expresan la aptitud agrícola de las tierras para un determinado tipo de uso, con un nivel de manejo definido, dentro del subgrupo de aptitud.

El nivel de manejo A (primitivo) corresponde a un bajo nivel técnico-cultural, caracterizándose por la no aplicación de tecnología, por el trabajo manual o alguna tracción animal con implementos simples.

El nivel de manejo B (poco desarrollado) corresponde a un nivel intermedio, con pequeña aplicación de capital en el mejoramiento y conservación de las tierras, con la mecanización basada en la tracción animal o en la tracción motorizada sólo para desmonte y labranza inicial del suelo.

El nivel de manejo C (desarrollado) se basa en un alto nivel tecnológico, caracterizándose por la aplicación intensiva de capital y de resultados de investigación para el manejo, el mejoramiento y la conservación de las tierras, con el uso de la motomecanización en prácticamente todas las fases de la operación agrícola (Ramalho Filho y Beek, 1995; Resende *et al.*, 1995).

En el más alto nivel de clasificación se sitúan seis grupos de aptitud, esencialmente comparables a las ocho clases de capacidad de uso del sistema estadounidense. Los grupos 1, 2 y 3, además de la identificación de cultivos como tipo de utilización, tienen la función de representar, en el subgrupo, las mejores clases de aptitud de las tierras indicadas para cultivos, según los niveles de manejo. Los grupos 4, 5 y 6 sólo identifican tipos de utilización (pastura

sembrada, silvicultura y/o pastura natural y preservación de la flora y de la fauna, respectivamente), independientemente de la clase de aptitud (Ramalho Filho y Beek, 1995).

El subgrupo de aptitud agrícola es el resultado conjunto de la evaluación de la clase de aptitud relacionada con el nivel de manejo. Hay diferencias en cuanto al segundo nivel de clasificación cuando se compara con el sistema estadounidense. El subgrupo se refiere a la aptitud agrícola de las tierras para los tipos de utilización adaptados, pero la subclase del sistema estadounidense se refiere a los tipos de limitación que determinan la clase. Así, en el ejemplo 1(a)bC, el número 1, indicativo del grupo, representa la mejor clase de aptitud de los componentes del subgrupo - las tierras pertenecen a la clase de aptitud buena; en el nivel de manejo C (grupo 1), clase de aptitud regular en el nivel de manejo B (grupo 2) y clase de aptitud restringida, en el nivel de manejo A (grupo 3). La ausencia de cualquiera de las letras significa que no es apto para ningún uso (Ramalho Filho y Beek, 1995).

El encuadramiento de las clases en ese sistema es hecho por el proceso paramétrico (los parámetros que definen cada clase son establecidos en tablas o cuadros-guías) considerando los siguientes factores limitantes: deficiencia de fertilidad, deficiencia de agua, exceso de agua o deficiencia de oxígeno, susceptibilidad a la erosión e impedimentos a la mecanización, que definen los diferentes tipos de usos de los suelos. Para cada factor son definidos los siguientes grados de limitación: nulo, ligero, moderado, fuerte y muy fuerte (Streck, 1992). Estos grados de limitación se refieren a los desvíos relativos del suelo considerado en relación a un suelo hipotético "ideal", en cuanto a los factores limitantes (Resende *et al.*, 1995).

Los cuadros-guías de evaluación de la aptitud agrícola de las tierras, constituyen una orientación general para la clasificación de la aptitud agrícola de las mismas, en función de sus grados de limitación y relacionados a los factores limitantes, para los niveles de manejo A, B y C. De esta forma, la clase de aptitud agrícola de las tierras, de acuerdo con el nivel de manejo establecido, es obtenida en función del grado limitativo más fuerte. Este cuadro-guía debe ser utilizado para una orientación general, debido a que la evaluación varía de acuerdo con peculiaridades locales, calidad y diversidad de los datos, así como con el nivel de detalle del estudio (Ramalho Filho y Beek, 1995).

El sistema prevé además la viabilidad de mejoramiento de las condiciones agrícolas de las tierras en sus condiciones naturales, con la adopción de los niveles de manejo B y C, siendo expresada por números subrayados, que acompañan las letras representativas de los grados de limitación estipulados en los cuadros-guías.

Este sistema tiene la ventaja de identificar la aptitud de las tierras para cada uno de los niveles de manejo considerados, siendo recomendado para lugares que poseen levantamientos pedológicos a nivel de reconocimiento o exploratorio, donde se necesita un planeamiento agrícola regional y trabajos de zonificación agrícola. Como desventaja, no especifica las prácticas de manejo adecuadas al nivel de fincas, y se basa en cuadros-guías pre-establecidos aplicables al nivel de grandes regiones del país, no siempre adaptables a las condiciones locales. Debido a eso, este sistema se generalizó y sobrestimó el potencial agrícola de las áreas del Escudo Basáltico de Río Grande do Sul, en Brasil (Streck, 1992).

El empleo de este sistema en la evaluación del potencial de uso de las tierras, al nivel de propiedades o cuencas, necesita ser adaptado a las condiciones locales. Estas adaptaciones deben considerar niveles de manejo menos desarrollados que los enfocados en el sistema estadounidense o que sea más específico en cuanto a la recomendación de las prácticas conservacionistas a nivel de finca que el sistema FAO/Brasil.

Método paramétrico para la clasificación de la capacidad de uso de las tierras

Según Streck (1992), este método clasifica las tierras basándose en las características de suelo y del medio físico que presentan diferentes grados de limitación para el uso agrícola y que sirven de parámetros para diferenciar las fincas. Este sistema combina las características favorables del sistema estadounidense y del sistema FAO/Brasileño, considerando niveles de manejo menos desarrollados e indicando las prácticas de conservación específicas para que las diferentes fincas puedan ser utilizadas sin superar los límites tolerables de pérdidas de suelo. El método desarrollado debe ser simple para que pueda ser de fácil utilización por diferentes técnicos y para la obtención de resultados consistentes en términos de clasificación y recomendación de prácticas de manejo. El método se basa en el establecimiento de cuadros-guías, elaborados a partir de resultados de investigación, experiencia del evaluador y observaciones empíricas del agricultor, con la definición de las diferentes fincas, del tipo de uso y de las prácticas conservacionistas más adecuadas a las mismas.

Este método tiene la ventaja de ser adecuado para la evaluación del potencial de uso de los suelos al nivel de propiedades rurales, también a nivel de cuencas hidrográficas, y en condiciones de manejo menos desarrollado; además, es de más fácil aplicabilidad y comprensión por parte de los técnicos. Define los grupos de suelos ocurrentes y que presentan diferentes grados de limitaciones, desarrollándose cuadros-guías específicos más simples para cada grupo.

En el Cuadro 18 está ejemplificado un cuadro-guía hecho para la determinación de las clases de aptitud agrícola para los suelos de la Cuenca del Lageado Atafona, en Santo Ângelo (Brasil), donde fueron definidos tres grupos de tierras. El Cuadro se refiere a tierras del grupo 1, caracterizado por presentar suelos bien profundos, drenados, sin piedras, con limitaciones impuestas por diferentes clases de pendiente, profundidad y erosión (Streck, 1992).

CUADRO 18
Cuadro-guía para la definición de las clases y subclases de capacidad de uso de la tierra para suelos (grupo 1) de la Cuenca del Lageado Atafona, Santo Ângelo, Brasil (Streck, 1992)

Clases de pendiente	Grado de erosión	Profundidad		
		Muy profundo (H1) > 200cm	Profundo (H2) 100-200cm	Poco profundo (H3) 60-100cm
(1) 0 - 5%	-	C1	C1	C2
(2) 5 - 10%	Pe y	C2 C5	C2 C5	C3 C5
(3) 10 - 15%	Pe y	C3 C5	C3 C5	C4 P7
(4) 15 - 20%	Pe y	P7 R9	P7 R9	P7 R9

Pe - poco erosionado; y - erosionado; C - cultivos anuales; P - pasturas; R - reforestación; 1, ..., 9 - prácticas conservacionistas (subclases).

En un trabajo realizado para definir la aptitud de uso de los suelos del Escudo Basáltico de Río Grande do Sul, a través de un manejo adecuado, fueron propuestos cuadros-guías basados en la inclinación del terreno, profundidad del suelo y pedregosidad; las limitaciones referentes a la fertilidad, el drenaje y otras fueran omitidas para simplificar los cuadros y por ser más fácilmente solucionables (Klamt y Stammel, 1984). Estos mismos autores apoyan la idea que, para evitar considerables pérdidas por erosión y agotamiento de nutrientes, y sin causar desequilibrios ambientales, la utilización de los suelos del basáltico debe basarse en la aptitud o capacidad de uso de los mismos.

En un trabajo semejante al anterior, fueron desarrollados cuadros-guías para el uso adecuado de los suelos del Oeste y del Valle del Río do Peixe, en Santa Catarina (Brasil), donde el 75% del área tiene un relieve accidentado y con pedregosidad (Uberti, 1985).

Capítulo 10

Cobertura del suelo

Desde inicio del siglo se han realizado varios estudios para observar el efecto de la cobertura vegetal en la reducción de la escorrentía y de la erosión. Las primeras observaciones reconocieron el efecto de la cobertura vegetal en la prevención de la obstrucción de los poros del suelo y la consecuente disminución de la escorrentía superficial. Sin embargo, solamente al inicio de la década de 1940 fue realizada una evaluación cuantitativa del efecto de la cobertura del suelo. Borst y Woodburn (1942), en estudios realizados con un simulador de lluvia (Ohio, EE.UU.), determinaron que la intercepción del impacto de las gotas de lluvia con una cobertura de paja redujo la erosión en aproximadamente 95%.

Kohnke y Bertrand (1959) admitieron que la cobertura de $\frac{2}{3}$ o $\frac{3}{4}$ de la superficie del suelo sería suficiente para protegerlo del impacto de la lluvia y, prácticamente, eliminar el transporte de suelo por salpicadura. Esta cobertura correspondería a aproximadamente cinco toneladas de paja por hectárea.

Mannering y Meyer (1963) verificaron que 2,5 t/ha de paja de trigo fueron suficientes para ofrecer un 87% de cobertura del suelo y eliminar completamente la escorrentía y la erosión.

Meyer *et al.* (1970) observaron que las condiciones físicas de los suelos (textura, permeabilidad) y la pendiente del terreno influyen de manera importante en la eficiencia de la cobertura del suelo:

- a. 4,48 t/ha de paja fueron suficientes para contener la erosión en un suelo de textura franca, con baja permeabilidad, no cultivado y con 15% de pendiente;
- b. 2,24 t/ha de paja fueron suficientes para un suelo franco-limoso, cultivado, moderadamente permeable, con 3% de pendiente; y
- c. 1,12 t/ha de paja fueron suficientes en un suelo franco-limoso, cultivado, muy permeable, con 5% de pendiente.

Lal *et al.* (1980) concluyeron que los residuos de cultivos pueden prevenir la erosión y sustentar la producción en suelos de difícil manejo; además, la magnitud de estos efectos dependen de la calidad de los residuos (cobertura), y de la mejoría de las condiciones físicas y químicas del suelo. Sin embargo, los autores remarcan que los resultados pueden diferir de regiones templadas a tropicales.

COBERTURA DEL SUELO VS. PÉRDIDAS DE SUELO Y AGUA

La cobertura del suelo tiene una acción protectora por la interceptación y absorción del impacto directo de la gota de lluvia, previniendo así el sellado de la superficie y preservando la estructura del suelo inmediatamente por debajo de la misma (Adams, 1966). De esa manera, la infiltración de agua puede ser mantenida a lo largo de la lluvia (Musgrave y Nichols, 1942). Por lo tanto, aumentando la cobertura del suelo se reducen la desagregación y movimiento del suelo por la salpicadura de la lluvia (Singer *et al.*, 1981), el promedio de la velocidad y la capacidad de transporte del flujo superficial (Lattanzi *et al.*, 1974; Meyer *et al.*, 1970; Mannering y Meyer, 1963). El volumen de escurrimiento superficial, según Singer y Blackard (1978), es afectado por la calidad y cantidad de residuos a través del retardo en el inicio de la escorrentía; del aumento del tiempo entre el inicio de la misma y el primer litro de agua escurrida; y de la disminución del tiempo entre el final de la lluvia y el final de la escorrentía (Cuadro 19).

CUADRO 19

Evaluación del efecto de la cantidad creciente de residuos de maíz en la cobertura del suelo, la corriente de agua, la velocidad de escurrimiento y las pérdidas totales de suelo. UFRGS, Guaíba, RS, 1984

Cantidad de residuo (t/ha)	Cobertura del suelo (%)	Corriente de agua			Velocidad a los 30 min. (cm/s)	Velocidad a los 60 min. (cm/s)	Pérdidas de suelo (t/ha)
		Inicio (min.)	Final (min.)	Total (min.)			
0	0	15	67	68,5	24,0	24,0	38,1
0,5	14	15	67	62,3	17,0	20,0	20,0
1	19	14	76	68,7	16,9	20,0	31,1
2	38	15	77	57,0	12,0	17,0	22,0
4	69	17	80	46,5	8,6	10,0	5,6
6	82	17	80	39,3	5,4	7,5	1,8
8	90	20	80	50,1	5,0	4,4	1,6
10	96	20	80	44,1	3,4	4,4	0,7

Suelo San Jerónimo (Podzólico Rojo Amarillo con concreciones), 7,5% de pendiente media.

Los residuos de cosecha dejados o colocados sobre la superficie del suelo, en sentido transversal al declive del terreno, de acuerdo a observaciones realizadas por Meyer *et al.* (1970), promueven la formación de una escalera en miniatura, representada por la acumulación de suelo delante de pedazos de paja. Lattanzi *et al.* (1974) describieron la formación de pequeños diques que retienen el agua de escurrimiento, aumentando la profundidad de la superficie de la película de agua sobre el suelo, posibilitando de esta manera la disipación de una parte de la energía de las gotas de agua de lluvia.

COBERTURA DEL SUELO VS. PLANTAS Y SUS RESIDUOS

La cobertura del suelo es el factor individual de mayor importancia en el control de la erosión hídrica (Amado, 1985). La cobertura del suelo puede ser representada básicamente por la cobertura vegetal de las plantas en desarrollo (período vegetativo) o por sus residuos (Forster, 1981, citado por Lopes, 1984).

La cobertura del suelo, con plantas en crecimiento, varía de especie a especie, en función de sus características fenológicas y vegetativas (ciclo, hábito de crecimiento, altura, velocidad de cobertura del suelo, estado de crecimiento) y de las prácticas culturales necesarias para su cultivo (densidad poblacional, espaciamento de siembra, fertilización y enclavamiento) (Cuadro 20). Los cultivos anuales, por ejemplo, permiten que el suelo quede desprotegido, principalmente en las épocas de preparación del suelo y de la siembra hasta el establecimiento

completo del cultivo. El comportamiento de los cultivos perennes es de hecho totalmente distinto al de los cultivos anuales y también diferente entre sí (Cuadro 21).

Resultados de investigaciones realizadas en Paraná, Brasil, (IAPAR, 1978), mostraron que las pérdidas totales de suelo obedecen al siguiente orden creciente de susceptibilidad de los cultivos a la erosión: maíz < trigo < soya < algodón (Cuadro 22). Los datos revelaron que las pérdidas totales de suelo en el cultivo de maíz alcanzan apenas 1,7% en relación al suelo mantenido sin cobertura vegetal. Puede observarse a través de los resultados la importancia de la protección del suelo en el período inicial de los cultivos. Es en este período que se concentra prácticamente todo el problema de la erosión. Aún así, el maíz presenta las menores pérdidas de suelo al ser comparado con soya, trigo y algodón. Después del período inicial de establecimiento de los cultivos, entre 30 a 40 días luego de la emergencia, ocurre una efectiva protección del suelo por los cultivos y hay una considerable reducción de la pérdida de suelo.

CUADRO 22

Pérdidas de suelo y agua durante el ciclo de los cultivos de soya, trigo, maíz y algodón en un Latosol Rojo Distrófico, 8% de pendiente. Londrina, IAPAR, PR. (1977)

Cultivo (establecido con preparación convencional)	Estados del cultivo								Total	
	I		II		III		IV		Suelo (kg/ha)	Suelo (%)
	Suelo	Agua	Suelo	Agua	Suelo	Agua	Suelo	Agua		
Soya	6738	38,9	39	8,3	7	3,3	641	15,2	7425	7,2
Trigo	2216	52,8	1755	50,4	6	2,3	691	25,8	4668	4,5
Maíz	994	17,8	747	8,5	35	2,4	0	0,0	1776	1,7
Algodón	9252	22,2	1303	9,2	2088	20,6	352	5,5	12995	16,6
Suelo descubierto	25225	28,5	25191	31,9	27355	34,7	25225	28,5	102996	100

Adaptado de IAPAR, 1978.

Estados del cultivo: I= Germinación a los 30 días, II= 30 a 60 días, III= 60 días a la floración, IV= Después de la cosecha.

Lopes (1984) argumenta que a pesar de la disminución progresiva de la erosión durante el período vegetativo, los cultivos en desarrollo no reducen la erosión tan eficientemente como lo hacen sus residuos de cosecha mantenidos en contacto directo con la superficie del suelo. Por eso, la utilización de los residuos de cosecha como cobertura del suelo es la manera más eficiente, simple y económica del control de la erosión (Amado, 1985).

CUADRO 20

Efecto del tipo de cultivo anual sobre las pérdidas de suelo por erosión. Medias pluviométricas de 1300 mm y pendiente entre 8,5 y 12,8%

Tipo de cultivo	Pérdidas de suelo (t/ha)	Pérdidas de agua (% de la lluvia)
Papaya	41,5	12,0
Frijol	38,1	11,2
Yuca	33,9	11,4
Maní	26,7	9,2
Arroz	25,1	11,2
Algodón	24,8	9,7
Soya	20,1	6,9
Camotillo	18,4	6,6
Caña de azúcar	12,4	4,2
Maíz	12,0	5,2
Maíz + frijol	10,1	4,6
Camote	6,6	4,2

Fuente: Bertoni *et al.*, 1972.

CUADRO 21

Efecto del tipo de uso del suelo sobre las pérdidas de suelo por erosión. Medias ponderadas para tres tipos de suelo del Estado de São Paulo, Brasil

Tipo de uso	Pérdidas de suelo (t/ha)	Pérdidas de agua (% de la lluvia)
Bosque	0,004	0,7
Pastizal	0,4	0,7
Cafetal	0,9	1,1

Fuente: Bertoni *et al.*, 1972.

El efecto de los residuos de cosecha en el control de la erosión varía de acuerdo a la cantidad (Cuadro 23), la calidad (Cuadro 24), la cobertura del suelo (Cuadro 19), el manejo (Cuadro 25) y el grado de descomposición del residuo (Cogo, citado por Lopes, 1984). Es posible observar en los cuadros mencionados anteriormente que existen varias interacciones entre cobertura del suelo y cantidad de residuos, cobertura y calidad, cobertura y manejo, y cobertura y grado de descomposición. Por esta razón, para una misma cantidad de residuos existen diferencias en el porcentaje de cobertura del suelo, dependiendo del tipo y manejo dado a los residuos. Por ejemplo, para una misma cantidad de masa (kg/ha), los residuos de trigo proporcionan mayor porcentaje de cobertura del suelo que los residuos de maíz y estos mayor porcentaje que los residuos de soya. Por otra parte, un 50% de cobertura del suelo con residuos de maíz redujo la erosión alrededor del 90% (Lopes, 1984).

CUADRO 23

Pérdidas totales de suelo en parcelas de 7,5% de pendiente en un suelo Podzólico Rojo Amarillo, en condiciones de lluvia simulada (64 mm/h) con diferentes cantidades de residuos de cosecha

Cantidad de residuo (t/ha)	Pérdidas de suelo (t/ha)		
	Residuo de maíz	Residuo de trigo	Residuo de soya
0	37,5	18,1	14,2
0,5	28,8	11,0	10,7
1	26,3	8,7	8,4
2	23,2	3,3	5,8
4	5,3	1,8	4,5
6	1,5	0,2	1,8
8	1,2	0,4	1,7
10	0,5	0,2	1,1

Fuente: Lopes 1984.

CUADRO 24

Composición química de algunos residuos utilizados como cobertura muerta (mantillo)

Material	Relación C/N	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
Avena negra	36,25	1,65	0,21	1,92
Raygrás Italiano*	44,20	1,34	0,15	3,13
Arveja peluda*	18,65	1,88	0,22	2,76
Arveja común*	18,62	2,02	0,29	2,52
Serradela*	22,43	1,79	0,32	4,27
Chícharo*	18,79	2,23	0,22	3,49
Pasto colonial	27,00	1,87	0,53	-
Pasto elefante	69,35	0,62	0,11	-
Pasto Bermuda	31,00	1,62	0,67	-
Pasto horqueta	36,00	1,39	0,36	-
Paja de café	31,00	1,65	0,18	1,89
Paja de maíz	112,00	0,48	0,35	1,64
Coronta (tusa, marlo) de maíz	72,72	0,66	0,25	-
Paja de arroz	53,24	0,77	0,34	-
Cáscara de arroz	39,00	0,78	0,58	0,49
Aserrín	865,00	0,06	0,01	0,01
Rama de yuca	67,14	0,70	0,25	-
Crisálida de gusano de seda	5,00	9,49	1,41	0,76
Deyecciones de gusano de seda	17,00	2,76	0,69	3,65
Bagazo de caña	22,00	1,49	0,28	0,99

* Material en plena floración. Fuente: Calegari, 1989.

CUADRO 25

Porcentaje de cobertura del suelo en función del manejo de los residuos de diferentes cultivos

Tipo de residuo	Implemento utilizado	Cobertura del suelo (%)
Maíz	Escarificador	63
	Rastra de discos	52
	Incorporación	17
Avena	Escarificador	77
	Rastra de discos	72
	Incorporación	16

Fuente: Adaptado de Sloneker y Moldenhauer (1977).

Capítulo 11

Cultivo en contorno

El cultivo en contorno o en curvas de nivel es una de las prácticas más simples y de gran eficiencia en el control de la erosión; consiste en la siembra de cultivos en función de las curvas de nivel del terreno, es decir, perpendicularmente a su pendiente (Sobral Filho *et al.*, 1980).

El cultivo en contorno exige la aplicación de prácticas de sistematización del laboreo y preparación del suelo con anterioridad a su ejecución. De esta manera, el terrajeo y labranzas, escarificaciones y otras deben ser realizadas todas a nivel; por lo tanto, las terrazas servirán de orientación general para la plantación.

Como práctica aislada para el control de la erosión, el cultivo en contorno es recomendado solamente para áreas limitadas, con una pendiente hasta 3%, y una extensión de ladera no muy larga (Río Grande do Sul, 1985). Con relación a las demás condiciones de laboreo, el cultivo en contorno deberá ser siempre asociado a otras prácticas conservacionistas.

Una investigación realizada en el Instituto Agronómico de Campinas (Bertoni *et al.*, 1972) mostró el efecto creciente sobre la producción de maíz de la combinación de la preparación del plantío pendiente abajo hasta la siembra del plantío en contorno, (Figura 31). El mayor incremento en la producción de maíz fue obtenido cuando el plantío fue realizado en contorno; un incremento

menor fue observado cuando las dos operaciones fueron realizadas en contorno. Cuando la preparación y la plantación son realizadas pendiente abajo, los surcos de la preparación y de la plantación dirigen el flujo de la escorrentía favoreciendo el arrastre de suelo, de nutrientes y de materia orgánica. Cuando la plantación es realizada a nivel es posible observar la capacidad de corregir el efecto negativo de los surcos dejados por la preparación pendiente abajo. En la combinación de preparación y plantación a nivel ocurre la formación de pequeños camellones sobre el terreno, que juntamente con el cultivo implantado servirá de obstáculo en la formación de inundaciones e incrementará, por lo tanto, la infiltración de agua en el suelo y la disminución de la erosión (Cuadro 26). Este efecto es bien visible en áreas de cultivos conservacionistas que utilizan escarificadores, reducción de aradas y aún en áreas de pequeños agricultores que usan arados de tracción animal.

CUADRO 26

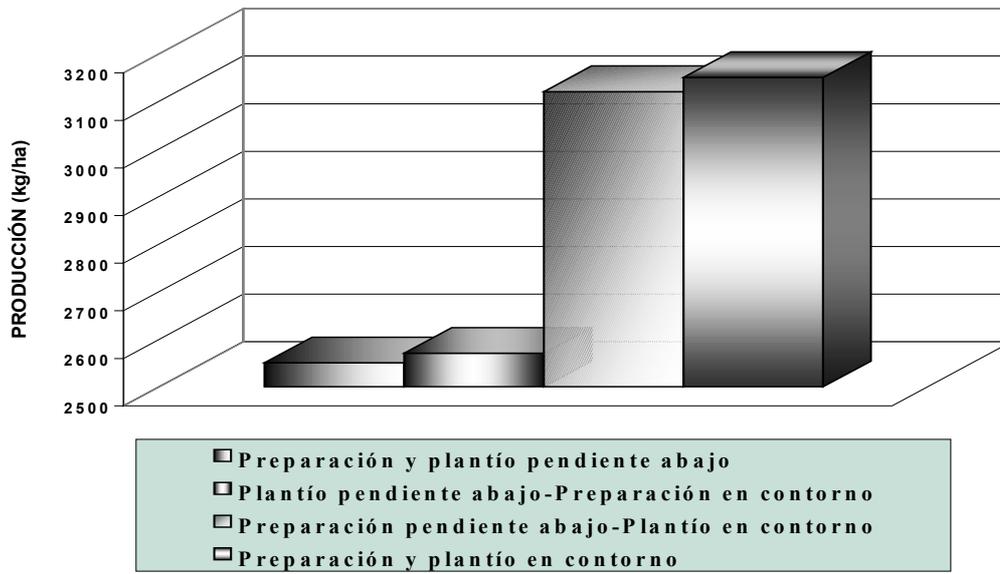
Efecto de prácticas conservacionistas en cultivos anuales sobre las pérdidas por erosión

Prácticas	Pérdidas de suelo (t/ha)	Pérdidas de agua (% de lluvia)
Pendiente Abajo	26,1	6,9
Contorno	13,2	4,7
Contorno + Alternancia de pastos	9,8	4,8
Cordones de caña de azúcar	2,5	1,8

Fuente: Bertoni *et al.*, 1972.

FIGURA 31

Efecto de la dirección de la plantación y preparación del suelo en la producción de maíz
(extraído de Bertoni *et al.*, 1972)



Capítulo 12

Abonos verdes

CONCEPTO

La utilización del abono verde como práctica agrícola, conocida ya antes de la era cristiana, consistía en la incorporación al suelo de masa vegetal no descompuesta, con la finalidad de conservar y/o recuperar la productividad de las tierras agrícolas. Para esta finalidad ya en ese entonces eran utilizadas básicamente leguminosas, por ejemplo el altramuz o lupino.

Actualmente se conceptúa como abono verde a la utilización de plantas en rotación, sucesión y asociación con cultivos comerciales, incorporándose al suelo o dejándose en la superficie, ofreciendo protección, ya sea como un mantenimiento y/o recuperación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Costa *et al.*, 1992). Eventualmente, parte de esos abonos verdes pueden ser utilizados para la alimentación animal y/o humana, producción de fibras o producción de forraje (Miyasaka, 1984). Esto es un aspecto importante para la adopción de esta práctica, puesto que cuanto mayor sea su utilidad en la propiedad, mayores serán sus beneficios potenciales. En este nuevo enfoque, además de las leguminosas que son las plantas más utilizadas para este fin, también se usan gramíneas, crucíferas y cariofiláceas, entre otras.

FUNCIONES DEL ABONO VERDE

- Protege la capa superficial del suelo contra las lluvias de alta intensidad, el sol y el viento.
- Mantiene elevadas tasas de infiltración de agua por el efecto combinado del sistema radicular y de la cobertura vegetal. Las raíces después de su descomposición, dejan canales en el suelo y la cobertura evita una desagregación y sellado de la superficie y reduce la velocidad de la escorrentía.
- Promueve un considerable y continuo aporte de biomasa al suelo, de manera que mantiene e incluso eleva, a lo largo de los años, el contenido de materia orgánica.
- Atenúa la amplitud térmica y disminuye la evaporación del suelo, aumentando la disponibilidad de agua para los cultivos comerciales.
- Por medio del sistema radicular, rompe capas duras y promueve la aireación y estructuración del suelo, induciendo la *preparación biológica del suelo*.

L. do Prado Wildner
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) -
Centro de Pesquisas para Pequenas Propriedades (CPPP)
Santa Catarina, Brasil.

- Promueve el reciclaje de nutrientes; el sistema radicular bien desarrollado de muchos abonos verdes, tiene la capacidad de traslocar los nutrientes que se encuentran en capas profundas hacia las capas superficiales del suelo, poniéndolos a disposición de los cultivos posteriores.
- Disminuye la lixiviación de nutrientes; la ocurrencia de lluvias intensas y de precipitaciones elevadas normalmente induce a un intenso proceso de lixiviación de nutrientes. El abono verde, al retener nutrientes en la fitomasa y liberarlos de forma gradual durante la descomposición del tejido vegetal, atenúa este problema.
- Promueve la adición de nitrógeno al suelo a través de la fijación biológica de las leguminosas; esto puede representar una importante economía de este elemento en la fertilización de los cultivos comerciales, además de mejorar el balance de nitrógeno del suelo.
- Reduce la población de malezas a través del efecto supresor y/o alelopático ocasionado por el rápido crecimiento inicial y exuberante desarrollo de la biomasa.
- El crecimiento de los abonos verdes y su descomposición activan el ciclo de muchas especies de macroorganismos y principalmente microorganismos del suelo, cuya actividad mejora la dinámica física y química del suelo.
- Presenta múltiples usos en la propiedad agrícola; algunos abonos verdes poseen elevada calidad nutritiva, pudiendo ser utilizados en la alimentación animal (avena, arveja, gandul y lablab), en la alimentación humana (altramuz y gandul) o, hasta ser utilizados como fuente de madera y leña (*Leucaena sp*).

CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN SER OBSERVADAS PARA SELECCIONAR ABONOS VERDES

Según Amado y Wildner (1991) las principales características que deben ser observadas para la selección de los abonos verdes son:

1. presentar rápido crecimiento inicial (agresividad inicial) y eficiente cobertura del suelo;
 2. producción de elevadas cantidades de fitomasa (materia verde y seca);
 3. capacidad de reciclaje de nutrientes;
 4. facilidad de implantación y manejo en campo;
 5. presentar bajo nivel de ataque de plagas y enfermedades y no comportarse como planta hospedera;
 6. presentar un sistema radicular profundo y bien desarrollado;
 7. ser de fácil manejo para su incorporación al suelo y posterior implantación de cultivos.
 8. presentar potencial para uso múltiple en la finca;
 9. presentar tolerancia o resistencia a la sequía y/o heladas;
 10. presentar tolerancia a la baja fertilidad y capacidad de adaptación a suelos degradados;
 11. posibilidad de producción de semillas en cantidades suficientes para aumentar sus áreas de cultivo;
 12. no comportarse como planta invasora, dificultando los cultivos sucesivos y/o la rotación.
- Malavota (1967), citado por Muzilli *et al.* (1980), sugiere además:
13. pertenecer a la familia de las leguminosas;

14. poseer semillas de tamaño medio (1000 a 1500 semillas/kg.), aptas para germinar en suelo preparado convencionalmente;
15. especies que produzcan plántulas robustas, capaces de soportar la inclemencia del tiempo;
16. poseer semillas permeables al agua, lo que facilita la germinación;
17. no ser plantas trepadoras, principalmente si fueran de ciclo perenne.

Puede agregarse también que:

18. tenga facilidad de adaptación a los sistemas de cultivo predominantes en la región;
19. tenga buena capacidad de rebrote en casos de corte de la parte aérea;
tenga buena capacidad de resiembra natural.

A pesar de requerir tantas características, esto no significa que cada especie deba cumplir todos estos requisitos. En realidad, dependiendo de la especie de abono verde (invierno o verano; arbustiva o rastrera, ciclo corto o largo), del sistema de cultivo y de la condición del agricultor, algunos de los puntos pueden ser despreciados. Amado y Wildner (1991) remarcan que difícilmente una especie cumplirá al mismo tiempo con todos los requisitos mencionados anteriormente. Por esta razón, en el ámbito de la propiedad agrícola, sólo algunas de estas características serán de importancia fundamental, siendo por lo tanto utilizadas como criterios de selección.

PRINCIPALES ESPECIES UTILIZADAS COMO ABONOS VERDES

Las principales especies vegetales de uso corriente utilizadas como abonos verdes/cobertura del suelo en el Brasil y países de América Latina se presentan en el Cuadro 27.

CARACTERÍSTICAS DEL ABONO VERDE

Abono verde de primavera/verano

Los abonos verdes se siembran en el hemisferio Sur durante el período de octubre a enero. Normalmente las especies más utilizadas son leguminosas como la mucuna, el frijol de puerco, el gandul, las crotalarias, entre otras. Las principales ventajas de esta práctica son la gran producción de biomasa, la elevada cantidad de nitrógeno fijado biológicamente y la cobertura del suelo durante el período de lluvias de alta intensidad. Su mayor desventaja es la ocupación del suelo durante el período de los principales cultivos económicos de verano. Para atenuar este inconveniente se recomienda subdividir la propiedad agrícola en terrenos donde se utilizarán los abonos verdes en forma escalonada.

Abono verde de otoño/invierno

Esta modalidad prevé la utilización de abonos verdes durante el período de invierno, generalmente en la entrefa de los principales cultivos comerciales. El hecho de que una gran extensión de la región sur del Brasil permanece sin utilizar durante el período de invierno, sujeta a la erosión, lixiviación de nutrientes y proliferación de malezas, contribuyó a la rápida difusión de esta modalidad.

Cuadro 27

Lista de las principales especies usadas como abonos verdes/cobertura del suelo.

Nombre científico	Nombre común		
	Español	Inglés	Portugués
1. <i>Avena byzantina</i> C. Koch	Avena amarilla	Algenina oat, red oat.	Aveia vermelha
2. <i>Avena sativa</i> L.	Avena blanca, avena común, avena	Oat, common oat.	Aveia
3. <i>Avena strigosa</i> Schreb	Avena negra, avena brasileña	Naked oat, sand oat.	
4. <i>Cajanus cajan</i> (L.) Milsp.	Gandul, guisante de Angola, frijol de árbol, frijol de Congo, frijol de palo.	Cajan pea, pigeon pea, gungo pea, Angola pea, red gram (India: Dhall Toor).	Ervilha de Angola, guandú.
5. <i>Canavalia ensiformis</i> (L.) D.C.	Canavalia, frijol de puerco, frijol de espada, haba de caballo, guisante sable, poroto gigante.	Jack bean, Chicasaw bean, C. lima, horse bean, Patagonian bean, knife bean, overlook bean, sword bean.	Fava brava, feijão sabre, feijão de espada.
6. <i>Crotalaria grantiana</i> Harv.	Crotalaria	Crotalaria	Crotalária
7. <i>Crotalaria juncea</i> L.	Crotalaria, cáñamo de la India.	Bengal hemp, sunnhemp.	Cânhamo da Índia, crotalária.
8. <i>Crotalaria mucronata</i> Desv.	Cascabel, guisante de cascabel, crotalaria, matraca.	Stripped crotalaria, streaked crotalaria.	Casacavelheira, xique-xique.
9. <i>Crotalaria retusa</i> L.	Cascabel fétido, cascabelillo, maromera.	Devil bean, wedgeleaved crotalaria.	Chocalho, guizo de cascabel.
10. <i>Crotalaria spectabilis</i> Roth	Crotalaria, guisante de cascabel.	Show crotalaria.	Crotalária.
11. <i>Fagopyrum sagittatum</i> Gilib.	Alforfón, trigo sarraceno, trigo negro.	Beech wheat, buck wheat, Japanese buck wheat, silver hull.	Fagópiro, trigo sarraceno
12. <i>Lathyrus hirsutus</i> L.	Chícharo, guija velluda	Caley pea, hairy bitter vetch, singletary pea.	
13. <i>Lathyrus cicera</i> L.	Chícharo, lenteja forrajera	Chickling vetch, falcon pea, flatpod pea vine.	Araca, chicharo branco
14. <i>Lathyrus sativus</i> L.	Chícharo, chícharo común	Chickling pea, grass peavine, grass-pea.	Chícaro, chícharo comum.
15. <i>Lens culinaris</i> Medik	Lenteja	Lentil	Lentilha
16. <i>Lolium multiflorum</i> Lam	Raygrass, raygrass común, raygrass italiano, ballico	Annual ryegrass, Italian ryegrass.	Azévem, azévem italiano
17. <i>Lupinus albus</i> L.	Altramuz, lupino, chocho	White lupine	Lupino branco.
18. <i>Lupinus angustifolius</i> L.	Altramuz azul, lupino azul.	Blue lupine, narrow leaved lupine, New Zealand blue lupine.	Tremoço azul.

Nombre científico	Nombre común		
	Español	Inglés	Portugués
19. <i>Lupinus luteus</i> L.	Altramuz amarillo.	Yellow lupine, European yellow lupine.	Tremoceiro amarelo.
20. <i>Melilotus albus</i> Medik	Trébol dulce, trébol blanco dulce, trébol blanco de olor, meliloto.	Sweetclover, common sweetclover, honey clover, melilot.	Meliloto branco, trêvo doce.
21. <i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	Meliloto, trébol de olor, trébol de olor amarillo.	Common sweetclover, field melilot, yellow melilot.	Corva de rei, meliloto.
22. <i>Melilotus indicus</i> All.	Trébol de olor alfalfa, trevillo.	Indian clover, Indian melilot, yellow annual sweetclover.	Anafe menor, trêvo de cheiro.
23. <i>Ornithopus sativus</i> Brot.	Serradella.	Serradella, bird's foot.	Serradela.
24. <i>Phacelia tanacetifolia</i> Benth.	Facelia	Bluebell, California bluebell, scorpionweed.	
25. <i>Pisum sativum</i> (L.),	Arveja forrajera, arveja de campo, arveja verde de los campos.	Garden pea, field pea, grey field pea, Australian winter pea.	Ervilha, ervilha brava.
26. <i>Raphanus sativus</i> L. var. <i>oleiferus</i> Pers.	Rábano forrajero, rábano oleaginoso	Radish fodder, Japanese radish	Nabo chinês, rábano.
27. <i>Secale cereale</i> L.	Centeno	Rye, common rye.	Centeio.
28. <i>Sesbania cannabina</i> (Retz.) Pers.	Sesbania	Sesbania.	
29. <i>Sesbania exaltata</i> (Raf.) Cory.	Sesbania común.	Hemp sesbania, sesbania.	
30. <i>Sesbania speciosa</i> Taub.	Sesbania	Sesbania.	
31. <i>Spergula arvensis</i> L.	Espérgola, pegapinto, esparcilla.	Corn spurry, corn spurrey.	Cassamelo, espergula, gorga.
32. <i>Mucuna aterrima</i> (Piper et Trary) Merr.	Mucuna negra, frijol velludo.	Bengal bean, black velvet bean, Mauritius bean.	
33. <i>Mucuna pruriens</i> (L.) DC.	Mucuna rayada, frijol aterciopelado, frijol aterciopelado de Florida.	Florida velvet bean, deering velvet bean.	Café de Mato Grosso, para café.
34. <i>Trifolium incarnatum</i> L.	Trébol francés, trébol encarnado	French clover, crimson clover, carnation clover.	Erva do amor, trêvo encarnado.
35. <i>Trifolium subterraneum</i> L.	Trébol subterráneo.	Subterranean clover, subclover	Trêvo subterráneo.
36. <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.	Heno griego, fenogreco	Fenugreek, fenugrec.	Feno grego.
37. <i>Vicia angustifolia</i> L.	Arvejilla, veza de hoja angosta	Angusta vetch, narrow-leaf vetch.	
38. <i>Vicia articulata</i> Horn.	Arvejilla parda, garrubia	Bard vetch, monantha vetch, one-flowered tare.	Algarroba, ervilhaca parda.

Nombre científico	Nombre común		
	Español	Inglés	Portugués
39. <i>Vicia bengalensis</i> L.	Veza arvejilla.	Purple vetch.	
40. <i>Vicia ervilia</i> L. Willd.	Arvejilla amarga, yeros.	Bitter vetch, ervil, lentil vetch.	Ervilha de pombo, géro.
41. <i>Vicia faba</i> L.	Haba común, haba, frijol de caballo, frijol forrajero.	Broad bean, great field bean, faba bean, pigeon bean, horse bean, marsh bean, small field bean.	Fava, fava do campo.
42. <i>Vicia hirsuta</i> L. S.F. Gray.	Arvejilla hirsuta.	Tiny vetch, hairy vetch.	Ligerão, unhas de gato.
43. <i>Vicia pannonica</i> Crantz.	Arvejilla húngara.	Hungarian vetch.	
44. <i>Vicia sativa</i> L.	Arvejilla común, veza común.	Common vetch, vetch, golden tare.	Ervilhaca
45. <i>Vicia villosa</i> Roth	Arvejilla peluda, arvejilla de las arenas.	Hairy vetch, winter vetch, Russian vetch.	Ervilhaca das areias, ervilhaca peluda.
46. <i>Vigna sinensis</i> L. Walp.	Caupí, frijol de vaca, frijol chino, frijol de cuerno.	Cowpea, Cuba pea, long bean, common cowpea, blackeye cowpea.	Cultita, feijão de liba.

Abono verde intercalado con los cultivos

En esta modalidad el abono verde es sembrado en la entrelínea del cultivo comercial, y es especialmente adaptada a situaciones en las cuales el suelo tenga que ser utilizado de la manera más intensa posible.

Entre los abonos verdes utilizados en esta modalidad se destacan la mucuna intercalada con maíz, la soya perenne intercalada con cítricos, la arvejilla intercalada con viñedos, entre otros. Este tipo de abono verde deber ser realizado cuidadosamente, para evitar que el abono verde pueda competir con el cultivo comercial, ocasionando inclusive reducción en la productividad. Las principales ventajas de este sistema son el uso intensivo del suelo, el control eficiente de la erosión y la reducción de la propagación de malezas.

Abono verde perenne en áreas de descanso

La utilización de abonos verdes en áreas degradadas por el manejo o en áreas que no están siendo temporalmente cultivadas puede ser una práctica recomendable.

Las principales especies utilizadas comprenden el gandul y especies de los géneros *Indigofera*, *Leucaena*, *Tephrosia*, *Crotalaria*, entre otras. Estas especies al poseer un sistema radicular profundo y elevada producción de biomasa, presentan la doble ventaja de recuperar las propiedades del suelo y posibilitar su utilización como alimento animal.

MANEJO DEL ABONO VERDE

Factores a ser considerados para la implantación de los abonos verdes

Para que los abonos verdes puedan expresar al máximo su potencial de producción de biomasa, es necesario que se les ofrezcan condiciones mínimas para su crecimiento y desarrollo. Es fundamental conocer las exigencias para su cultivo, en lo que se refiere a temperatura, suelos y disponibilidad de agua (Bulisani y Roston, 1993). Estos tres parámetros posibilitarán el

conocimiento del comportamiento de los abonos verdes, y la definición de las mejores épocas de siembra, así como las mejores regiones de cultivo en función de los suelos que las forman.

En lo que respecta a la temperatura, los abonos verdes se pueden dividir en dos grupos básicos: abonos verdes de regiones subtropicales/templadas y abonos verdes de regiones tropicales, o más comúnmente conocidos como abonos verdes de invierno y de verano.

Las especies invernales son adecuadas para el período del año en el cual comienza la declinación de las temperaturas altas de verano, en especial la ocurrencia de temperaturas más moderadas durante la noche. La siembra debe ser realizada de manera tal que no perjudique el crecimiento vegetativo o la fase reproductiva, que ocurre al inicio de la primavera.

En el caso de las especies tropicales o de verano es necesario observar la ocurrencia de bajas temperaturas al inicio del crecimiento, puesto que pueden causar daños irreversibles al retardar el crecimiento, o al final del ciclo imposibilitando la reproducción (aborto de flores, quema de frutos), o evitando la producción máxima de biomasa. La época de siembra de los abonos verdes de verano es determinante de la altura final y de la producción de biomasa de las especies de hábito erecto o de la expansión lateral de las especies de hábito rastrero/trepador (Wutke, 1993), (Wildner y Massignam, 1994a, b, c). De este modo, siembras tardías de gandul y crotalarias, a partir del inicio del período lluvioso resultan en reducciones significativas de la altura de plantas (de 3m a 1,0-1,5m), disminución de la biomasa (Wutke, 1993 y Wildner y Massignam, 1993), disminución de la cobertura del suelo, aumento de la incidencia de plagas, facilitando la cosecha de granos o dificultándola.

Los abonos verdes más utilizados tienen una amplia adaptación a los distintos tipos de suelo; las leguminosas en general, son exigentes a un mínimo de fertilidad, traducido principalmente por una disponibilidad adecuada de Ca, Mg, P y K (Bulisani y Roston, 1993). Algunas leguminosas son más tolerantes a condiciones de suelos degradados; entre ellas se citan al gandul y varias crotalarias. Las leguminosas de verano, por otro lado, parecen ser menos exigentes en fertilidad que las leguminosas de invierno. Otras especies de gramíneas, crucíferas y cariofiláceas son también menos exigentes que las leguminosas.

La disponibilidad de agua, representada por la cantidad y la distribución, influyen marcadamente en el desarrollo de los abonos verdes y en la determinación de su época de siembra. Es importante, por lo tanto, identificar los períodos de déficit acentuado de agua para que sea posible anticipar o retardar la siembra de los abonos verdes. Según Bulisani y Roston (1993), la fase más crítica en la implantación de las leguminosas es la de la germinación y emergencia de plántulas, cuando la falta de agua puede restringir la obtención de una adecuada población de plantas. En las fases siguientes del ciclo vegetativo, por la naturaleza del sistema radicular, por la menor demanda de agua y por el propio estado de crecimiento, los perjuicios por deficiencia hídrica son poco aparentes.

Manejo de la fitomasa

La cantidad de fitomasa a ser producida en determinada área de explotación agrícola depende, básicamente, del interés y del objetivo del agricultor. El tiempo de permanencia de la cobertura vegetal es definido considerando el sistema de producción adoptado en la propiedad agrícola, pudiendo ser mayor o menor de aquel hasta entonces recomendado para esa práctica agrícola. No debe prescindirse de la cobertura del suelo bajo cultivo, en cualquier época del año, con miras al mantenimiento de su integridad física, química y biológica (Wutke, 1993).

El agricultor puede optar por tres sistemas básicos de manejo:

1. La incorporación total de la fitomasa, caracterizando al tradicional abono verde.
2. La incorporación parcial de fitomasa, caracterizando el llamado cultivo mínimo.
3. Manejo de la fitomasa, sin incorporación al suelo, caracterizando la siembra directa.

Incorporación total de la fitomasa: es el manejo más conocido y difundido entre los agricultores. La incorporación puede ser realizada en cualquier momento, dependiendo de los objetivos del agricultor; la época tradicionalmente recomendada para ello es durante la floración plena del abono verde. Es en esta fase que ocurre la máxima acumulación de biomasa y nutrientes. Cuando se realiza anticipadamente, la velocidad de descomposición de la biomasa será mayor y los niveles de nutrientes serán menores. Cuando el manejo se retarda, las plantas se tornan más leñosas (relación C/N mayor), y la descomposición será más lenta. La opción por esta o aquella época estará en función, principalmente de la época de siembra del cultivo sucesivo. Esta operación debe ser realizada con arados y discos.

Incorporación parcial de la fitomasa: para obtener la incorporación parcial de la fitomasa se utiliza el mínimo de operaciones de preparación del suelo, necesarias para dar condiciones favorables a la germinación de las semillas y el establecimiento de las plantas (Curi *et al.* 1993). Monegat (1981) difundió, para las condiciones de los pequeños agricultores de la región sur del Brasil, la idea del cultivo mínimo con tracción animal, utilizando plantas de cobertura del suelo en el invierno (cultivo mínimo con *Vicia sativa*). En este caso, la única operación de preparación del suelo es la apertura de un surco, con el distanciamiento en que se hará la siembra del cultivo posterior; en las entrelíneas el suelo permanece protegido. En este sistema la cobertura vegetal es prácticamente incorporada durante el surcado (20 a 40%). El resto de la cobertura vegetal podrá ser mantenida en la superficie o sea total o parcialmente incorporada durante la fertilización nitrogenada o durante el control de las malezas (Monegat, 1991). Este sistema es viable en áreas con baja incidencia de malezas; en caso contrario, el método químico podrá ser usado para el control de las malezas. El cultivo mínimo, además de los varios beneficios que proporciona, reduce la cantidad de mano de obra necesaria para la implantación de los cultivos, al ser comparado con el cultivo convencional.

El **cultivo mínimo con tracción animal** puede ser realizado de cuatro maneras distintas en función de la especie y de la fase del ciclo vegetativo en el cual se encuentra el abono verde (Monegat, 1991):

- a. **cultivo mínimo antes de la floración del abono verde:** es realizado en áreas cultivadas con abonos verdes de porte bajo o rastrero y con un desarrollo inicial lento (serradela, trébol púrpura, lenteja), poca producción de biomasa y ciclo largo. El manejo es realizado cuando las plantas presentan 100% de cobertura del suelo. Los surcos deben ser anchos y la siembra, de preferencia, en líneas apareadas. Este sistema permite la siembra anticipada del maíz y la resiembra natural del abono verde. Al final del ciclo del abono verde, entre las líneas apareadas del cultivo principal, es posible una nueva siembra tardía directa, caracterizando así una asociación de sustitución o sucesión de cultivos;
- b. **cultivo mínimo en la fase de floración plena del abono verde:** el manejo es realizado en la época de plena floración. En muchas ocasiones, cuando la producción de biomasa es muy grande, ocurren dificultades para realizar el surcado; algunas veces se atasca la reja del arado; otras veces, la biomasa del abono verde cae sobre el surco abierto, perjudicando la siembra y la emergencia del cultivo posterior. Para evitar estos problemas se recomienda,

realizar un surcado cuando haya una cobertura total del suelo (100%), también llamado presurcado. En esta ocasión debe usarse un arado con reja media o grande. El presurcado retarda el crecimiento del abono verde y no permite la producción excesiva de biomasa. Durante la floración es realizado el surcado definitivo. Este tipo de cultivo mínimo es realizado con arvejilla común, arvejilla aterciopelada, chícharo, y otras especies afines. Al final del ciclo vegetativo del abono verde también es posible implantar un nuevo cultivo, con siembra directa, como asociación de sustitución o sucesión de cultivos en las entrelíneas del cultivo principal;

- c. *cultivo mínimo después de la cosecha de cereales de invierno*: en este sistema, inmediatamente después de la cosecha del cereal de invierno (trigo, triticale, avena, centeno), se procede al surcado del área y a la siembra del cultivo principal. El control de malezas es semejante al sistema convencional;
- d. *cultivo mínimo después del vuelco del abono verde*: este es el ejemplo típico del cultivo mínimo con abonos verdes de verano, como la mucuna, pero también puede ser usado con abonos verdes de invierno. Para el vuelco de las plantas se pueden utilizar equipos típicos como el rollo-cuchillo y el rollo-disco o aún el arado de discos o una segadora manual o mecánica. También se puede realizar la desecación química. Después de una o dos semanas del vuelco, cuando la biomasa está en estado avanzado del secado, se procede al surcado. Para el surcado con presencia de abonos verdes de porte erecto (avena, centeno, nabo forrajero, crotalarias, etc.) se recomienda el uso del arado surcador tradicional. En presencia de abonos verdes de hábito voluble (arvejilla común, arvejilla aterciopelada, mucuna) se recomienda adaptar un disco de corte al frente de la reja del arado para cortar los tallos de las plantas.

Es importante remarcar que el cultivo mínimo con tracción animal es un sistema adaptado para cultivos que son sembrados a grandes distancias (próximo a un metro entre filas) como el maíz, la yuca y el tabaco.

Es necesario remarcar que el cultivo mínimo puede presentar algunos inconvenientes, tales como:

- mayor dificultad en el surcado en comparación con el surcado del sistema convencional;
- mayor presencia de ratas y plagas del suelo;
- no es recomendado para áreas con elevada incidencia de malezas;
- si no está bien planificado, el sistema puede interferir negativamente con los sistemas de producción tradicionales (cultivos intercalados y asociados de sustitución) (Monegat, 1991).

El cultivo mínimo con tracción mecanizada no es un sistema difundido. Se registra únicamente en la región sur del Brasil en especial en el cultivo de cebolla. En este sistema es preparada una pequeña faja de suelo para cada línea del cultivo (cebolla) con fertilización simultánea. La preparación es realizada a través de sembradoras adaptadas "Rotacaster" de siembra directa arrastradas por tractor de potencia media (Silva *et al.*, 1993a).

Manejo de la fitomasa sin incorporación al suelo. La secuencia de operaciones se inicia con el manejo de la biomasa sin incorporarla al suelo y termina, con la siembra del cultivo principal sin la preparación del suelo, lo que es conocido como siembra directa. Para la siembra directa son usadas máquinas especiales que abren un pequeño surco de profundidad y ancho suficientes para garantizar una buena cobertura y contacto de la semilla con el suelo (se

remueve del 25 al 30% del suelo) (Curi *et al.*, 1993). En general, el control de malezas en este sistema es realizado a través de métodos químicos.

Para el manejo de la biomasa pueden ser utilizados métodos mecánicos (rollo-cuchillo, en casos especiales las segadoras o picadoras) y/o métodos químicos (desecación con herbicidas). Los métodos mecánicos deben ser usados con mucho criterio, principalmente a lo concerniente a la época del manejo, para evitar problemas de un mal vuelco y/o rebrote. Por eso, el vuelco debe efectuarse en plena floración o en fase de grano lechoso, de acuerdo a la especie a ser manejada. En cuanto al método químico, son utilizados generalmente productos de acción total (desecantes), cuidando de evitar problemas de intoxicación y daños al medio ambiente. La variedad de máquinas sembradoras para la siembra directa es muy grande; existen a disposición máquinas manuales especialmente adaptadas (matracas, pica-palo o punzón, "saraquá") y máquinas de tracción motorizada, con sistema sembrador de precisión y accionado electrónicamente. La tecnología de la siembra directa para grandes áreas ofrece múltiples alternativas, mientras que para los agricultores pequeños son necesarios aún más y mejores equipos. Monegat (1991) remarca algunos problemas de orden técnico o funcional usando el "saraquá" para siembra directa de maíz, frijol y soya:

- dificultad en la alineación para sembrar;
- dificultad de penetración del "saraquá" cuando la cobertura muerta es espesa o el suelo está seco y/o compactado;
- desuniformidad de germinación y desarrollo de las plantas en períodos de estrés hídrico, a causa de una siembra muy superficial;
- presencia de plantas cloróticas indicando problemas de orden nutricional (nitrógeno);
- presencia de plantas etioladas cuando la capa muerta es muy espesa;
- los efectos de las heladas pueden ser mayores, en función de la proximidad de la cobertura muerta.

EFFECTOS DEL ABONO VERDE EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Efectos en las propiedades físicas del suelo

Los efectos de los abonos verdes/cobertura del suelo, según Muzilli *et al.* (1980), pueden ser observados durante dos fases:

- a. la primera, se refiere a la protección de las capas superficiales del suelo por parte de las plantas;
- b. la segunda, se refiere a la incorporación de la materia vegetal al suelo.

Según Amado (1985), la cobertura vegetal viva o muerta es el factor aislado que mayor influencia ejerce sobre la superficie del suelo, previniendo la desagregación del suelo y la formación de costras que reducen la infiltración del agua. También disminuye la velocidad de la escorrentía, la concentración y el tamaño de los sedimentos transportados y, por lo tanto, las tasas de pérdida de suelo y agua.

La cobertura vegetal también ejerce influencia sobre la humedad y la temperatura del suelo. La influencia en la reducción de las pérdidas de humedad puede ser atribuida a una

sumatoria de varios factores. Se destacan las reducciones en la evaporación y el escurrimiento superficial y el incremento de la infiltración y capacidad de retención de agua en el suelo (Moody, 1961 y Eltz *et al.*, 1984, citados por Amado *et al.*, 1990). Las diferencias en el contenido de humedad del suelo se hacen más pronunciadas en épocas de sequía, evidenciándose que la preparación del suelo cubierto atenúa los déficit hídricos de corta duración (Amado *et al.*, 1990).

Derpsch *et al.* (1985), estudiando sistemas de manejo de suelos para el cultivo del maíz, observaron que los mayores contenidos de humedad del suelo fueron registrados en parcelas con residuos de avena negra, y los menores, con chícharo. La humedad del suelo, durante el período vegetativo del maíz, en las parcelas con residuos de avena negra fue de 3,0 a 7,4% superior a la humedad del suelo de la parcela mantenida en descanso. En general, los resultados demostraron claramente que las pérdidas de agua del suelo durante el verano fueron reducidas con la presencia de residuos de plantas cultivadas durante el invierno y mantenidos en la superficie del suelo (Figuras 32 y 33). Es importante remarcar que el análisis de las temperaturas máximas y mínimas es de fundamental importancia debido a los efectos que ejerce la temperatura del suelo en la actividad biológica, la germinación de las semillas, el crecimiento radicular y la absorción de iones.

Según Muzilli *et al.* (1980), las propiedades físicas afectadas por la incorporación de abonos verdes son la estructura, la capacidad de retención de agua, la consistencia y la densidad; otras propiedades como la porosidad, la aireación, la conductividad, la hidráulica y la infiltración están ligadas a las modificaciones de la estructura. Sin embargo, este efecto depende circunstancialmente de la calidad y cantidad de biomasa incorporada, de los factores climáticos y de las características del suelo.

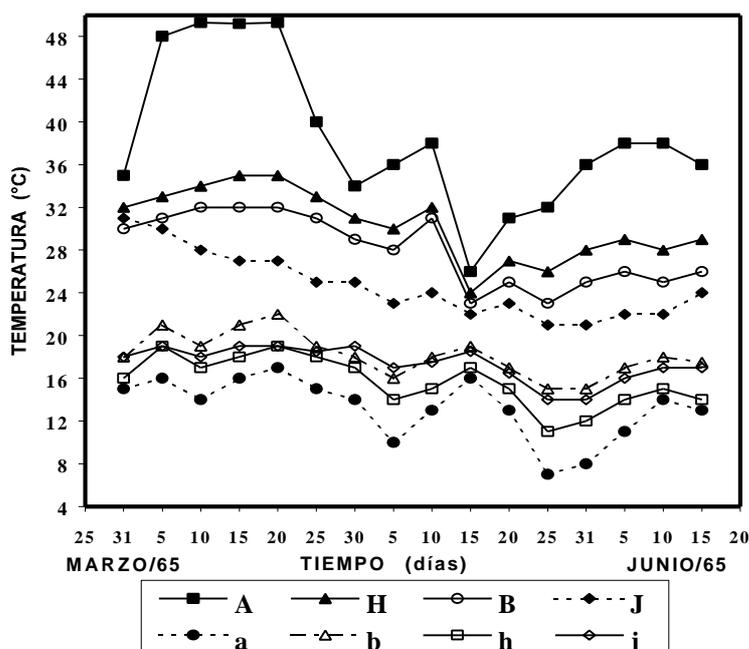
Derpsch (1984), indica que las tasas de infiltración de agua en el suelo después una cobertura verde evaluada con anillos concéntricos, aumentaron hasta 416% en un Latosol Rojo Distrófico y hasta 628% en un suelo Tierra Roja estructurada, en comparación con la parcela de trigo. Más aún, la mayor infiltración persistió hasta el próximo cultivo de soya.

Sidiras y Roth (1984), evaluaron la capacidad de infiltración de diferentes coberturas, utilizando un simulador de lluvia. Observaron que la infiltración fue mayor donde hubo mayor cantidad y calidad de abonos verdes. Los resultados en este caso presentaron menos diferencias significativas con relación al trabajo de Derpsch (1984) en virtud, principalmente, de la diferente metodología.

Derpsch (1984), también indica que la labranza de las parcelas con preparación convencional, confirmó el efecto positivo de las coberturas verdes sobre la consistencia del suelo, comparado con el testigo cubierto con trigo. Según el autor, las coberturas verdes dejan como resultado un suelo muy friable debido a una preparación biológica del suelo.

FIGURA 32

Fluctuación de las temperaturas máximas y mínimas en períodos de cinco días, determinadas a 5 cm de profundidad del suelo, en un ensayo de incorporación y cobertura de materia seca al suelo antes de la siembra de frijol, en Campinas, SP. (Miyasaka, 1966)



A y a = Testigos sin aplicación de materia seca.
 B y b = Incorporación de pasto gordura.
 H y h = Incorporación de pasto gordura y soya perenne.
 J y j = Mantillo de pasto gordura.

Efectos en las Propiedades Químicas del Suelo

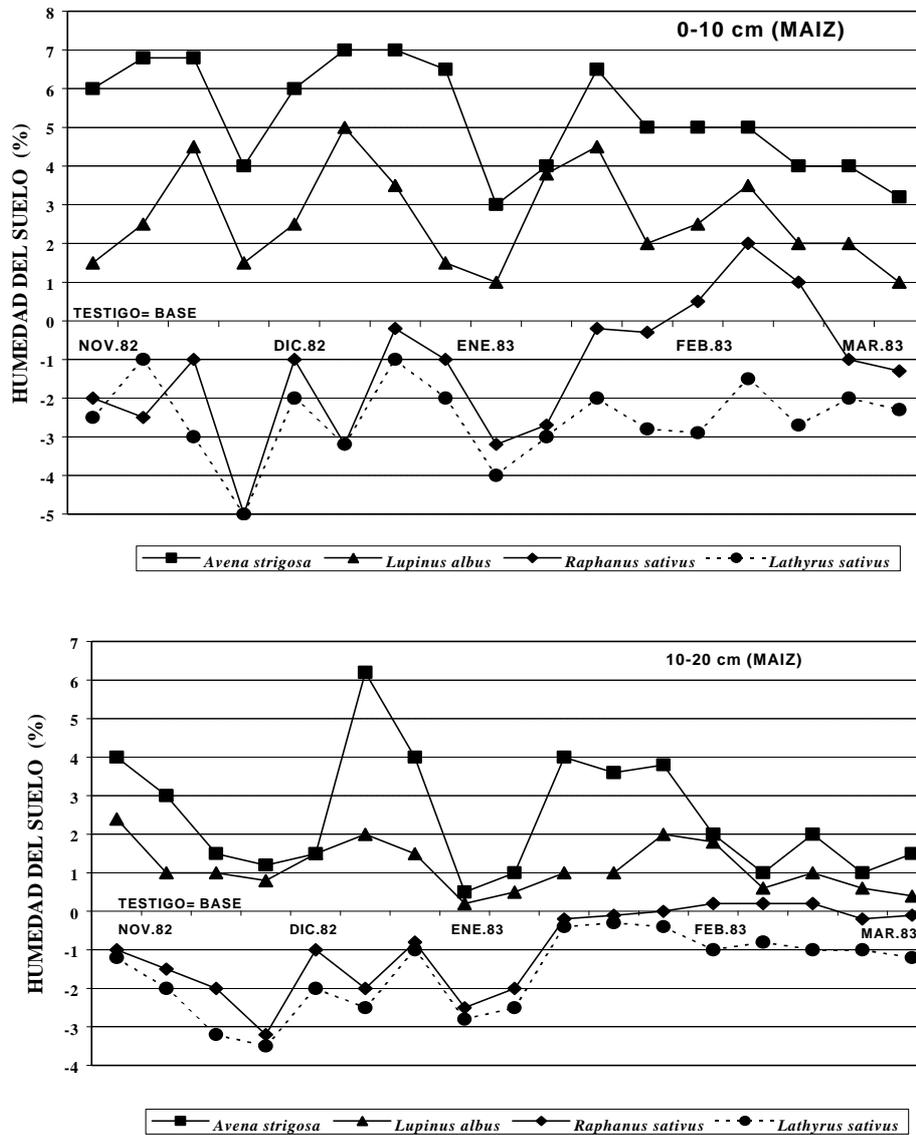
En función de la calidad y cantidad de materia verde producida, varias especies de abonos verdes pueden promover el reciclaje de nutrientes, el aporte de nitrógeno y el mantenimiento o aumento de los niveles de materia orgánica en el suelo. Según Muzilli *et al.* (1980), la contribución del abono verde en la mejora del contenido de materia orgánica es dependiente de la cantidad de residuos incorporados, de la frecuencia de incorporación y de la calidad del material.

La capacidad de reciclaje de nutrientes es reconocida a través de numerosos trabajos de investigación. El reciclaje de nutrientes puede ocurrir en cuatro situaciones:

1. el nutriente lixiviado hacia las capas profundas del suelo, fuera del alcance de las raíces de los cultivos económicos, es translocado hasta la superficie del suelo y puesto a disposición de los cultivos, después de la incorporación del abono y mineralización de su material orgánico;
2. el nutriente que está localizado en la capa arable es incorporable al tejido vegetal del abono verde y protegido de un posible arrastre por la erosión; después de la incorporación y mineralización de la biomasa del abono verde, el nutriente queda nuevamente disponible para las plantas;

FIGURA 33

Efecto de los residuos de cosecha sobre la humedad del suelo en capas de 0-10 y 10-20 cm de profundidad, durante el cultivo de maíz (Derpsch *et al.*, 1985)



3. las leguminosas, a través de la simbiosis con el *Rhizobium* promueven el aprovechamiento del nitrógeno atmosférico. Es posible que especies no leguminosas posean concentraciones de nitrógeno semejante o superiores a los niveles de las leguminosas; en este caso, existe un excelente aprovechamiento del nitrógeno nativo del suelo una vez que no es constatada la simbiosis característica;
4. la transformación de nutrientes que se encuentran en forma no disponible en una forma rápidamente asimilable (asociación con micorrizas).

Resultados obtenidos por Wildner (1990) muestran la capacidad de reciclaje de diferentes especies utilizadas como abonos verdes de invierno y verano (Cuadros 28, 29 y 30). Trabajos conducidos en la Estación Experimental de Ituporanga, en la región del Alto Valle de Itajaí, ratifican los resultados mencionados anteriormente (Amado, 1991).

CUADRO 28

Producción de biomasa y análisis de nutrientes en el tejido vegetal de especies de abonos verdes de invierno evaluados en CPPP. Chapecó, SC, 1990¹

Especies	Materia (t/ha)		Nutrientos (%)					Carbono orgánico (%)	Relación C/N ³
	Verde	Seca ²	N	P	K	Ca	Mg		
Avena negra (<i>Avena strigosa</i>)	31,5	7,7	1,39	0,17	2,30	0,38	0,17	37,6	27,1
Centeno (<i>Secale cereale</i>)	35,4	6,2	0,97	0,20	2,05	0,32	0,10	39,3	40,5
Raygrass (<i>Lolium multiflorum</i>)	29,8	4,8	1,01	0,13	2,61	0,52	0,18	36,4	36,1
Chicharo (<i>Lathyrus sativus</i>)	30,8	3,9	2,70	0,26	2,74	0,56	0,28	38,7	14,3
Arveja (<i>Vicia sativa</i>)	18,9	3,6	3,00	0,31	2,51	1,08	0,30	36,5	12,1
Arvejilla peluda (<i>Vicia vilosa</i>)	23,9	5,0	3,41	0,35	2,98	0,90	0,26	37,9	11,1
Arveja forrajera (<i>Pisum arvense</i>)	28,9	3,0	2,89	0,32	2,44	0,82	0,28	38,8	13,4
Nabo forrajero (<i>Raphanus sativus</i>)	28,0	3,5	2,32	0,35	3,59	2,09	0,38	32,8	14,1
Gorga (<i>Spergula arvensis</i>)	33,0	3,8	1,62	0,30	2,90	0,44	0,74	36,9	22,8

Observaciones:

¹Los datos presentados se refieren a evaluaciones realizadas en 1985, 1986 y 1987.

²Materia seca, obtenida en estufa a 60°C.

³Relación obtenida entre el porcentaje de C orgánico y N total.

CUADRO 29

Contenido de nutrientes de los componentes de la biomasa (tallos y hojas) de especies anuales de ciclo estival, para abono verde, cobertura y recuperación del suelo. Chapecó, SC, 1990¹

Especie	Tallos						Hojas					
	MS ² (t/ha)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	MS ² (t/ha)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
<i>Crotalaria juncea</i> (<i>Crotalaria</i> /EEU)	10,8	1,12	0,07	1,01	0,41	0,24	2,5	2,73	0,24	1,40	1,89	0,72
<i>Crotalaria retusa</i> (<i>Crotalaria</i> /IAC)	3,0	1,52	0,14	2,25	0,61	0,45	2,0	3,39	0,22	1,47	2,54	0,66
<i>Crotalaria spectabilis</i> (<i>Crotalaria</i> /IAC)	7,5	1,52	0,11	2,49	0,70	0,28	2,5	3,72	0,24	1,96	1,97	0,44
<i>Crotalaria lanceolata</i> (<i>Crotalaria</i> /SLO)	4,1	1,53	0,09	2,22	0,32	0,30	2,3	5,00	0,23	2,02	1,01	0,43
<i>Crotalaria grantiana</i> (<i>Crotalaria</i> /IAC)	5,6	0,97	0,05	1,42	0,50	0,11	2,1	4,60	0,26	1,80	1,33	0,36
<i>Canavalia ensiformes</i> (frijol de puerco/EEU)	3,9	1,40	0,18	1,89	0,60	0,25	3,2	3,82	0,22	1,91	2,56	0,55
<i>Cajanus cajan</i> (gandul/CNPAF)	6,0	1,39	0,10	1,01	0,47	0,18	1,7	3,86	0,23	1,73	1,07	0,38
<i>Mucuna pruriens</i> (<i>Mucuna</i> /EEU)	2,2	1,97	0,16	2,37	1,33	0,32	1,3	4,00	0,24	1,28	1,81	0,37
<i>Mucuna pruriens</i> (<i>Mucuna rayada</i> /EEU)	4,5	1,78	0,12	2,03	0,98	0,36	3,2	4,15	0,26	1,25	2,04	0,39
<i>Mucuna</i> sp (<i>Mucuna ceniza</i> /EEU)	4,3	1,72	0,19	1,46	0,77	0,34	2,2	4,41	0,33	1,16	1,50	0,47
<i>Mucuna aterrima</i> (<i>Mucuna negra</i> /IAC)	3,6	2,24	0,19	1,96	0,77	0,22	2,4	4,39	0,29	1,10	1,58	0,41

Observaciones

¹Los datos presentados se refieren a evaluaciones realizadas durante las cosechas de 1986/87, 1987/88 y 1988/89.

²Materia seca obtenida en estufa a 60°C.

Fuente: Wildner, 1990.

CUADRO 30

Contenido de nutrientes de los componentes de la biomasa (tallos y hojas) de las especies semiperennes y perennes de ciclo estival, con potencial como abonos verdes, cobertura y recuperación de suelos. Chapecó, SC, 1991¹

Especie	Tallos						Hojas					
	MS ² (t/ha)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	MS ² (t/ha)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
<i>Crotalaria paulina</i>	13,2	1,29	0,08	1,85	0,98	0,39	3,7	3,56	0,25	2,04	2,41	0,58
<i>Crotalaria mucronata</i>	10,0	1,40	0,08	1,99	0,51	0,25	3,1	5,80	0,24	1,31	1,46	0,47
Anileira	7,9	1,32	0,11	1,01	0,82	0,23	1,9	4,77	0,29	1,72	1,18	0,47
<i>Leucaena</i> /EMPACA	3,8	1,35	0,08	0,92	0,53	0,26	2,2	3,78	0,17	1,12	1,13	0,70
<i>Leucaena</i> /CV PERU	10,5	1,54	0,09	1,29	0,39	0,26	5,1	3,60	0,16	1,49	0,95	0,45
Gandul/CV KAKI	17,0	1,54	0,10	1,08	0,59	0,26	4,0	4,08	0,26	1,36	0,87	0,32
Gandul/CPPP	11,3	1,40	0,11	1,13	0,57	0,22	2,8	4,08	0,27	1,55	1,07	0,30
<i>Tephrosia</i>	6,0	1,95	0,12	1,08	1,08	0,26	1,7	4,06	0,22	1,22	1,01	0,25

Observaciones:

¹ Los datos presentados se refieren a las evaluaciones realizadas durante las cosechas de 1986/87, 1987/88 y 1988/89.

² Materia seca obtenida en estufa a 60°C.

Fuente: Wildner, 1990.

Efectos en las propiedades biológicas del suelo

Las plantas usadas como abonos verdes, aún antes de su manejo como tal, influyen sobre la actividad biológica del suelo por el atenuante efecto físico sobre la variación de la temperatura y por el mantenimiento de buenas condiciones de humedad del suelo (Derpsch, 1984).

Después del manejo de la biomasa, la presencia de material orgánico es el factor que más influye en la actividad y población de microorganismos, ya que la materia orgánica es fuente de energía para los organismos del suelo. Por esta razón, cuanto mayor sea la producción de biomasa de los abonos verdes, mayor será la población macro y microbiana del suelo (Figura 34).

FIGURA 34

Número de artrópodos en muestras de 300 cm³ de suelo, en siembra directa y convencional de soja, precedida de abono verde o de trigo (adaptado de Kemper y Derpsch, 1981). Fuente: Almeida, Siembra Directa IV(16): 4-5, 1985b.

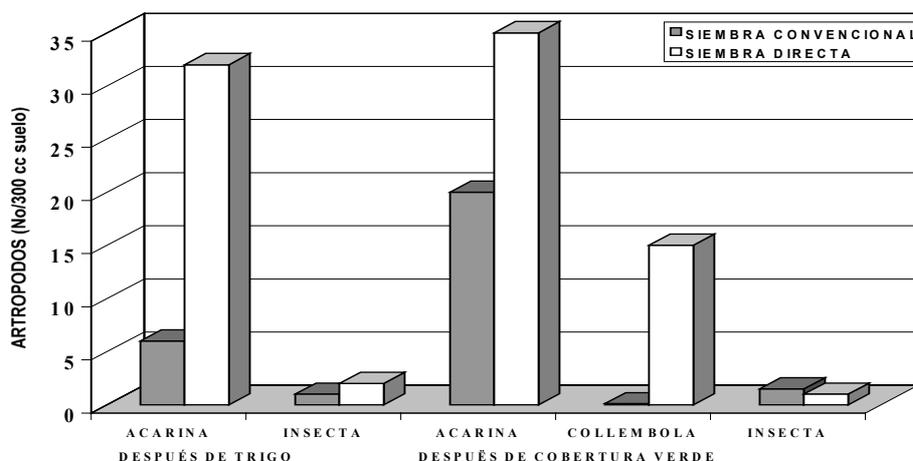
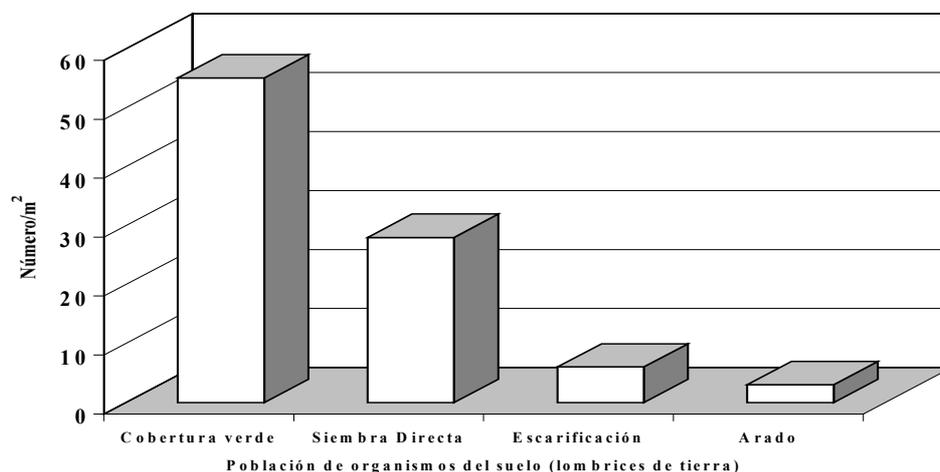


FIGURA 35
Influencia de la intensidad de movimiento del suelo en la población de organismos del suelo (N° lombrices de tierra/m²) a la profundidad de 0-10 cm (Adaptado de Kemper y Derpsch, 1981).
 Fuente: Almeida, Siembra Directa IV(16): 4-5, 1985b



A medida que disminuye la cobertura vegetal y aumenta el movimiento del suelo, es inevitable la reducción de la población de organismos del suelo (Figura 35).

Según Almeida (1985b), las operaciones de preparación del suelo provocan la muerte de gran parte de sus constituyentes orgánicos, imponiendo condiciones de elevadas temperaturas y situaciones alternas de secado y humedecimiento, que afectan a los organismos del suelo con mayor o menor grado de intensidad.

Sharma *et al.* (1982) y Santos *et al.* (1987) consideran a los abonos verdes como uno de los métodos más valiosos y de bajo costo para el control de nemátodos (Cuadro 31).

CUADRO 31

Efecto de distintas especies de abonos verdes en el control de nemátodos en un Latosol Rojo-Oscuro (LE) del Cerrado.

Especie	Control de nemátodos (%)									
	P	M	D	A	AA	T	MA	PT	O	S
<i>Tagetes erecta</i>	100	100	91	12	1	---	100	---	---	4
<i>Cajanus cajan</i>	100	96	98	92	98	100	75	---	---	96
<i>Canavalia ensiformis</i>	100	100	96	100	99	100	100	---	---	99
<i>Crotalaria grantiana</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99
<i>Crotalaria juncea</i>	100	100	100	81	97	100	30	---	---	96
<i>Crotalaria paulina</i>	100	100	94	94	99	100	100	---	---	97
<i>Crotalaria spectabilis</i>	100	100	94	93	100	100	100	---	100	97
<i>Cyamopsis psoralioides</i>	100	100	80	100	98	100	100	---	100	98
<i>Dolichos lablab</i>	91	99	94	100	100	100	100	---	100	98
<i>Indigofera tinctoria</i>	100	100	98	100	99	100	100	---	---	99
<i>Phaseolus aureus</i>	85	90	73	15	2	3	---	---	---	5
<i>Sesbania aculeata</i>	100	100	98	100	100	100	30	100	100	100
<i>Mucuna pruriens</i>	100	100	93	97	99	100	---	---	---	95
<i>Mucuna sp</i>	100	100	100	100	98	25	100	---	---	93
<i>Mucuna aterrima</i>	100	100	93	93	99	100	100	---	100	95
<i>Tephrosia candida</i>	100	100	100	100	96	100	25	---	---	94

P= *Pratylenchus brachyurus*; M= *Meloydogyne javanica*; D= *Ditylenchus sp.*; A= *Aphelenchoides sp.*; AA= *Aphelenchus avena*; T= *Tylenchus sp.*; MA= *Macrosposithora omata*; PT= *Paratrichodorus minor*; O= Otros Tylenchidas; S= Saprofíticos.

Fuente: Sharma *et al.*, 1982.

Varias especies utilizadas como cobertura del suelo, en la entrefra, presentaron efectos positivos en el control de enfermedades radiculares (Santos *et al.*, 1987), destacándose entre otras, la avena negra (*Avena strigosa*), serradela (*Ornithopus sativus*), altramuz (*Lupinus sp.*), Lino (*Linum usitatissimum*) y repollo (*Brassica campestris*). La avena negra se destaca en especial como una opción para la rotación de cultivos en áreas de cultivo de trigo con problemas fitopatológicos, p.ej. el mal de pie (*Ophiobolus sp.*).

Efectos de los abonos verdes en el rendimientos de los cultivos

Los trabajos de investigación han mostrado la marcada influencia de los abonos verdes y de los residuos de cosecha de especies de plantas utilizadas como cobertura del suelo en los rendimientos de los cultivos. Estos resultados se refieren a la utilización tanto de abonos verdes de invierno como de verano. Resultados obtenidos por Derpsch *et al.* (1985), demostraron la influencia marcada de los abonos verdes de invierno sobre la producción de maíz, frijol y soya. Los mayores rendimientos de maíz fueron obtenidos después del altramuz blanco (*Lupinus albus*) y arvejilla (*Vicia sativa*), mientras que en la producción de frijol, los mayores rendimientos fueron obtenidos después del nabo forrajero y avena negra. Según estos autores, el número de granos por planta fue el factor que mayor significado tuvo en la composición del rendimiento del frijol. Muzilli *et al.* (1983), observaron que los abonos verdes de invierno como el altramuz blanco es una alternativa recomendable para recuperar la capacidad productiva de suelos degradados por el uso intenso y reducir los gastos con fertilizantes nitrogenados en el cultivo de maíz. Sin embargo, de acuerdo a las exigencias de los cultivares o híbridos la respuesta puede ser distinta:

- a. la respuesta es positiva y el abono verde es capaz de suplir nitrógeno al cultivo;
- b. la respuesta es positiva, pero la práctica del abono verde podrá no ser suficiente para suplir la demanda de nitrógeno, especialmente en casos de cultivares/híbridos de elevada necesidad de este elemento (p.ej. AG-162 híbrido doble).

Resultados obtenidos por Scherer y Baldissera (1988), en un suelo característico de las costas basálticas de la región oeste catarinense (Santa Catarina, Brasil), demostraron los efectos positivos del cultivo de mucuna como abono verde intercalado con maíz. En este caso fue evidente un mayor beneficio de la mucuna en el cultivo convencional que en la siembra directa y cultivo mínimo (Figura 36). Los autores presuponen que este efecto sea resultante de la mayor cantidad de nitrógeno proveniente de la tasa de mineralización de los compuestos orgánicos y de la mayor liberación de este elemento a corto plazo. Constataron también que el aumento de productividad provocado por el uso de la mucuna fue equivalente a una dosis de 30 kg N/ha (700 kg/ha de maíz), pero que esta diferencia disminuyó a medida que hubo aumento de la dosis de fertilización nitrogenada.

Efectos de los abonos verdes en el control de malezas

El control de malezas es más eficiente en sistemas de cultivos con presencia de cobertura muerta, principalmente de especies de invierno. La acción de la cobertura muerta se da principalmente por el efecto alelopático de sus productos de descomposición (Lorenzi, 1984). En el Cuadro 32 se presentan algunos ejemplos más comunes de alelopatía e incompatibilidad de plantas.

Según Almeida *et al.* (1984), los efectos alelopáticos son específicos, por eso el complejo que se desarrolla en las diferentes coberturas muertas difiere, cualitativa y cuantitativamente, en función del tipo de residuos vegetales de que están compuestas. Según Lorenzi (1984), entre los diversos grupos de plantas utilizadas como cobertura muerta, las gramíneas (maíz, trigo, avena, cebada, centeno) parecen ejercer los efectos alelopáticos más pronunciados, mientras que las

CUADRO 32

Efecto alelopático de cultivos o especies usadas para la cobertura del suelo sobre la germinación de las semillas de algunas malezas

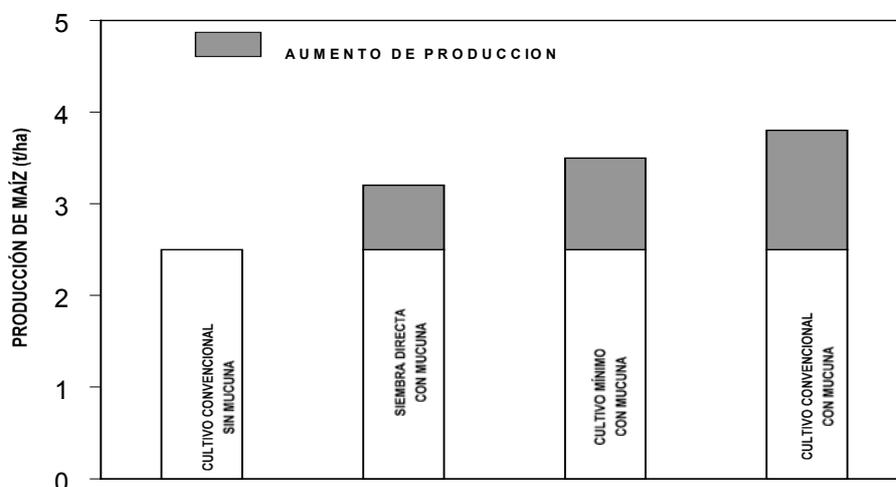
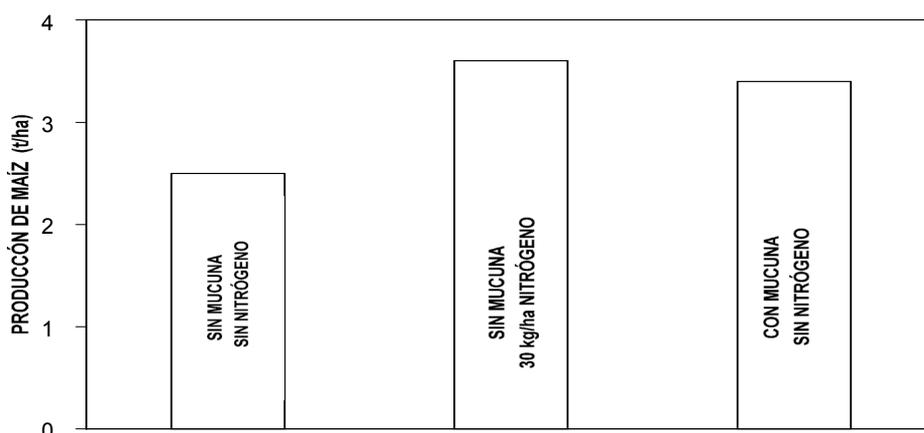
Especie	Tratamiento	Malezas
Avena negra	Cobertura muerta	Papuã (<i>Brachiaria sp</i>)
Raygrass	Descanso	Guanxuma (<i>Sida spp</i>)
Mucuna negra	Cobertura del suelo	Tiririca, picão preto (<i>Cyperus sp</i>)
Frijol de puerco	Cobertura del suelo	Tiririca (<i>Cyperus sp</i>)
Caña de azúcar	Paja	Picão preto* (<i>Cyperus sp</i>)
Trébol rojo	Trébol rojo	Auto-toxicidad
Lino	Lino	Auto-toxicidad
Colza	Colza	Auto-toxicidad
Girasol	Girasol	Maní bravo (**)

(*) La acción de la paja de caña es tan fuerte que puede afectar el desarrollo de su rebrote.

(**) Prácticamente insensible.

FIGURA 36

Efecto de la mucuna y de la fertilización nitrogenada en la producción de maíz. Promedio de dos localidades y tres años de cultivo. CPPP, Chapecó, SC, Brasil, 1985. Fuente: Castilhos *et al.*, 1985. (Adaptado)



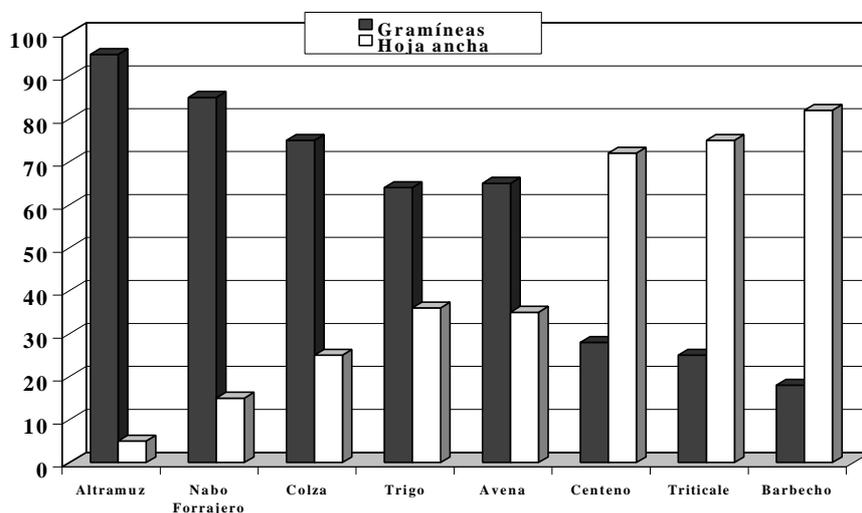
leguminosas (altramuz, serradela, mucuna) son también eficientes sobre diferentes especies de malezas. Respecto a la relación entre malezas de hoja ancha y gramíneas, Almeida (1987) observó, que en las coberturas muertas de altramuz, nabo forrajero y repollo, las gramíneas dominan a las malezas de hoja ancha; mientras que con centeno y triticale sucede lo contrario; en cambio con trigo y avena es menor el dominio de un grupo sobre el otro (Figura 37). El mismo autor observó que las coberturas de avena negra, centeno, nabo forrajero y repollo son las que, después de la cosecha, dejan el terreno más limpio y son también las que tienen un efecto más prolongado sobre las malezas.

Almeida (1985a, b), concluyó que, seleccionando con criterio los cultivos de invierno formadores de cobertura muerta, es posible disminuir significativamente la propagación de malezas y con eso reducir también el uso de herbicidas.

A pesar de las ventajas de la utilización de los cultivos de invierno para la formación de coberturas muertas y de sus efectos alelopáticos, debe considerarse que dan lugar a rebrotes. La serradela y la arveja producen muy poco rebrote, pero presentan el problema de la resiembra natural. En general, los cereales (avena negra, centeno, trigo y cebada), girasol, col forrajero, repollo y nabo forrajero producen fuerte rebrote, lo que exige el uso de herbicidas para su eliminación. La avena también presenta resiembra natural (Almeida, 1985a).

FIGURA 37

Influencia de la cobertura muerta de diversos cultivos de invierno en la distribución porcentual de gramíneas y especies de hoja ancha (Almeida, 1987)



Capítulo 13

Barreras físicas para el control y encauzamiento de la escorrentía

Del total del agua que llega al suelo bajo la forma de lluvias intensas, una parte se infiltra y el resto pasa a formar la escorrentía, concentrándose en las depresiones naturales del terreno, escurriendo hasta encontrar áreas de deposición natural (planicies, bajadas, red de drenaje). A medida que la escorrentía avanza, aumenta su velocidad y volumen. Cuanto mayor es la escorrentía, mayor es su capacidad de causar erosión. Según Rufino (1989), la velocidad crítica de escurrimiento de la escorrentía en la cual comienza el arrastre de partículas desagregadas es de 5 m/seg en suelos arenosos y 8 m/seg en suelos arcillosos.

El control eficiente de la acción erosiva de las lluvias puede ser obtenido a través de la implantación de un conjunto de prácticas de conservación de suelos. Estas prácticas comprenden:

- la sistematización y la protección del área para controlar el escurrimiento superficial;
- la preparación del suelo;
- la plantación de cultivos; y
- la cobertura del suelo.

Las prácticas de sistematización y protección del área tienen por objetivo la implantación racional de obstáculos, drenajes o vías de acceso contra la acción de la escorrentía. La implantación de estas prácticas promueve alteraciones morfológicas en la superficie del suelo. Las prácticas tradicionales implantadas para este fin son: canales escurrideros, banquetas individuales, cordones de vegetación permanente y rompevientos (Sobral Filho, *et al.* 1980).

TERRACEO

Los proyectos de terraceo agrícola deben contemplar la propiedad entera, un grupo de propiedades o hasta la misma microcuenca hidrográfica, en la cual están localizadas las propiedades agrícolas, para que la construcción de las terrazas en cualquier parte, pueda ser integrada al sistema general, sin problemas ni gastos innecesarios. En este aspecto no se debe

excluir la posibilidad de una redistribución de las áreas agrícolas, cercos y caminos para adecuar su arreglo a los preceptos de utilización adecuada del suelo y de la administración agrícola.

Estudio del área a ser terraceada

Una vez constatada la necesidad de la construcción de terrazas para la protección de un área, se debe realizar un estudio previo que considere el uso actual, observando la naturaleza del suelo; las depresiones naturales o locales para la construcción de canales escurrideros artificiales; el escurrimiento de aguas en áreas vecinas, en caminos o en cárcavas; la pendiente y longitud del declive; la presencia de surcos de erosión o cárcavas; la localización de los caminos y las informaciones sobre el régimen pluviométrico de la región.

Uniformidad del terreno

Antes de ser ejecutada cualquier práctica conservacionista de prevención de la erosión, se debe proceder a uniformar el área; o sea, por medio del uso de motoniveladoras, gradas, arados, instrumentos de tracción animal o manual tapar huecos, cunetas, surcos provocados por la erosión, retirar tocones o raíces, o hasta eliminar el antiguo sistema de terraceo.

La uniformidad del terreno es en la práctica, muchas veces, costosa y ambigua, pero es la única solución para la recuperación y aprovechamiento total de las áreas agrícolas (Zenker, 1978).

Control de cárcavas

Las cárcavas son surcos de erosión de grandes dimensiones que desvalorizan la propiedad agrícola por impedir el tránsito de la maquinaria, disminuir el área aprovechable y causar trastornos o impedir la implantación de cultivos. La mayoría de las veces la recuperación de la cárcava es un proceso lento y oneroso y para lograr tal objetivo es necesario recurrir a un conjunto de procedimientos prácticos, tales como el cierre del área, la construcción de un canal divergente en la cabecera, la suavización de los taludes, la implantación de vegetación protectora y la construcción de empalizadas transversales al curso de la cárcava (mayores detalles se encuentran en el capítulo *Control de Cárcavas*).

Construcción de canales divergentes

Es bastante común en laboreos terraceados o sistemas de terrazas, contemplar solamente el área de los cultivos anuales, ignorando las influencias externas de los mismos.

La escorrentía de las partes más altas de los caminos y cárcavas puede comprometer cualquier sistema de terraceo, aún aquellos bien planificados. Por eso, muchas veces es necesario que se construyan algunos canales divergentes (cordones en contorno). Estos canales son pequeñas cunetas o terrazas de base estrecha que interceptan el agua del escurrimiento superficial, provenientes de un área situada en un plano superior, desviándola hacia desaguaderos seguros, sin interferir en el sistema de conservación del suelo implantado en el área inmediatamente inferior.

La sección transversal del canal divergente debe ser calculada en función del área situada en el plano superior y de la cantidad de agua a ser desviada. Se recomienda revestir con pasto toda la estructura del canal para darle mayor estabilidad y evitar problemas en la formación futura de cárcavas.

Localización de caminos y corredores internos

La planificación de una propiedad debe ser realizada de tal manera que contemple la construcción de caminos y corredores internos que posibiliten el acceso a todas las áreas de producción durante todo el año.

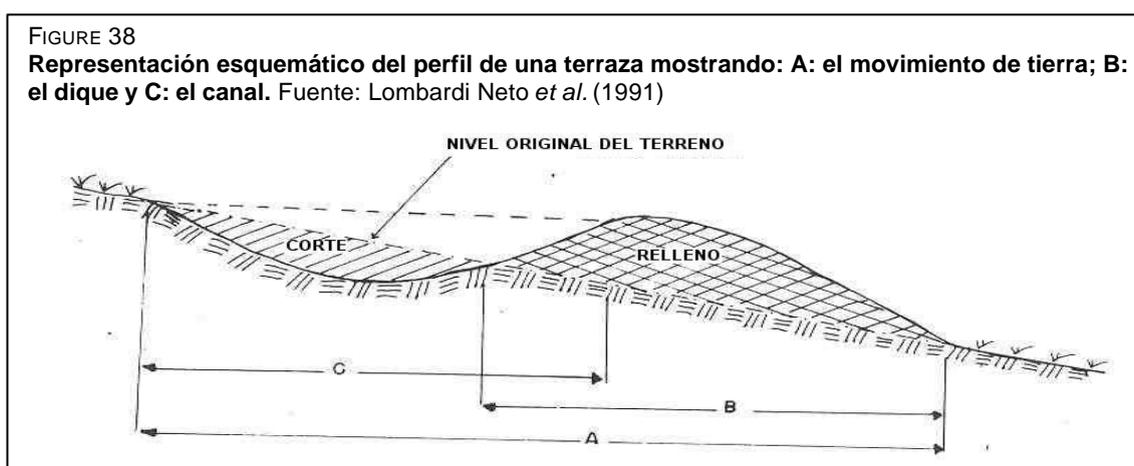
De esta manera, la localización de caminos debe ser realizada al mismo tiempo del sistema de terrazas. Los caminos principales deben estar localizados en las divisorias de agua, de modo que la escorrentía sea dirigida a las terrazas en vez de escurrir por el propio lecho. Los corredores internos o caminos destinados al tránsito de máquinas e implementos agrícolas, deben estar situados en el área inmediatamente por debajo del dique del terrazo; o sea, del lado opuesto al canal.

Construcción de canales de desagüe

Los canales de desagüe son estructuras naturales (depresiones) o especialmente localizadas, debidamente protegidos por vegetación nativa o establecida, con formato y sección suficientes para conducir la escorrentía colectada y despejada por las terrazas hacia las partes bajas del terreno, sin peligro de erosión dentro de su lecho. Normalmente se procura aprovechar como canales de desagüe las depresiones naturales, las cuencas de acumulación, los potreros con pasto o bordes de matorrales, los bosques y las zonas arbustivas.

Concepto de terraza

La terraza puede ser definida como una estructura física compuesta por un dique y un canal, de tierra o de piedra, construida sistemáticamente en el terreno, en el sentido perpendicular a la pendiente, de manera que intercepte el agua que escurre sobre el suelo, provocando su infiltración, evaporación o desviándola hacia un lugar determinado, debidamente protegido y con una velocidad controlada que no ocasione erosión en el canal (Figura 38).

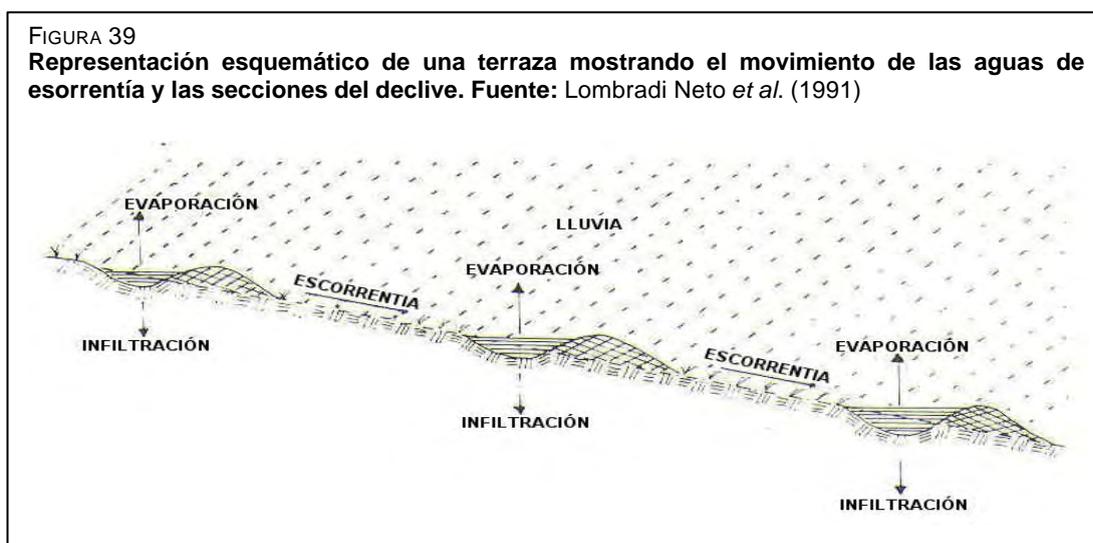


Terrazas bien planificadas y correctamente construidas y conservadas, pueden disminuir considerablemente las pérdidas de suelo por erosión. Resultados obtenidos en Paraná (IAPAR, 1984) constataron que con la práctica del terraceo, es prácticamente posible reducir a la mitad las pérdidas de suelo por erosión, independientemente del sistema de cultivo utilizado.

La eficiencia de un sistema de terraceo depende de la adopción de otras prácticas conservacionistas tales como la plantación en curvas de nivel o contorno; la plantación en fajas o la cobertura del suelo. Además debe tomarse en consideración las condiciones del área, el correcto dimensionamiento y construcción de las terrazas y su funcionalidad y seguridad (Rufino, 1989).

Objetivos principales del terraceo

- disminuir la velocidad de la escorrentía;
- disminuir el volumen de la escorrentía;
- disminuir las pérdidas de suelo, semillas y abonos;
- aumentar el contenido de humedad en el suelo, una vez que haya mayor infiltración de agua;
- reducir el pico de descarga de los cursos de agua;
- suavizar la topografía y mejorar las condiciones de mecanización de las áreas agrícolas (Figura 39).



Aplicabilidad del terraceo

Por ser una práctica que requiere inversiones, el terraceo debe ser usado solamente cuando no es posible controlar la erosión en forma satisfactoria, con la adopción de otras prácticas más simples de conservación del suelo. Sin embargo, el terraceo es útil en lugares donde es común la escorrentía de lluvias cuya intensidad y volumen superan la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, y donde otras prácticas conservacionistas son insuficientes para controlar la escorrentía. Según Rufino (1989) las terrazas son recomendables para terrenos con pendientes entre 4 y 50%. En pendientes inferiores al 4% y cuando las extensiones son cortas deben ser sustituidas por fajas de retención, plantación en curvas de nivel o por cultivos en fajas. En extensiones largas, las áreas deben ser terracedas a partir de 0.5% de pendiente.

Bertol y Cogo (1996) proponen nuevos conceptos para las terrazas en sistemas de preparación conservacionista del suelo – labranza mínima o siembra directa: 1) longitud crítica del declive; y 2) falta de residuos de cultivos. Utilizando cualquiera de esos conceptos, hay posibilidades de aumentar la distancia entre las terrazas en presencia de cobertura del suelo – siembra directa u otro sistema consevacionista – cuando se lo compara con la recomendación de la distancia para la colocación de las terrazas en el sistema tradicional de cultivo – arada y rastra.

Clasificación de las terrazas

Se usan diversos criterios para la clasificación de las terrazas; entre los más comunes están:

Con relación al destino de las aguas interceptadas

Terrazas de absorción: son terrazas construidas en nivel con el objetivo de retener y acumular la escorrentía en el canal para la posterior infiltración del agua y acumulación de sedimentos; son terrazas recomendadas para regiones de baja precipitación pluvial, suelos permeables y en terrenos con pendiente menor a 8%; normalmente son terrazas de base ancha.

Terrazas de drenaje: son terrazas construidas en desnivel cuyo objetivo es interceptar la escorrentía y conducir el exceso de agua no infiltrada hasta lugares debidamente protegidos (desagües). Son terrazas recomendadas para las regiones de alta precipitación pluvial, suelos con permeabilidad moderada o lenta y recomendadas para áreas con más de 8% y hasta 20 % de pendiente; normalmente son terrazas de base estrecha o media.

Según Bertolini *et al.* (1989), la selección del tipo de terraza, está relacionada a las propiedades físicas del suelo que determinan la permeabilidad del agua en su perfil. De ahí la importancia del conocimiento de la textura, la estructura, la profundidad efectiva y la permeabilidad de la capa superficial y subsuperficial en la planificación de un sistema de terraceo.

Con relación al proceso de construcción

Tipo canal o terraza de Nichols: Son terrazas que presentan canales de sección más o menos triangular, construidas cortando y eliminando la tierra hacia abajo; son recomendadas para pendientes de hasta 20%; generalmente son construidas con implementos reversibles, de tracción animal o manuales; utilizadas en regiones con altas precipitaciones pluviales y en suelos de permeabilidad media a baja.

Tipo camellón o terraza de Mangun: Son terrazas construidas cortando y eliminado la tierra a ambos lados de la línea demarcatoria, formando ondulaciones sobre el terreno; son recomendadas para áreas con pendientes de hasta 10%; construidas con implementos fijos o reversibles, son recomendadas para regiones de baja precipitación pluvial y suelos permeables.

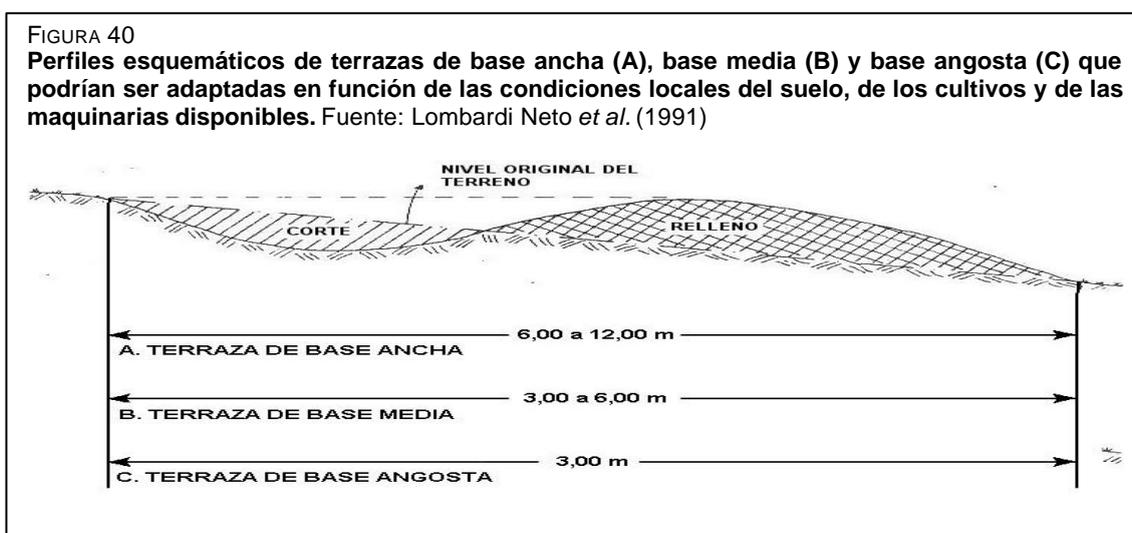
La disponibilidad de maquinaria agrícola y la pendiente del terreno son otros factores que determinan la opción del proceso de construcción de una terraza (Bertolini *et al.* , 1989).

Con relación al tamaño de la base o longitud del movimiento de tierra

Terraza de base estrecha: cuando el movimiento de tierra es de hasta tres metros de longitud; se incluyen en este grupo los cordones en contorno.

Terraza de base media: cuando la longitud del movimiento de tierra varía de tres a seis metros.

Terraza de base ancha: cuando la longitud del movimiento de tierra es mayor de seis metros (generalmente hasta 12 m) (Figura 40).



La pendiente del terreno, la intensidad de mecanización (cultivos y sistemas de cultivo), las máquinas e implementos disponibles, así como la condición financiera del agricultor son los factores que condicionan la selección del tipo de terraza en cuanto al movimiento de tierra (Bertolini *et al.*, 1989).

Con relación a la forma

Según Bertolini *et al.* (1989), otra manera, de clasificar las terrazas es en cuanto a la forma de su perfil. En este caso, la pendiente del terreno es determinante en la definición del tipo de terraza a ser construida: común o de banco (Figuras 41 y 42).

Terraza común: es una construcción de tierra, a nivel o desnivel, compuesta de un canal y un camellón o dique. Este tipo de terraza es usado normalmente en áreas con pendiente inferior a 20%. Se incluyen en esta clasificación las terrazas de base estrecha, media, ancha y algunas variaciones tales como terraza embutida y de caballón grande.

Terrazas de banco: Estas son las verdaderas terrazas, puesto que de ellas se originan los otros tipos. Son utilizadas en terrenos con pendientes superiores a 20% y construidas transversalmente a la línea de mayor declive.

Figura 41

Perfil esquemático de una terraza Patamar mostrando la plataforma con pequeño declive en el sentido del talud y el talud (b) con inclinación variable en función de la textura del suelo.
Fuente: Lombardi Neto *et al.* (1991)

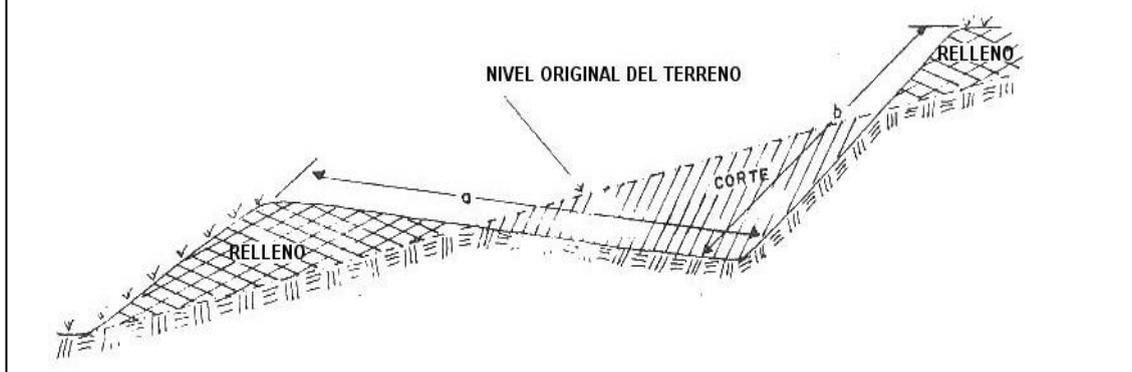
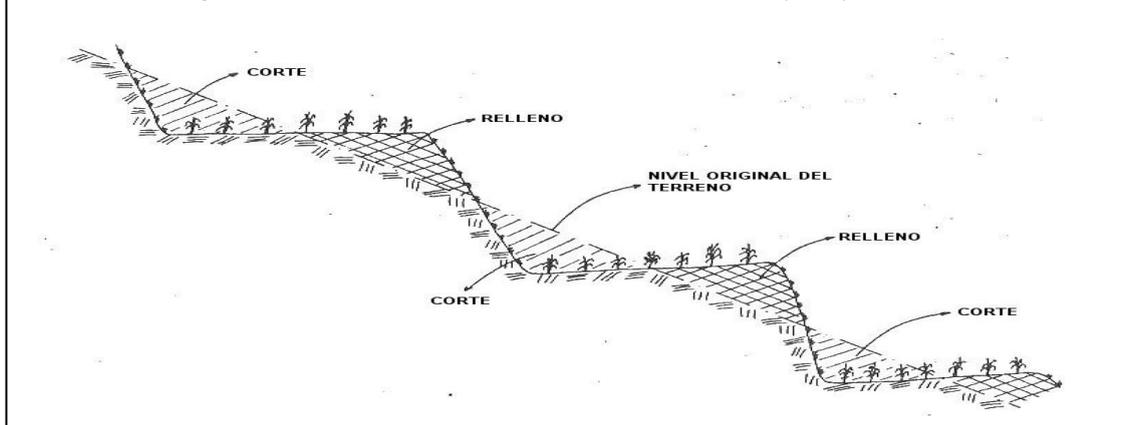


FIGURA 42

Una terraza Patamar transforma el terreno en una plataforma cultivada con un cultivo económico sin problemas de erosión. Fuente: Lombardi Neto *et al.* (1991)



Localización de las terrazas

La terraza es una obra de ingeniería agrícola y reviste gran importancia debido a su función y a la eficacia de su construcción. La planificación y ejecución de un sistema de terrazas exigen conocimiento técnico que debe ser unido a la práctica y al buen sentido. Debe realizarse todo esfuerzo necesario para proporcionar un sistema de terrazo que minimice la erosión y promueva un adecuado drenaje superficial. Para lograr este objetivo es necesario observar algunos puntos importantes en cuanto a la localización de las terrazas, tal como sigue:

- determinar, por medio de un nivel, el punto más alto del área a ser terrazada (terreno, propiedad o microcuenca);
- identificar la línea de mayor inclinación para que a partir de ella se comience la localización de las terrazas:
 - en caso de que el declive de la línea de mayor inclinación sea uniforme, dividir la línea en secciones uniformes de declive;

- determinar la pendiente de la línea de mayor inclinación con el auxilio de un nivel óptico, clinómetro o pie de gallina:
 - ❑ si la línea de inclinación es desigual, proceder a la determinación del declive de la próxima sección uniforme, siempre a partir de la terraza ya demarcada;
- después de calculada la pendiente y verificada la textura del suelo, determinar el espaciamiento vertical (EV) o espaciamiento horizontal (EH) a ser adoptado para la demarcación de la terraza:
 - ❑ como medida de seguridad, localizar la primera terraza en la parte más alta del terreno, en la mitad de la distancia recomendada por el cuadro;
- basándose en la estaca clavada en la línea de mayor inclinación, localizar la línea de la terraza clavando estacas cada 20 m o cada tres pasos del pie de gallina:
 - ❑ en áreas poco uniformes la distancia entre las estacas puede ser disminuida a 15 o 10 metros;
 - ❑ para terrazas de absorción o en nivel, todas las estacas deben ser clavadas en la misma cota de la estaca de la línea de pendiente;
 - ❑ para terrazas de drenaje o en desnivel, las estacas deben ser clavadas en las cotas calculadas de acuerdo con el desnivel deseado y especificado en el Cuadro 33;

CUADRO 33

Cuadro de desnivel o gradiente para terrazas de drenaje

Longitud de la terraza	Desnivel
0 a 100 m	En nivel
100 a 200 m	1 por 1000 (0,1%), o sea: cada 10 m, 1 cm de desnivel; cada 20 m, 2 cm de desnivel.
200 a 300 m	2 por 1000 (0,2%), o sea: cada 10 m, 2 cm de desnivel; cada 20 m, 4 cm de desnivel.
300 a 400 m	3 por 1000 (0,3%), o sea: cada 10 m, 3 cm de desnivel; cada 20 m, 6 cm de desnivel.
400 a 500 m	4 por 1000 (0,4%), o sea: cada 10 m, 4 cm de desnivel; cada 20 m, 8 cm de desnivel.
500 a 600 m	5 por 1000 (0,5%), o sea: cada 10 m, 5 cm de desnivel; cada 20 m, 10 cm de desnivel.

Nota: El desnivel de 5 por 1000 (0,5%) es el límite máximo recomendado para que el agua no adquiera velocidad suficiente para causar erosión en el canal de la terraza.

- la longitud máxima de una terraza deberá ser de 600 m en suelos arcillosos y de 500 m en suelos arenosos:
 - ❑ en caso de que haya necesidad de localizar una terraza de mayor longitud, deberá proyectarse un nuevo sistema de terrazas con caída a ambos lados;
 - ❑ en caso de que haya necesidad de construir una terraza algo mayor que el límite estipulado, deberá aumentarse la longitud de cada una de las parcelas de desnivel;
 - ❑ para terrazas en nivel, la longitud no tiene límite; debido mayormente a las irregularidades que pueden ocurrir en la localización o en la construcción de estas terrazas, es aconsejable construir cada 100 o 200 m un “corte transversal”, o sea un terracedo en el canal de la terraza para evitar el movimiento del agua.
- para la demarcación final de la terraza, aumentar el declive en los últimos 20 m, lo cual facilitará el escurrimiento del agua, además de impedir que el exceso que escurre por el canal escurridor entre por el canal de la terraza.

- después de realizada la localización de la curva, esta debe ser compensada, suavizada, rectificadora o alineada, sin perjuicio de la gradiente, evitando las curvas cerradas para facilitar la construcción de las terrazas.

El terraceo y la siembra directa

La discusión sobre el mantenimiento o no del terraceo en áreas de siembra directa es bastante polémica.

Es necesario tener en cuenta que continúa siendo válido el concepto de que la parte significativa del agua que no consigue infiltrarse en el suelo, tiende a correr sobre la superficie del suelo bajo la forma de escorrentía. Dependiendo de la capacidad de infiltración de agua y del grado de cobertura del suelo, de la pendiente del terreno y de la incidencia de las lluvias erosivas, la escorrentía será mayor o menor. Por eso, debe analizarse cuidadosamente la decisión de recomendar la eliminación de las terrazas en áreas bajo siembra directa.

CANALES DE DESAGÜE

Un sistema de terrazas de drenaje presume la construcción de uno o más canales de desagüe. Estos son canales destinados a recibir el agua que drena de un sistema de terrazas, conduciéndola hacia las partes más bajas del terreno, sin peligro de erosión.

Clasificación de los canales de desagüe

- ***La naturaleza del canal***

Canales naturales de desagüe: siempre que sea posible debe darse preferencia a los desagües naturales (zonas arbustivas, matorrales, pastizales bien establecidos) dotados de vegetación densa y estables para soportar la escorrentía, en función de la seguridad y bajos costos para la implantación del sistema.

Canales artificiales de desagüe: cuando no existe posibilidad del uso de desagües naturales, es necesario construir especialmente canales artificiales para recibir el agua de drenaje de las terrazas.

- ***La forma del canal***

Canales de forma triangular o en "V": son recomendados para pequeñas áreas, en pendientes suaves, ya que permiten mayores velocidades, impiden la deposición de sedimentos y soportan pequeñas depresiones; pueden ser construidos con gradas, arados o motoniveladoras.

Canales de forma trapezoidal: son recomendados para pendientes acentuadas; en función de la forma de su base de fondo plano, la lámina de agua es dispersada provocando una reducción considerable de la velocidad de la escorrentía; los taludes del canal deben ser construidos en la relación 4:1, lo que facilitará la construcción y posterior mantenimiento. y pueden ser construidos con gradas, arados o motoniveladoras.

Canales de forma parabólica: son recomendados para pendientes intermedias; son los canales que mejor simulan las condiciones de los cursos naturales de agua pero presentan mayores dificultades para los cálculos y su construcción; normalmente para su construcción son utilizados "bulldozers".

Construcción del canal de desagüe

Es indispensable que la demarcación, construcción y estabilización del lecho del canal de desagüe con vegetación se realice con anticipación a la demarcación del resto del sistema de terrazas. No considerar este detalle puede provocar serios problemas de erosión en el canal y, en casos extremos, hasta provocar la formación de una cárcava. Para mayor información sobre la demarcación y construcción de canales de desagüe se sugiere consultar manuales específicos.

Para la estabilización del lecho del canal de desagüe se recomienda la implantación de especies vegetales capaces de soportar las variaciones de temperatura del lugar y largos períodos de sequía, que no sea afectada por inundaciones periódicas y que promueva buena cobertura del suelo, poseer un sistema radicular agresivo con gran poder de agregación del suelo y capaz de dar firmeza a las plantas para resistir el arrastre de la escorrentía y finalmente no constituirse en planta invasora (Sobral Filho *et al.*, 1980). Trabajos realizados en Paraná (IAPAR, 1984) recomiendan la utilización de pasto pangola (*Digitaria decumbens*), pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*) y pasto estrella (*Cynodon plectostachys*). El pasto estrella y el pangola presentan crecimiento rápido, con mayor cobertura que el pasto Bermuda. El pasto estrella, por ser altamente agresivo, es recomendado para revestir canales de desagüe en pastizales o canales delimitados por caminos. El pasto pangola, a su vez, presenta un poder invasor mayor que el pasto estrella y no presenta inconvenientes al ser establecido durante la labranza. Las tres especies mencionadas son recomendadas para canales con pendientes más acentuadas y de longitudes mayores; para canales con pendientes pequeñas, el pasto chato (*Axonopus compressus*) es más adecuado.

Mantenimiento y cuidados de los canales de desagüe:

- inmediatamente después de la demarcación del canal, establecer pasto de cobertura;
- proteger el establecimiento de la vegetación de revestimiento mínimo a un metro del borde del canal;
- utilizar piedras o diques en el canal mientras la vegetación no esté establecida;
- los canales deben ser amplios, pendiente abajo, y nunca deben ser estrechados con laboreo o arado;
- si existieran cárcavas en el canal es necesario realizar su recuperación;
- no utilizar el canal de desagüe como camino;
- no desaguar los canales en lugares impropios y utilizar canales divergentes para dirigir el agua hacia los lugares escogidos;
- no usar cárcavas, propiedades vecinas, caminos, matorrales o pastizales con poca pendiente como desaguaderos;
- no permitir maniobras de la maquinaria o pastoreo de ganado en el lecho del canal.
- mantener el canal limpio de plantas invasoras;
- mantener el pasto a una altura mínima de 10 cm;
- corregir periódicamente fallas en la vegetación de cobertura del canal;
- realizar una conservación periódica de los taludes y lecho del canal, principalmente en los puntos de desagüe de las terrazas;
- la localización, la construcción y el mantenimiento de los canales de desagüe deben ser realizados por técnicos especializados (Zenker, 1978; Daniel, 1989).

Terrazas de banco con piedra y con cobertura vegetal

La terraza de banco con piedra o con cobertura vegetal es una práctica conservacionista que, a semejanza del terraceo, se basa en el principio de seccionar la longitud de la rampa con la finalidad de atenuar la velocidad y el volumen del escurrimiento superficial. Es una práctica difundida en áreas de fuerte relieve ondulado y acentuada pedregosidad superficial y subsuperficial. La terraza de banco es formada por la superposición de piedras recogidas de la superficie del suelo, dispuestas en el sentido transversal a la pendiente. Según Pundek (1985), esta práctica es recomendada para áreas con pendientes entre 26 y 35% con espaciamiento entre terrazas de banco de acuerdo con las recomendaciones del Cuadro 34. Entre las principales ventajas de esta práctica se destacan: el control de la erosión, la facilidad para las operaciones de remoción de piedras, el aumento de la eficiencia en las actividades de preparación del suelo, la siembra y el establecimiento de pastos, la posibilidad de adopción de la tecnología preconizada para el cultivo (insumos, espaciamiento, población).

CUADRO 34

Espaciamiento recomendado para la localización de terrazas de banco

Pendiente del terreno (%)	Distancia entre terrazas de banco (m)	
	Textura arcillosa	Textura media
26 a 27	11	10
28 a 29	10	9
30 a 31	9	8
32 a 33	8	7
34 a 35	7	6

Fuente: Pundek (1985).

La construcción de las terrazas de banco es una actividad que requiere el empleo de bastante mano de obra y de tiempo. Por eso, normalmente se realizan con la participación de muchos agricultores, lo que despierta el espíritu de colaboración en la comunidad.

En lugares con fuerte relieve ondulado y pedregosidad menos intensa los agricultores utilizan cordones de vegetación, aislados o asociados a la terraza de bancos con piedra, siguiendo el procedimiento anteriormente descrito.

La terraza de banco con piedra o con vegetación, ya adaptada a las condiciones de las pequeñas propiedades, debe ser asociada a otras prácticas conservacionistas para que se obtenga un control efectivo del proceso erosivo.

En las terrazas de banco con vegetación debe plantarse, después de la demarcación de una faja (faja de retención) de aproximadamente 1,5 a 2 m, especies como caña, pasto elefante, alpiste perenne, para que aseguren la tierra y permitan la formación de la terraza de banco.

Para las terrazas de banco con piedra, después de la demarcación de la primera curva, se construye una pared de piedra en lugar de la faja de retención. La longitud y altura de la pared son función de la cantidad disponible de piedras y de mano de obra.

Luego de la construcción de las fajas de vegetación o de piedras, el laboreo debe realizarse siempre con la reja cayendo en dirección a la faja en la pared. De esta manera va formándose el peldaño de la terraza de banco.

Cordón en contorno

El cordón en contorno es confundido muchas veces con la terraza de base estrecha en virtud de su semejanza de construcción. Normalmente son construidos con implementos de tracción animal o con herramientas manuales, pudiendo también ser utilizada la tracción mecánica. Estas estructuras son mucho más difundidas en regiones donde la topografía es bastante accidentada, en pequeñas propiedades o en áreas donde haya impedimento a la mecanización. Vieira (1987)

menciona que los cordones en contorno son particularmente adecuados para áreas de suelos planos, arenosos, donde el terraceo no presenta buenas posibilidades, o suelos cuyo horizonte subsuperficial sea extremadamente arenoso. Castro Filho (1989) comenta que el cordón en contorno en la propiedad agrícola, puede ser usado para:

- protección general de la propiedad (en cualquier área, para el control del escurrimiento superficial);
- estabilización de los márgenes de ríos, acequias, represas y áreas adyacentes a puentes;
- recuperación de áreas degradadas con presencia de cárcavas;
- protección de cortes de caminos y barrancos;
- en áreas frutícolas ya instaladas, principalmente con cultivos de espaciamiento reducido entre líneas, donde la construcción de terrazas puede afectar las raíces de las plantas.

Cordón de vegetación permanente

Los cordones de vegetación permanente son fajas en contorno, intercaladas al cultivo principal, mantenidos con especies perennes que desarrollan una densa vegetación con el objetivo de reducir la velocidad del escurrimiento superficial (Sobral Filho, 1980).

Los cordones con vegetación pueden ser utilizados tanto para cultivos anuales como perennes y representan una alternativa para los agricultores que no disponen de recursos para la construcción de terrazas, por ser una práctica de costo relativamente bajo. Para la construcción de cordones con vegetación es necesaria mano de obra, herramientas manuales o equipo de tracción animal y material reproductivo de las especies vegetales a ser implantadas.

Como práctica aislada, el cordón con vegetación ha mostrado ser eficiente en áreas con pendientes hasta 10% (Sobral Filho *et al.*, 1980). Para pendientes mayores se recomienda el uso combinado con otras prácticas conservacionistas.

El uso combinado de cordones en contorno (surcos de absorción) y cordones con vegetación ha mostrado ser una buena opción para el control del escurrimiento superficial.

Mientras están siendo formadas las barreras vegetales, los surcos de absorción desempeñan una función importante, además de acumular humedad para el crecimiento de la vegetación del cordón (Castro Filho, 1989).

El uso combinado de cordones en contorno y con vegetación permite:

- mayor eficiencia en el control del escurrimiento superficial por la acción filtrante de la vegetación y por la mayor reducción de la velocidad de la escorrentía;
- debido a esta acción filtrante, la vegetación provoca la acumulación de sedimentos y la formación de pequeñas terrazas de banco;
- aprovechamiento de la vegetación para la alimentación animal.

En los cordones con vegetación se sugiere la implantación de especies de ciclo corto con gran densidad de raíces y desarrollo rápido de la parte aérea.

Las especies normalmente utilizadas para la plantación en cordones con vegetación son las siguientes:

- hierba limón (*Cymbopogon citratus*) y pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides*), especies rústicas, de sistema radicular agresivo, que no se comportan como invasoras, de fácil propagación vegetativa y florecimiento raro. Ambos pastos poseen además aceites aromáticos usados en perfumería;
- falaris (*Phalaris spp.*) de características semejantes a las especies anteriores. Es adaptado a regiones de climas fríos y puede ser utilizado como pastizal para el ganado vacuno y ovino;
- caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), son especies de gran producción de fitomasa, utilizadas industrialmente, para la alimentación animal y para la producción de compuestos orgánicos. Por su altura de crecimiento pueden provocar sombreado y perjudicar las primeras filas de los cultivos vecinos o asociados; es necesario controlarlo permanentemente puesto que es común la invasión del cordón de caña y de pasto elefante fuera del área de vegetación. Un cultivo alternativo es el pasto elefante enano ya probado y de buena aceptación por los pequeños productores de la región sud del Brasil.

Vieira (1987) menciona también la posibilidad de usar:

- gandul (*Cajanus cajan*), especie muy rústica que también puede ser utilizada para la alimentación animal o humana. Es menos eficiente que las gramíneas debido al sistema radicular pivotante pero es gran productora de fitomasa y excelente banco de proteínas para la alimentación animal.
- leucaena (*Leucaena leucocephala*), leguminosa, excelente forrajera, más exigente respecto al suelo que el gandul; es también un excelente banco de proteínas para la alimentación animal.

Capítulo 14

Control de cárcavas

En general, el control de cárcavas es difícil y costoso. La restauración de un área demanda tiempo, trabajo y capital, por lo que es económicamente recomendable establecer un plan de prevención de cárcavas.

Por otra parte, las tierras fuertemente erosionadas poseen un reducido valor inmediato, justificándose medidas de contención, para, por lo menos, proteger las tierras vecinas y evitar sus consecuencias fuera del área erosionada.

Cuando se opta por el control, será conveniente determinar cual es la protección más económica y adecuada para cada área. El costo de corrección de una cárcava y el tipo de protección a ser aplicado, deben ser considerados siempre con relación al destino que pueda darse a las mismas.

CONCEPTO

Se denomina “cárcava” al estado más avanzado de la erosión en surcos. La erosión en surcos es la forma de erosión más fácilmente perceptible, tiene su origen a causa del escurrimiento superficial del agua que se concentra en sitios irregulares o depresiones superficiales del suelo desprotegido o trabajado inadecuadamente. En función de la pendiente y de la longitud de la ladera del terreno, el flujo concentrado de agua provoca el aumento de las dimensiones de los surcos formados inicialmente, hasta transformarse en grandes zanjas llamadas cárcavas.

DIMENSIONES DE LAS CÁRCAVAS

Según Alves (1978), a los efectos de evaluación práctica en el campo, las cárcavas pueden clasificarse como sigue:

- **en relación a la profundidad**
 - cárcavas pequeñas, cuando tienen menos de 2,5 m de profundidad.
 - cárcavas medianas, cuando tienen de 2,5 a 4,5 m de profundidad.
 - cárcavas grandes, cuando tienen más de 4,5 m de profundidad.

L. do Prado Wildner
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) -
Centro de Pesquisas para Pequenas Propriedades (CPPP)
Santa Catarina, Brasil

- **en relación a la cuenca de contribución**

- cárcavas pequeñas, cuando la cuenca de contribución es menor a 10 ha.
- cárcavas medianas, cuando la cuenca de contribución es de 10 a 50 ha.
- cárcavas grandes, cuando la cuenca de contribución es mayor a 50 ha.

MEDIDAS PARA EL CONTROL Y ESTABILIZACIÓN

Aunque las causas del deterioro pueden ser totalmente distintas, se pueden aplicar algunos principios básicos para la solución de la mayoría de los casos de recuperación y/o estabilización de cárcavas.

Aislamiento de la cárcava

El objetivo de esta fase es detener el proceso que provoca el aumento de la cárcava; es decir, evitar que la concentración de agua continúe erosionando el lecho y desestabilice los taludes del surco.

Para cumplir tal objetivo es necesario establecer un adecuado manejo del suelo del área agrícola y demás áreas que componen la cuenca de captación (potreros, caminos, áreas de beneficio común), de modo que se obtenga una correcta distribución e infiltración del agua en toda la cuenca. En virtud del estado de la cárcava, muchas veces es necesaria la construcción de una terraza o canal divergente inmediatamente encima de la cabecera para impedir totalmente la entrada de agua. Otras veces, dependiendo de la localización, es necesario el aislamiento con cercos de todo su perímetro para evitar la entrada de animales o que los trabajos rutinarios de campo sean realizados muy próximos a los taludes de las cárcavas. Según Alves (1978), la construcción de cercos a una distancia de los bordes dos veces la profundidad máxima de la cárcava, ha mostrado buenos resultados.

Recuperación o estabilización de la cárcava

Dependiendo del estado de la cárcava y de la relación costo/beneficio se puede optar por la recuperación total o estabilización del área, con posibilidades de usarla para otros propósitos.

Recuperación

Si las dimensiones de la cárcava no fueran muy grandes y si los beneficios esperados pudieran compensar la inversión, se recomienda la recuperación del surco; es decir, tapan la cárcava con tierra, recuperando el área e incorporándola nuevamente al proceso productivo. Esta medida es recomendable en áreas de alto valor y con buena productividad con cultivos anuales. Una vez recubierta, debe procederse a la nivelación con relación a las áreas adyacentes e implementar la adopción de prácticas conservacionistas que no permitan la reiniciación del proceso. Es necesario que se proceda periódicamente a la nivelación del área, en virtud del proceso natural de compactación del suelo recubierto.

Estabilización de la cárcava

En caso que la recuperación de la cárcava no sea técnica o económicamente viable, se recomienda seguir los siguientes pasos:

- antes de cerrar el perímetro de la cárcava, suavizar los taludes para impedir que el proceso de desbarrancamiento continúe; esta práctica puede realizarse con tractor de barra con lámina frontal, o manualmente con azadón o pala.
- si después de haber cercado el área, el crecimiento de la vegetación natural no fuera suficiente para hacer un buen control, se deberá realizar la plantación de algún tipo de vegetación en función del futuro del área.
- con relación al tamaño y forma de la cárcava se recomiendan implementar las siguientes acciones:
 - para cárcavas pequeñas, más anchas que profundas, con poca pendiente en su lecho o cuya cuenca de captación no sea muy grande, puede utilizarse vegetación. En este caso, se podrá transformar el área en pastizal, utilizando gramíneas forrajeras; o, si se desea que el área sea destinada a protección natural, reserva forestal o para la producción industrial de madera, se deberán escoger los árboles más adaptados a la región y de más rápido crecimiento. Se recomienda la siembra o plantación en líneas perpendiculares a la pendiente de la cárcava, de manera que se formen pequeños escalones defensivos. Los arbustos defensivos reducen la velocidad del agua en el interior de la cárcava, resultando en deposición de sedimentos, lo que favorece el establecimiento de nueva vegetación;
 - para cárcavas mayores, será necesario utilizar estructuras temporales o permanentes. Las estructuras temporales deben ser de fácil y rápida construcción, usando materiales baratos y de fácil disponibilidad. Los modelos más comunes de estructuras temporales se presentan en las Figuras 43 a 48. Se recomienda la construcción de varias estructuras a lo largo del lecho de la cárcava, de altura no superior a 40 cm, distribuidas a intervalos uniformes o en posiciones estratégicas, de manera que protejan los puntos críticos y faciliten el crecimiento de vegetación en los mismos. Según la Secretaría de Agricultura de Río Grande do Sul (1985), las estructuras temporales (empalizadas) pueden ser distanciadas a semejanza de las terrazas, en función de la pendiente del lecho de la cárcava (Cuadro 35).

CUADRO 35
Recomendaciones de distanciamiento para la construcción de empalizadas dentro de las cárcavas Fuente: Río Grande do Sul/Sec. da Agricultura, 1985

Pendiente (%)	Distanciamiento (m)
0 a 3	17,0
3 a 6	8,5
6 a 9	5,5
9 a 12	4,1
12 a 15	3,3
15 a 18	2,7
18 a 21	2,3

Las barreras o empalizadas deben estar suficientemente enterradas en el fondo y en los flancos de la cárcava para evitar que se desmoronen. También es necesario que el vertedero colocado en la parte central de la estructura tenga una sección suficiente para satisfacer el volumen de descarga previsible. Como norma general, será necesario proteger la salida de la barrera para impedir que la obra sea destruida por el flujo de agua del vertedero. Es importante recordar que estas estructuras deben recibir mantenimiento y por tal razón se recomienda después de lluvias fuertes, realizar una inspección para verificar posibles daños y hacer reparaciones. Esta práctica es de especial importancia en la próxima fase, la instalación, cuando los materiales todavía no están consolidados.

FIGURA 43
Barrera vegetativa (Hull, 1959)



FIGURA 44
Barrera de ramas, de uso común (Hull, 1959)

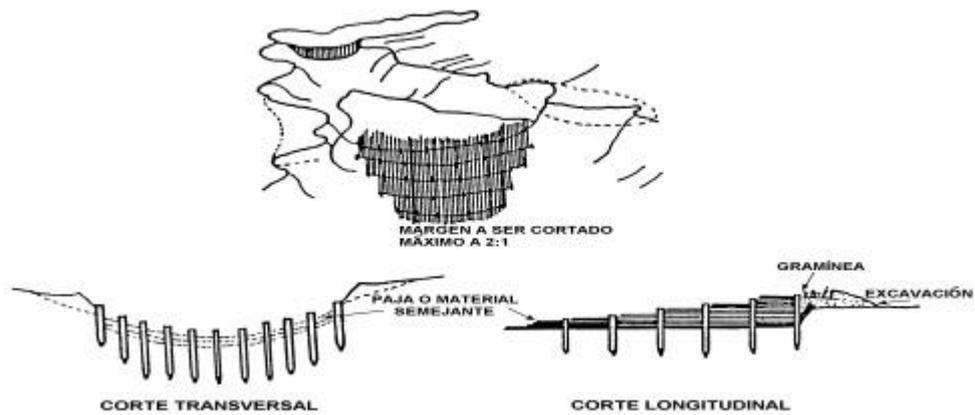


FIGURA 45
Barrera de ramas con trama de alambre (Hull, 1959)

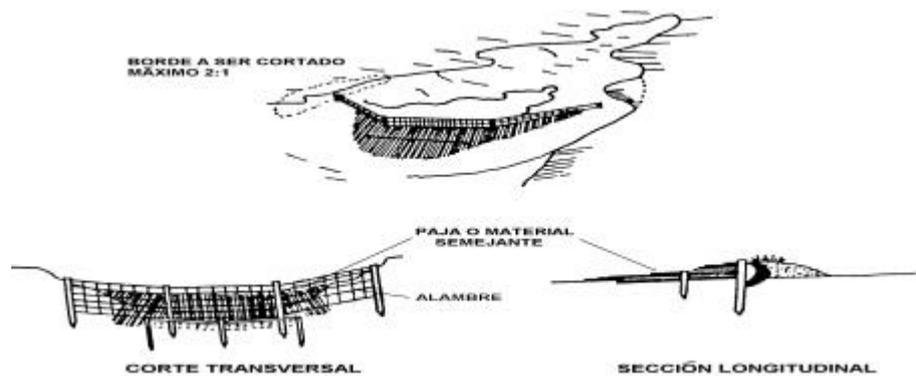


FIGURA 46
Barrera de piedra (Hull, 1959)

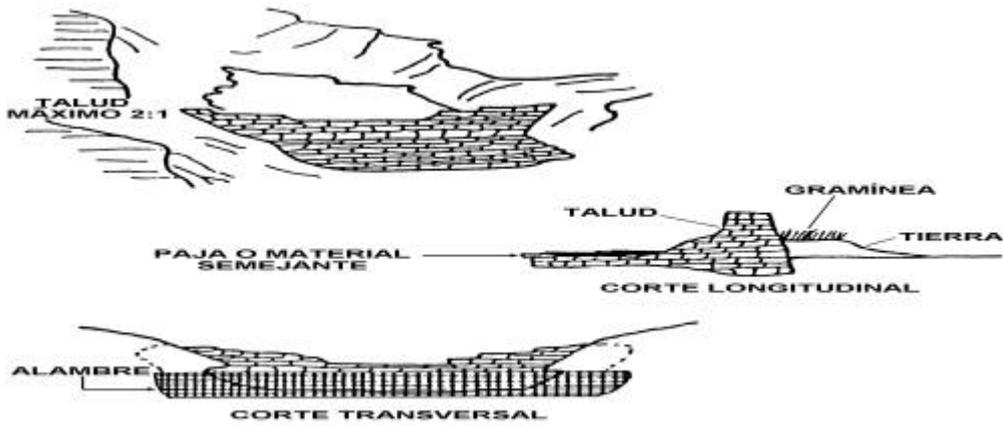


FIGURA 47
Barrera de ramas en manojos (Hull, 1959)

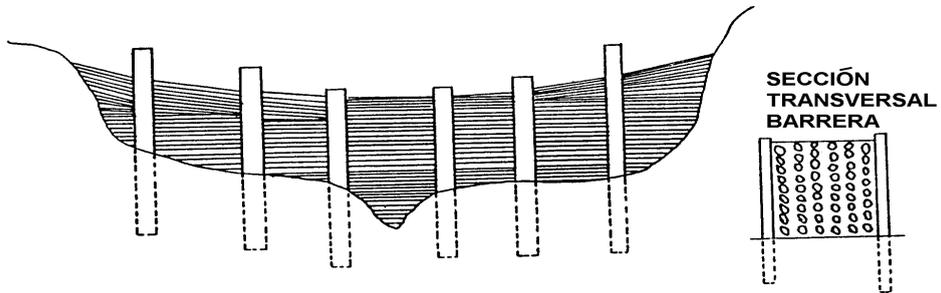
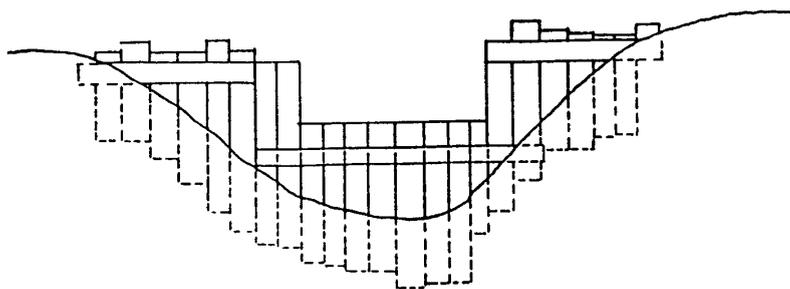


FIGURA 48
Barrera de troncos de árboles (Hull, 1959)



Capítulo 15

Métodos de captación de agua de lluvia *in situ* e irrigación

El trópico semi-árido brasileño, con un área de 1 150 000 km², corresponde al 70% del área de la región Nordeste y al 13% del país; presenta una gran diversidad de ambientes, comprendidos en 120 unidades geoambientales, con grandes diferencias de orden físico, biológico y socio-económico (Silva *et al.* 1993). La escasez o la mala distribución de las lluvias, las limitaciones de suelos, las prácticas agrícolas adoptadas, entre otros factores, constituyen aspectos limitantes para el desarrollo agrícola de la región.

Los suelos predominantes en la región son de origen cristalino, normalmente llanos, silicosos y pedregosos, con baja capacidad de infiltración y bajo contenido de materia orgánica. Asociadas a estas características, las altas intensidades de precipitación pluvial causan pérdidas de agua por escorrentía y consecuentemente, erosión hídrica.

Dadas las características de la región es conveniente considerar, en el planeamiento agrícola de la propiedad, mecanismos que posibiliten al productor explotar la misma con menor riesgo, tornándola capaz de producir satisfactoriamente, a pesar de las limitaciones que el ambiente ofrece.

Varios métodos de captación de lluvia *in situ* fueron desarrollados y o adoptados por EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária a través del CPATSA, Centro de Pesquisa Agropecuária del Trópico Semi-Arido, utilizando tanto fuerza motriz como tracción animal. En este trabajo, son presentadas las principales técnicas de captación de agua de lluvia *in situ* más adecuadas a las condiciones de los productores de la zona semiárida brasileña.

FACTORES DETERMINANTES EN LA IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA *IN SITU*

Para establecer un sistema de captación de agua *in situ*, es necesario disponer de información sobre una serie de factores, tales como el tamaño del área a ser cultivada, el suelo, la topografía, la cantidad y la distribución de las lluvias, los cultivos (anuales o perennes) y la disponibilidad de equipos y de mano de obra. Estos requisitos deben estar asociados a factores socio económicos, a fin de viabilizar la inversión de la tecnología.

J. Barbosa dos Anjos, L. Teixeira de Lima Brito y M.S. Lopes da Silva
EMBRAPA – Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Arido (CPATSA)
Petrolina, Brasil

En el municipio de Petrolina-PE, el período lluvioso se concentra en los meses de diciembre a abril, considerándose ese período como el año agrícola. Los datos de las precipitaciones mensuales para un período de diez años (1985 - 1994), muestran una gran variabilidad en la distribución de las lluvias, con mayor concentración en el mes de marzo (Cuadro 36). En el año agrícola 1994/95, llovieron 781,6 mm, con 210,6 mm en el mes de enero, y en el mismo período de 1992/93 ocurrieron apenas 164,5 mm, de ellos 140,2 mm en los meses de noviembre a enero.

CUADRO 36

Precipitación pluviométrica mensual registrada en Petrolina, PE, Brasil en el período 1985 - 1994

Mes	Año									
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Ene	286,6	36,5	4,8	99,2	27,5	34,2	103,0	344,1	34,4	121,4
Feb	84,9	78,5	30,7	31,7	21,0	90,3	111,2	122,1	12,0	41,0
Mar	172,0	184,1	162,8	256,8	216,7	25,7	207,4	49,4	5,5	156,5
Abr	151,6	25,1	19,8	117,3	154,6	42,8	47,6	33,4	20,8	78,4
May	15,6	14,0	73,3	29,8	78,5	6,6	52,7	4,0	3,8	5,9
Jun	69,9	0,8	0,8	44,9	0,0	9,0	21,8	4,0	5,9	9,9
Jul	5,6	7,7	47,4	5,9	14,1	61,6	0,0	0,9	1,4	14,8
Ago	19,9	1,3	0,0	0,0	5,4	0,3	4,3	0,0	5,8	0,0
Set	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,9	0,8	1,0
Oct	3,4	3,6	54,6	14,4	0,0	0,0	0,0	0,0	25,7	0,0
Nov	95,1	3,3	0,0	56,1	6,2	61,3	73,3	31,9	55,5	0,0
Dic	174,0	29,5	12,8	105,0	369,3	18,8	13,1	68,1	16,2	42,2
Total	1.078,6	385,1	407,0	761,1	893,3	351,0	634,8	658,8	187,8	471,1

La época de siembra es otro factor de extrema importancia para el suceso de la agricultura dependiente de la lluvia (o de seco). Silva *et. al.* (1982) muestran que, para el cultivo del caupí, la mejor época de siembra en el municipio de Petrolina - PE, es del 2 al 6 de marzo; para el maíz, este período es del 17 de enero al 9 de febrero, coincidiendo con la época de mayor concentración de la distribución de las lluvias.

En lo que se refiere a la erosión del suelo, la lluvia es uno de los factores climáticos que más influye sobre la misma, siendo su intensidad el factor más importante. En la zona semiárida brasileña, el régimen hídrico es caracterizado por lluvias de corta duración, pero de alta intensidad, con la preparación del suelo ocurriendo muchas veces en condiciones inadecuadas de humedad, pulverizándolo demasiado, lo que lo torna, consecuentemente, más vulnerable a la erosión. Según Lopes y Brito (1993), el período crítico en relación a la erosividad de las lluvias es de febrero a abril, cuando ocurren en media, 64,76% del total anual del índice de erosividad (EI30).

Según FAO (1979), el cultivo del maíz (*Zea mays L.*), dependiendo de las condiciones climáticas, y sin considerar otros factores de producción, necesita, en su ciclo, de 500 a 800 mm de agua bien distribuida de acuerdo con sus fases fenológicas. Las fases de floración y llenado de grano son críticas para obtener la máxima producción.

Asociando las necesidades hídricas del cultivo del maíz con los datos de precipitaciones medias de 400 mm, se observa que, anualmente, ocurre un cierto déficit hídrico en el cultivo, debido principalmente a la irregularidad en la distribución de las lluvias en el tiempo y en el espacio.

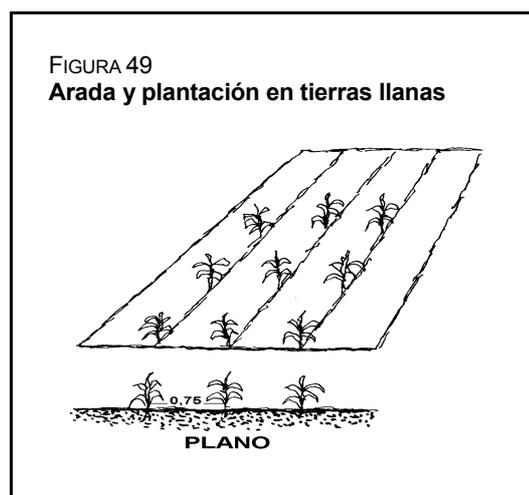
MÉTODOS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA IN SITU

El sistema tradicional de cultivo mínimo de siembra en hoyos, con el auxilio de la azada, da origen a una pequeña depresión, capaz de almacenar cierta cantidad de agua de lluvia. Este sistema es aparentemente poco agresivo para el medio ambiente; pero como el suelo no fue arado,

su superficie se presenta ligeramente compacta, dificultando la infiltración y facilitando el escurrimiento superficial, lo que contribuye al proceso erosivo. Por lo tanto, es necesario usar técnicas simples de preparación del suelo, para la captación del agua de lluvia *in situ* que puedan ser implantadas usando tanto la tracción mecánica como la tracción animal (Duret *et al.*, 1986).

Captación del agua de lluvia *in situ*: arada y plantación en tierras llanas

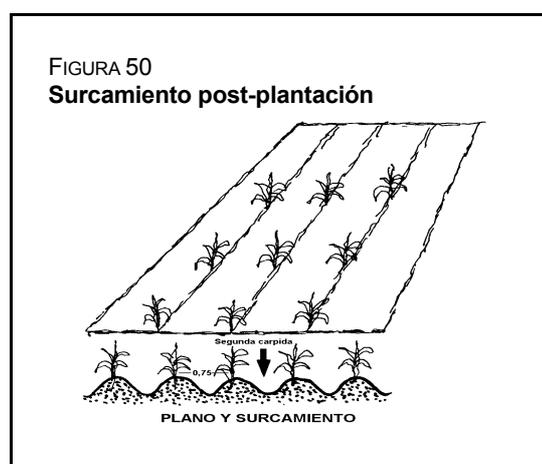
La arada del suelo para la implantación de cultivos de secano, constituye una de las técnicas de captación de agua de lluvia *in situ* en uso en la región semiárida del noreste brasileño; la formación de pequeñas depresiones resultantes de la arada, tienen por objetivo impedir el escurrimiento superficial del agua de lluvia, la cual queda almacenada en el perfil del suelo, y estará así disponible por más tiempo para el cultivo. Este sistema consiste en la utilización de arados de tracción animal o tracción motriz, siendo el arado de reja tirado por animales el más simple de todos (Anjos, 1985). La Figura 49 presenta un esquema del cultivo al nivel de campo.



En la tracción animal, el equipamiento más simple es el arado de reja, con un ancho de corte de 8 pulgadas (0,20m). Su costo es de aproximadamente \$ EE.UU. 150 y el animal de tracción \$ EE.UU. 300 totalizando una inversión de \$ EE.UU. 450. El costo del alquiler del implemento y el animal de tracción es de \$ EE.UU. 0,96/ hora. En la tracción motriz, el alquiler del tractor de neumáticos varía de \$ EE.UU. 12 a 15/hora.

Captación de agua de lluvia *in situ*: surcamiento post-plantación

El surcamiento post-plantación es una técnica de captación de agua de lluvia que consiste en una arada del área y siembra en la tierra llana, seguida del surcamiento entre las líneas de cultivo, efectuada en ocasión de la segunda o tercera carpida, dependiendo del cultivo y de su estado de desarrollo, por medio de surcadores a tracción animal o mecánica (Figura 50). Cuando los cultivos como maíz o sorgo están bien desarrolladas es difícil utilizar la barra porta herramientas con más de un surcador. La solución es el uso del surcador de una línea, tirada por un solo animal.



La época más adecuada para el surcamiento del suelo es 30 a 40 días después de la plantación del caupí y de 20 a 30 días después de la plantación del maíz.

El costo para adquisición de un surcador de una línea es aproximadamente de \$ EE.UU. 80 y el animal de tracción \$ EE.UU. 300 totalizando una inversión inicial de \$ EE.UU. 380. El alquiler de un animal de tracción y del surcador de una línea están en torno de \$ EE.UU. 0,90/hora. El alquiler del tractor de neumáticos varía de \$ EE.UU. 12 a 15/hora.

Captación de agua de lluvia *in situ*: surcamiento pre-plantación

La técnica de captación de agua de lluvia *in situ* a través del surcamiento en pre-plantación consiste en una aradura del área y abrir surcos

distanciados entre sí 0,75m. En este sistema, las carpidas son realizadas utilizando surcadores entre las líneas de siembra y complementadas con el auxilio de azadas manuales, entre las plantas de una misma línea.

Este sistema permite un mayor aprovechamiento del agua de lluvia y además de optimizar los trabajos culturales y fitosanitarios, la posibilidad de la mecanización, debido a que el camellón define la línea de siembra (Figura 51). La presencia de cepas, piedras y pendientes superiores a 5% limitan su utilización.

El costo de un chasis porta herramientas es de \$ EE.UU. 1 500 y la yunta de bueyes de tracción en torno de \$ EE.UU. 1 000. En el caso de utilizar tractores de neumáticos, el costo del alquiler es de \$ EE.UU. 12 a 15/hora.

Captación de agua de lluvia *in situ*: surco cerrado

El sistema de captación de agua de lluvia *in situ*, a través de surcos cerrados, fue desarrollado por la EMBRAPA-CPATSA, y consiste de una arada y surcamiento del suelo a 0,75m de distancia entre surcos, seguidos de la operación de cierre con pequeñas barreras dentro del surco, con la finalidad de impedir el escurrimiento superficial del agua de lluvia. El cerrado de los surcos efectuado con implementos a tracción animal, (Figuras 52 y 53) debe ser hecho antes de la siembra que es efectuada sobre los camellones.

FIGURA 51
Surcamiento pre-plantación

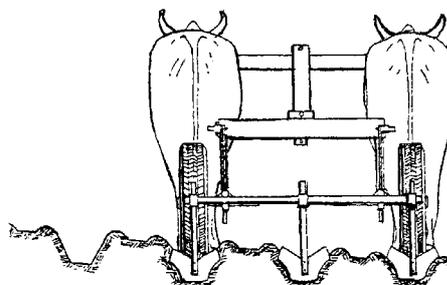


FIGURA 52
Cerrado de los surcos efectuado con barra porta herramientas

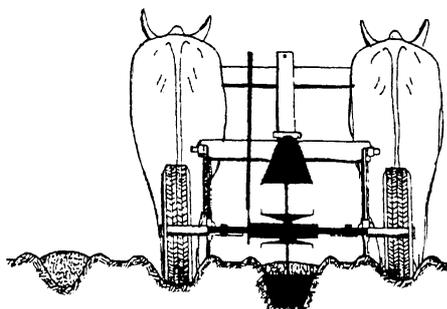
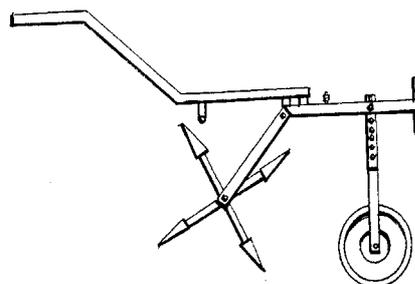


FIGURA 53
Cerrador de surco para tracción de un solo animal



Los cerramientos están distanciados entre sí de 2 a 3 metros; el control es hecho por el operador del cerrador, teniendo cuidado de dejarlos con una altura inferior a la de los camellones destinados a la siembra (Figura 54). En este sistema, las carpidas son realizadas utilizando surcadores entre las líneas y repasando con el auxilio de azada manual entre las plantas.

El cerrador de surcos puede ser construido en pequeños talleres, por artesanos locales y tiene un costo de alrededor de \$ EE.UU. 180. Exige poco esfuerzo de tracción, pudiendo ser utilizados animales de pequeño porte, como los asnos que cuestan en media \$ EE.UU. 70. Los costos con alquiler del sistema están en torno de \$ EE.UU. 0,90/ha.

Captación de agua de lluvia *in situ*: arada parcial

El sistema de captación de agua de lluvia *in situ* a través de la arada parcial consiste en dos pasos sucesivos con el arado de reja reversible a tracción animal, dejando una distancia de 0,60m a partir del segundo surco del suelo arado, y así sucesivamente; se reduce de esta manera, el tiempo de trabajo operativo en un 50%, ya que la arada es realizada en fajas. La parte del suelo no arado entre dos fajas es responsable por la captación y conducción del agua hasta la zona de la siembra (Figura 55).

En ese sistema, la siembra es hecha con plantadoras manuales sobre el segundo surco dejado por el arado en cada faja, siendo la distancia entre líneas de cultivo de un metro. El sistema es rehecho cada año, promoviendo así, la rotación gradual del área de cultivo. Las carpidas pueden ser efectuadas manualmente con azada, cuando las plantas alcancen la altura de 0,10 m; puede utilizarse el arado de surco reversible, arándose la parte no trabajada para eliminar las hierbas y arrimar tierra a la planta (aporcar) (Figura 52).

FIGURA 54
Sistema de surcos barrados

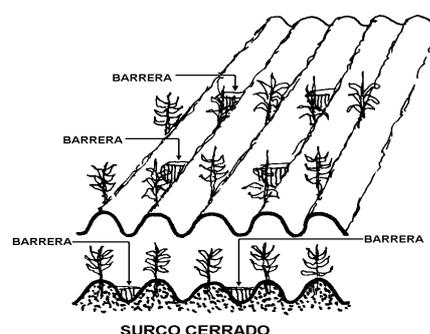


FIGURA 55
Sistema de arada en fajas

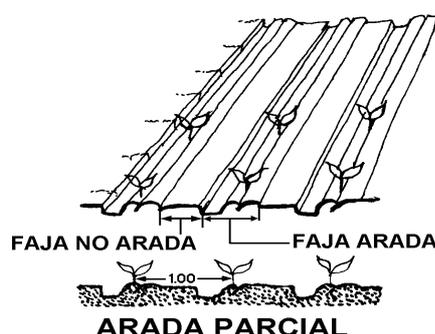
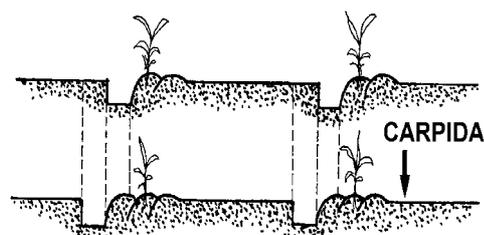


FIGURA 56
Método de efectuar la carpida mecánica con tracción animal



La inversión para la adopción del sistema es baja. El arado tiene un costo de \$ EE.UU. 150 y un caballo en torno de \$ EE.UU. 300. El arado utilizado en la preparación del suelo para la siembra es el mismo para efectuar la carpida mecánica. El alquiler del implemento es de \$ EE.UU. 0,70/hora.

Captación de agua de lluvia *in situ*: método Guimarães Duque

Según Silva *et al.* (1982), la primera técnica de captación de agua de lluvia *in situ*, adaptada a las condiciones de la zona semiárida nordestina fue desarrollada por el INFAOL (Instituto Nordesteño para el Fomento del Algodón y Oleaginosas), denominada “Método Guimarães Duque de Lavoura Seca”. Este método fue adaptado por la EMBRAPA-CPATSA para la explotación de cultivos anuales, principalmente maíz y caupí.

El método Guimarães Duque consiste en la formación de surcos, seguidos por camellones altos y anchos, formados a través de cortes efectuados en curva de nivel, usando un arado de disco reversible, con tres discos. Para hacer el sistema, se recomienda retirar el disco que queda más próximo a los neumáticos traseros del tractor, siendo el trabajo efectuado con los otros dos discos del arado.

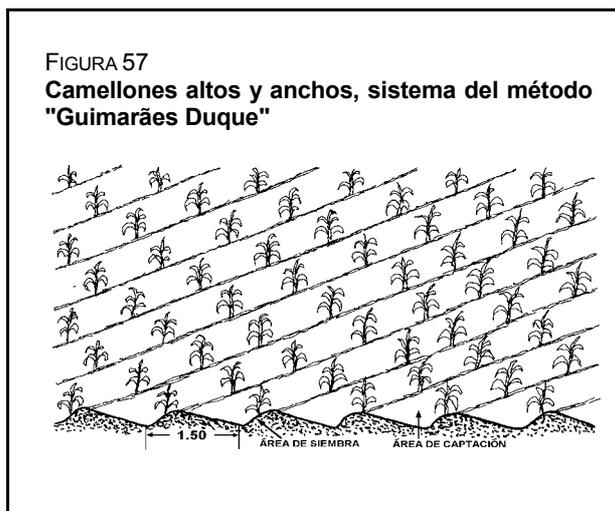
El operador tractorista inicia la arada tomando por base las curvas de nivel paralelas al surco del suelo arado en el sentido de la pendiente del terreno. Después del primer surco, para hacer el segundo, debe tenerse cuidado al maniobrar el tractor, para que los neumáticos pasen sobre el suelo que todavía no fue arado, esto es, bordeando el surco anterior y así, sucesivamente. Este procedimiento permite la formación del área de captación entre los camellones, siendo el espacio entre líneas de cultivo de 1,5m (Figura 57).

Este sistema es semi-permanente ya que tiene una duración de tres a cinco años, pudiendo ser adaptado a distintos cultivos con arados de reja a tracción animal, removiendo la zona de plantación.

El alquiler del tractor de neumáticos es de \$ EE.UU. 12 a 15/ha, y en media se gasta 1,6h/ha para implantación del sistema.

Captación de agua de lluvia *in situ*

La captación de agua de lluvia *in situ* es una técnica de preparación del suelo asociada al almacenamiento de agua de lluvia proveniente del escurrimiento superficial que ha sido muy estudiada en las dos últimas décadas. Es probable que haya surgido antes, esto es, en el período de Brasil colonial, cuando se implantaron los cultivos de caña de azúcar, en el sector semi-árido del Nordeste brasileño, a través del sistema de hoyos rectangulares.



El sistema es utilizado hasta hoy, ya que proporciona una mejor conservación de la humedad en el suelo en virtud de que la tierra de la excavación de los hoyos es distribuida en las adyacencias, impidiendo la pérdida de agua debido a que se rompe la capilaridad.

Agricultura de reflujo fluvial

La agricultura de reflujo es una práctica que consiste en la utilización de los suelos potencialmente cultivables de las represas, ríos y lagos que quedan cubiertas por las aguas en la época de lluvias (Duque, 1973 y Guerra, 1975).

Los reflujos actualmente son explotados, principalmente, por productores que, en su mayoría, utilizan herramientas manuales y, en menor escala, la tracción animal, siendo los cultivos más comunes el arroz, el frijol, el camote y el maíz (Carvalho, 1973).

Según Silva e Porto (1982), hay más de 70 000 represas, públicas y privadas, distribuidas en el Nordeste brasileño. Eso permite la sobrevivencia de tres millones de personas incluso en años de sequía intensa, a través de la explotación de los reflujos (Guerra, 1975).

El implemento más utilizado por los agricultores es el arado de reja a tracción animal, con un ancho de corte de 8 pulgadas (0,20 m); su costo es de aproximadamente \$ EE.UU. 150 y el animal de tracción \$ EE.UU. 300 totalizando una inversión de \$ EE.UU. 450. En el caso de alquiler de implementos con animal de tracción el costo es de \$ EE.UU. 0,96/hora. El alquiler de un tractor de neumáticos varía de \$ EE.UU. 12 a 15/hora; sin embargo, es difícil de usar en suelos con alto tenor de humedad, debido al peso excesivo de la máquina, que dificulta su desplazamiento en esas condiciones.

NOCIONES SOBRE IRRIGACIÓN

Es interesante observar que las antiguas civilizaciones tuvieron sus orígenes en regiones áridas, donde la producción sólo era posible gracias a la irrigación. Así las grandes aglomeraciones que hace más de 4 000 años se establecieron en las márgenes fértiles de los ríos, Huang Ho y Yangtze, en el amplio imperio de China, del Nilo en Egipto, del Tigris y Eufrates en Mesopotamia y del Ganges en la India, se conservaron gracias a la utilización de los recursos hídricos, (Daker, 1988).

La principal fuente de agua en la producción agrícola del sector semi-árido del Nordeste brasileño es básicamente el agua de lluvia. Otro gran potencial para la explotación agrícola, son las aguas superficiales de ríos permanentes, siendo el río San Francisco el principal de ellos, y las aguas almacenadas en represas construidas en el lecho de ríos de régimen regular. Una fuente importante y poco explotada son las aguas subterráneas, de origen pluvial o fluvial almacenadas, en el subsuelo.

La captación, la elevación y la distribución del agua en la agricultura irrigada es efectuada a través de diversos métodos. En los ríos permanentes se utilizan ruedas de agua que aprovechan el potencial de la energía hidráulica o molinos de viento que accionan pequeñas bombas; otras son movidas con motores eléctricos o de combustión interna que consumen combustibles derivados del petróleo, o extraídos de la biomasa (alcohol, biogas y vegetales gasificados).

El exceso de agua de irrigación tiene aspectos negativos que se resumen principalmente, en el lavado de los nutrimentos solubles, los altos costos de la energía para la elevación del agua, además de dar origen a problemas de mal drenaje, y consecuentemente, de salinidad. La necesidad de agua por la planta está asociada a sus estadios de crecimiento y a las condiciones del clima. De

esta manera, tanto la escasez como el exceso de agua afectan negativamente la productividad de los cultivos.

El uso poco racional del agua en el Nordeste brasileño, provoca la ascensión del nivel freático de agua, que se aproxima a la superficie del suelo en lugares y épocas determinadas, creando condiciones desfavorables para el desarrollo de los cultivos, limitando su productividad y deteriorando su calidad.

Las aguas con un contenido mayor de 3,0 g/l de sales solubles son consideradas saladas y no recomendables para uso en la agricultura. Otro parámetro básico en la clasificación de aguas de irrigación es el sodio, que por encima de 0,3 g/l es considerado perjudicial (Valdiviezo Salazar y Cordeiro, 1985).

Métodos de irrigación

La selección de determinado método de irrigación, depende de la disponibilidad de recursos financieros, la calidad del agua, la filtración, el tipo de suelo y la topografía, entre otros factores.

Irrigación por inundación: el sistema se caracteriza por la aplicación de agua en el suelo, en forma de lámina parcial o continua, cubriendo totalmente la superficie del terreno (Soares, 1988).

Irrigación por surcos: la estructura de irrigación está basada en obras de ingeniería (canales de distribución) pero la mayoría de las veces es construida utilizando herramientas manuales con suelo del lugar; la irrigación no es controlada, dirigiendo el agua a través de tapones de tierra, con una azada, cuando el ideal sería el uso de sifones de diámetro apropiado u otro tipo de dispositivo para el control de derrame, tomando ejemplo de áreas exploradas y siguiendo una planificación adecuada.

Cápsulas porosas: son recipientes de una capacidad de 0,6 a 0,7 l conectados a una red hidráulica de alimentación de agua, formando el sistema de irrigación. Son confeccionadas con arcilla no expandible que es inyectada en forma de pasta acuosa en un molde de yeso (gipsita); después de desmoldada y debastadas las aristas, se abre el orificio donde será introducido un tubo de polietileno, que conduce el agua de alimentación del sistema; se seca y hornea a 1 120° C para dar resistencia y obtener una porosidad en torno al 20% (Silva *et al.*, 1981). El método de irrigación por cápsulas porosas, funciona con baja presión y bajo consumo de agua, 5 litros por unidad/día.

Irrigación por potes de barro: son recipientes con capacidad de 10 a 12 litros, confeccionados en arcilla, que después de secos son quemados en hornos, para dar resistencia y obtener porosidad. Normalmente los potes están intercomunicados entre si por un tubo de polietileno, con diámetro de 1/2 pulgada (12,7 mm) que recibe agua de la fuente de abastecimiento, disminuyendo así la mano de obra para abastecerlos individualmente (Silva *et al.*, 1982).

El principio del funcionamiento de las cápsulas y los potes de barro, está basado en que cuando plantas retiran agua del suelo, generan una diferencia de potencial de agua entre el suelo y la unidad porosa. Esto provoca el flujo del agua al suelo y así abastece adecuadamente las necesidades hídricas del cultivo.

Irrigación localizada por goteo y microaspersión:

se caracteriza básicamente, por la aplicación del agua en una fracción del volumen del suelo explorado por las raíces de la planta, en forma puntual o en faja continua, generalmente con distribución presurizada a través de pequeñas filtros y cortos intervalos de riego, manteniendo niveles de humedad ideales el cultivo (Bernardo, 1982). La Figura 58 ilustra el principio de funcionamiento de los sistemas de irrigación localizada.

Irrigación por aspersión: es uno de los sistemas más difundidos en los últimos tiempos. Se caracteriza por la uniformidad de aplicación del agua, la buena eficiencia del sistema, la facilidad para eliminar los peligros de erosión, la posibilidad de su empleo en las más diversas topografías y tipos de suelo.



Pivote central: es un tipo de irrigación por aspersión, donde la unidad consiste en una línea lateral con aspersores que se mueve en círculo y en torno al pivote a una velocidad prefijada y constante. En virtud de que el sistema es autopropulsado, la mano de obra es reducida en la operación, permitiendo también la aplicación directa de fertilizantes y pesticidas vía el agua de irrigación (EMBRAPA, 1988).

Manejo del suelo-agua-planta

El manejo de agua en el suelo está directamente relacionado con los cultivos implantados y con el sistema de irrigación adoptado.

La definición del manejo de agua puede basarse en la medida de cualquiera de los componentes suelo-planta-atmósfera. Cuando se usa el estanque clase A, en base en la evaporación diaria para establecer los turnos de riego semanal, tenemos las siguientes ecuaciones:

- Cálculo de la evaporación media diaria (E_v)

$$E_v = \frac{E_{v_1} + E_{v_2} + \dots + E_{v_7}}{7} \quad (\text{ec. 1})$$

donde:

E_v = Evaporación diaria media (mm)
 $E_{v_{1-7}}$ = Evaporación diaria (mm)

- Cálculo de la lámina de irrigación (L_b)

$$L_b = \frac{K_p \times K_c \times E_v}{c_u/100} \quad (\text{ec. 2})$$

donde:

L_b = Lámina de irrigación (mm)
 K_p = Factor del tanque igual a 0,75
 K_c = Coeficiente determinado para el cultivo

c_u = Coeficiente de uniformidad del sistema de irrigación (%), que debe ser determinado *in loco*

- En la irrigación por microaspersión y por goteo, el volumen de agua a ser aplicado en cada unidad de riego depende de la lámina de irrigación y del número de plantas por subunidad de riego.

De este modo:

$$V_{ap} = \frac{L_b \times E_p \times E_f}{D} \quad (\text{ec. 3})$$

donde:

V_{ap} = Volumen de agua aplicado por planta (l/planta/día)

E_p = Espaciamiento entre plantas(m)

E_f = Espaciamiento entre hileras de plantas(m)

D = Número de días del intervalo de irrigación

- El tiempo de irrigación para aplicar la lámina será:

$$T_j = \frac{V_{ap}}{N \times q_e} \quad (\text{ec. 4})$$

donde:

T_j = Tiempo de irrigación por unidad de riego (horas)

N = Número de goteros por planta

q_e = Caudal de los goteros (l/h) (este parámetro debe ser obtenido en pruebas de campo)

Cuando el tiempo de irrigación es superior a tres horas, se recomienda el fraccionamiento en dos irrigaciones, a fin de evitar pérdidas excesivas de agua por percolación profunda y asfixia del sistema radicular.

- En los sistemas semi-automatizados de goteo o microaspersión, debe determinarse el volumen de agua por unidad de riego.

$$V = 10 \times L_b \times A \quad (\text{ec. 5})$$

donde:

V = Volumen de agua por unidad de riego (m³)

A = Area de unidad de riego (ha)

- En la irrigación por aspersión, según Azevedo *et al.* (1986), en el período de mayor desarrollo de los cultivos como tomate, cebolla, melón y sandía, la lámina de irrigación debe ser calculada en base a la evaporación acumulada del tanque clase A, para períodos semanales, según la ecuación 6:

Entonces, la lámina de irrigación es:

$$L_b = \frac{K_p \times K_c \times E_v}{E_i} \quad (\text{ec. 6})$$

donde:

- L_b = Lámina de irrigación(mm)
 K_p = Coeficiente del tanque clase A (igual a 0,75 o usar tabla definida para el lugar)
 K_c = Coeficiente indicado para el cultivo
 E_v = Evaporación media diaria del tanque(mm)
 E_i = Eficiencia del sistema de irrigación obtenida en pruebas de campo

Cuando no se realiza el control de humedad del suelo, se debe estimar la disponibilidad de agua en el suelo, en función de tablas desarrolladas y adaptadas a la localidad, a fin de determinar la reposición para la próxima irrigación (Cuadro 37).

CUADRO 37

Valores de coeficiente del tanque clase A (K_p) para valores estimativos de la evapotranspiración de referencia (E_o)

UR % (media)	Exposición A Tanque circundado por grama			Exposición B Tanque circundado por suelo desnudo				
	Baja <40%	Media 40-70%	Alta >70%	Baja <40%	Media 40-70%	Alta >70%		
Viento (km/día)	Posición del tanque (R(m))*			Posición del tanque (R(m))*				
Libre <175	0	0,55	0,65	0,75	0	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 175 - 425	0	0,50	0,60	0,65	0	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Fuerte 425 - 700	0	0,45	0,50	0,60	0	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,75
	100	0,60	0,65	0,75	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muy fuerte >700	0	0,40	0,45	0,50	0	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

Observaciones: Para extensas áreas de suelo desnudo y en condiciones de alta temperatura y viento fuerte, reducir el valor de K_p en 20%; en condiciones de temperatura, viento y humedad moderados, la reducción es de 5 a 10%.

* Por R(m) se entiende la menor distancia (expresada en metros) del centro del tanque al límite del borde (pasto o suelo desnudo).

Fuente: Tuler *et al.* (1983)

- El tiempo de irrigación es:

$$T_i = \frac{L_b}{I_a} \quad (\text{ec. 7})$$

donde:

T_i = Tiempo de irrigación (horas)

I_a = Intensidad de la aplicación del aspersor, medido en el campo (mm/h)

En la irrigación por surcos, se puede usar la ecuación 6 para calcular la lámina de irrigación (L_b). El tiempo de irrigación (T_i) es función de esa lámina y el tiempo de avance del agua en el surco (T_a) asociado al tiempo de oportunidad de irrigación (T_o). El T_a y el T_o son determinados directamente en pruebas de campo.

El uso de tensiómetros puede auxiliar en el control de la irrigación, principalmente en áreas irrigadas por goteo y microaspersión automatizados. Se adaptan bien a suelos donde la mayor parte del agua disponible está retenida a tensiones inferiores a - 0,80 bar (Faria y Costa, 1987).

Capítulo 16

La selección de tecnologías alternativas

FUENTES DE INFORMACIÓN SOBRE TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

Hay varias fuentes donde se puede obtener información acerca de las nuevas tecnologías sobre el manejo del suelo. Es sin duda recomendable buscar información publicada sobre tecnologías que han sido investigadas en el mismo tema de la recomendación en que uno está trabajando, que después fueron validadas por los mismos agricultores en sus propiedades y luego evaluadas por ellos mismos. De esta manera, se puede confiar en la idoneidad de estas tecnologías para las condiciones donde fueron probadas y evaluadas.

Muchas veces existe información sobre tecnologías que todavía están en la fase de experimentación sin haber sido validadas por los agricultores bajo sus propias condiciones. No es posible recomendar estas tecnologías sin tener mayor evidencia sobre su aptitud para las zonas y condiciones de los agricultores. Sin embargo, si aparentemente hay buenas posibilidades de que estas tecnologías sean aptas, en lugar de esperar que se haya terminado toda la secuencia de investigaciones que podrían llevar mucho tiempo, se recomienda llevar a cabo investigaciones participativas con algunos agricultores que tengan interés en adaptar estas tecnologías. Los agricultores probarán la nueva tecnología dentro de una pequeña parte de su propiedad y compararán los resultados con sus prácticas corrientes. Las pruebas se harán sin replicaciones en las parcelas, y en lo posible, deberán ser un número adecuado de pruebas, para poder utilizar los sitios como replicaciones en un análisis estadístico.

Frecuentemente los técnicos tienen información de la literatura o de sus propias visitas a otras regiones o a otros países, sobre tecnologías que funcionan bien en esas condiciones, pero estas tecnologías no han sido probadas ni validadas en el país o región donde trabaja el técnico. En este caso es importante comparar las condiciones agroecológicas y socioeconómicas de los agricultores donde la tecnología ha funcionado bien con las condiciones locales para evaluar tentativamente la probabilidad de éxito de la transferencia de la tecnología. Si las probabilidades de éxito son buenas, se sugiere que como primer paso se hagan algunas pruebas participativas con uno o dos agricultores. Si los resultados son alentadores, se puede aumentar el número de pruebas participativas para obtener mayor información sobre la aptitud de la tecnología, y para que los agricultores evalúen debidamente la idoneidad de la tecnología en sus situaciones particulares. No se debe impulsar una tecnología antes de haber comprobado que realmente funciona.

LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS EN BASE A LA SITUACIÓN ACTUAL DEL AGRICULTOR

Cuando se introducen nuevas tecnologías es muy importante que sean consistentes con los recursos y condiciones del agricultor. Las nuevas tecnologías deben encajar dentro del marco de los sistemas de producción del agricultor. Un sistema de producción consta de varios componentes, p. ej., la preparación de la tierra, la labranza, los cultivos y su rotación, la siembra, la aplicación de herbicidas y pesticidas, la fertilización, la cosecha, el almacenaje de grano, el manejo de los rastrojos, la maquinaria, los implementos y equipos, y los sistemas de drenaje, riego y conservación de suelos. Si la introducción de un nuevo sistema de manejo requiere cambios en algunos de los componentes del sistema de producción, eso puede significar cambios en otros componentes. Por ejemplo, en el sistema de labranza cero la rotación de cultivos es más importante debido a que los rastrojos quedan sobre la superficie. Esto puede estimular la sobrevivencia y proliferación de ciertas enfermedades y plagas del suelo.

No es de esperar que un agricultor vaya a cambiar completamente, de un día para otro, sus sistemas de producción y manejo de suelos que ha practicado por muchos años. El proceso de cambio deberá ser gradual, en etapas, y a una velocidad aceptable para el agricultor.

Los factores socioeconómicos

Tanto el sistema de manejo de suelos como el sistema de producción están influidos por factores socioeconómicos. Por lo tanto, para seleccionar los sistemas de manejo de suelos se deben tomar en cuenta las limitaciones socioeconómicas, de modo que los sistemas sean aceptables desde ese punto de vista. Las limitaciones socioeconómicas que se deben considerar son:

- ***Tamaño de la propiedad y nivel de producción***

El tamaño de la propiedad y el nivel de producción influyen en la rentabilidad, y por eso tienen gran influencia sobre el nivel de tecnología más apropiado. Algunas tecnologías mecanizadas, como la labranza cero, requieren grandes inversiones iniciales de maquinaria y entonces no son factibles para productores con bajos niveles de ingresos. Además, la escala de producción podría ser un factor limitante para poder introducir ciertos sistemas de manejo de altos costos de instalación, como por ejemplo, sistemas de drenaje o riego.

- ***Recursos financieros, precios, costos y disponibilidad de insumos y crédito***

Todos estos factores influyen en la rentabilidad de los sistemas de manejo existentes, y en las posibilidades de introducir exitosamente nuevos sistemas de producción. Muchas veces los sistemas que parecen técnicamente más apropiados no son factibles debido a la falta de recursos económicos del agricultor, los problemas de flujo de dinero, los costos elevados de los insumos, las dificultades para obtener los insumos en el momento oportuno, los bajos precios o la incertidumbre de los mismos. A veces, muchos de los agricultores no pueden obtener crédito porque no tienen una garantía aceptable para la institución que presta el dinero, o las tasas de interés son demasiado altas, o el período de retorno es demasiado corto y el agricultor tendrá que vender su producción cuando el mercado está saturado y los precios son muy bajos. De este modo estos factores pueden dificultar la introducción de nuevos sistemas de manejo de suelos.

- ***Comercialización, acceso, transporte y almacenamiento del producto***

Estos factores son muy importantes en las decisiones sobre la introducción de nuevos sistemas de producción. Solamente vale la pena que un agricultor siembre un cierto cultivo si existe una demanda en el mercado para este producto, si hay transporte disponible, confiable y de costo aceptable para llevar su producción al mercado, y si hay acceso transitible a su propiedad. Para los agricultores que viven en zonas aisladas donde los caminos están en mal estado, o no son siempre transitables en la época de la cosecha, no será aconsejable producir productos que no se conservan bien. Si el agricultor tiene o no tiene posibilidades de almacenar su cosecha, también podrá influir sobre la factibilidad de adoptar un nuevo sistema de producción y de manejo de suelos.

- ***Mano de obra***

La disponibilidad, costo, y costo de oportunidad de la mano de obra influyen en la selección y rentabilidad de los sistemas de producción y de manejo de suelos. Muchas veces es la falta de mano de obra en las épocas críticas, como la siembra, el primer deshierbe o la cosecha, que influye en la factibilidad de introducir un nuevo sistema de producción. Por ejemplo, la producción de algodón requiere mucha mano de obra para los deshierbes y la cosecha y entonces sólo es factible en zonas donde hay suficiente mano de obra disponible. Para agricultores con pequeñas propiedades, la disponibilidad de la mano de obra familiar puede variar mucho de una familia a otra dependiendo del número y sexo de los hijos.

- ***Organización de los agricultores***

La organización de los agricultores es uno de los pasos más importantes en el desarrollo de la agricultura. En situaciones donde no están dispuestos a organizarse será más difícil introducir sistemas rentables de producción porque los agricultores no pueden comprar sus insumos y vender sus productos en forma cooperativa a mejores precios y quedando así a merced de los intermediarios. Para desarrollar sistemas de riego es muy necesaria la organización de los usuarios sobre todo para controlar el consumo del agua.

- ***Tenencia de la tierra***

Este factor tiene mucha influencia en la selección de los rubros y los sistemas de manejo de suelos, pero es uno de los problemas más difíciles de superar. Si un agricultor arrienda el terreno donde siembra sus cultivos, no estará dispuesto a contemplar rubros ni tecnologías que darán beneficios dentro de un período más largo que el plazo de su arriendo. Frecuentemente, esto resulta en sistemas anuales de producción que no son sostenibles, porque muchas tecnologías que promueven la sostenibilidad, como prácticas de conservación de suelos, sólo darán beneficios a largo plazo.

- ***Apoyo técnico***

Para que los agricultores eleven sus niveles de vida necesitan no solamente apoyo técnico, sino también el estímulo de una presencia frecuente y regular de los extensionistas. Por lo general, son aquellos agricultores que reciben mayor contacto, directo y personal de los extensionistas, los que se desarrollan más rápidamente y con éxito. La presencia de instituciones gubernamentales y/o no gubernamentales capacitadas en la transferencia de tecnología son necesarias para un desarrollo exitoso de nuevas prácticas agrícolas. Con el tiempo se pueden capacitar agricultores para transferir las nuevas tecnologías a otros agricultores; sin embargo el primer paso es la presencia de un número suficiente de extensionistas en la zona para atender adecuadamente a los agricultores. Si estas condiciones

no están presentes, será mucho más difícil hacer adoptar tecnologías nuevas y/o más avanzadas a los agricultores.

LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS EN BASE A LAS CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Los sistemas de manejo de suelos no deben causar impactos perjudiciales sobre el ambiente, o sea sobre la vida humana y animal, la tierra, el agua y la atmósfera. Deberían evitar el uso de pesticidas tóxicos que afectan seriamente la salud que pueden causar la muerte de los seres vivos, y que contaminan los suelos causando reducciones en las poblaciones, diversidad y actividad de la fauna y vida microbiológica de los suelos.

Además, se deben evitar sistemas de manejo que resulten en la contaminación de las aguas por procesos de lixiviación de pesticidas y nutrientes tales como nitratos debido a las aplicaciones excesivas de nitrógeno, o por escorrentía llevando fertilizantes, pesticidas y partículas de suelo a los ríos. La contaminación de los aguas deteriora la calidad de los aguas potables para los humanos y animales, daña la vida ribereña y marítima, puede afectar las industrias pesqueras y turísticas, y puede causar sedimentación en los embalses y reducir la longevidad de las estaciones hidroeléctricas.

Es importante considerar el impacto de los sistemas de manejo de suelos no solamente en la región agrícola donde se aplican, sino también en las áreas aguas abajo hasta el mar. A veces la aplicación de una tecnología no resulta en un efecto adverso dentro de las propiedades agrícolas ni en la región agrícola, pero la suma de los efectos aguas abajo puede ser muy perjudicial. Por ejemplo, la pérdida de nitratos debido a las aplicaciones excesivas de fertilizantes nitrogenados en las áreas agrícolas puede causar concentraciones tóxicas de nitratos en las aguas potables para los pobladores aguas abajo. De igual manera, el grado de erosión debido a un sistema de manejo podría ser aceptable en las propiedades agrícolas donde está implementado, pero la acumulación de los sedimentos en los ríos, y el incremento en la turbidez del mar, podrían tener un efecto muy negativo sobre el crecimiento de los corales, con un impacto perjudicial sobre la industria turística. Por lo tanto, es fundamental considerar los impactos ambientales en su forma mas amplia.

LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS EN BASE A LAS RELACIONES "PROBLEMAS-SOLUCIONES "

Los sistemas de manejo de suelo deberán partir de los sistemas de producción que tiene el agricultor, los que dependerán de las características de los suelos, el clima, la capacidad de uso de las tierras, y sobre todo, de los mercados, los precios, los recursos financieros, y las necesidades de la familia del agricultor. Los factores económicos y la comercialización son muy importantes para los agricultores que quieren diversificar su producción para generar más ingresos y mejorar su nivel de vida. No se trata en mayor detalle estrechamente aquí como seleccionar los sistemas de producción ya que son problemas que se relacionan más con la evaluación de tierras.

Para seleccionar los sistemas de manejo de suelo, el agricultor, junto con el extensionista, tiene que identificar los factores edafológicos, climáticos, ambientales, y socioeconómicos que más limitan la productividad, rentabilidad y sostenibilidad de los sistemas de producción. Los aspectos socioeconómicos y ambientales ya se han considerado anteriormente. En general, existe una interacción entre algunos de los factores edafológicos y climáticos, y por lo tanto se consideran las limitaciones edafo-climáticas que tienen relación con la falta y exceso de humedad, temperaturas no óptimas, y vientos fuertes.

En esta sección se trata de las limitaciones edafológicas y edafo-climáticas para el manejo de suelos, las causas de las limitaciones, y las posibles soluciones. Un resumen de las limitaciones, las causas y las posibles soluciones se presenta en Cuadro 38.

CUADRO 38

Las limitaciones, causas y posibles soluciones para el manejo de suelos

Limitación	Causa	Posibles soluciones
A. Mala germinación	i) Falta de humedad	Dejar rastrojos Cultivo de cobertura Labranza conservacionista; labranza cero Aplicación de cubierta orgánica Cortinas rompevientos Siembra profunda en seco
	ii) Exceso de humedad	Subsolación Canales de drenaje Labranza en camellones Canales de diversión
	iii) Temperaturas excesivas	Emparejamiento con rastra niveladora Dejar rastrojos Cultivo de cobertura Aplicación de cubierta orgánica
	iv) Temperaturas muy bajas	Labranza conservacionista; labranza cero Labranza en camellones Cobertura de rastrojos Cortinas rompevientos
	v) Agregados arcillosos, grandes y duros	Labranza con rodillos desterronadores Labranza de rastra de discos o rotavador Descanso del terreno bajo pastos
B. Baja emergencia	i) Encostramiento	Dejar rastrojos Cultivos de cobertura Cubierta orgánica Labranza cero Labranza en camellones angostos Mayor densidad de siembra Menor profundidad de siembra
	ii) Horizontes endurecidos	Labranza vertical con arado cincel y luego vibrocultivador
C. Enraizamiento restringido	i) Compactación severa	Subsolación (para recuperación)
	ii) Compactación incipiente	Labranza vertical con arado cincel, luego vibrocultivador
	iii) Horizontes endurecidos	Labranza vertical con tráfico controlado Labranza vertical con arado cincel y luego vibrocultivador
	iv) Exceso de humedad	Ver E ii)
	v) Falta de fósforo	Ver D i)
	vi) Presencia de tóxicos	Ver D iv)
D. Baja fertilidad y productividad	i) Deficiencias y/o desequilibrios nutricionales	Aplicación de fertilizantes Aplicación de fertilizantes foliares Colocación del fertilizante Aplicación fraccionada del fertilizante Época oportuna de fertilización Fertilizante no acidificante Incorporación de abonos verdes Rotaciones con leguminosas
	ii) Bajos niveles de materia orgánica y arcilla	Aplicación de fertilizantes Aplicación de cal o cal dolomítica Aplicación de abonos Aplicación de composte Dejar rastrojos Cultivo de cobertura Labranza conservacionista Incorporación de abonos verdes Leguminosas intercaladas Inoculación de leguminosas Rotación de cultivos Descanso con cultivos de cobertura Barbechos enriquecidos de descanso
	iii) Lixiviación	Rotaciones con cultivos de enraizamiento profundo

Limitación	Causa	Posibles soluciones
	iv) Aluminio y/o manganeso v) Malezas, plagas, enfermedades y suelos cansados	Cultivos perennes Cultivos en callejones Cambiar variedad o cultivo Aplicación de cal o cal dolomítica Aplicación de yeso con/sin cal Incorporación de abonos orgánicos Rotación de cultivos
E. Edafo-climáticas		
i) Falta de humedad	i) Evaporación y baja infiltración (hay rastrojos) ii) Vientos fuertes iii) Baja infiltración (no hay rastrojos) iv) Baja retención de humedad	Dejar rastrojos Cultivo de cobertura Cubierta orgánica Abono orgánico Labranza cero Cambio de variedad/cultivo Cortinas rompevientos Labranza en camellones angostos y tapados Labranza en bandas Labranza vertical Cultivador de campo Arada a la salida de las lluvias Incorporación de abonos orgánicos Incorporación de cultivos de cobertura Incorporación de abonos verdes Subsolación Barbecho para acumulación de humedad Cambiar variedad/cultivo Riego por dispersión/gravedad/goteo
ii) Exceso de humedad	i) Escorrentía ii) Napa freática alta o capas impermeables	Canales de diversión Canales abiertos de drenaje Subsolación Labranza en camellones Camellones anchos y combados
iii) Vientos fuertes	i) Falta de protección	Cortinas rompevientos
F. Baja actividad biológica	i) Falta de rastrojos ii) Suelos "cansados" iii) Pesticidas tóxicos	Dejar rastrojos Aplicar cubierta orgánica Cultivos de cobertura Labranza cero Aplicar abonos orgánicos Siembra de cultivos/variedades con más rastrojos y rastrojos más persistentes Rotación de cultivos Aplicar pesticidas biológicos Aplicar pesticidas específicos Manejo integrado de plagas Manejo integrado de malezas
G. Erosión hídrica	i) Falta de cobertura y baja infiltración ii) Falta de rugosidad iii) Escorrentía	Dejar rastrojos Aplicar cubierta orgánica Aplicar abonos orgánicos Cultivos de cobertura Cultivos intercalados y de relevo Labranza cero No quemar rastrojos Minimizar el pastoreo de rastrojos Dejar las piedras sobre el suelo Aumentar la población del cultivo Incrementar la fertilidad química Variedades y especies de alto rastrojo Control de malezas con herbicidas Control de malezas con cultivadoras Labranza y siembra paralelas al contorno Labranza en bandas Aradura a la salida de la lluvia y labranza en bandas Barreras vivas Cultivos en callejones Barreras muertas Pozos ciegos Acequias de ladera

Limitación	Causa	Posibles soluciones
		Canales interceptores Terrazas de banco Terrazas de huerta Terrazas individuales
H. Erosión eólica	i) Falta de cobertura ii) Vientos fuertes	Dejar rastrojos Cubierta orgánica Abonos orgánicos Labranza conservacionista Uso de herbicidas Uso de cultivadoras de campo Cortinas rompevientos Labranza en camellones angostos
I. Altos costos de producción	i) Costo de mano de obra ii) Costo de maquinaria iii) Costo de pesticidas iv) Costo de fertilizantes	Sembradoras/abonadoras mejoradas Labranza cero Modificación de sembradoras Herbicidas sistémicos Manejo integrado de malezas Pesticidas orgánicos Manejo integrado de plagas Rotación de cultivos Siembra de leguminosas Abonos orgánicos Mantillo Dosis económicas de fertilizantes Aplicación fraccionada de fertilizantes Colocación de fertilizante Época oportuna de fertilización Cultivos de cobertura Roca fosfatada Cultivos en callejones Barbechos de descanso Barbechos enriquecidos
J. Contaminación del ambiente	i) Pesticidas tóxicos ii) Pérdida de fertilizantes solubles iii) Erosión hídrica iv) Erosión eólica	Pesticidas no tóxicos Pesticidas biológicos y botánicos Manejo integrado de plagas Manejo integrado de malezas Rotación de cultivos Supervisión de la calidad de las aguas y suelos Aplicación fraccionada de fertilizantes solubles Colocación de fertilizantes Siembra de leguminosas Mayor uso de abonos orgánicos Mayor uso de mantillo Supervisión de la calidad de las aguas Ver G Supervisión de la calidad de las aguas Ver H Supervisión de la calidad del aire

A. Condiciones adversas para la germinación

La mala germinación podría eventualmente ser atribuible a semilla de mala calidad, especialmente si el agricultor utiliza su propia semilla, a la falta o exceso de humedad, a temperaturas excesivas o muy bajas, o a la presencia de estructuras degradadas en la zona de germinación. A veces la baja productividad de los agricultores de subsistencia es en gran parte atribuible a la baja población de su cultivo.

Posibles soluciones

i. Para la falta de humedad

Si la falta de humedad es el factor más limitante, las posibles soluciones son dejar rastrojos o aplicar cubierta orgánica sobre la superficie del suelo para reducir la evaporación. En zonas donde hay vientos fuertes la instalación de cortinas rompevientos reducirán la velocidad de

los vientos y por ende la evaporación. (Ver Barber y Johnson (1992) para una guía práctica sobre la instalación de cortinas rompevientos). Otra posibilidad es sembrar un cultivo de cobertura en la época anterior y cortarlo, por lo menos varias semanas antes de la siembra del cultivo, para formar una cobertura que reducirá la pérdida de humedad por evaporación. Dejar una cobertura de rastrojos o un cultivo muerto de cobertura sobre la superficie al momento de la siembra, implica la adopción de sistemas de labranza conservacionista, preferentemente labranza cero, que implica la adquisición de maquinaria e implementos para la siembra directa.

Otra posible solución en suelos con buena estructura es sembrar en suelo muy seco antes del comienzo de las lluvias y colocar la semilla a mayor profundidad para que la semilla sólo germine cuando haya un mayor contenido de humedad que permita una buena germinación. Así, la semilla no comenzará a germinar cuando hay lluvias insuficientes para permitir una germinación completa e uniforme.

ii. Para el exceso de humedad

Si el problema es un exceso de humedad debido a la presencia de horizontes impermeables, se deben instalar canales de drenaje. Las labranzas profundas con subsolador transversalmente a la dirección de los drenajes facilitarán el drenaje, y la construcción de camellones y la labranza en camellones sirven para elevar la zona de enraizamiento arriba de la zona saturada con agua.

Si la causa del exceso de humedad es el ingreso de escorrentía de áreas más elevadas, sólo será necesario instalar un canal de diversión para evitar que la escorrentía entre en la parcela.

Cuando la causa es la presencia de una micro-topografía que provoca problemas de drenaje en las partes bajas, lo que es más común en suelos de drenaje deficiente, se debería hacer un emparejamiento con rastra niveladora de discos (con discos no mayores a 22 pulgadas de diámetro) acoplada con un peine de dedos largos. Muchas veces es aconsejable aflojar el suelo con un arado cincel antes de hacer el emparejamiento. Para suelos de textura pesada se puede acoplar una niveladora a la rastra, pero no se recomienda para suelos livianos o medianos, ni tampoco una pala pesada, porque estos implementos pulverizarán el suelo.

iii. Para temperaturas excesivas

Si las temperaturas excesivas son la causa determinante de la mala germinación se deberá dejar una cobertura vegetal de rastrojos o cultivo de cobertura muerta, sobre la superficie para bajar las temperaturas. Además, se tendrá que practicar un sistema de labranza conservacionista.

iv. Para temperaturas muy bajas

Cuando las temperaturas muy bajas son causa de mala germinación, la introducción de labranza en camellones es una opción válida, sembrando en las cimas de los camellones que quedan sin una cobertura de rastrojos. Otra alternativa, que no corresponde a un sistema conservacionista es la labranza en limpio. Las dos prácticas evitan la presencia de una cobertura de rastrojos sobre la zona de siembra que bajará la temperatura del suelo. La presencia de una cortina rompeviento también sería aconsejable para reducir el enfriamiento causado por vientos fuertes.

v. Para agregados arcillosos, grandes y duros

La situación es más difícil cuando la baja germinación está causada por agregados grandes y duros de suelos arcillosos, que darán poco contacto entre la semilla y las partículas de suelo. En general estos agregados se desmenuzarán muy lentamente bajo la acción de la lluvia. En términos generales, en los sistemas convencionales de labranza donde los agregados están expuestos a la lluvia, la preparación del terreno antes de la siembra debería dejar terrones de 4-5 cm de diámetro (tamaño de un huevo de gallina) en los suelos arcillosos. Luego, bajo la acción de la lluvia el tamaño de los agregados disminuirá hasta llegar al tamaño óptimo para la germinación que varía de 0.5-8 mm de diámetro.

En la mayoría de los suelos arcillosos, la consistencia cambia muy rápidamente al comienzo de las lluvias, de dura (en el estado seco) a friable, que es la consistencia óptima para hacer labranzas (en el estado ligeramente húmedo), hasta plástica y/o pegajosa (en el estado mojado). El suelo sólo estará en el estado óptimo de una consistencia friable por muy poco tiempo, a veces sólo por medio día.

A corto plazo, cuando el suelo tiene una consistencia friable, se puede reducir el tamaño de los agregados por medio de rastreadas o el paso de rotovador pero las rastreadas dejan el suelo desnudo y el rotovador tiende a pulverizar los suelos. Es mejor hacer una o dos pasadas con el arado cincel seguido por una o dos pasadas de vibrocultivador acoplado con dos rodillos livianos, tipo canasta con barras anguladas, cuando el suelo tenga el contenido óptimo de humedad. Ajustando la presión de los rodillos, se controla el grado de desagregación de los terrones. Alternativamente se pueden usar rodillos desterronadores pesados con barras helicoidales que dejan una mayor cobertura de rastros sobre el suelo. Es casi imposible desmenuzar el tamaño de los agregados cuando el suelo está seco, y rastrear cuando el suelo está seco resultará en la pulverización del mismo.

A largo plazo, se puede mejorar la estructura de estos suelos dejando el terreno en descanso bajo pastos por varios años. La alta densidad de las raíces de los pastos causa la formación de agregados de menor tamaño; sin embargo, en general el efecto beneficioso dura poco tiempo después de cultivar otra vez con sistemas convencionales de labranza, quizás por un año solamente. Si no existen problemas de drenaje deficiente en estos suelos, sería mejor introducir labranza cero después del descanso para prolongar los efectos beneficiosos.

B. Condiciones adversas para la emergencia

Las causas de la mala emergencia de las plántulas pueden ser la formación de costras superficiales, especialmente en suelos de alto contenido de arena fina, o la formación de una estructura masiva, compactada y dura en suelos endurecidos cuando se secan después de una lluvia fuerte. La textura de los suelos endurecidos varía de liviana hasta mediana.

Identificación de suelos susceptibles al encostramiento

Los suelos que recién han sido preparados, cultivados o sometidos al tráfico, o si están bajo una cobertura de cultivos, malezas o vegetación no mostrarán la presencia de costras superficiales, aunque sean muy susceptibles al encostramiento.

Los suelos arenosos susceptibles al encostramiento a menudo tienen granos de cuarzo limpio sobre la superficie. El impacto de las gotas de lluvia separa partículas de los agregados que incluyen granos de cuarzo, los que son en general muy limpios debido al bajo contenido de arcilla y humus disponible para cementar los granos.

Una prueba en el campo es una simplificación de la prueba de Emerson (Cochrane y Barber, 1993) en la cual se colocan, con mucho cuidado usando una espátula, tres a cinco agregados de 2,5-5 mm de diámetro dentro de una cápsula de Petri que contiene preferentemente agua destilada. Luego se observa la estabilidad de los agregados, si se desmenuzan, o si la fracción de arcilla se dispersa parcialmente o completamente. Los suelos muy susceptibles al encostramiento se deshacen rápidamente y hay dispersión de la arcilla como una pequeña nube alrededor del agregado. Por lo general los agregados que no se desmenuzan y que sólo se hinchan, no son susceptibles al encostramiento.

Identificación de suelos endurecidos

Se pueden reconocer los suelos endurecidos en base a su estructura masiva y consistencia dura en el estado seco, y por la dificultad o imposibilidad de cultivarlos hasta que sus perfiles hayan sido mojados otra vez. Se han definido estos suelos como "suelos no disturbados ni marcados por la presión del dedo, a 0,10 m debajo de la superficie en un perfil seco, al contenido de la humedad del aire," (Mullins *et al.*, 1990).

Soluciones posibles

i. Para el encostramiento

Para evitar la formación del encostramiento se pueden dejar rastrojos de los cultivos, sembrar un cultivo de cobertura, o aplicar una cubierta orgánica o abono orgánico sobre la superficie del suelo. Estas prácticas protegen los agregados de la energía de las gotas de lluvia, los agregados no se deshacen y no hay formación de costras. Además, la presencia de una cobertura vegetal reduce la evaporación y así mantiene un mayor contenido de humedad en la capa superficial del suelo lo que disminuye la resistencia de la costra. Sin embargo, el mantener una cobertura vegetal sobre la superficie, implica el uso de labranzas conservacionistas con su respectiva maquinaria.

Otra solución es la labranza en camellones angostos y el sembrado en la cima de los mismos. Aunque las costras todavía se forman, su resistencia es mucho menor en la cima del camellón; frecuentemente se forman grietas de tensión en la cima que facilitan la emergencia de las plántulas.

Para aumentar la fuerza que las plantas jóvenes necesitan para romper la costra, se pueden sembrar las semillas con una mayor densidad y/o menor profundidad. Estas prácticas aumentarán la probabilidad de que emerjan más plantas.

ii. Para los horizontes endurecidos

Para solucionar el problema de los suelos endurecidos y aflojarlos es necesario hacer labranzas antes de la siembra. En estos suelos es prácticamente imposible hacer labranzas en el estado seco, aún con arado de discos, porque los discos no penetran. Se puede aflojar el suelo en el estado friable con una o dos pasadas del arado de cincel seguido por una pasada del vibrocultivador. Si el agricultor no tiene estos implementos se puede aflojar el suelo con una pasada del arado de discos seguido por una o dos rastreadas, pero estas labranzas dejarán el suelo desnudo y muy susceptible a la erosión y al encostramiento. Sin embargo, el aflojamiento de los horizontes masivos y endurecidos no asegura que los suelos no vayan a compactarse otra vez cuando se sequen después de una lluvia fuerte, restringiendo la emergencia de las plantas jóvenes.

C. Condiciones adversas para el enraizamiento

Las condiciones perjudiciales para el crecimiento y funcionamiento de las raíces son la compactación causada por laboreos o por procesos naturales, suelos endurecidos, agregados grandes y duros que no son penetrables por las raíces, la falta o el exceso de humedad, la falta de fósforo, o la presencia de tóxicos como aluminio o manganeso.

Identificación de la compactación

La existencia de los problemas de compactación se pueden identificar fácilmente por medio de observaciones de las raíces de un cultivo en una calicata, cuando las raíces ya se han desarrollado, o sea que el cultivo está en la etapa de floración o más avanzado. Raíces creciendo lateralmente o raíces hinchadas arriba de una capa con poca porosidad, o de crecimiento vertical restringido en los primeros 15-20 cm de profundidad, indican frecuentemente la presencia de una capa inferior compactada. En la ausencia de un cultivo desarrollado, una guía simple para reconocer la presencia de horizontes compactados es el número de poros visibles a simple vista. Si se encuentran menos de 20 poros visibles/100 cm² en un perfil vertical del suelo, es probable que el horizonte esté compactado y restrinja la libre penetración y desarrollo de las raíces.

Para reconocer los suelos susceptibles a la compactación que todavía no han sido utilizados con labranzas mecanizadas se puede determinar la diferencia entre la capacidad de campo y el límite plástico del suelo. Los suelos que tienen valores de capacidad de campo mayores del límite plástico son más susceptibles a la compactación, y cuanto mayor es la diferencia, mayor es la susceptibilidad a la compactación (Barber *et al.*, 1989). A menudo los suelos con altos contenidos de limo o arena fina con drenaje deficiente son los más vulnerables a la compactación.

Soluciones posibles

i. Para la compactación severa

Para recuperar capas compactadas es necesario hacer dos pasadas cruzadas del subsolador cuando el suelo está seco; los brazos deberían penetrar hasta una profundidad aproximadamente 1,5 veces más que el límite inferior de la capa compactada. La razón para hacer el laboreo tan profundo, es asegurar que la rotura del suelo en el punto medio entre los surcos donde han penetrado los brazos, alcanza a quebrar toda la capa compactada hasta su límite inferior. Además, la distancia entre los brazos del subsolador debería aproximarse a la profundidad de penetración de los puntos para asegurar la quiebra de toda la capa compactada.

ii. Para la compactación incipiente

Para evitar problemas de compactación incipiente, la labranza vertical es el mejor sistema y funciona bien en diferentes tipos de suelos, inclusive en los que tienen problemas de drenaje y que son susceptibles a la compactación. Los implementos más apropiados son el arado de cincel rastrojero, el vibrocultivador rastrojero y el cultivador de campo rastrojero. Se presentan mayores detalles sobre la labranza vertical en la Sección IV.

El mejor sistema de manejo de suelos para evitar la compactación es la labranza vertical asociado con tráfico controlado. En este sistema toda la maquinaria pasa sobre las mismas huellas permanentes. El suelo bajo las huellas queda como un área transitable y compactada; el resto del terreno no es transitado por la maquinaria y no se compacta. Sin embargo, este sistema requiere que toda la maquinaria tenga el mismo ancho de eje, y una gran habilidad por parte de los tractoristas.

iii. Para los horizontes endurecidos

Las soluciones para superar los problemas de enraizamiento en horizontes endurecidos son iguales que los problemas de compactación (ver arriba ii).

iv. Para el exceso de humedad, falta de fósforo, y presencia de tóxicos

Las soluciones para superar los problemas del exceso de humedad se tratan en la sección E.ii; la falta de fósforo en la sección D.i., y la presencia de tóxicos en la sección D.iv.

D. Condiciones adversas de fertilidad y productividad

Identificación de condiciones adversas nutricionales

Es muy importante identificar la presencia de problemas nutricionales en los suelos como el primer paso en la estrategia de la formulación de sistemas de manejo de suelos. Si el crecimiento de los cultivos está limitado por un factor nutricional no es posible mantener los cultivos ni los suelos en buenas condiciones. Una herramienta importante que se debería utilizar con más frecuencia para identificar deficiencias nutricionales, junto con el análisis de suelo, es el análisis foliar. Para poder interpretar correctamente los análisis foliares es imprescindible muestrear la parte correcta del cultivo y en la época apropiada. Muchas veces los síntomas foliares de deficiencias sirven como indicadores útiles, pero en general sólo aparecen cuando las deficiencias ya son muy acentuadas.

Para muchos cultivos el aluminio es tóxico y reduce los rendimientos cuando excede a 40% o más de la saturación de la capacidad efectiva intercambiable catiónica; existe sin embargo mucha variación entre los cultivos y variedades en cuanto a sus tolerancias al aluminio y manganeso.

Soluciones posibles

i. Para las deficiencias y/o desequilibrios nutricionales

Para superar problemas nutricionales se requiere la aplicación de fertilizantes, inclusive de fertilizantes foliares, y de abonos orgánicos. Para la aplicación de los fertilizantes inorgánicos es importante saber tanto su resultado económico como las dosis para alcanzar la producción máxima; la cantidad recomendada, que es una función de estos dos parámetros, dependerá de las circunstancias financieras y de los objetivos del agricultor. El sistema de manejo de los fertilizantes debe considerar la forma de aplicación (al voleo o bajo la superficie), número de aplicaciones, y época(s) de la aplicación del fertilizante para maximizar su eficiencia, evitar la fijación de fósforo, y evitar la aplicación de cantidades excesivas de nitrógeno y otros nutrimentos solubles en exceso de la capacidad de retención de nutrimentos del suelo.

También es importante aplicar fertilizantes no acidificantes para evitar la degradación química de los suelos. Sin embargo, la sustitución del sulfato de amonio, que es el fertilizante nitrogenado que más acidifica los suelos pero que contiene azufre, con fertilizantes como nitrato de calcio, nitro-mag-calcáreo, nitrato amónico cálcico, o urea, que son menos acidificantes podría sin embargo dar peores rendimientos si los suelos son pobres en azufre.

En situaciones donde el nitrógeno es el nutrimento limitante, la siembra e incorporación de abonos verdes y la presencia de leguminosas dentro de las rotaciones de cultivos pueden ayudar a superar en gran parte de la deficiencia de nitrógeno. Además, la presencia de leguminosas en la rotación de cultivos facilita el control de las malezas gramíneas. Es aconsejable incluir leguminosas que nodulan bien sin la necesidad de ser inoculadas, debido a las dificultades de obtener los inoculantes y mantener su eficacia hasta el momento que se

aplican en el campo. La eficiencia de las leguminosas para fijar nitrógeno depende de la disponibilidad adecuada de fósforo en el suelo, y no se puede esperar una buena producción de leguminosas si los suelos son deficientes en fósforo. En algunas leguminosas, como la soya, la cosecha continua del grano resulta en una disminución del contenido de nitrógeno en el suelo debido a que el grano cosechado contiene más nitrógeno que la cantidad de nitrógeno fijado.

ii. Para los suelos pobres con bajos niveles de materia orgánica y arcilla

Las aplicaciones de abonos orgánicos y mantillo, y prácticas agronómicas como dejar los rastrojos, los cultivos de cobertura, la rotación de cultivos incluyendo leguminosas, los cultivos de enraizamiento profundo, las leguminosas intercaladas, la inoculación de las leguminosas y la incorporación de abonos verdes, son opciones valiosas para mejorar la fertilidad química de los suelos. Sin embargo, estas prácticas llegan a ser especialmente importantes para el manejo de los suelos arenosos de pobre fertilidad natural, porque cuando los cultivos de cobertura están bien adaptados a la zona, producen grandes cantidades de biomasa que contribuye con nitrógeno y materia orgánica al enriquecimiento de los suelos. Además, el incremento de la materia orgánica del suelo, aumenta la capacidad de retención tanto de humedad como de nutrimentos. En adición a las prácticas agronómicas a menudo es necesario aplicar fertilizantes inorgánicos y cal.

La aplicación de abonos orgánicos y mantillo puede ser más importante para los productores de pequeña escala debido a los bajos costos; viceversa, puesto que a menudo hay limitaciones en la disponibilidad de grandes cantidades de abonos orgánicos y mantillo puede ser una operación más difícil para los agricultores en gran escala. Los abonos orgánicos y el mantillo tienen la ventaja de tener un rango amplio de nutrimentos, dan beneficios a las propiedades físicas de los suelos, y normalmente son mucho más baratos que los fertilizantes inorgánicos. Es muy aconsejable que los agricultores utilicen los abonos orgánicos y mantillo siempre que sea posible.

Aunque hay beneficios de tipo nutricional al dejar rastrojos sobre el suelo, su alta relación carbono: nitrógeno requiere a veces la aplicación de nitrógeno adicional para evitar la inmovilización del nitrógeno del suelo por los microorganismos. Además, será importante practicar un sistema de labranza conservacionista, preferentemente labranza cero, para no incorporar los rastrojos y dejarlos sobre el suelo.

iii. Para suelos con problemas graves de lixiviación

En las zonas donde hay problemas graves de lixiviación, la siembra de cultivos de cobertura de enraizamiento profundo, como *Crotalaria spp.*, *Glycine wightii*, *Centrosema macrocarpum*, *Cajanus cajan*, *Panicum maximum* var. Tobiata, y *Pueraria phaseoloides*, producen el reciclaje de los nutrimentos de los horizontes más profundos que no pueden ser alcanzados por las raíces de la mayoría de los cultivos en la superficie. Se puede sembrar los cultivos de cobertura en la época anterior, después de la cosecha, o dentro de la misma época del cultivo. Pero si los dos cultivos están sembrados en la misma época, habrán problemas de competencia entre el cultivo de cobertura y el cultivo comercial, dependiendo de las fechas de siembra y las tasas de crecimiento de los dos cultivos.

También se pueden aprovechar cultivos de enraizamiento profundo, como cultivos perennes en sistemas puros, o cultivos como la yuca y el banano en asociación con cultivos de menor enraizamiento, para reducir las pérdidas de nutrimentos por lixiviación. Otra práctica similar, pero más sistemática, es la de cultivos en callejones donde las especies de arbustos y árboles plantados son de enraizamiento profundo. Frecuentemente, el sistema de cultivos en

callejones se cita como ejemplo de un sistema de producción sostenible; sin embargo a pesar de las ventajas técnicas del sistema, en general ha habido poca adopción por parte de los agricultores debido al mayor costo y al costo de oportunidad de la mano de obra en la poda de los árboles. Aparentemente el sistema de cultivos en callejones tendría más aceptación por parte de agricultores no mecanizados en áreas de laderas donde hay problemas de erosión y una gran presión sobre la tierra, y donde los tamaños de las parcelas no fueran tan pequeños.

iv. Para suelos con niveles tóxicos de aluminio y/o manganeso

Muchas veces la mejor opción es cambiar la variedad por otra más tolerante al aluminio. En Brasil existen muchas variedades de maíz, arroz y soya que son tolerantes a concentraciones altas de aluminio. Alternativamente, se podría cambiar el cultivo a otro más tolerante al aluminio.

Donde no hay variedades tolerantes al aluminio se puede incorporar cal o cal dolomítica para neutralizarlo y reemplazarlo con calcio y magnesio. Esta práctica es aplicable donde el costo de comprar y transportar el cal es bajo y donde las concentraciones tóxicas del aluminio se encuentran en las capas superficiales.

La aplicación de abonos orgánicos también tiene un efecto beneficioso debido a la formación de un complejo orgánico-aluminio que reduce la actividad del aluminio en la solución del suelo. Aplicaciones mayores de fósforo también pueden reducir los efectos tóxicos del aluminio.

Cuando se encuentran altos niveles de aluminio en el subsuelo es más difícil neutralizarlo debido a la baja solubilidad de la cal y su movimiento lento hacia los horizontes inferiores. En esos casos, se puede aplicar yeso, o mejor, yeso mezclado con cal, porque el yeso es soluble y el magnesio del yeso reemplaza más rápidamente al aluminio en los horizontes inferiores.

v. Para suelos con infestaciones de malezas, plagas o enfermedades y suelos "cansados"

La rotación de cultivos evita o reduce los problemas de malezas, enfermedades, insectos, la pérdida de fertilidad y la degradación estructural del suelo. Por este motivo constituye un elemento esencial de sistemas agrícolas sostenibles. Para lograr estos beneficios las rotaciones deberían constar de los siguientes elementos:

- la siembra de cultivos de hoja ancha (por ejemplo soya, girasol, y frijol) antes y después de cultivos de gramíneas (como maíz y sorgo) para permitir un buen control de malezas;
- la siembra de cultivos de leguminosas antes de otros cultivos para que estos últimos aprovechen del nitrógeno fijado;
- la presencia de cultivos que proporcionan grandes cantidades de residuos no fácilmente descomponibles (por ejemplo maíz, sorgo de grano, girasol, o algodón) para mantener o aumentar, el contenido de materia orgánica del suelo (Ver Cuadro 39);

CUADRO 39

Producción de rastrojo y su clasificación del grado de aporte de materia orgánica al suelo
(Barber, 1994)

Cultivo (época)	Rastrojo kg ha ⁻¹	Relación C/N	Relación Peso grano: Peso rastrojo	Índice del grado del aporte de materia orgánica
Soya (verano)	1 570	22	1,56	2
Maíz (verano)	3 760	40	0,51	7
Sorgo de grano (verano)	3 600	32	0,82	7
Algodón (verano)	3 520	22	6,29	7
Soya (invierno)	900	22	1,56	2
Trigo (invierno)	970	75	1,70	3
Sorgo de grano (invierno)	2 680	32	0,82	5
Frijol (invierno)	900	26	0,87	2
Girasol (invierno)	3 590	33	0,34	7
Cultivos de descanso				
<i>Crotalaria juncea</i> (invierno)	7 590	19	-	15
<i>Avena strigosa</i> (invierno)	3 010	28	-	7

- la secuencia de cultivos que no actúan como hospedantes de las mismas enfermedades y/o plagas.

La rotación más apropiada para una zona específica dependerá de muchos factores como los cultivos, los tipos de suelos, los sistemas de manejo, el clima, las malezas, las enfermedades y las plagas. Para cada zona será necesario identificar cuales rotaciones son técnica, económica y socialmente más aceptables. Se han identificado las características de las rotaciones de cultivos recomendadas y no recomendadas para los cultivos y condiciones de los agricultores en una zona subhúmeda de Santa Cruz, Bolivia; en la Figura 59 se presenta un ejemplo de las rotaciones de dos años recomendadas para suelos bien drenados; algunos aspectos de las rotaciones no recomendadas se señalan en el Cuadro 40.

También existe el fenómeno que se ha llamado "cansancio de los suelos" donde la productividad de los suelos es baja a pesar de los intentos de superar todas las limitaciones de los suelos. Aparentemente, la única manera de elevar su productividad es por la introducción de una buena rotación de cultivos. Posiblemente el "cansancio de los suelos" está relacionado con los efectos alelopáticos de las secuencias de cultivos.

CUADRO 40

Lista de rotaciones y secuencias no recomendadas para las zonas subhúmedas de Santa Cruz, Bolivia (Barber, 1994)

Labranza convencional	Labranza vertical	Labranza cero
Trigo cada invierno (<i>Helminthosporium</i>)	Trigo cada invierno (<i>Helminthosporium</i>)	Trigo cada invierno (<i>Helminthosporium</i>)
Soya dos veces por año (<i>Anticarsia</i> , chinches pentatómidos, <i>Diaporthe</i>)	Soya dos veces por año (<i>Anticarsia</i> , chinches pentatómidos, <i>Diaporthe</i>)	Soya dos veces por año (<i>Anticarsia</i> , chinches pentatómidos, <i>Diaporthe</i>)
Soya cada año (<i>Diaporthe</i> , chinches pentatómidos, <i>Anticarsia</i> , picudos, N, estructura)	Soya cada año (<i>Diaporthe</i> , chinches pentatómidos, <i>Anticarsia</i> , picudos, N)	Soya cada año (<i>Diaporthe</i> , chinches pentatómidos, <i>Anticarsia</i> , picudos, N)
Soya-Girasol, Girasol-Soya (<i>Sclerotinia</i>)	Soya-Girasol, Girasol-Soya (<i>Sclerotinia</i>)	Soya-Girasol, Girasol-Soya (<i>Sclerotinia</i>)
Maíz-Sorgo, Sorgo-Maíz (<i>Spodoptera</i> , malezas gramíneas, N)	Maíz-Sorgo, Sorgo-Maíz (<i>Spodoptera</i> , malezas gramíneas, N)	Maíz-Sorgo, Sorgo-Maíz (<i>Spodoptera</i> , malezas gramíneas, N)
Maíz-Trigo, Sorgo-Trigo (<i>Spodoptera</i> , N, malezas)	Maíz-Trigo, Sorgo-Trigo (<i>Spodoptera</i> , N, malezas)	Maíz-Trigo, Sorgo-Trigo (<i>Spodoptera</i> , N, malezas)
-	-	Girasol-Algodón (malezas de hoja ancha, control fitosanitario de rastrojos de algodón)
-	-	<i>Crotalaria juncea</i> -Girasol (rebrote de <i>C. juncea</i>)
Sorgo-Algodón, Algodón-Sorgo (<i>Spodoptera</i>)	Sorgo-Algodón, Algodón-Sorgo (<i>Spodoptera</i>)	Sorgo-Algodón, Algodón-Sorgo (<i>Spodoptera</i> , control fitosanitario de rastrojos de algodón)
Soya-Frijol (chinches pentatómidos, <i>Diaporthe</i>)	Soya-Frijol (chinches pentatómidos, <i>Diaporthe</i>)	Soya-Frijol (chinches pentatómidos, <i>Diaporthe</i>)

E. Condiciones edafo-climáticas adversas para el desarrollo del cultivo y operaciones de campo (ver Figura 60)

Las interacciones entre la precipitación y las características de los suelos pueden resultar en problemas de falta de humedad que afectan adversamente al desarrollo del cultivo, o a un exceso de humedad que genera problemas del crecimiento del cultivo o para las operaciones de campo como las fumigaciones y la cosecha. Los vientos fuertes también pueden crear problemas para los cultivos; generar alta evaporación de humedad de los suelos; dificultar, hasta impedir fumigaciones para el control de malezas o insectos; o causar erosión eólica en suelos arenosos.

Falta de humedad

La falta de humedad podría ser el resultado de baja infiltración, alta evaporación, baja capacidad de retención de humedad del suelo, bajas lluvias, o lluvias irregulares.

Posibles soluciones

- i. Para suelos con déficit de humedad debido a baja infiltración y alta evaporación (donde hay rastrojos)

En situaciones donde la baja infiltración y/o la alta evaporación limitan la disponibilidad de humedad en el suelo, la mejor solución es dejar una cobertura de residuos sobre el mismo. La cobertura aumentará las tasas de infiltración y reducirá la evaporación de la humedad del suelo. Las opciones incluyen dejar rastrojos del cultivo anterior, aplicar una cubierta o abono orgánico, o sembrar un cultivo de cobertura. La presencia de una cobertura vegetal sobre el

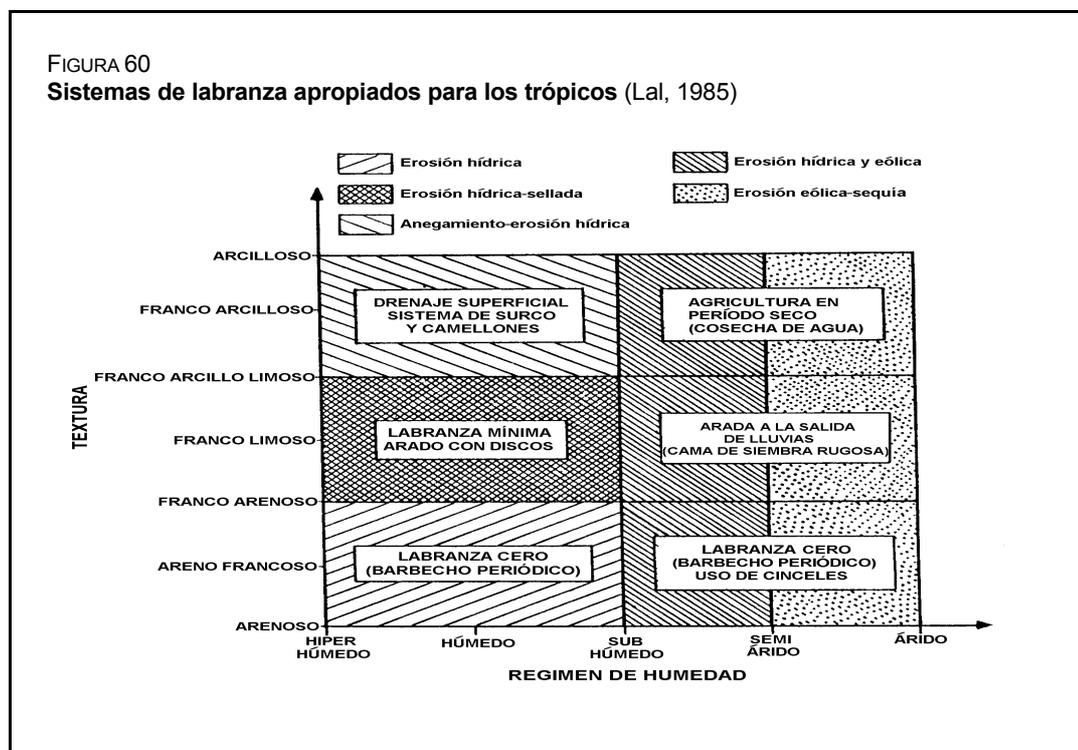
Figura 59
Rotaciones de cultivos anuales de dos años de ciclo, recomendadas para Santa Cruz, Bolivia, para suelos de textura mediana a moderadamente pesada y bien drenados (Barber, 1994)

1° Año		2° Año		Restricciones y precauciones	Grado de aporte de materia orgánica al suelo
Verano	Invierno	Verano	Invierno		
<i>Con maíz y algodón de verano</i>					
1. Maíz	Frijol	Algodón	Soya	ZH; CN; CH; R; P; A	bajo
2. Maíz	Soya	Algodón	Frijol	ZH; CN; CH; P; R; A	bajo
3. Maíz	Frijol	Algodón	Girasol	ZS; CN; HA; R; P; A	moderado
4. Maíz	Soya	Algodón	Girasol	ZT; CN; HA; CH; R; P; A	moderado
5. Maíz	Girasol	Algodón	Soya	ZT; CN; HA; CH; R; P; A; N	moderado
<i>Con soya y algodón de verano</i>					
6. Soya	Sorgo	Algodón	Girasol	ZS; CN; CH; R; P	moderado
7. Soya	Trigo	Algodón	Girasol	ZS; CN; CH; R; P	bajo
8. Soya	Girasol	Algodón	Frijol	ZS; CN; HA; CH; RH; R; P	bajo
<i>Con soya y maíz de verano</i>					
9. Soya	Girasol	Maíz	Frijol	ZS; RH; CH; P; A	bajo
10. Soya	Trigo	Maíz	Girasol	ZS; LCV; GG; GU; CH; N; P; A	bajo
<i>Con soya y sorgo de verano</i>					
11. Soya	Girasol	Sorgo	Frijol	ZS; RH; CH; P	bajo
12. Soya	Trigo	Sorgo	Girasol	ZS; LCV; GG; GU; CH; N; P	bajo
<i>Con maíz y sorgo de verano</i>					
13. Maíz	Girasol	Sorgo	Soya	ZT; CH; P; BG; A	moderado

CN Aptas para labranza convencional o vertical, pero tiene que usar *labranza convencional* (arado de disco), después de la cosecha del algodón.
 LCV Aptas sólo para *labranza convencional y vertical*; no son aptas para labranza cero.
 ZH Aptas sólo para *zonas húmedas* donde se puede sembrar soya de invierno.
 ZT Aptas sólo para *zonas de transición* donde se puede sembrar girasol y soya de invierno.
 ZS Aptas sólo para *zonas secas* donde se puede sembrar girasol de invierno.
 G Peligro de malezas *gramíneas* en el trigo; requiere la aplicación de graminicidas pre-siembra incorporado y post-emergentes selectivos en labranza convencional y graminicidas post-emergentes selectivos en labranza cero.
 GG Peligro de malezas *gramíneas* en los cultivos de gramíneas; requiere la aplicación al girasol, soya o frijol después de los cultivos gramíneas, de graminicidas pre-siembra emergentes en labranza convencional y vertical, y graminicidas post-emergencia en labranza cero.
 GU Peligro de malezas *gramíneas* en el segundo cultivo de gramínea; requiere control mecánico por *cultivaciones*
 HA Peligro de *hojas anchas* en el girasol después del algodón, o del renacimiento del girasol en el algodón; requieren *cultivaciones* y *carpidas* manuales.
 A Peligro de efecto residual de *atrazina* sobre el siguiente cultivo; no aplicar *atrazina* al maíz.
 RH Peligro de pudrición radical debido a *Rhizoctonia solani* en las secuencias frijol-soya y soya-frijol; requiere la aplicación de fungicidas.
 MH Peligro de *mustia hilachosa* causado por *Thenatephorus cucumeris* y pudrición radical causada por *Rhizoctonia solani* cuando se siembra frijol dos inviernos enseguida de aplicación de fungicidas.
 R Peligro de *ramulosis* (*Colletotrichum gossypus*) en variedades como "Guazuncho" que son susceptibles a esa enfermedad; sembrar otras variedades resistentes.
 C Peligro de *capero* (*Diaporthe phaseolorum*) en variedades susceptibles como "Cristalina"; sembrar otras variedades resistentes como Doko.
 N Peligro de deficiencia de nitrógeno; podría ser aconsejable aplicar fertilizante de nitrógeno a los cultivos de maíz, sorgo y girasol que siguen después de un cultivo no fertilizado.
 CH Peligro de infestaciones con *chinches pentatomidas*, especialmente *Piezodorus guildini*; requiere un manejo integrado de plagas con la aplicación de insecticidas y selectivos biológicos contra *Anticarsia* para no matar los enemigos naturales de las chinches.
 P Peligro de ataques por *plagas* como picudito (*Conotrachelos denieri*), pulgones y trips al algodón y *Spodoptera* y áfidos a los cultivos gramíneas; requiere tratamiento.
 S Peligro que *semillas* del cultivo de descanso renazcen en el siguiente cultivo; imprescindible eliminar el cultivo de descanso en el estado de granos lechosos.

suelo implica el uso de labranza conservacionista, preferentemente labranza cero, que deja más rastrojos sobre la superficie y por eso reducirá más la evaporación de humedad que los otros sistemas de labranza conservacionista. Además, el control de malezas con herbicidas o con sistemas de labranza que no entierran las malezas, como con el cultivador de campo rastrojero, mantendrá una mayor cobertura de rastrojos. Otra opción es cambiar la variedad cultivada con otra más resistente o que puede escapar mejor a la sequía.

Para la siembra de los cultivos de cobertura es necesario ajustar las fechas de siembra y de eliminación de tal manera que este no cause una excesiva reducción en el contenido de humedad del suelo que afectaría la disponibilidad de humedad para el siguiente cultivo.



- ii. Para suelos con déficit de humedad debido a evaporación agravada por la alta velocidad de los vientos.

En zonas caracterizadas por vientos fuertes la presencia de cortinas rompevientos es necesaria para reducir la velocidad del viento y por ende la demanda evaporativa de la atmósfera.

- iii. Para suelos con déficit de humedad debido a baja infiltración y alta evaporación (donde no hay rastrojos)

En áreas donde hay pérdidas de humedad debido a baja infiltración y alta evaporación, y donde no existen rastrojos disponibles, será necesario utilizar soluciones físicas. La falta de rastrojos podría ser atribuible a los bajos niveles de producción de los rastrojos o a su uso para otros propósitos, como forraje, o porque son comidos por los termites.

La construcción de camellones angostos y tapados favorece la acumulación de la lluvia en los surcos y su infiltración en el mismo lugar. Este sistema es apropiado para los sistemas manuales o de tracción animal, pero también pueden ser construidos con maquinaria usando labranza en surcos. Es un sistema apto para zonas semiáridas pero no adaptado a pendientes mayores de 7% debido a los riesgos de desbordes.

Otra opción es la labranza en bandas, angostas donde se sembrarán las semillas. Las áreas intermedias quedan sin labrar, tienen una superficie rugosa y una cobertura de malezas muertas y rastrojos de los cultivos anteriores que facilitarán la infiltración de la lluvia.

Alternativamente, se puede cultivar con cultivadoras en las áreas entre las hileras de los cultivos después de cada lluvia para romper las costras y aumentar la infiltración. Un alto

número de cultivaciones acelerará las tasas de descomposición de la materia orgánica del suelo (degradación biológica).

En los suelos susceptibles al encostramiento y a la compactación, la adopción de labranza vertical con arado cincel será más apropiada. La siembra y las labranzas siempre deberán ser paralelas al contorno para facilitar la infiltración de la lluvia en las pequeñas ondulaciones superficiales.

Para situaciones donde la baja infiltración está causada por la presencia de suelos masivos y endurecidos es necesario aflojar el suelo con una labranza. En África occidental hay evidencia que una arada a la salida de las lluvias afloja el perfil y favorece la infiltración de la lluvia en la próxima época. Sin embargo, esta práctica causa la inversión del suelo que podría provocar problemas físicos y/o químicos si las características del subsuelo no son deseables. Para estos suelos, sería más aconsejable la labranza vertical que no invierte el suelo.

iv. Para suelos con déficit de humedad debido a la baja retención de humedad

En los suelos arenosos se puede aumentar la capacidad de retención de humedad por medio de prácticas que incrementan el contenido de materia orgánica, como la incorporación de abonos orgánicos, abonos verdes o cultivos de cobertura.

En suelos donde la presencia de un horizonte impermeable impide la percolación del agua hacia los horizontes inferiores, una subsolación que rompa la capa impermeable incrementará la cantidad de humedad retenida. Además, en suelos arcillosos la subsolación puede aumentar la retención de humedad en el perfil debido al incremento en el área superficial de absorción de humedad.

Otra opción posible es cambiar la variedad del cultivo para que sea más adaptada o pueda escapar a los períodos de sequía.

En las zonas donde la agricultura no es muy intensiva, otra práctica para aumentar la disponibilidad de humedad en el suelo es por medio de barbechos periódicos. En áreas donde es factible hacer dos cultivos por año, dejando el terreno en descanso en una de ellas permitirá la acumulación de la agua para el siguiente cultivo. Sin embargo es necesario controlar el crecimiento del barbecho para no agotar la humedad acumulada. Barbechos periódicos de varios años de descanso también mejorarán la infiltración y la capacidad de retención de humedad debido al incremento en la materia orgánica del suelo y a una mayor tasa de infiltración. Cuando se practica labranza convencional después del descanso, es difícil que los efectos beneficiosos duren más de un año. Tal vez se obtendrían mejores resultados con labranza conservacionista.

Los sistemas de riego por aspersión, por gravedad o por goteo obviamente contribuyen a superar períodos de sequía pero pueden significar grandes inversiones, dependiendo del sistema y la escala.

v. Para suelos con déficit de humedad debido a esorrentía y baja retención de humedad

Otra manera de aumentar la infiltración es por medio de cambios en el grado de inclinación del terreno. La construcción de terrazas aumentará la infiltración de la lluvia pero el alto costo significa que es apropiado solamente para cultivos de alto valor. La construcción de terrazas individuales también aumenta la infiltración y la retención de humedad y es apta para frutales.

Exceso de humedad

Las operaciones de campo con maquinarias e implementos cuando los suelos contienen mayores contenidos de humedad que los valores óptimos, resultarán en altos riesgos de la compactación de los suelos. Esta situación podría suceder durante la preparación de las tierras, las fumigaciones, las cultivaciones, o durante la cosecha. Las posibles causas del exceso de humedad son el ingreso de escorrentía, la presencia de horizontes impermeables o una napa freática alta.

Identificación de problemas debido a un exceso de humedad

La presencia de colores grises o por lo menos un 10% de manchas de color gris claro indica que hubieron condiciones anaeróbicas en el suelo debido a un exceso de humedad por un cierto tiempo.

Posibles soluciones

- i. Para un exceso de humedad causado por escorrentía

La única solución es la construcción de canales de diversión; es muy importante asegurar que la descarga de las aguas no ocasionará problemas de erosión en la salida.

- ii. Para un exceso de humedad causado por una napa freática alta u horizontes impermeables.

Si el problema surge a causa de un horizonte impermeable dentro de los primeros 60 cm de profundidad se debería instalar un sistema no profundo de canales abiertos; pero si el origen del problema es un horizonte impermeable que se encuentra a 80-100 cm de profundidad, se tienen que instalar sistemas de drenaje más profundos, ubicando la base de los canales encima del horizonte impermeable. Además en los suelos arcillosos se requerirá un espaciamiento angosto entre los canales. La práctica de una labranza profunda con subsolador perpendicular a la dirección de los canales facilita el drenaje.

La construcción de camellones anchos y combados, hasta un ancho de 20-30 metros, sirve para facilitar el drenaje del exceso de humedad hacia los canales y elevar la zona de enraizamiento arriba de la zona saturada con agua. Se pueden construir los camellones por medio de aradas hacia el centro de los camellones o con una niveladora.

La labranza en camellones angostos con la siembra en la cima de los camellones también sirve para superar los problemas de una napa freática alta.

Cuando los horizontes compactados son responsables del exceso de humedad, una labranza profunda con subsolador para quebrar la capa compactada, mejorará el drenaje.

Vientos fuertes

Los vientos fuertes pueden causar problemas no solamente de erosión eólica y daños a los cultivos, sino que también pueden interferir en el momento crítico de las fumigaciones. Demoras de unos días en la aplicación de herbicidas pre-emergentes en el cultivo del maíz debido a vientos fuertes, podrán aumentar los riesgos de infestaciones con malezas tipo gramíneas.

Soluciones posibles

La instalación de cortinas rompevientos, como ya descrito anteriormente puede limitar los efectos perjudiciales de los vientos fuertes.

F. La falta de actividad biológica

Posibles soluciones

La falta de actividad biológica puede ser atribuible a la falta de rastrojos, al cansancio de los suelos o a las aplicaciones de pesticidas tóxicos.

i. Para suelos con pocos rastrojos

Para aumentar la actividad biológica en el suelo se requiere una cobertura vegetal muerta y persistente que se puede obtener dejando los rastrojos de los cultivos sobre la superficie, la aplicación de cubierta o abonos orgánicos, y la siembra de un cultivo de cobertura. La presencia de lombrices activas en el suelo requiere un suministro de materia vegetal muerto durante todo el período de humedad. Si hay humedad en el suelo pero falta de materia vegetal muerta, las lombrices buscarán otras áreas más favorables.

La única manera de mantener una cobertura de rastrojos sobre la superficie del suelo es por labranzas conservacionistas y especialmente la labranza cero. Las labranzas que invierten el suelo no dejan una cantidad de rastrojos suficiente sobre el mismo.

Otra opción para aumentar la cantidad de rastrojos producidos por los cultivos es aumentar la fertilidad química de los suelos por la aplicación especialmente de abonos orgánicos o de fertilizantes.

Otra alternativa es sembrar aquellos cultivos y variedades que producen grandes cantidades de vegetación, y preferiblemente que no son descompuestos rápidamente. La resistencia de los rastrojos a la descomposición varía con su relación carbono/nitrógeno, con los contenidos de lignina, polisacáridos, y la relación lignina/nitrógeno. El Cuadro 2 presenta varios cultivos anuales clasificados en base a un índice según su grado de aporte de materia orgánica al suelo.

ii. Para suelos “cansados”

Es probable que se pueda superar el fenómeno de los suelos “cansados” por un cambio de la rotación de cultivos. Ya se ha tratado el tema de la rotación de cultivos en la sección D.

iii. Para suelos que reciben altas concentraciones de pesticidas

La aplicación masiva de pesticidas no específicos disminuye la actividad biológica de los suelos; la aplicación de pesticidas biológicos y botánicos, el manejo integrado de plagas, y la aplicación, cuando sea necesaria de pesticidas específicos ayudará a mantener la actividad biológica de los suelos. El manejo integrado de malezas también puede disminuir las cantidades necesarias de herbicidas inorgánicos.

G. Erosión hídrica

Identificación de la presencia de la erosión hídrica

Observaciones cuidadosas de la microtopografía de la superficie del suelo presentarán evidencia de procesos de erosión hídrica, como por ejemplo, áreas planas y lisas debido a la erosión laminar y surquillos y surcos debido a la erosión de surco. La exposición de raíces, la formación de pedestales, y la acumulación de sedimentos detrás de las barreras, también son indicaciones de procesos activos de erosión.

Posibles soluciones

Los problemas de erosión hídrica se pueden considerar como el resultado de una baja infiltración debido a la falta de cobertura o la falta de rugosidad, o debido a los efectos de la escorrentía. La presencia de cobertura que está en contacto con el suelo y las irregularidades superficiales dan a la lluvia mayor tiempo para infiltrar reduciendo así los riesgos de erosión. Sin embargo las prácticas que aumentan la rugosidad de la superficie sólo son convenientes en pendientes no muy inclinadas. Algunas prácticas impiden la iniciación de la escorrentía debido a la nivelación o a una fuerte reducción en la pendiente, mientras que otras atrapan la escorrentía después que ha tenido la oportunidad de erosionar.

- i. Para aumentar la infiltración por incremento de la cobertura.

Para aumentar la cobertura del suelo se debería incrementar la producción de rastrojos por medio de todas las prácticas de fertilización y abonamiento que aumentarán la fertilidad del suelo, por la introducción de cultivos o variedades que producen mayores cantidades de rastrojos o rastrojos de mayor resistencia, y con densidades mayores de población.

La siembra de cultivos de cobertura, cultivos intercalados o cultivos de relevo también aumentará la cobertura del suelo y aportará más rastrojos para proteger el suelo. Otra opción es la aplicación de residuos como el mantillo y los abonos orgánicos.

Para reducir las pérdidas de rastrojos estos no se deberían quemar, y se debería minimizar el pastoreo en zonas donde hay ganado. Para lograr una reducción en el pastoreo será necesario cercar las parcelas y producir fuentes alternativas de forrajes.

Es importante practicar sistemas de labranza conservacionista; la labranza cero no disturba el suelo y por lo tanto todos los rastrojos quedan en la superficie; la labranza vertical deja una menor cantidad de rastrojos sobre el suelo que a menudo es suficiente para controlar la erosión hídrica, pero muchas veces es insuficiente para lograr una actividad biológica óptima. En sistemas mecanizados, el uso de la cultivadora para controlar las malezas es mejor que una rastra, porque las cultivadoras arrancan las malezas dejándolas sobre la superficie; en cambio las rastras invierten parcialmente el suelo, enterrando así las malezas y dejándolo menos protegido. Es una práctica aún mejor controlar las malezas por medio de herbicidas.

En los sistemas manuales la presencia de piedras sobre la superficie actúa como una cubierta protegiendo el suelo; es mejor dejarlas en el lugar que retirarlas para construir barreras muertas.

- ii. Para aumentar la infiltración por incremento de la rugosidad de la superficie

Cualquier práctica que resulte en irregularidades paralelas al contorno contribuye a aumentar la infiltración de la lluvia. Las labranzas y la siembra paralelas al contorno aumentarán la infiltración pero sólo son aceptables en pendientes ligeras.

Los sistemas de camellones y surcos, como la labranza en camellones, reducen la erosión. Pero en pendientes mayores de 7% los riesgos de derrumbes y desbordes aumentan sensiblemente; estos podrían resultar en erosión muy grave debido al flujo cuesta abajo de toda el agua que se ha acumulado en los surcos.

La labranza en bandas deja toda el área entre las hileras sin ningún disturbo y con una cobertura protectora de rastrojos y malezas muertas que tendría el efecto de incrementar ligeramente la rugosidad de la superficie y mejorar la infiltración. Una variación de esta

práctica, o sea una arada a la salida de las lluvias, daría mayor rugosidad, y las labranzas secundarias se harían solamente en las hileras donde se va a sembrar. Así se crea mayor rugosidad en la zona entre hileras, pero el suelo queda con poca cobertura. En áreas donde no hay rastrojos disponibles se tiene que aceptar esta práctica aunque no protege el suelo y no favorece la actividad biológica.

iii. Para reducir la cantidad o la velocidad de la escorrentía

En los sistemas manuales o de tracción animal, los cultivos en callejones paralelos al contorno reducen la velocidad de la escorrentía y con ello la pérdida de suelo cuando haya suficiente materia vegetal, tanto viva como muerta, para formar una barrera densa en contacto con el suelo. Solamente los materiales que están en contacto con el suelo pueden frenar la velocidad de la escorrentía provocando la deposición de los sedimentos. Para acelerar el desarrollo de las barreras se debería colocar toda la materia que se deriva de las podas en la parte superior de la hilera de los árboles y paralela al contorno.

Las barreras vivas en curvas a nivel también sirven para frenar la velocidad de la escorrentía cuando forman una barrera densa. Se pueden utilizar plantas perennes, paralelas al contorno con un espaciamiento entre las hileras que depende del gradiente del terreno. Las especies tienen que ser adaptadas a la zona, deben dar beneficios adicionales al agricultor, como pasto de corte, forraje, fruta, alimentos o granos, y no deberían

invadir, sombrear, ni competir con los cultivos adyacentes. Una lista de las especies que han sido utilizadas, o que son promisorias para barreras vivas en El Salvador se presentan en el Cuadro 41. El espaciamiento de las barreras vivas según la pendiente y tipo de cultivo, y las otras prácticas recomendadas para combinar con ellas se presentan en el Cuadro 42 para agricultores nomecanizados en zonas de ladera en El Salvador.

En climas semiáridos es más difícil obtener y mantener una cobertura de rastrojos sobre el suelo debido a la menor producción de biomasa por la falta de lluvia, acompañado muchas veces por una actividad intensa de termitas. También hay situaciones donde los agricultores debido a los factores económicos solamente pueden sembrar cultivos que producen poco rastrojo, como la soya o el frijol, sin tener la posibilidad de sembrar cultivos de cobertura. La combinación de estos factores asociada con un clima de altas temperaturas, dificulta la producción y mantenimiento de una cobertura adecuada de rastrojos sobre el suelo. En suelos de muy baja fertilidad también es difícil obtener cantidades adecuadas de rastrojos. En estas situaciones para frenar la escorrentía es necesario combinar la presencia de barreras vivas y medidas físicas, como terrazas de ladera y barreras muertas.

CUADRO 41

Especies utilizadas y promisorias como barreras vivas

<i>Brachiaria brizantha</i>	<i>Vigna unguiculata</i> (Caupi)
<i>Brachiaria decumbens</i>	<i>Cajanus cajan</i> (Gandul)
<i>Andropogon gayanus</i>	<i>Ananas comosus</i> (Piña)
<i>Andropogon citratus</i> (Zacate limón)	<i>Crotalaria sp.</i> (Chipilín)
<i>Phalaris sp</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>
<i>Pennisetum purpureum</i> (Pasto elefante)	<i>Agave letonae</i> (Henequén)
<i>Saccharum officinarum</i> (Caña de azúcar)	<i>Gliricidia sepium</i> (Madrecacao)
<i>Panicum coloratum</i> (Pasto Makarikari)	<i>Sempervivum sp.</i> (Piñuela)

CUADRO 42

Guía sobre la selección de prácticas de conservación de suelos para diferentes cultivos y pendientes en El Salvador

Cultivo	Pendiente %	Prácticas de Conservación **
Hortalizas	0-5	Cubierta orgánica, siembra en contorno, cultivos en fajas
	5-10	Cubierta orgánica, siembra en contorno, cultivos en fajas, eras en contorno, barreras muertas, terrazas de ladera
	>10	No se recomiendan hortalizas, pero si es inevitable, apliquen las prácticas para 5-10%
Granos básicos	0-10	No quema, dejar rastrojos, siembra directa, siembra en contorno, pastoreo controlado, cercas vivas al contorno, leguminosas intercaladas.
	10-20	No quema, dejar rastrojos, siembra directa, siembra en contorno, pastoreo controlado, cercas vivas al contorno, leguminosas intercaladas, barreras vivas cada 12m, terrazas de ladera (trinchera)*.
	20-35	No quema, dejar rastrojos, siembra directa, siembra en contorno, pastoreo controlado, cercas vivas al contorno, leguminosas intercaladas, barreras vivas cada 8m, terrazas de ladera (trinchera)*.
	35-50	No quema, dejar rastrojos, siembra directa, siembra en contorno, pastoreo controlado, cercas vivas al contorno, leguminosas intercaladas, barreras vivas cada 6m, acequias de ladera (trinchera)*.
	>50	No se recomiendan granos básicos, pero si es inevitable, aplicar las prácticas para 35-50%.
Arboles frutales	0-10	Cubierta orgánica, cultivo de cobertura leguminosa, cercas vivas al contorno.
	10-20	Cubierta orgánica, cultivo de cobertura leguminosa, cercas vivas al contorno, barreras vivas cada 12m, acequias de ladera (trinchera)*, terrazas individuales.
	20-35	Cubierta orgánica, cultivo de cobertura leguminosa, cercas vivas al contorno, barreras vivas cada 8m, acequias de ladera (trinchera)*, terrazas individuales.
	35-60	Cubierta orgánica, cultivo de cobertura leguminosa, cercas vivas al contorno, barreras vivas cada 6m, acequias de ladera (trinchera)*, terrazas individuales.
	>60	No se recomiendan árboles frutales, pero si es inevitable, apliquen las prácticas para 35-60%.

* Sólo recomendable para suelos con estructuras superficiales degradadas.

** Tierras sometidas a escorrentía de cunetas de carreteras, caminos o de fuertes pendientes requieren canales de intercepción.

Las barreras muertas no son aconsejables para sistemas manuales, porque al quitar las piedras de la superficie para construirla, se remueve la cobertura que estaba promoviendo la infiltración de la lluvia.

Los pozos ciegos son pozos contruidos normalmente en cultivos perennes que atrapan la escorrentía dependiendo de su ubicación, tamaño y espaciamiento entre ellos.

Cuando los problemas de la erosión se originan con el ingreso de la escorrentía de áreas de fuera de la parcela, la instalación de canales de diversión actúa para atrapar y llevar la escorrentía fuera de la misma.

Sin embargo, todas las prácticas que atrapan la escorrentía reducen los problemas de erosión, pero no impiden la erosión entre una estructura y otra.

La construcción de terrazas, terrazas de huerta y terrazas individuales con pendientes planas tiene el efecto de impedir la iniciación de la escorrentía.

H. Erosión eólica

Identificación de la presencia de la erosión eólica

A veces se puede observar la acumulación de depósitos de arena detrás de barreras o cercas que han sido llevados por el viento, o árboles inclinados en la dirección del viento (aunque esto no indica necesariamente que haya erosión del suelo); sin embargo, en general no se presenta mayor evidencia de la erosión eólica, fuera de la época de los vientos fuertes.

Soluciones posibles

i. Para suelos con falta de cobertura

Como para el control de erosión hídrica, la presencia de una cobertura de rastrojos, malezas, piedras, cobertura o abonos orgánicos ayudan a proteger los suelos de la erosión eólica. Por lo tanto, los sistemas de labranza conservacionista que dejan los rastrojos sobre el suelo disminuyen los riesgos de erosión eólica. La aplicación de herbicidas en sistemas de labranza cero, o el uso de cultivadoras en sistemas de labranza vertical, dejan la mayoría de las malezas sobre el suelo como una protección.

ii. Para disminuir la velocidad de los vientos

La práctica más común para controlar la erosión eólica es la construcción de cortinas rompevientos en una dirección perpendicular a la dirección de los vientos dominantes. El espaciamiento entre las cortinas no deberá exceder a diez veces la altura de los árboles en la cortina; para evitar turbulencias, las cortinas deberán ser permeables hasta un 40%.

La labranza en camellones y la siembra en surcos a través de la dirección de los vientos dominantes también reducen la velocidad de los vientos debido al incremento en la rugosidad de la superficie, disminuyendo así la erosión.

I. Altos costos de producción

Las causas principales de los altos costos de producción son los de la mano de obra, de la maquinaria, los pesticidas y fertilizantes. Las posibles soluciones se presentan en el Cuadro 1, y ya se han tratado estas soluciones en secciones previas.

J. Contaminación del ambiente

Las causas principales de la contaminación del ambiente son el uso de pesticidas tóxicos, la pérdida de fertilizantes solubles, la erosión hídrica y la erosión eólica. Las posibles soluciones se presentan en el Cuadro 1. Estas soluciones también se han tratado anteriormente.

REFLEXIONES SOBRE LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL MANEJO DE SUELOS

La sección anterior ha considerado la selección de una gran variedad de sistemas de manejo de suelos y es oportuno ahora enfatizar algunos puntos. Primeramente, siempre es necesario considerar varias opciones tecnológicas, porque raramente se pueden solucionar problemas reales con sólo una práctica. Segundo, las soluciones presentadas en este documento se deberían considerar como una guía para ayudar a llegar a la combinación de prácticas más apropiadas para una situación dada. Lo que funciona bien en un lugar, puede no ser lo más apropiado en otro lugar, a pesar de las similitudes que pudieran existir. Sin embargo, si uno recuerda los principios de

"aumentar la cobertura, aumentar la materia orgánica, mejorar la infiltración y la retención de la humedad, reducir la escorrentía, mejorar las condiciones de enraizamiento, mejorar la fertilidad y la productividad, reducir los costos de producción, proteger la parcela y reducir la contaminación del ambiente" se obtendrán en líneas generales, resultados positivos.

Capítulo 17

Planificación participativa en la ejecución de programas de manejo de suelos

Para ejecutar un programa efectivo y exitoso de mejoramiento de la productividad del suelo, a través de prácticas conservacionistas y de manera participativa, es necesario desarrollar estrategias y metodologías específicas y aplicarlas y validarlas en base a un proceso de retroalimentación originado en los propios actores involucrados en el trabajo.

En Santa Catarina, desde la década de los años 50, fueron ejecutados varios programas/proyectos de conservación de suelos. Ocurrieron experiencias positivas y negativas. Por ejemplo, un programa dirigido a las pequeñas propiedades catarinenses situadas en su mayoría en tierras de relieve accidentado, que tuvo como enfoque principal el control de la erosión a través de prácticas mecánicas como el terraceo tuvo como resultado la adopción limitada de prácticas recomendadas que lamentablemente fueron prontamente abandonadas. Se remarca que no hubo incentivos monetarios ni faltó capacitación para los técnicos y agricultores involucrados. La causa del fracaso fue que las prácticas recomendadas para el control de la erosión se dirigían básicamente al efecto y no la causa del problema ya que apenas un 5% de la erosión hídrica fue provocada por las aguas de escurrimiento superficial.

En realidad, el problema de la erosión hídrica en el sur del Brasil está directamente relacionado con la falta de cobertura del suelo y con su excesiva movilización. Este enfoque pasó a ser debidamente considerado al final de la década de los años 70 y determinó nuevos rumbos en los trabajos de investigación y de extensión rural. Mientras tanto, las acciones en el campo continuaban siendo puntuales y aisladas. A partir de 1984, con base en la experiencia del Estado de Paraná, se ejecuta en Santa Catarina un proyecto de conservación de suelos, considerando la microcuenca hidrográfica como una unidad de planificación. El trabajo se inició en tres microcuencas, ampliadas a 17 en 1985 y posteriormente a 68 en función de la creación de un Programa Nacional. Hubo un período de receso de las actividades en el proyecto, pero ganó impulso en 1990 con la colaboración del Programa de Recuperación, Conservación y Manejo de los Recursos Naturales en Microcuencas Hidrográficas, conocido como Proyecto Microcuencas/BIRD con un aporte financiero de 33 millones de dólares estadounidenses del Banco Mundial, y cuya meta era alcanzar 520 microcuencas a finales de 1997.

V. Hercilio de Freitas
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI)
Santa Catarina, Brasil

Estos años de experiencias acumuladas ayudaron a la Empresa de Investigación Agropecuaria y Extensión Rural de Santa Catarina, a aumentar el impacto de sus programas en el área de manejo de suelos y los resultados fueron tan significativos que se preparó un segundo Proyecto para ser iniciado en 1998.

Sin embargo, las estrategias y metodologías son constantemente evaluadas mediante un proceso de retroalimentación, lo que es factible en este momento por la participación de más de 300 técnicos en la ejecución del actual proyecto; de este modo se presentan nuevas perspectivas para perfeccionar el trabajo. Por ello, las propuestas aquí presentadas no pueden ser consideradas definitivas, sino están dentro de un proceso continuo de actualización.

LA MICROCUEENCA COMO UNIDAD DE PLANIFICACIÓN

La planificación de las prácticas adecuadas de manejo de suelos deben ser consideradas dentro de un programa de desarrollo rural. Existe un reconocimiento por parte de los gobiernos, organizaciones nacionales e internacionales, de que limitando el desarrollo a determinados componentes específicos, los problemas globales son resueltos sólo parcialmente. Un plan de desarrollo rural sólo puede alcanzar sus objetivos si se toman en cuenta las tierras existentes y su aptitud de uso, su capacidad de producir alimentos, madera, y otros elementos útiles al hombre. El arreglo de los sistemas de producción en base a parámetros económicos y con el objetivo de aumentar la rentabilidad de las familias rurales, pasa necesariamente por el mantenimiento del suelo productivo a lo largo del tiempo y por el restablecimiento del equilibrio original que tiene influencia directa sobre la circulación del agua en la naturaleza (ciclo hidrológico). Con esas dimensiones dicho plan debe tomar en cuenta la infraestructura existente en términos de mercado, transporte, almacenaje y todos los elementos que participan en el sistema.

Por otra parte, la planificación de acciones que tratan de disminuir el grado de deterioro de la parte física, social, económica y ambiental, será seriamente restringido a no ser que se realice dentro de los límites naturales; es decir, dentro de una cuenca hidrográfica o en cada uno de sus tributarios independientes como subcuencas o microcuencas.

A lo largo del tiempo las unidades de planificación de las actividades agrícolas han sido las comunidades rurales y más específicamente las propiedades agrícolas (unidades políticas de planificación), cuyos límites generalmente no coinciden con aquellos establecidos por las fuerzas de la naturaleza y principalmente porque los efectos de la acción antrópica extrapolan los mismos, alcanzando todo el complejo geográfico donde están insertadas. Por eso, estas unidades tradicionales están siendo descartadas.

Esta nueva concepción de unidad de planificación se fundamenta en los siguientes principios:

1. la degradación de las tierras agrícolas, en general, ocurre independientemente de las divisiones políticas y administrativas;
2. conociendo los elementos básicos de un plan para una cuenca hidrográfica, el trabajo efectivo puede ser realizado y organizado en una escala menor; el manejo se inicia por una microcuenca y después de la finalización de esta, se dedica atención a otra microcuenca y así sucesivamente hasta cubrir toda la cuenca;

3. el manejo de microcuencas hidrográficas implica la utilización racional del suelo y del agua, tratando de optimizar y sustentar la producción con el mínimo de riesgos de degradación del medio ambiente;
4. la microcuenca hidrográfica pasa así a ser la unidad física de planificación, mientras que la comunidad rural continua siendo, más que nunca, el núcleo y la base para la toma de decisiones.

IMPLEMENTACIÓN DE PROGRAMAS/PROYECTOS

En Santa Catarina, durante mucho tiempo los programas fueron implementados prácticamente con recursos económicos mínimos para el mantenimiento de los equipos involucrados y para la producción de material didáctico. A partir de 1990, cuando comienza el Proyecto Microcuencas/BIRD el aporte de recursos llegó a 78,6 millones de dólares estadounidenses, de los cuales 17,4 millones fueron destinados exclusivamente a los trabajos de Extensión Rural en las 520 microcuencas planificadas, caracterizando un programa de gran escala. La estructuración del trabajo dio lugar a la creación de un verdadero espíritu de equipo entre los diferentes niveles jerárquicos. En realidad, los programas pequeños pueden tener algunas ventajas como ser más creativos y permitir los cambios necesarios sin dificultades burocráticas y tienden a ser más sensibles a las necesidades de los usuarios. Pero ningún programa, independientemente del tamaño, puede prescindir de un cuerpo técnico de campo preparado y motivado, que conozca a las familias involucradas, que las trate con respeto y que sea apreciado por ellos.

Además, para que un programa tenga éxito tendrá que ser guiado por una amplia comprensión de las necesidades, motivaciones, valores y puntos de vista de las familias rurales. Los técnicos involucrados en el programa deben tener una gran sensibilidad para poder tratar con los delicados equilibrios entre:

- el valor de los cambios y el respeto por los valores tradicionales de una comunidad;
- la necesidad de excelencia de su trabajo y la necesidad de que las familias rurales tengan la libertad de aprender de sus propios errores;
- la necesidad de una motivación extraordinaria en el trabajo y el peligro de sofocar el entusiasmo con un exceso de trabajo.

Para alcanzar el éxito, los técnicos participantes tienen que ser sobre todo motivados para un deseo genuino de luchar por el bienestar ajeno, y apoyar el desarrollo de la capacidad innata de las familias rurales para su autodeterminación y autorealización.

Con esos principios crece la idea del extensionista rural, del técnico que pasa a ser un “facilitador” en la ejecución de cualquier programa.

OBJETIVOS DE UN PROGRAMA/PROYECTO

Un programa debe preocuparse de la capacitación y motivar a los agricultores para que ellos mismos transmitan las nuevas prácticas a otros agricultores; al mismo tiempo se les debe demostrar que ellos mismos pueden descubrir y probar innovaciones. En pocas palabras, el objetivo de un programa no debe ser el desarrollo de la agricultura de las familias rurales, sino la enseñanza de un proceso a través del cual ellas puedan desarrollar su propia agricultura.

EL ENTUSIASMO COMO FUERZA IMPULSORA DEL DESARROLLO

El entusiasmo puede ser definido como motivación, determinación, voluntad, entrega, compromiso, inspiración y amor al trabajo.

Cuando falta entusiasmo:

- nadie participa de las reuniones;
- la cooperación entre vecinos es casi imposible e inexistente;
- los extensionistas parecen incapaces de convencer a los campesinos.

Cuando hay entusiasmo:

- los agricultores no miden los esfuerzos para participar en una reunión;
- las innovaciones pasan espontáneamente de un agricultor a otro.

Factores que pueden ayudar a crear el entusiasmo

- las familias tienen que tener un fuerte deseo de superar los problemas que el programa está proponiendo resolver;
- las familias tienen que creer que son capaces de solucionar los problemas, de manera simple y según sus propias posibilidades;
- las familias deben estar involucradas en la planificación, a tal punto que lleguen a sentir que el éxito del programa es también de ellas;
- las familias tienen que sentir que el programa les pertenece;

El entusiasmo aumenta aún más cuando las familias tienen:

- la libertad de establecer sus propios objetivos de trabajo;
- la libertad de ser creativas;
- la oportunidad de trabajar en un ambiente de compañerismo y apoyo mutuo;
- la oportunidad de seguir conociendo nuevas materias que les interesan y encontrar soluciones a otras necesidades;
- el reconocimiento, gratitud y retroalimentación positiva recibidos de otras familias y de los propios técnicos involucrados en el programa.

EL ÉXITO – LA FUENTE DEL ENTUSIASMO

Ninguna de las afirmaciones mencionadas anteriormente inspirará mayor entusiasmo, si falta un ingrediente adicional absolutamente esencial: el éxito rápido y reconocible.

No se estimula el interés y el entusiasmo organizando competencias o dando regalos o premios a los agricultores sobresalientes. Si una tecnología es exitosa, el premio pasa a ser superficial e inútil.

LA PARTICIPACIÓN – EL CAMINO A SEGUIR

La participación constructiva

Así como el entusiasmo y la fuerza positiva pueden alejar un programa del paternalismo, la participación creciente es el camino que el programa tiene que seguir; es lo opuesto a “hacer las

cosas para las personas” y “participar a las personas de no hacer”. Esta participación tiene que ser real desde la definición y durante la ejecución del programa.

La razón más importante de la participación es que con ella se asegura la permanencia de los avances y de los resultados positivos del programa. Con eso las familias aprenden a planificar, a encontrar soluciones a sus problemas, a enseñar a otras personas y a organizarse para trabajar en grupo. Participando se adquieren habilidades para dar y recibir órdenes dentro de una organización y se aprende a corregir el compañerismo sin herirlo. Estos son hechos esenciales para que puedan formar y manejar sus propias organizaciones con éxito. Participando pueden ganar confianza en si mismas, tener orgullo y satisfacción por los avances alcanzados y desarrollar la creatividad para seguir mejorando la vida de su comunidad.

Esta participación es la esencia del propio desarrollo o sea “un proceso a través del cual las personas aprenden a hacerse dueñas de sus propias vidas y a resolver sus problemas”.

Por tanto, el desarrollo ocurre donde las personas están obteniendo:

- confianza en sí mismas;
- motivación y carácter;
- conocimiento suficiente para resolver sus problemas por estar directamente involucradas en atacarlos y resolverlos.

En función de eso se deducen inmediatamente dos conclusiones:

1. presentar y hacer cosas para las personas de ninguna manera puede llamarse desarrollo;
2. el proceso de desarrollo a través del cual las familias aprenden, crecen, y se organizan, es mucho más importante que el suelo recuperado, sin erosión, o maíz más verde o sus bolsillos llenos de dinero.

Aunque las dos cosas sean importantes y tengan que ocurrir concomitantemente, el “como se hace” es más importante de “lo que resulta”. El “como se hace” tiene que incluir necesariamente a la participación constructiva.

PARTICIPACIÓN DESTRUCTIVA

Esta ocurre cuando en algún programa surgen personas en la comunidad que asumen el control y los demás tienden a ser sumisos en vez de opinar y participar. Muchas veces es la propia falta de experiencia de decidir en grupo que causa desaciertos, genera la formación de facciones y las organizaciones se desintegran. Aunque, por otro lado, decisiones bien tomadas también pueden llevar al fracaso. Por lo tanto, el desafío es hacer que la participación sea lo más constructiva posible.

COMO MEJORAR LA PARTICIPACIÓN CONSTRUCTIVA

1. Es necesario reconocer que la participación constructiva se aprende gradualmente; algunas organizaciones, en su afán de evitar el paternalismo sofocante y las actitudes de que “el técnico es el que sabe de todo”, en poco tiempo pasarán al otro extremo de hacer lo menos posible. No se puede esperar que las familias rurales aprendan rápido a resolver sus problemas; es necesario buscar un equilibrio, por lo menos al inicio del programa. La independencia del grupo no significa la ausencia total del técnico.

2. Ejemplos de dos casos exitosos reconocibles fácilmente son esenciales al inicio del programa. El éxito atrae a los líderes altamente motivados para una participación constructiva, crea lazos de compañerismo entre los participantes en el programa y estimula el intercambio de experiencias entre los vecinos y amigos.
3. Todos deben realizar esfuerzos conscientes y constantes para que las familias aprendan a participar; esto puede ser asegurado con la realización de cursos cortos y una discusión constante sobre las experiencias que el programa desarrolla en la comunidad.

COMO AUMENTAR LA PARTICIPACIÓN

Trabajar con las personas y no para las personas

Significa comenzar el trabajo en conjunto con las familias, analizar su propio sistema productivo y rescatar sus conocimientos.

1. realizar el diagnóstico de la situación con la participación de todas las familias de la comunidad para destacar las necesidades imperiosas;
2. evaluar las prioridades en función de los recursos y posibilidades locales para esto, el técnico “facilitador” o “promotor” debe tener:
 - humildad
 - sensibilidad social
 - disposición de aprender con las personas
 - conocimiento del contexto cultural
 - conocimiento de los recursos locales disponibles
 - condiciones de manejar criterios de sentido común.

Comenzar despacio y en pequeño

Significa comenzar con la promoción de pocas tecnologías, en pequeñas áreas y en una microcuenca:

1. esto permitirá que se conozcan los factores culturales, económicos, sociopolíticos, educacionales, agronómicos y ecológicos;
2. favorece el intercambio entre productores y los técnicos;
3. estimula la creatividad;
4. disminuye el riesgo para el agricultor y reduce costos;
5. permite responder a necesidades específicas (p.ej. culturales, de mercado);
6. posibilita el desarrollo de más agricultores.

Experimentación en pequeña escala

La generación de tecnología apropiada exige la experimentación en pequeña escala porque esta:

1. protege al agricultor de riesgos y fracasos económicos;
2. no demanda gastos extras;
3. el agricultor aprende mucho más;
4. crea una mayor disposición para probar otras innovaciones;
5. estimula la autoconfianza;
6. las tecnologías tienen más impacto si son probadas en las propiedades de los agricultores.

Más importante que la tecnología en si es compartir con la comunidad un método de investigación rural, con lo cual se pueda año tras año, continuar experimentando innovaciones. Esto significa que no se está en el proceso de desarrollar su agricultura, pero si buscar en conjunto una forma de como ellos puedan desarrollarla.

El productor experimentador

Generalmente son pocos los agricultores voluntarios que usan y prueban las tecnologías. Experimentarlas permite ver si esta se adapta a las condiciones del medio, si es culturalmente aceptable, si no provoca daños ambientales y evita que el extensionista aparezca ante los agricultores como un simple comerciante, interesado por su éxito personal.

Las fases de esa metodología son:

1. selección de voluntarios;
2. experimentación;
3. evaluación conjunta entre el productor y el técnico;
4. difusión.

Esta metodología puede tener un proceso de adopción lenta, pero de efectos a largo plazo.

Evitar los paquetes tecnológicos

Significa que no se puede llevar una propuesta completa predefinida para los agricultores, fijada básicamente en metas productivas.

1. cuando se trabaja con paquetes tecnológicos, la preocupación de los técnicos de campo es aprender mejor sus detalles, así como querer aprender métodos que faciliten el convencimiento de los agricultores;
2. generalmente quien se beneficia de los paquetes tecnológicos no son los agricultores más pobres, pequeños y más necesitados clasificados en la mayoría de las veces como grupo meta prioritaria en los objetivos del programa;
3. los paquetes tecnológicos son prácticamente imposibles de ser masificados en las condiciones rurales;
4. fundamentalmente tratan de un sistema cerrado que afecta la biología de la planta o del animal y no considera las dimensiones sociales, culturales, organizativas, económicas y políticas del trabajo productivo;
5. agricultores, sin duda, requieren aportes y apoyo de la sociedad moderna, mas es necesario que los agricultores mismos tomen decisiones sobre lo que le conviene o no, dentro de su estrategia y racionalidad.

Por lo tanto, lo que puede hacer es proponer una serie de alternativas para que el agricultor vaya experimentando, adoptando y transformándolas.

El papel del técnico consiste en ayudar al agricultor a comprender y mejorar las implicaciones de las innovaciones. Partiendo del sistema del agricultor, respetándolo y enriqueciéndolo, a la inversa de sustituirlo por un sistema “moderno” cerrado en un paquete, sin conseguir un desarrollo tecnológico adecuado y continuo.

La replicabilidad

Significa la acción voluntaria de los agricultores cuando adoptan y aplican una tecnología exitosa.

1. ella se da por el impacto de los éxitos que consigue una tecnología apropiada, de fácil aplicación, que incrementa y sustenta la producción y es capaz de fomentar las iniciativas propias;
2. probablemente alcance a personas con menos recursos, permitiendo mayor justicia social.

La multiplicación de una tecnología está asegurada cuando de un 25% a 45% de las familias de una microcuenca tienen éxito en su aplicación. Por lo tanto, a partir de este momento la acción extensionista puede dedicarse a otro asunto.

Agricultores promotores

Son agentes facilitadores que no sólo protagonizan la réplica de los efectos exitosos, sino que también aportan con su vivencia y estimulan la creatividad en el proceso de desarrollo.

La importancia de ellos es que en su propio contexto cultural:

- disfrutan de mayor confianza, ganando mayor aceptabilidad por sus acciones y realizaciones;
- comprenden mejor a las personas con quien trabajan;
- entienden más fácilmente los problemas económicos de las personas y sus prioridades;
- usan el vocabulario de las personas de la comunidad.

Las cualidades deseadas para los agricultores promotores son:

- tener voluntad de hacer las cosas para experimentar y aprender;
- tener intención permanente de compartir lo que haya aprendido;
- ser ejemplo en el trabajo de practicar e innovar;
- tener motivación constante para aprender más;
- poseer capacidad de reflexión y autoevaluación.

Fomentar la autogestión

Significa seguir las nuevas tendencias de desarrollo, que considera la población local como la protagonista principal, el agricultor como actor y no como “insumo” para producir. El hombre es efectivamente el factor preponderante del ecosistema, en su conservación, aprovechamiento o destrucción.

La capacidad de autogestión, entendida como el manejo eficaz de los recursos, implica la formulación de metas, la definición de actividades y el mejoramiento de la capacidad de autogestión individual y colectiva en la solución de los problemas locales.

Dosificar la tecnología

Significa que un programa tiene que incorporar un número limitado de innovaciones. Una tecnología “dosificada” es aquella que cambia sólo unas pocas prácticas en el sistema agrícola

vigente. Este cambio permite que su efecto se verifique independientemente de las bajas y altas que las producciones agrícolas sufren.

Limitar la tecnología significa que “es preferible enseñar una idea a cien personas que cien ideas a una persona”.

Porqué limitar la tecnología:

- para comenzar despacio y en pequeño
- para garantizar el éxito reconocible
- para alcanzar el mayor número de personas
- para alcanzar la masa crítica (por lo menos 35% de la población local)
- para asegurar la disponibilidad de insumos
- para promover más justicia social
- para evitar esfuerzos inútiles.

Selección de tecnologías

Una tecnología para que al aplicarla tenga un efecto sinérgico, debe cumplir con las siguientes características:

- que se adapte bien a las condiciones del lugar
- que no implique mucha inversión
- que responda a una necesidad sentida
- que sea de fácil multiplicación
- que sea de fácil manejo
- que produzca resultados rápidos y observables
- que sea de cierta permanencia
- que propicie la organización
- que no necesite demasiada mano de obra.

En realidad es difícil encontrar una tecnología que cumpla con todos esos requisitos. En definitiva la selección de la tecnología dependerá de múltiples factores, entre otros de las personas, del lugar, de la situación cultural.

ALGUNOS CRITERIOS PARA SELECCIONAR UNA TECNOLOGÍA APROPIADA

1. ¿La tecnología satisface una necesidad sentida?
2. ¿Trae resultados económicos?
3. ¿Trae éxitos inmediatos?
4. ¿Es adaptable a los modelos agrícolas locales?
5. ¿Usará con preferencia recursos locales?
6. ¿Es de fácil comprensión?
7. ¿Es de bajo costo?
8. ¿Ofrece poco riesgo?
9. ¿Disminuirá o aumentará el uso de mano de obra?

Posteriormente, se pueden comparar a través de un sistema de puntuación y entonces definir cual será la tecnología utilizada, de acuerdo al ejemplo siguiente:

Comparación de tecnologías

Ejemplo 1

Criterios	Puntuación		
	Abono verde	Abono químico	Estiércol
Fácil aplicación	5	4	2
Efecto multiplicador	3	4	5
Necesidad sentida	2	3	4
Resultado inmediato	5	5	2
Efecto a largo plazo	5	1	3
Menor riesgo	5	2	3
Costo	5	1	3
Rentabilidad	5	1	3
Ecológicamente apropiada	5	1	5
Total	40	22	30

En este ejemplo la tecnología a seleccionar sería el uso de abono verde. Una vez aplicada la tecnología y si los resultados fueron exitosos, con toda seguridad las reacciones de las personas cambiarán.

Ejemplo 2

Criterios	Cultivo mínimo	Barreras vivas	Abono verde	Terrazas
Uso de recursos locales	5	4	4	3
Bajo costo	5	5	5	3
Éxito rápido	5	3	5	4
Fácil comprensión	5	5	5	3
Uso de mano de obra	5	4	4	3
Impacto sobre recursos naturales	5	5	5	4
Total	30	26	28	20

La sustentabilidad

La sustentabilidad es una característica y un criterio para un desarrollo permanente y armónico. Implica producir sin destruir, restablecer o incrementar la productividad y conservar el medio ambiente.

Al usar esta metodología se cumple uno de los dos objetivos principales del desarrollo rural sustentable que es:

“Involucrar a las personas en un proceso para que estas adquieran confianza en si mismas y en la innovación como actividad, alimentando esperanzas para un futuro mejor”.

PARTICIPANDO CON LAS FAMILIAS RURALES EN LA PLANIFICACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE MANEJO DEL SUELO

En la mayoría de las culturas la participación es un arte que tiene que aprenderse. La participación constructiva requiere un número sorprendente de habilidades.

Hay necesidad de que las personas aprendan a:

- expresarse en público
- analizar y discutir informaciones
- tomar decisiones
- resolver diferencias de opiniones
- criticar constructivamente a sus compañeros
- mantener vías de comunicación horizontal y vertical
- evitar problemas de manipulación y la influencia de liderazgos autocráticos

Requiere también:

- honestidad
- preocupación
- confianza mutua entre las personas.

En este proceso es importante que las personas sepan que los aumentos de producción son factibles, como se pueden conseguir más fácilmente estos aumentos y como se puede enseñar eso a los otros.

En el momento de definir y dar prioridad a los problemas más importantes es fundamental que se eviten las actitudes “el técnico sabe de todo”, pero que tampoco se pase al otro extremo donde “el técnico hace lo menos posible”.

La planificación de las actividades debe realizarse siempre en una articulación simultánea de la vertiente institucional o técnico-científica y la vertiente comunitaria. La vertiente institucional utiliza los principios básicos del conocimiento científico, mientras que la vertiente comunitaria utiliza un lenguaje propio que se basa en la percepción ambiental, resultado de su vivencia, experiencia y sensibilidad.

En Santa Catarina la sistemática de trabajo o estrategia metodológica definida para la implementación del Proyecto Microcuencas/BIRD procura constantemente conciliar estas dos vertientes. El apoyo de la vertiente técnico-científica ocurre en el momento de sectorizar las microcuencas hidrográficas existentes en el municipio, a través del uso de cartas topográficas. En el momento de dar prioridad a las microcuencas a ser trabajadas (cuatro durante los siete años de ejecución del Proyecto) comienza un trabajo de participación de las autoridades municipales y representantes de las comunidades rurales. Esta priorización ocurre mediante criterios absolutamente técnicos, luego de un diagnóstico general de la situación de los recursos naturales en las microcuencas existentes.

El trabajo en la microcuenca priorizada comienza en la reunión con los líderes de las comunidades existentes. Posteriormente es fijada una reunión con todas las familias donde el proyecto es presentado y discutido. Enseguida se procede a una excursión a otra microcuenca y/o a algunas fincas que tengan un trabajo adelantado en términos de uso, conservación y manejo de suelo y de agua con el objetivo principal de promover un intercambio de experiencias entre las familias rurales. Esta etapa es considerada importante dentro de la sistemática de trabajo para que se pueda realizar una planificación participativa de las acciones a ser ejecutadas en la microcuenca. Es en esta oportunidad que los agricultores toman conocimiento de las tecnologías recomendadas que ya están siendo experimentadas por otras familias y de la forma como la comunidad se organizó para resolver sus problemas. Solamente después de esta etapa es que se entra en un acuerdo para iniciar el trabajo, mediante la firma de un documento llamado “lista de adhesión”. En otra reunión con las familias se establecen las actividades de grupo y/o de carácter comunitario, que serán parte del plan de manejo de la microcuenca. Al mismo tiempo, se definen las responsabilidades de la vertiente institucional y de las entidades privadas, y principalmente de la Prefectura Municipal dentro del plan. También se constituye democráticamente una Comisión de la Microcuenca, con representantes de las distintas comunidades existentes en la microcuenca. En esta oportunidad es posible establecer un calendario para la elaboración de los planes conservacionistas en las propiedades de las familias interesadas. De esta manera es efectuada la planificación de las actividades individuales, de grupo y colectivas para un período de cuatro años, que tiene en los dos primeros años un apoyo directo y constante del extensionista.

PLANIFICACIÓN COMUNITARIA

Actualmente el plan de la microcuenca es elaborado en reuniones de comunidades y con base en la planificación individual de las propiedades. Mientras que la ejecución del segundo proyecto, que está siendo elaborado para continuar con el apoyo del Banco Mundial, intenta mejorar aún más la participación de las familias rurales; se trata de la aplicación de los llamados “Cuadernos de Planificación Participativa” (ver Anexo 3). Con este instrumento será posible realizar un diagnóstico rápido, integral y con mayor participación de las familias rurales. Son muy simples y explícitos, y auxilian en la educación informal de la comunidad. Este diagnóstico permitirá identificar los principales problemas existentes en la microcuenca, priorizarlos y definir las posibles acciones correctivas. Los cuadernos sirven también como instrumento de comunicación entre la comunidad organizada y el grupo de trabajo municipal, además de posibilitar un mayor conocimiento de la realidad de la microcuenca trabajada.

ELABORACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS

Los mapas temáticos constituyen importantes instrumentos pedagógicos en el proceso de planificación participativa. Pueden aprovecharse los mapas originados por el sector técnico-científico así como del sector comunitario.

Mapas temáticos del sector institucional

Son elaborados con el auxilio de fotografías aéreas, imágenes de satélite, datos estadísticos y otros. En el Proyecto Microcuencas/BIRD desarrollado en Santa Catarina, los extensionistas de campo reciben los siguientes instrumentos de apoyo para la elaboración del plan de las microcuencas:

1. mapa hipsométrico
2. mapa hidro-vial
3. mapa de uso actual de la tierra
4. mapa de aptitud de uso del suelo
5. mapa fisiográfico
6. mapa de conflictos de uso.

El sector técnico-científico también puede elaborar otros mapas, utilizando básicamente las cartas topográficas:

1. mapa de la región hidrográfica
2. mapa de la cuenca hidrográfica
3. mapa de las subcuencas hidrográficas
4. mapa de los municipios de la cuenca
5. mapa de las microcuencas del municipio
6. mapa de la microcuenca a ser trabajada.

Estos mapas pueden ser necesarios e importantes en la fase inicial de la promoción de un plan de desarrollo rural.

Mapas temáticos del sector comunitario

Son elaborados con técnicas modernas de percepción visual. Constituyen la sumatoria de las informaciones selectivas de las personas que viven localmente; presentan un elevado margen de

seguridad y son elaborados por los extensionistas en conjunto con las familias rurales. Estos mapas son elaborados con el auxilio de los “Cuadernos de Planificación Participativa” y con eso se facilita la visualización de los datos recogidos, a través de la técnica de colores. Para cada levantamiento efectuado en el “Cuaderno de Planificación Participativa” se elabora un mapa temático.

Dependiendo de los objetivos del programa se pueden elaborar los siguientes mapas:

1. mapa temático de las condiciones ambientales de la microcuenca.
2. mapa temático de las condiciones socioeconómicas.
3. mapa temático de las condiciones en que los suelos están siendo manejados.

PRIORIZACIÓN DE LAS ACCIONES A DESARROLLAR EN LA MICROCUENCA

Esta etapa de la metodología también constituye un proceso educativo y participativo donde la comunidad discute en conjunto con el extensionista o grupo de trabajo municipal, los problemas identificados en el Diagnóstico Integral.

Los resultados de esta etapa son las propuestas que definen las mejores alternativas para los problemas identificados. Esta priorización es realizada en reuniones de la comunidad y seminarios municipales.

Las actividades prioritarias definidas por la comunidad deben constar al final de los “Cuadernos de Planificación Participativa” y deben ser establecidas respondiendo a las siguientes preguntas:

- ¿Qué debemos hacer para resolver nuestros problemas?
- ¿Cómo podemos solucionar nuestros problemas?
- ¿Quién puede ayudar a solucionar nuestros problemas?
- ¿Cuándo podemos resolver nuestros problemas?

El plan de trabajo a ser elaborado se basa en la estructuración y distribución espacial de las actividades a realizar con los agricultores de la microcuenca, así como los costos e infraestructura necesaria, además de identificar los niveles de responsabilidades de los individuos, grupos e instituciones involucradas.

ELABORACIÓN DE PROYECTOS

Muchas veces, por el tipo de actividad que fue priorizada por las familias rurales, es necesaria la elaboración de proyectos específicos que demandan ayuda externa.

Por ejemplo, dentro del actual Proyecto Microcuencas/BIRD desarrollado en Santa Catarina, existe un componente que aporta recursos para la mejora y/o relocalización de los caminos comunitarios. Sin embargo para que el trecho a ser recuperado sea definido democráticamente por la propia comunidad, la ejecución de esa actividad pasa necesariamente por la ayuda de un ingeniero, principalmente en la elaboración del proyecto; así mismo la obra es ejecutada por el sector privado, mediante un proceso de licitación.

También las Prefecturas Municipales y las Instituciones Gubernamentales y No Gubernamentales pueden elaborar proyectos de apoyo a las actividades a ser implementadas en las comunidades rurales de la microcuenca seleccionada.

Sin embargo, es de señalar que los proyectos deben ser elaborados de acuerdo con las dimensiones socioambientales y económicas de la población local, y en general son:

- proyectos comunitarios
- proyectos de grupo
- proyectos individuales.

PLANIFICACIÓN CONSERVACIONISTA DE PROPIEDADES

Plan individual de la propiedad (PIP)

La metodología desarrollada para la planificación conservacionista de la propiedad que está siendo usada en Santa Catarina, tiene por base el uso del suelo de acuerdo con su aptitud natural, según criterios establecidos para las condiciones de relieve accidentado que predomina en la región. El objetivo del PIP es la implementación de una propuesta participativa de mejoramiento de la propiedad rural, a través de un cronograma de actividades para un período de cuatro años.

La elaboración del PIP puede ser dividida en varias etapas a saber:

1. identificación del productor
2. levantamiento/diagnóstico de la propiedad:
 - situación de los cultivos anuales y otras actividades
 - uso de prácticas conservacionistas
 - población animal
 - saneamiento ambiental
3. elaboración del Mapa de Uso Actual y de Aptitud de Uso
4. elaboración de un cuadro de distribución de las tierras
5. planificación conservacionista y recomendaciones técnicas:
 - cuadro de redistribución de uso de la tierra
 - elaboración del mapa de redistribución del uso
 - uso y manejo de las tierras
 - mejoramiento ambiental
 - cronograma de ejecución de los mejoramientos/inversiones.

MAPEAMIENTO COMUNITARIO

Experiencias realizadas en otros países demuestran que es posible la elaboración de mapas comunitarios, que indican como están siendo utilizadas las tierras de la microcuenca según su aptitud natural, aún cuando la mayoría de la población local es analfabeta. Muchas veces es sorprendente para los técnicos, apreciar como las familias rurales son capaces de elaborar utilizando símbolos o cualquier elemento que se relacione con la naturaleza como granos, madera, frutos, hojas, piedras, mapas detallados de la situación de la microcuenca, inclusive con perfecta localización de las áreas con problemas de deterioro de los recursos naturales. En ese caso, necesitan prioritariamente trabajar al aire libre, usando muchas veces el propio suelo para dibujar los mapas de las microcuencas. Cuando en la comunidad hay personas que saben escribir y dibujar es posible realizar esta actividad en un aula escolar, utilizando por ejemplo cartulina para hacer los mapas. Con una buena discusión entre las familias de las comunidades,

examinando las áreas con problemas y con el apoyo del extensionista, es también posible elaborar los mapas de redistribución del uso de los terrenos que estén siendo usados fuera de su aptitud natural.

IMPLEMENTANDO PLANES DE MANEJO DE SUELO

La ejecución de un plan es una de las fases más fascinantes y significativas del proceso de planificación participativa, porque a partir de ella se inicia una modificación fundamental en el futuro de la comunidad. En esta etapa son utilizados todos los conocimientos prácticos y la experiencia de los moradores de la microcuenca para fiscalizar y ejecutar actividades u obras en su comunidad, fruto de su participación.

La ejecución del trabajo está fundamentada en el plan de la microcuenca, que es el resultado de la discusión entre la población local y el extensionista o grupo municipal. En la ejecución es necesario que cada institución involucrada y que cada familia de la microcuenca asuma sus atribuciones de acuerdo con lo establecido en el plan.

La asistencia técnica tendrá que ocurrir a través de un proceso educativo y participativo (reuniones, seminarios, demostraciones, excursiones). Las visitas serán realizadas durante la elaboración de los Planes Individuales y en la aplicación de los recursos del Programa de Incentivos a las Prácticas de Conservación del Suelo.

La elaboración de una agenda de ejecución es fundamental para consolidar claramente las acciones a ser implementadas en la microcuenca. En realidad, esta agenda no es más que la elaboración de un “Plan Operativo” o una “Sistemática de Trabajo” que describe una estrategia metodológica para identificar la manera como las actividades serán desarrolladas en la microcuenca.

Para eso es necesario especificar como:

1. se hará la motivación inicial de las familias con relación a las tecnologías de manejo del suelo:
 - ¿Reuniones de motivación?
 - ¿Excursiones para conocer otras experiencias exitosas?
 - ¿Audiovisuales sobre procesos de degradación y recuperación de suelos?
2. se implementarán las propuestas tecnológicas en la microcuenca:
 - ¿Selección de tecnologías?
 - ¿Áreas demostrativas?
 - ¿Demostración de resultados?
 - ¿Investigación interactiva?
 - ¿Experimentación en pequeña escala?
3. se facilitará la asistencia técnica:
 - ¿Grupos de vecinos?
 - ¿Individual?
 - ¿Intercambio de experiencias?
 - ¿Entrenamientos?
4. se implementarán las prácticas de manejo del suelo:
 - ¿Grupos de máquinas y equipos de uso colectivo?
 - ¿Máquinas y equipos de uso comunitario?

- ¿Individualmente?
5. se movilizará la comunidad para ejecutar las actividades previstas en el plan:
- ¿Comisión de la microcuenca?

En resumen el “Plan Operativo” deberá ser elaborado con base en las siguientes preguntas: ¿Qué hacer?, ¿Cómo hacer?, ¿Cuándo hacer? y ¿Quién va a hacer?

La sugerencia más importante es el llenado de una planilla que deberá quedar adjunta al “Cuaderno de Planificación Participativa”.

Bibliografía

- Adams, J.E. 1966. Influence of mulches on runoff, erosion and soil moisture depletion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison*. 30: 110-14.
- Almeida, F.S. 1985a. Efeitos alelopáticos da cobertura morta. *Plantio direto*, Ponta Grossa, III (10): 4-5.
- Almeida, F.S. 1985b. Influência da cobertura morta do plantio direto na biología do solo. En: *Atualização em plantio direto*. Fancelli, A.L.; Tonado, P.V. & Machado, J. Campinas, Fundação Cargill. Capítulo 6, pp.103-144.
- Almeida, F.S. 1987. Alelopatia das coberturas mortas. *Plantio direto*, Ponta Grossa, V(21): 4-5.
- Almeida, F.S.; Rodrigues, B.N. y Oliveira, V.F. 1984. Plantio Direto de Milho: Uso de coberturas mortas como forma de reduzir o emprego de herbicidas. En: *Congresso nacional de milho e sorgo*, 15, Maceió, 1984. Resumos... Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS. p.72.
- Almeida, R.A. 1993. Adaptação da "matraca" ao plantio direto em pequenas propriedades. En: *Encontro latinoamericano sobre plantio direto na pequena propriedade*, 1, Ponta Grossa, PR. Anais. SEAB-IAPAR, Ponta Grossa. pp. 251-257.
- Alves, C.S. 1978. Controle e estabilização de voçorocas. Trigo e Soja - *Boletim Técnico FECOTRIGO*, 37, Porto Alegre. pp. 6-9.
- Amado, T.J.C. 1985. Relações da erosão hídrica dos solos com doses e formas de manejo do resíduo da cultura da soja. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado Agronomia). Fac. Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 104 p.
- Amado, T.J.C. 1991. Adubação verde de inverno para o Alto Vale do Itajaí. *Rev. Agropec. Catarinense*, Florianópolis, 4 (1): 4-7.
- Amado, T.J.C. y Wildner, L. do P. 1991. Adubação verde. En: *Manual de Uso, Manejo e Conservação do Solo e da Água*. Santa Catarina. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. Florianópolis. pp. 105-117.
- Amado, T.J.C.; Matos, A.T. de, y Torres, L. 1990. Flutuação de temperatura e umidade do solo sob preparo convencional e em faixas na cultura da cebola. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 25(4): 625-31.
- Anjos, J.B. dos, Soares, J.G.G., y Baron, V. 1983. Adaptação de plantadeira manual para o plantio de sementes de capim búfel. EMBRAPA - CPATSA, Petrolina, PE. (EMBRAPA-CPATSA. *Documentos*, 21). 5 p.
- Anjos, J.B. dos. 1985. Comparação entre tração motorizada e animal. En: *Simpósio sobre energia a agricultura, tecnologias poupadoras de insumos, integração de sistemas energéticos de alimentos*, 1., 1984, Jaboticabal-SP. Anais. Jaboticabal: FCAV. pp. 269-289.
- Anjos, J.B. dos., Baron, V. y Bertaux, S. 1988. Captação de água de chuva "in situ" com aração parcial. EMBRAPA-CPATSA, Petrolina, PE. (EMBRAPA-CPATSA. *Comunicado Técnico*, 26). 4 p.
- Archer, J.R. y Smith, P.D. 1972. The relation between bulk density, available water capacity and air capacity of soil. *Journal of Soil Science*, London, 23:475-80.

- Argueta, M.T. 1996. Analysis of the production and utilization of crop residues and their effect on erosion risk in the department of Morazan. Agronomy Engineer's thesis, Faculty of Engineering, Central American University "José Simeón Canas," San Salvador, El Salvador.
- Argueta, M.T. 1996. Análisis de la producción y utilización de rastrojos y su efecto sobre el riesgo de erosión en el departamento de Morazan. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ingeniería, Universidad Centroamericana "José Simeón Canas," San Salvador, El Salvador.
- Barber, R.G. 1994. Rotaciones de cultivos para zonas con 1000 a 1300 mm de lluvia por año en el departamento de Santa Cruz, Bolivia. Centro de Investigación Agrícola Tropical, Misión Británica en Agricultura Tropical, y Banco Mundial y Proyecto de Tierras Bajas del Este, Santa Cruz, Bolivia.
- Barber, R.G. 1998. Linking the production and use of dry-season fodder to improved soil conservation practices in El Salvador. *Proceedings of the 9th. International Soil Conservation Organization Conference*, Bonn, Germany, 26-30 August, 1996. *Advances in GeoEcology* 31, Volume II 1311-1317. Catena-verlag, Reiskirchen, Germany.
- Barber, R.G. y Díaz, O. 1992. Effects of deep tillage and fertilization on soya yields in a compacted Ustochrept during seven cropping seasons, Santa Cruz, Bolivia. *Soil and Tillage Research*, **22**, 371-381.
- Barber, R.G. y Johnson, J. 1992. Aspectos técnicos sobre la instalación de cortinas rompevientos para la producción de cultivos anuales. *Informe Técnico No. 2*. Centro de Investigación Agrícola Tropical y Misión Británica en Agricultura Tropical, Santa Cruz, Bolivia.
- Barber, R.G. y Thomas, D.B. 1981. Infiltration, surface runoff and soil loss from high intensity simulated rainfall in Kenya. Research contract No. RPIHQ 1977-3/AGL, FAO, Rome. Italy. Faculty of Agriculture, University of Nairobi, Nairobi, Kenya.
- Barber, R.G., Herrera, C. y Díaz, O. 1989. Compaction status and compaction susceptibility of alluvial soils in Santa Cruz, Bolivia. *Soil and Tillage Research*, **15**, 153-167.
- Barber, R.G., Navarro, F. y Orellana, M. 1993. Labranza Vertical. Centro de Investigación Agrícola Tropical, Misión Británica en Agricultura Tropical y Proyecto de Desarrollo Tierras Bajas del Este del Banco Mundial, Santa Cruz, Bolivia.
- Barbosa, L.R., Díaz, O. y Barber, R.G. 1989. Effects of deep tillage on soil properties, growth and yield of soya in a compacted Ustochrept, Santa Cruz, Bolivia. *Soil and Tillage Research*, **15**, 51-63.
- Beek, K.J. 1975. Recursos naturais e estudos perspectivativos a longo prazo: notas metodológicas. Brasília, SUPLAN. 57 p.
- Bennema, J.; Beek, K.J.; y Camargo, M.N. 1964. Interpretação de levantamento de solos no Brasil. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. 50 p.
- Bernardo, S. 1982. Manual de irrigação. Viçosa: UFV. 463 p.
- Bertolini, D., Galetti, P.A., y Drugowich, M.I. 1989. Tipos e formas de terraços. En: *Simpósio sobre terraceamento agrícola*, 1988, Campinas, SP. Anais. Fundação Cargill, Campinas. pp. 79-98.
- Bertoni, J. y Lombardi Neto, F. 1985. Conservação do solo. Livroceres, Piracicaba. 392 p.
- Bertoni, J.; Pastana, F.I.; Lombardi Neto, F. y Benatti Júnior, R. 1972. Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agrônomico. (IAC, Circular No. 20) Instituto Agrônomico, Campinas. 56 p.

- Borst, H.L. y Woodburn, R. 1942. The effect of mulching and methods of cultivation on runoff and erosion from Muskingum silt loam. *Agr. Engin.*, 23(1): 19-22.
- Brady, N.C. 1974. *Nature and Properties of Soils*. 8th. ed. New York, McMillan. 639p.
- Bulisani, E.A. y Roston, A.J. 1993. Leguminosas: adubação verde e rotação de culturas. En: *Curso sobre Adubação Verde no Instituto Agrônômico*, 1. Wutke, E.B.; Bulisani, E.A. & Mascarenhas, H.A.A. Campinas: Instituto Agrônômico. pp. 13-16. (Documentos IAC 35).
- Cabeda, M.S.V. 1984. Degradação física e erosão. En: *I Simpósio de manejo do solo e plantio direto no sul do Brasil e III Simpósio de conservação de solos do planalto*. Passo Fundo, RS, 1983. Anais.
- Calegari, A. 1989. Cobertura morta. En: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Paraná. *Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo*. Curitiba. pp. 212-17.
- Cannell, R.Q. y Finney, J.R. 1973. Effects of direct drilling and reduced cultivation on soil conditions for root growth. *Outlook on Agriculture*, Bracknell, 7:184-9.
- Carvalho, O. de. (coord). 1973. Comportamento dos principais sistemas de produção da zona semiárida. En: *Plano integrado para o combate preventivo aos efeitos das secas no Nordeste*, Brasília: MINTER. (Brasil. MINTER. Desenvolvimento Regional. Monografias, 1). pp. 105-119.
- Castro Filho, C. 1989. Cordões em contorno e cordões de vegetação permanente. En: *Manual Técnico do Sub-programa de manejo e conservação do solo*. Curitiba. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Paraná. pp. 236-238.
- Cintra, F.L.D. 1980. Caracterização do impedimento mecânico em Latossolos do Rio Grande do Sul. 89p. Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 1980.
- Cochrane, T.T. y Barber, R.G. 1993. Análisis de Suelos y Plantas Tropicales. Centro de Investigación Agrícola Tropical y Misión Británica en Agricultura Tropical, Santa Cruz, Bolivia.
- Cook, M.G. y Lewis, W.M. (eds.) 1989. Conservation tillage for crop production in North Carolina. North Carolina Agricultural Extension Service, North Carolina State University, Raleigh, N.C. USA.
- Costa, M.B.B. da (Coord.); Calegari, A.; Mondardo, A.; Bulisani, E.A.; Wildner, L. do P.; Alcântara, P.B.; Miyasaka, S. y Amado, T.J.C. 1992. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, AS-PTA. 346 p.
- Curi, N. (Coord.). 1993. En colaboración con J.O.I. Larach, N. Kampf, A.C. Moniz y L.E.F. Fontes. Vocabulário de ciência do solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 90 p.
- Daker, A. 1988. Irrigação e drenagem: a água na agricultura, 7 ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: F. Bastos, v.3. 543 p. il.
- Daniel, L.A. 1989. Canais escoadouros e dissipadores. En: *Simpósio sobre terraceamento agrícola*, 1988, Campinas, SP. Anais. Fundação Cargill, Campinas. pp.233-255.
- Dent, D. y Young, A. 1981. *Soil survey and land evaluation*. Norwich, School of Environmental Sciences, University of East Anglia. 278 p.
- Derpsch, R. 1984. Alguns resultados sobre adubação verde no Paraná. En: *Adubação verde no Brasil*. Fundação Cargill, Campinas. pp. 268-79.
- Derpsch, R.; Sidiras, N. y Heinzmann, F.X. 1985. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesq. Agropec. Bras.* Brasília, 20 (7): 761-73.

- Duque, J.G. 1973. Algumas questões da exploração de açudes públicos. En: *Solo e água no polígono das secas*. 4. ed. Fortaleza : DNOCS, 1973. pp. 129-156. (DNOCS. Publicação,- 154).
- Duret, T.; Baron, V.; y Anjos, J.B. dos. 1986. "Systèmes de cultures" expérimentés dans le Nordeste du Bresil. *Machinisme Agricole Tropicale, Antony*, **94**, pp. 62-74.
- Edwards, J.H., Wood, C.W., Thurlow, D.L. y Ruf, M.E. 1992. Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludult soil. *Soil Science Society of America Journal*, **56**, 1577-1582.
- EMBRAPA (Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido). 1988. Irrigação por pivô central no Serviço de Produção de Sementes Básicas (Bebedouro II): avaliação técnico-econômica. Petrolina, PE. (EMBRAPA-CPATSA. *Documentos*, **51**) 100 p. EMBRAPA-CNPT, Passo Fundo. pp. 139-141.
- Erbach, D.C. 1994. Benefits of Tracked Vehicles in Crop Production. En: *Soil Compaction in Crop Production*. B.D. Soane and C. van Ouwerkerk (Eds.), Amsterdam.
- FAO. 1979. Yield response to water. J. Doorenbos y A.H. Kassam. FAO Irrigation and Drainage Paper **33**. Roma, FAO.
- Ferreira, L.A.B. 1984. Vegetação para a fixação de taludes. Trigo e Soja - *Boletim Técnico FECOTRIGO*, **74**, Porto Alegre. pp. 18-21.
- Finkel, H.J. 1986. Wind erosion. pp. 109-121. En: *Semiarid Soil And Water Conservation* H.J. Finkel, M. Finkel y Zeév Naveh (eds.), CRC Press Inc. Boca Ratón, Fl. USA.
- França da Silva, I. 1980. Efeitos de sistemas de manejos e tempo de cultivo sobre as propriedades físicas de um Latossolo. 70f. Tese (Mestr. Agron. - Solos) Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 1980. (não publicada).
- Franz, C.A.B.; y Alonço, A.S. 1986. Sulcador acoplável a semeadeiras-adubadeiras para a implantação de lavouras irrigadas por sulcos. EMBRAPA CPAC, Planaltina, DF. (EMBRAPA-CPAC. *Circular Técnico*, **24**). 22 p. il.
- Gogerty, R. 1995. When One Tillage System Isn't Enough. *The Furrow* **100**(4): 37-38.
- Guerra, P. de B. 1975. Agricultura de vazante - um modelo agronômico nordestino. En: *Seminário nacional de irrigação e drenagem*, **3.**, Fortaleza, CE. Anais. Recife: DNOCS/ABID, 1976. v. 4, pp. 325-33.
- Hull, W.X. 1959. Manual de conservação do solo. Secretaria da Agricultura dos Estados Unidos da América, Washington D.C. (Publicação TC-284) pp. 71-83.
- IAPAR (Fundação Instituto Agronômico do Paraná). 1978. Relatório Técnico Anual 1977 - Programa de Manejo e Conservação de Solos. Londrina, PR. pp. 221-231.
- IAPAR (Fundação Instituto Agronômico do Paraná). 1984. IAPAR 10 anos de pesquisa: relatório técnico 1972-1982. Londrina, PR, Relatório Técnico. 233 p.
- Kayombo, B. y Lal, R. 1994. Responses of Tropical Crops to Soil Compaction. En: *Soil Compaction in Crop Production*, B.D. Soane and C. van Ouwerkerk (Eds.). Amsterdam.
- Kepner, R.A., Bainer, R. y Barger, E.L. 1972. Chisel-type and multipowered tillage implements. En: *Principles of machinery*. 2. ed., Kepner, R.A.; Bainer, R.; Barger, E.L. Westport: AVI. 203 p.
- Kitamura, P.C. 1982. Agricultura migratória na Amazonia: un sistema viável? EMBRAPA-CPATU, Belém, PA. (EMBRAPA-CPATU. *Documentos*, **12**). 20 p. il.

- Klamt, E. 1978. Avaliação dos sistemas de classificação da capacidade de uso dos solos. En: *II Encontro nacional de pesquisa sobre conservação do solo*, 2, 1978, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo, EMBRAPA, CNPT. pp. 453-463.
- Klamt, E. y Stammel, J.G. 1984. Manejo adequado dos solos das encostas basálticas. Porto Alegre, *Trigo e Soja*, 74, pp. 4-11, julho/agosto.
- Klingebiel, A.A. y Montgomery, P.H. 1961. Land capability classification. *Agriculture Handbook*, 210. Washington, USDA. 21 p.
- Kohnke, H. 1968. Soil physics. McGraw Hill, New York. 224 p.
- Kohnke, N. y Bertrand, A.R. 1959. Soil Conservation. McGraw-Hill, New York. 298 p.
- Lal, R. 1975. Role of mulching techniques in tropical soil and water management. *IITA Technical Bulletin*, 1. IITA, Ibadan, Nigeria.
- Lal, R. 1985. A soil suitability guide for different tillage systems in the tropics. *Soil and Tillage Research*, 5: 179-196.
- Lal, R. 1995. Tillage systems in the tropics: Management options and sustainability implications. *Soils Bulletin* 71. FAO, Rome, Italy.
- Lal, R., De Vleeschauwer, D. y Malafa Nganje, R. 1980. Changes in properties of a newly cleared tropical Alfisol as affected by mulching. *Soil Science Society Am J.* 44: 827-833.
- Langdale, G.W., West, L.T., Bruce, R.R., Miller, W.P. y Thomas, A.W. 1992. Restoration of eroded soil with conservation tillage. *Soil Technology* 5: 81-90.
- Larson, W.E. 1964. Soil parameters for evaluating tillage needs and operations. *Soil Science Society of America Proceedings, Madison*. 28:118-22.
- Larson, W.E.; Eynard, A.; Hadas, A. y Lipiec, L. 1994. Control and Avoidance of Soil Compaction in Practice. En: *Soil Compaction in Crop Production*, B.D. Soane and C. Van Ouwerkerk (Eds.). Amsterdam.
- Lattanzi, A.R.; Meyer, L.D. y Baumgarner, M.F. 1974. Influences of mulch rate and slope steepness on interil erosion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison*. 38:946-50.
- Lepsch, I.F. (Coord.) 1983. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 175 p.
- Lepsch, I.F. (Coord.). 1991. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4a aprox. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 175 p.
- Lopes, P.R.C. 1984. Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo. Dissertação (Mestrado Agronomia). Fac. Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 116 p.
- Lopes, P.R.C., y Brito, L.T. de L. 1993. Erosividade da chuva no Médio São Francisco. *Revista brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 17, n.1, pp. 129-133.
- Lorenzi, H. 1984. Inibição alelopática de plantas daninhas. En: *Adução verde no Brasil*. Fundação Cargill, Cap. 20, Campinas. p. 1983-98.

- Lowry, F.E., Taylor, H.M., y Huck, M.G. 1970. Root elongation rate and yield of cotton as influenced by depth and bulk density of soil pans. *Soil Science Society America Proceeding, Madison*, **34**:306-9.
- Mannering, J.V. y Meyer, L.D. 1963. The effect of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. *Soil Sci.Soc.Am. Proc., Madison*, **27**:84-6.
- Marques, J.Q.A. 1971. Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra. 3ª aprox. Rio de Janeiro, IBGE. 433 p.
- Mazuchowski, J.Z., y Derpsch, R. 1984. Guia de preparo do solo para culturas anuais mecanizadas. ACARPA, Curitiba. 65 p. ii.
- Mejía, M. 1984. Nombres Científicos y Vulgares de Especies Forrajeras Tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 75p.
- Meyer, L.D.; Wischmeier, W.H. y Foster, G.R. 1970. Mulch rates required for erosion control on steep slopes. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc., Madison*, **34**:928-31.
- Mielniczuk, J. y Schneider, P. 1984. Aspectos sócioeconômicos do manejo de solos no sul do Brasil. En: *I Simpósio de manejo do solo e plantio direto no sul do Brasil e III Simpósio de conservação de solos do planalto*. Passo Fundo, RS, 1983. Anais.
- Miyasaka, S. 1984. Histórico de estudos de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. En: *Encontro nacional sobre adubação verde*, 1, 1983, Rio de Janeiro. Adubação verde no Brasil. Fundação Cargill, Campinas. pp. 64-123.
- Monegat, C. 1981. A ervilhaca e o cultivo mínimo. ACARESC, Chapecó. 24p.
- Monegat, C. 1991. Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades. Ed. do autor, Chapecó. 337 p.
- Mullins, C.E., MacLeod, D.A., Northcote, K.H., Tisdall, J.M. y Young, I.M. 1990. Hardsetting soils: Behaviour, Occurrence and Management. *Adv. Soil Sci.* **11**, 37-108.
- Musgrave, G.W. y Nichols, M. L. 1942. Organic matter in relation to land use. *Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison*. **7**:22-28.
- Muzilli, O.; Oliveira, E.E.; Gerage, A.C. y Tornero, M.T. 1983. Adubação nitrogenada em milho no Paraná: III. Influência da recuperação do solo com adubação verde de inverno na resposta à adubação nitrogenada. *Pesq. Agropec. Bras., Brasília*, **18** (1): 23-27.
- Muzilli, O.; Vieira, M.J. y Parra, M.S. 1980. Adubação verde. En: *Manual Agropecuário para o Paraná*, Capítulo 3, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná. pp. 76-93.
- Naderman, G.C. Jr 1990. An overview: Subsurface compaction and subsoiling in North Carolina. North Carolina Agricultural Extension Service, North Carolina State University, Raleigh, N.C. USA.
- Nangju, D., Wien, H.C. y Singh, T.P. 1975. Some factors affecting soybean viability and emergence in the lowland tropics. *Proc. Soybean Research Conference*, Urbana, 3-8 Agosto 1975.
- Orellana, M., Barber, R.G. y Díaz, O. 1990. Effects of deep tillage and fertilization on the population, growth and yield of soya during exceptionally wet season on a compacted sandy loam, Santa Cruz, Bolivia. *Soil and Tillage Research*, **17**: 47-61.
- Paningbatan, E.P. Ciesiolka, C.A., Coughlan, K.J. y Rose, C.W. 1995. Alley dopping for managing soil erosion of hilly lands in the Phillipines. *Soil Technology*, **8**: 193-204.

- Prentice, A.N. 1946. Tie-ridging with special reference to semi-arid areas. *East African Agricultural Journal* **12**: 101-108.
- Pundek, M. O. 1985. Manual de Conservação do Solo. ACARESC, Florianópolis. 23 p.
- Ramalho Filho, A., Pereira, E.G. y Beek, K.J. 1978. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. Brasília, EMBRAPA, SNLCS. 70 p.
- Ramalho Filho, A. y Beek, K.J. 1995. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3 ed. Brasília, EMBRAPA, CNPS. 65 p.
- Ramalho Filho, A., Pereira, E.G., y Beek, K.J. 1977. Sistema de avaliação da aptidão agrícola do solo. Brasília, SUPLAN. 26 p.
- Resende, M., Curi, N., Rezende, S.B., y Corrêa, G.F. 1995. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa, NEPUT. 304 p.
- Reynolds, R. 1995. New Ways to Break Old Ground; Deere Br Company, Moline/Illinois, USA.
- Rice, R.W. (ed.) 1983. Fundamentals of no-till farming. American Association for Vocational Instructional Materials, Athens, GA. USA.
- Rio Grande do Sul. 1985. Secretaria da Agricultura. Manual de Conservação do Solo. 3 ed. atualizada. Porto Alegre. 287 p.
- Rockwood, W.G. y Lal, R. 1974. Mulch Tillage: A technique for soil and water conservation in the tropics. *SPAN* **17**: 77-79.
- Rowell, D.L. 1994. Soil Science: methods and applications. London. Longman. 350 p.
- Rufino, R.L. 1989. Terraceamento. En: *Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação do Solo*, Curitiba. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Paraná. pp. 218-235.
- Santos, H.P. dos; Reis, E.M. y Pottker, D. 1987. Efeito da rotação de culturas no rendimento de grãos e na ocorrência de doenças radiculares de trigo (*Triticum aestivum*) e de outras culturas de inverno e de verão de 1979 a 1986. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, (*Documentos*, **7**). 38 p.
- Scherer, E.E. y Baldissera, I.T. 1988. Mucuna: a proteção do solo em lavoura de milho. *Rev. Agrop. Catarinense*, Florianópolis, **1**(1): 21-25.
- Sharma, B.R. 1991. Effect of different tillage practices mulch and nitrogen on soil properties, growth and yield of fodder maize. *Soil and Tillage Research*, **19**: 55-66.
- Sharma, R.D.; Pereira, J. y Resck, D.V.S. 1982. Eficiência de adubos verdes no controle de nematódes associados a soja nos cerrados. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, (*Boletim de Pesquisa*, **13**) 30p.
- Shaxson T.F., Hudson, N.W., Sanders, D.W., Roose, E. y Moldenhauer, W.C. 1989. Land husbandry: a framework for soil and water conservation. Soil and Water Conservation Society and the World Association of Soil and Water Conservation, Ankeny, Iowa, USA.
- Sidiras, N. y Roth, C.H. 1984. Medições de infiltração com infiltrômetros e em simulador de chuvas em Latossolo Roxo distrófico, Paraná, sob vários tipos de cobertura do solo e sistema de preparo. En: *Congresso Brasileiro de conservação do solo*, **5**. Porto Alegre, RS. 1984. Resumos. Porto Alegre.
- Silva, A. de S., y Porto, E.R. 1982. Utilização e conservação de recursos hídricos em áreas rurais do Trópico Semi-árido do Brasil: tecnologias de baixo custo. Petrolina, PE. EMBRAPA-CPATSA. (EMBRAPA-CPATSA. *Documentos*, **14**). 128 p. il.

- Silva, D.A., Silva, A.S., y Gheyi, H.R. 1981. Pequena irrigação para o trópico semi-árido: Vazantes e cápsulas porosas. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA. (EMBRAPA - CPATSA. *Boletim de Pesquisa*, **3**). 59 p. il.
- Silva, E.; Teixeira, L.A.J. y Amado, T.J.C. 1993a. Kit de microtrator para cultivo mínimo da cebola. En: *Encontro Latinoamericano sobre plantio direto na pequena propriedade*, **1**, Ponta Grossa. Anais. IAPAR, Ponta Grossa. pp. 265-270.
- Silva, F.B.R.E., Riché, G.R., Tonneau, J.P., Souza Neto, N.C. de, Brito, L.T. de L., Correia, R. C., Cavalcanti, A.C., Silva, F.H.B.B. da, Silva, A.B. da, y Araújo Filho, J.C. de. 1993b. Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico. Petrolina, PE: EMBRAPA - CPATSA/Recife: EMBRAPA - CNPS, Coordenadoria Regional Nordeste. v. 1 il.
- Singer, M.J. Matsuda, Y. y Blackard, J. 1981. Effect of mulch rate on soil loss by raindrop splash. *Soil Sci. Soc. Am. Journal, Madison*. **45**: 101-110.
- Singer, M.J. y Blackard, J. 1978. Effect of mulching on sediment in runoff from simulated rainfall. *Soil Sci. Soc. Am Proc.*, Madison. 42:481-86.
- Sloneker, L.L. y Moldenhauer, W.C. 1977. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. *Journal Soil and Water Conservation, Ankeny, Iowa*, **32**(5): 231-236.
- Soares, J.M. 1988. Sistema de irrigação por inundação. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, (EMBRAPA-CPATSA, *Documentos*, **55**). 49 p. il.
- Sobral Filho, R.M., Madeira Neto, J. Das, Freitas, P.L. de, y Silva, R.L.P. da. 1980. Práticas de Conservação de Solos. (EMBRAPA-SNCLS, Miscelânea, 3). EMBRAPA-SNCLS, Rio de Janeiro. 88 p.
- Steiner, J.L., Schomberg, H.H. y Morrison, J.E. 1994. Residue decomposition and redistribution. En: *Crop residue management in the southern Great Plains*. U.S. Dept. Agric., Agric. Res. Serv. Info. Staff, Beltsville, MD, USA.
- Streck, E.V. 1992. Levantamento de solos e avaliação do potencial agrícola das terras da microbacia do Lageado Atafona (Santo Ângelol/RS). Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 167p. Diss. mest. em Agronomia - Ciência do Solo.
- Taylor, J.H. 1994. Development and Benefits of Vehicle Gantries and Controlled Traffic Systems. En: *Soil Compaction in Crop Production*, B.D. Soane and C. van Ouwerkerk (Eds.). Amsterdam.
- Tuler, V.V.; Nascif, A.F.; Souza, D. de; Azevedo, H.J. de. 1983. Controle da irrigação pelo tanque classe A. Piracicaba: Programa Nacional de Melhoramento de Cana-de Açúcar. 12p.
- Uberti, A.A.A. 1985. Alternativas para uso adequado dos solos do Oeste e Vale do Rio do Peixe. Florianópolis, EMPASC. *Comunicado Técnico*, **85**. 7 p.
- Unger, P.W., Jones, O.R. y Laryea, K.B. 1995. Sistemas de labranza y prácticas de manejo de suelos para diferentes condiciones de tierras y climas. En: *Memorias de la segunda reunión bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista*, Eds. I. Pla Sentís y F. Ovalles, Guanare, Acarigua, Venezuela, RELACO. pp. 82-117.
- Valdiviezo Salazar, C.R.; Cordeiro, G.G. 1985. Perspectivas do uso das águas subterrâneas do embasamento cristalino no Nordeste semi-árido do Brasil. Petrolina, PE: EMBRAPA - CPATSA. (EMBRAPA - CPATSA. *Documentos*, **39**). 40 p. il.
- Vermeulen, G.D. and Perdok, U.D. 1994. Benefits of Low Ground Pressure Tyre Equipment. En: *Soil Compaction in Crop Production*, B.D. Soane and C. van Ouwerkerk (Eds.). Amsterdam.

- Vieira, M.J. 1987. Solos de baixa aptidão: opções de uso e técnicas de manejo e conservação. (IAPAR, Circular No. 51). IAPAR, Londrina. 68 p.
- Voorhees, W.B., Senst, C.G., y Nelson, W.W. 1978. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the Northern Corn Belt. *Soil Science Society of America Journal, Madison* **42**:344-9.
- Wieneke, F. and Th. Friedrich, 1989: Agricultural Engineering in the Tropics and Subtropics; Centaurus Verlag, Pfaffenweiler.
- Wildner, L. do P. 1990. Adubação verde, cobertura e recuperação do solo em sistemas diversificados de produção. Chapecó, EMPASC/CPPP, 1986. 79 p. (EMBRAPA, PNP Manejo e Conservação do Solo. Projeto 04386007/1). Relatório final.
- Wildner, L. do P. y Massignam, A.M. 1994a. Ecofisiologia de alguns adubos verdes de verão: I. Produção de fitomassa - resultados preliminares. En: *Reunião Centro-sul de adubação verde e rotação de culturas*, **4**, 1993, Passo Fundo, RS. Anais. (EMBRAPA - CNPT. Documentos, 14).
- Wildner, L. do P. y Massignam, A.M. 1994b. Ecofisiologia de alguns adubos verdes de verão: II. Produção de grãos - resultados preliminares. En: *Reunião Centro-sul de adubação verde e rotação de culturas*, **4**, 1993, Passo Fundo, RS. Anais. (EMBRAPA - CNPT. Documentos, **14**) EMBRAPA-CNPT, Passo Fundo. pp. 142-146.
- Wildner, L. do P. y Massignam, A.M. 1994c. Ecofisiologia de alguns adubos verdes de verão: III. Curva de cobertura do solo - resultados preliminares. En: *Reunião Centro-sul de adubação verde e rotação de culturas*, **4**, 1993, Passo Fundo, RS. Anais. EMBRAPA-CNPT, Passo Fundo. pp. 147-150. (EMBRAPA- CNPT. Documentos, 14).
- Wilson, G.F., Lal, R. y Okigbo, B.N. 1982. Effects of cover crops on soil structure and on yield of subsequent arable crops grown under strip tillage on an eroded Alfisol. *Soil and Tillage Research*, **2**: 233-250.
- Wishmeier y Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook*, 537. USDA. 58 p.
- Wutke, E.B. 1993. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. En: *Curso sobre Adubação Verde no Instituto Agrônomo*, **1**. Wutke, E.B.; Bulisani, E.A. & Mascarenhas, H.A.A. Instituto Agrônomo, (Documentos IAC, 35), Campinas. pp. 17-29.
- Zenker, R. 1978. Conservação do solo: práticas conservacionistas. (mimeografado). Secretaria da Agricultura, Porto Alegre. 34 p.

Anexo 1

Comparación de la eficiencia de trabajo de los implementos de labranza

IMPLEMENTOS DE LABRANZA

1. Labranza convencional

“Rome plow” de 16 discos de 26" (66 cm)
Ancho 1,65m, velocidad 6 km/h
Eficiencia de trabajo= 9,9 ha/día (10 h)

Rastra liviana de 36 discos de 22" (56 cm)
Ancho 3 m, velocidad 7 km/h
Eficiencia de trabajo= 21 ha/día (10 h)

2. Labranza vertical

Arado cincel rastrojero de 9 brazos:
Ancho 3,15m, velocidad 6 km/h
Eficiencia de trabajo = 18,9 ha/día (10 h)

Vibrocultivador de 34 brazos:
Ancho 3,4 m, velocidad 10 km/h
Eficiencia de trabajo= 34 ha/día (10 h)

TIEMPO NECESARIO PARA PREPARAR 100 HA CON UN TRACTOR DE 90 HP

1. Labranza convencional

- 1 pasada “Rome Plow” +2 pasadas rastra liviana de discos
 $= 10,10 \text{ días} + 4,76 \text{ días} \times 2 = 19,6 \text{ días}$
- 2 pasadas “Rome Plow” + 2 pasadas rastra liviana de discos
 $= 10,10 \text{ días} \times 2 + 4,76 \text{ días} \times 2 = 29,7 \text{ días}$

2. Labranza vertical

- 1 pasada arado cincel + 2 pasadas vibrocultivador
 $= 5,29 \text{ días} + 2,94 \text{ días} \times 2 = 11,2 \text{ días}$
- 2 pasadas arado cincel + 2 pasadas vibrocultivador
 $= 5,29 \text{ días} \times 2 + 2,94 \text{ días} \times 2 = 16,5 \text{ días}$

Anexo 2

Costos de adquisición y de mantenimiento de los implementos de labranza

COSTOS DE ADQUISICIÓN DE LOS IMPLEMENTOS (EN \$ EE.UU.)

1. Labranza Convencional

“Rome Plow” de 16 discos de 26" (66 cm)	4 400
Rastra liviana de 36 discos de 22" (56 cm)	2 200

Total	6 600

2. Labranza Vertical

Arado cincel de 9 brazos y 3,15m de ancho	3 500 (2 500)*
Vibrocultivador de 34 brazos y 3,4m ancho	3 100 (1 700)
Desbrozador de 1,8m de ancho	2 000 (2 000)

Total	8 600 (6 200)

*Los precios dados entre paréntesis se refieren a los implementos fabricados en Santa Cruz.

COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LOS IMPLEMENTOS DURANTE 10 AÑOS (EN \$ EE.UU.)

1. Labranza convencional

a. “Rome Plow”	
Cambio de 16 discos cada 2 años	3 200
Cambio de 16 cojinetes cada 10 años	1 000
b. Rastra liviana de Discos	
Cambio de 36 discos cada 2 años	2 500
Cambio de 36 cojinetes cada 10 años	1 300
Grasa (10 kg/año)	225

Total	8 225

2. Labranza vertical

a.	Arado Cincel Rastrojo	
	Cambio de 9 puntas cada 2 años	450
b.	Vibrocultivador (importado)	
	Cambio de 34 puntas cada 2 años	700
c.	Desbrozadora	
	Cambio de cuchillas 2 veces por año	400
	Cambio de correas 2 veces por año	400
	Cambio de aceite 3 veces por año	200

	Total	2 150

Nota: Estos costos se calculan para 10 años en base a una propiedad de 100 ha. No se toma en cuenta la mano de obra para cambiar discos, cojinetes o puntas, ni para engrases. Se consideran cinco pasadas por año de cualquiera de los implementos indicados y se cambian los discos y las puntas después de 1 000 ha.

RESUMEN DE LOS COSTOS DE ADQUISICIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS IMPLEMENTOS MÁS IMPORTANTES PARA LAS LABRANZAS VERTICAL Y CONVENCIONAL (EN \$ EE.UU.)

1. Labranza Convencional

“Rome plow”	8 600
Rastra liviana de discos	6 225

Total	14 825

2. Labranza Vertical

Arado cincel rastrojero	3 950 (2 950)*
Vibrocultivador	3 800 (2 400)
Desbrozadora	3 000 (3 000)

Total	10 750 (8 350)

* Los precios en paréntesis se refieren a implementos fabricados en Santa Cruz.

Anexo 3

Cuaderno de planificación participativa de nuestra comunidad

Primera Parte ¿Quiénes somos?

1. En nuestra comunidad habitan:

(F)1,A	_____ Familias
(P)1,B	_____ Personas
(M)1,C	_____ Mujeres
(H)1,D	_____ Hombres
(+65)1,E	_____ Mas de 65 años de edad
(+14)1,F	_____ Mas de 14 años de edad
(+7)1,G	_____ Mas de 7 años de edad y menos de 14
(-7)1,H	_____ Menos de 7 años de edad

Segunda parte

¿Dónde estamos?

2. Nuestra comunidad esta localizada en:

2.1	Continente	
2.2	País	
2.3	Estado	
2.4	Municipio	
2.5	Cuenca	
2.6	Subcuenca	
2.7	Microcuenca	
2.8	Comunidad	

Tercera Parte

¿Qué tenemos?

3. Organización de nuestra comunidad

(A)3.1	Nuestra comunidad tiene _____ ha de tierra
(AF)3.2	Cada familia tiene en promedio _____ ha de tierra
(D)3.3	La distancia de nuestra comunidad hasta la ciudad es de _____ km
(E)3.4	Nuestra comunidad tiene _____ escuelas
(I)3.5	Nuestra comunidad tiene _____ iglesias
(O)3.6	Nuestra comunidad tiene _____ asociaciones y organizaciones comunitarias
(L)3.7	Los principales líderes son: _____ _____
(AE)3.8	Nuestra comunidad tiene agua entubada <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
(RE)3.9	Nuestra comunidad tiene red eléctrica <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
(T)3.10	Nuestra comunidad tiene transporte colectivo <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No
(TE)3.11	Nuestra comunidad tiene teléfono <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No

Cuarta parte

¿Cuáles son nuestros problemas?

4. Los problemas de contaminación ambiental en nuestra comunidad pueden ser considerados

Grado de evaluación	Adecuados (1)	Tolerables (2)	Preocupantes (3)	Graves (4)	Gravísimos (5)
	●	●	○	●	○

Variables	Evaluación	¿Por qué?
(L) Basura doméstica	○	
(ES) Desecho industrial	○	
(AG) Uso de agroquímicos	○	
(ER) Erosión hídrica	○	
(D) Estiércol	○	
Otros problemas	○	

Quinta parte

¿Cuáles son nuestros problemas?

5. Nuestros problemas socioeconómicos pueden ser considerados

Grado de evaluación	Adecuados (1)	Tolerables (2)	Preocupantes (3)	Graves (4)	Gravísimos (5)
	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Problemas	Evaluación	¿Por qué?
(S) Salud	<input type="radio"/>	
(AN) Analfabetismo	<input type="radio"/>	
(AP) Agua potable	<input type="radio"/>	
(L) Luz	<input type="radio"/>	
(AL) Alimentación	<input type="radio"/>	
(M) Vivienda	<input type="radio"/>	
(ES) Caminos	<input type="radio"/>	
(T) Transporte	<input type="radio"/>	
(RE) Renta	<input type="radio"/>	
Otros	<input type="radio"/>	

Sexta parte

¿Cuáles son nuestras relaciones con la naturaleza?

6. ¿Cuál es la importancia de los recursos naturales, suelo y agua para nuestra comunidad?

Grado de Evaluación	Adecuados (1)	Tolerables (2)	Preocupantes (3)	Graves (4)	Gravísimos (5)
	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

6.1 Suelo	Evaluación	¿Por qué?
(L) Labranza	<input type="radio"/>	
(P) Pecuaria	<input type="radio"/>	
(F) Bosques	<input type="radio"/>	
Otros	<input type="radio"/>	
6.2 Agua		
(CH) Consumo humano	<input type="radio"/>	
(I) Industrial	<input type="radio"/>	
(IR) Riego	<input type="radio"/>	
(L) Hogar	<input type="radio"/>	
(CA) Consumo animal	<input type="radio"/>	
(O) Otros	<input type="radio"/>	

Séptima parte

¿Cuáles son los problemas de manejo del suelo en nuestra comunidad?

7. Los problemas de manejo del suelo en nuestra comunidad pueden ser considerados

Grado de Evaluación	Adecuados (1)	Tolerables (2)	Preocupantes (3)	Graves (4)	Gravísimos (5)
	●	●	○	●	○

Suelo	Evaluación	¿Por qué?
(F) Fertilidad	○	
(C) Compactación	○	
(M) Movilización excesiva	○	
(FC) Falta de cobertura vegetal	○	
(Q) Quema de residuos de cosecha	○	
(I) Incorporación de residuos de cosecha	○	
(E) Erosión de suelos	○	
(V) Cárcavas	○	
(NM) Nivel de materia orgánica	○	
(AM) Almacenaje de agua	○	
(U) Uso del suelo fuera de la aptitud natural	○	
Otros	○	

Acción participativa en el plan de ejecución

PRIORIZACIÓN DE LAS ACCIONES

¿Cómo podremos solucionar los problemas de contaminación ambiental en nuestra comunidad?

1. _____

2. _____

3. _____

¿Cómo podremos solucionar los problemas socioeconómicos que tenemos en nuestra comunidad?

1. _____

2. _____

3. _____

¿Cómo podremos solucionar los problemas de manejo del suelo en nuestra comunidad?

1. _____

2. _____

3. _____

¿Qué puede ayudar a solucionar nuestros problemas de contaminación ambiental?

1. _____

2. _____

3. _____

¿Cuándo podremos solucionar los problemas de contaminación ambiental?

1. _____

2. _____

3. _____

¿Cuándo podremos solucionar los problemas socioeconómicos de la comunidad?

1. _____

2. _____

3. _____

Mapas temáticos de diagnóstico

MAPA TEMÁTICO DEL DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Este mapa es elaborado en base a las informaciones consignadas en el cuaderno participativo (cuarta parte), referentes a los problemas del medio ambiente en la microcuenca.

INDICADOR

SÍMBOLO

LEYENDA

Basura doméstica

(L)

Desecho industrial

(ES)

Uso agroquímicos

(AG)

Erosión hídrica

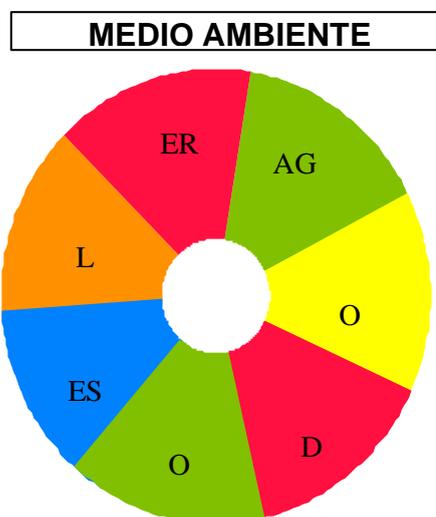
(ER)

Desechos de animales

(D)

Otros problemas

(O)



SÍNTESIS DEL DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Microcuenca.....

Comunidad	(L)	(ES)	(AG)	(ER)	(D)	(O)
01						
02						
03						
04						
05						
Total						

