GOBIERNO DE CHILE
INIA - RAYENTUÉ

GOBIERNO DE CHILE
SAG

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Métodos y Prácticas de Conservación de Suelos y Aguas

EDITORES:
JORGE CARRASCO J.
JORGE RIQUELME S.

ISSN 0717 - 4829

BOLETÍN INIA N° 103

Editores: Jorge Carrasco Jiménez
Ingeniero Agrónomo Dr.
INIA - Rayentué

Jorge Riquelme Sanhueza
Ingeniero Agrónomo Dr.
INIA - Raihuén

Director Responsable:
Marcelo Zolezzi V.
Director Regional INIA - Rayentué

Boletín INIA Nº 103

Cita bibliográfica correcta:
Carrasco, J. y Riquelme, J., 2003. Métodos y Prácticas
de Conservación de Suelos y Aguas.
Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA.
Rancagua, Chile. Boletín INIA Nº 103. 132 p.

INIA-Rayentué, Avda. Salamanca s/n, sector Los Choapinos,
km 104 Ruta 5 Sur, Rengo, VI Región. Teléfono (72) 685045,
e-mail: inia@rayentue.inia.cl
Casilla Postal 890 - Rancagua.

ISSN 0717-4829

Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin autorización
del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA),
Ministerio Agricultura.

Diseño y Diagramación: Jorge Berríos V.
Impresión: Impresos CGS Ltda.

Cantidad de ejemplares: 300

Santiago, Chile, 2003.

GOBIERNO DE CHILE
INIA - RAYENTUÉ

GOBIERNO DE CHILE
SAG

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Métodos y Prácticas de Conservación de Suelos y Aguas

Jorge Carrasco J.
INIA - Rayentué
Jorge Riquelme S.
INIA - Raihuén

Santiago de Chile, 2003

ISSN 0717 - 4829

BOLETÍN INIA - Nº 103

A la memoria de Don Mario Peralta P.,
cuya contribución y aporte a la
Conservación de Suelos en Chile
ha sido y será todo un ejemplo.

Agradecimientos

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), a través de su Centro Regional Rayentué, agradecen a todos los que de una u otra forma colaboraron y permitieron sacar adelante el proyecto "**Conservación de los Recursos Suelo, Agua, y Biodiversidad Vegetal, para un Manejo Integral y Sustentable para el Secano de la VI Región de Chile**", el cual permitió generar información técnica agronómica fundamentada, sobre las distintas técnicas de manejo conservacionista de suelos, para hacer más competitiva nuestra agricultura frente a los desafíos que nos plantea la agricultura mundial.

Los editores, agradecen en particular:

- Al Servicio Agrícola y Ganadero de la VI Región, que a través del Departamento de Recursos Naturales, de esa institución, participó en la supervisión de las actividades del Proyecto. En especial a la gestión y dedicación de los Ingenieros Agrónomos, Sres. Jorge Moya y Rodrigo Astete, y a la Encargada de Finanzas Sra. Nora Veloso G.

- Al Fondo SAG, el cual aprobó y financió este proyecto confiando en las capacidades de los profesionales de INIA, y en los técnicos y productores de la zona del secano costero e interior de la VI Región de Chile y su respuesta al cambio tecnológico. En especial, a los Sres. Pablo Silva, Pedro Latournerie, Marcelo Osandón, y Sra. Viviana Dinamarca.

- Al Director Regional del Servicio Agrícola y Ganadero de la VI Región, Sr. Patricio Estrada, por su apoyo a la gestión y desarrollo del proyecto.

- Al Encargado Nacional del SIRSD del SAG, Sr. Germán Ruiz, por su entusiasmo y apoyo constante para conseguir los objetivos del proyecto y de este boletín.

- Al SEREMI de Agricultura de la VI Región, Sr. Carlos Felipe Vergara, por su apoyo a las actividades de divulgación técnica del proyecto.

- A los profesionales del DEPROREN, del SAG, Sres. Mario Lagos y Rodolfo Freres, por sus valiosas sugerencias y recomendaciones para el manejo y establecimiento de las distintas técnicas de Conservación de Suelos de los trabajos de terreno.

- Al GTT Litueche, cuyo patrocinio del proyecto garantizaron el cumplimiento de los objetivos y metas propuestos optimizando la utilización de los recursos disponibles. En particular a la gestión de los Sres. Samuel Yrarrázaval, Virgilio Cozzi, Eduardo Parraguez, Juan Eduardo Castillo, Hector Doberti, Antonio Doberti, y Juan Carlos Lagos.

- A todos los productores que facilitaron y gentilmente cedieron parte de sus predios para la ejecución de las Unidades Demostrativas realizadas el Secano Costero e Interior de la Provincia Cardenal Caro. En especial a los Sres. Eduardo Parraguez, Sergio Lecaros, José Joaquín Pérez, Julio Sepúlveda, Ricardo Piraino, Juan Silva, Juan Erazo, Jorge Vidal, y Ramón Valenzuela.

- A todas las personas que de una u otra forma tuvieron participación en este trabajo. A los profesionales Nicole Hewstone, Fernando Squella, Jorge Vergara, Oscar Reckmann, y Pamela Díaz los cuales participaron en la formulación y desarrollo de este proyecto. A Daniela Alvarez, Soledad Huerta, Camila Muñoz, José Manuel Gortazar, Gustavo Lizana, Claudia Cabeza, Crescente Pérez, Patricio Donoso, Flavio Durán, Luis Silva, Marisol Ñuñoz, Blanca Olmedo, Marcela Olmedo, Cecilia Arriagada, Patricia Parra, Verónica Unda, Juan Francisco Figueroa, René González, y Emilio Silva, por su participación en las actividades del proyecto.

Tabla de Contenidos

Pág.

Prólogo 19

Capítulo 1. El Suelo y la Erosión 23

1. Concepto del suelo 25

2. Algunas propiedades del suelo de importancia para la agricultura 26
   2.1 Textura 26
   2.2 Estructura del suelo 28

3. Degradación del Suelo 30
   3.1 Degradación del medio físico 31
   3.2 Degradación del medio químico 32
   3.3 Degradación del medio biológico .. 32

4. La erosión del suelo 32
   4.1 Erosión hídrica 33
      4.1.1 Factores de erosión 34
      4.1.2 Formas de erosión 35
         4.1.2.1 Erosión de manto o laminar .. 35
         4.1.2.2 La erosión en surcos 36
         4.1.2.3 Erosión de zanjas 36
         4.1.2.4 Erosión de cárcava 36
         4.1.2.5 Erosión por flujo subsuperficial o túnel 36

5. Compactación y formación de capas endurecidas 37
   5.1. Identificación de la compactación 39

6. La labranza convencional y la degradación de suelos 41
6.1. Labranza convencional 41

Capítulo 2. Técnicas de Conservación y Recuperación de Suelos y Aguas 45

1. Técnicas Vegetativas 49
1.1 Barreras vivas 49
1.1.2 Construcción 50
1.1.3 Mantención 52
1.2. Abonos verdes 52
1.3. Cero labranza 54

Construcción de instrumentos adecuados para el Trazado de Curvas de Nivel 55

2. Técnicas Mecánicas 57
2.1 Subsolado en camellón 57
2.2 Surcos de infiltración 58
2.1.1 Construcción 59
2.1.1.1 Trazado en pendiente uniforme 59
2.1.1.2 Trazado en pendiente no uniforme 60
2.2.2 Mantención 61
2.2.3 Evaluación del efecto de los surcos de infiltración 61
2.3 Canal de desviación de aguas lluvias 62
2.4 Zanjas de infiltración 66
2.4.1 Construcción 67
2.4.2 Mantención 69
2.5 Pircas 71
2.5.1. Construcción 72
2.5.2 Mantención 73
2.6 Terrazas y andenes 74

2.6.1 Criterios de selección de una terraza 74

3. Recuperación de Cárcavas 76
3.1 Clasificación de las cárcavas 76
3.2. Etapas para el control de cárcavas pequeñas y medianas 77
3.2.1 Trazado de una zanja o canal de desviación de aguas lluvia 77
3.2.2 Peinado de la cárcava 78
3.2.3 Repoblamiento de la ladera 78
3.2.4 Construcción de barreras físicas al interior de la cárcava 79

4. Pendientes, distancias de estructuras de conservación de suelos y trazado de curvas a nivel 81
4.1 Pendiente 81
4.2 Distancia entre estructuras 83
4.3 Curvas a nivel 84
4.4 Trazado de curvas de nivel 85

5. Planificación de técnicas de manejo conservacionista 87
5.1 Control de escurrimiento superficial 87
5.2 Establecimiento de sistemas de producción sustentables 87
5.3 Elección de las técnicas de control 88
5.4 Análisis de costos y beneficios 88
5.5 Enfoque de manejo integrado 88

Capítulo 3. Manejo Conservacionista del Suelo 91

1. Labranza con rastrojos 95

1.1 Arado cincel 96
1.1.1 Condiciones de trabajo 97
1.1.2 Regulaciones 98
1.1.2.1 Nivelación del arado 98
1.1.2.2 Profundidad de trabajo 99

2. Cero labranza 101
2.1 Sistema mecanizado para medianos y grandes empresarios agrícolas 102
2.1.1 Selección del tractor para la cero labranza 102
2.1.2 Sembradoras 105
2.1.2.1 Sembradoras en líneas a chorrillo 106
2.1.3 Pulverizador 111
2.2 Manejo de rastrojos 113
2.3 Adecuación del suelo 114

3. Sistema mecanizado para pequeños agricultores 117
3.1 Adecuación de suelo 118
3.2 Manejo de rastrojos 122
3.3 Control de malezas 122
3.4 Siembra 122

Bibliografía consultada 125

Índice de Figuras

Figura 1. Comparación de la capacidad de infiltración de agua en un suelo arenoso y otro arcilloso 28

Figura 2. Compactación de suelo por acción de las ruedas del tractor 38

Figura 3. Uso de nivel tipo "A" y estacas para trazado de curvas a nivel 51

Figura 4. Acodos. Forma de reproducción vegetativa para aumentar la densidad de barreras vivas 53

Figura 5 a, b y c. Secuencia de construcción de un nivel tipo "A" 55

Figura 6. Medidas para la construcción de nivel de caballete 56

Figura 7. Trazando la línea sin caída para la zanja de infiltración 67

Figura 8. Construcción de zanjas 68

Figura 9. Depositando la tierra en la parte baja de la zanja, a unos 20 centímetros de distancia 68

Figura 10. Realizando el mantenimiento de la zanja de infiltración 70

Figura 11. Evitar el paso de animales o que transiten por los bordes de la zanja 70

Figura 12. Clinómetro de madera 82

Figura 13. Trazado de curvas a nivel con caballete y arado de vertedera 86

Figura 14. Regulación longitudinal del arado cincel 99

Figura 15. Regulación transversal del arado cincel 99

Figura 16. Regulación de la profundidad de aradura del arado cincel 100

Figura 17. Arado cincel de tiro animal 119

Índice de Fotografías

Foto 1. Suelo sin cobertura vegetal susceptible a erosión de manto. (Litueche, VI Región) 35

Foto 2. Erosión de cárcavas, máxima expresión de suelo erosionado, Paredones, VI Región 37

Foto 3. Corte vertical del suelo evidenciando problemas de compactación subsuperficial 40

Foto 4. Aradura de inversión de suelo 42

Foto 5. Subsolado con camellón, para una plantación de olivos en curvas de nivel. Pichilemu, VI Región 57

Foto 6. Surco de infiltración en una empastada natural 59

Foto 7. Uso de pircas al interior de una cárcava para reducir el flujo de agua. La Estrella, VI Región 71

Foto 8. Trazado de la base para la construcción de pircas 73

Foto 9. Cultivo de maiz y alfalfa en terrazas. Combarbalá, IV Región 75

Foto 10. Plantación de nectarines en terrazas con curvas a nivel, localidad Lo Miranda, Sector El Cerrro, Doñihue, VI Región 75

Foto 11. Uso de cerca de protección en el contorno de una cárcava. 79

Foto 12. Sacos rellenos con tierra como reductores de la velocidad del flujo del agua 80

Foto 13. Uso de lampazos y fardos para el control de cárcavas, Marchigue, VI Región 81

Foto 14. Uso de instrumentos topográficos para el trazado de curvas de nivel 84

Foto 15. Arado cincel en labor de aradura 97

Foto 16. Sembradora cero labranza con abresurco de disco simple o monodisco 106

Foto 17. Máquinas trituradoras de rastrojos accionada por el toma de fuerza del tractor 115

Foto 18. Demostración de uso de arado cincel de tiro animal para pequeños agricultores 121

Foto 19. Sembradora de tiro animal con abridor de surco tipo cincel 123

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Distancia a que deben trazarse las líneas guías en cultivos a nivel, según la pendiente del terreno 60

Cuadro 2. Valores del coeficiente de escurrimiento (C) utilizado para calcular los escurrimientos máximos 63

Cuadro 3. Clasificación de las cárcavas 76

Cuadro 4. Relación de la distancia entre estructuras y el porcentaje de pendiente del terreno 83

Cuadro 5. Coeficiente de eficiencia tractiva 104

Prólogo

La degradación de los suelos es uno de los principales problemas que enfrenta el planeta, siendo América Latina uno de los continentes más afectados.

La degradación es un proceso que provoca la pérdida de la capacidad productiva por deterioro físico, químico y biológico de los suelos. Las causas pueden ser de origen natural u otras de marcada índole antrópica (debido a la acción del hombre). De estas últimas, las principales son la mala utilización de la tierra arable por las prácticas inadecuadas de cultivo (35%), el sobre pastoreo (34%) y la deforestación (20%). Así, en el mundo sólo el 11% de las tierras son aptas, sin limitaciones, para cultivo y no necesitan de mejora alguna (FAO, 1995).

Algunos expertos sostienen que la formación de un centímetro de suelo, en profundidad, transcurre en no menos de mil años. Esta afirmación es trascendental si se considera que la mayoría de los suelos chilenos manejados con malas prácticas, como quema de rastrojos, aradura de inversión y barbechos desnudos, han sufrido procesos de degradación que han llevado a perder ese centímetro de suelo en un período no mayor a cinco años. Aún más, por causas de tipo social, económicas y culturales Chile se ha visto afectado particularmente por procesos erosivos, los cuales, en ciertos casos, han llegando al extremo de formar cárcavas con la pérdida total del suelo.

La erosión en Chile, por el uso de prácticas inadecuadas en el manejo de suelos y aguas, en particular en las zonas de secano costero e interior, ha provocado una pérdida sostenida de la productividad del suelo agrícola y por consecuencia de la productividad de los cultivos. Según un estudio del Instituto de Recursos Naturales (CONAMA y MINAGRI, 1994; Francke, 2002), de un total de 34,5 millones de hectáreas, en su gran mayoría de secano, correspondiente al 46% de Chile continental, alrededor de 2,4 millones (6,9%) están erosionadas en forma muy severa; 9,2 millones (26,6%) en forma severa; 15,5 millones (45%) con daños moderados, y 7,4 millones (21,5%) están levemente afectados.

Al analizar estas cifras se aprecia que la erosión en el país es un problema de envergadura, cuyos efectos directos e indirectos son de gran relevancia en cada uno de los agroecosistemas existentes en nuestro territorio.

Para facilitar el cambio tecnológico, que significa desarrollar tecnologías que garanticen el mantenimiento de la productividad de los suelos agrícolas del secano, es importante que técnicos y agricultores afronten el desafío de investigar y trabajar juntos en sitios donde existan problemas. Estos incluyen un diagnóstico de las dificultades de manejo y conservación de suelos y aguas, y la posterior introducción de técnicas de manejo conservacionista adaptadas al tipo de agricultor y a las condiciones propias de cada región.

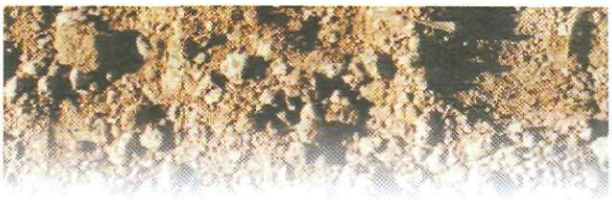
Durante los últimos años, en Chile se han realizado numerosos esfuerzos para detener la degradación de los suelos agrícolas, en especial a través del Programa de Recuperación de Suelos Degradados del Ministerio de Agricultura. Sin embargo, los agricultores todavía presentan niveles bajos de adopción de nuevas tecnologías conservacionistas. Incluso, la disponibilidad de personal técnico capacitado para el proceso de cambio, es reducida.

En este contexto, el Servicio Agrícola y Ganadero asignó al GTT Litueche un Fondo SAG para introducir, a través de un proyecto de desarrollo, ejecutado por INIA, "**Prácticas de manejo conservacionista de suelos y aguas, en el secano de la VI Región de Chile**". Este proyecto, se inició a fines de 1999, trabajando directamente en predios de pequeños y medianos agricultores. En estos predios durante los años 2000, 2001, y 2002, se establecieron Unidades Demostrativas, con tecnologías de conservación de suelos y aguas, como: cero labranza, plantación de especies frutales bajo técnicas conservacionistas, manejo de cárcavas, e incorporación y manejo de distintos tipos de coberturas vegetales, tanto arbustiva como herbáceas.

En este documento se recopila la información, antecedentes técnicos y económicos de prácticas de manejo conservacionista de suelos generadas en el ámbito del proyecto. También entrega un conjunto de conceptos, experiencias y sugerencias prácticas que pueden ser de utilidad al momento de evaluar y ejecutar acciones en beneficio del mejoramiento de la productividad y conservación del suelo y el agua.

Con este boletín técnico no se pretende, bajo ninguna circunstancia, un tratado de Edafología o de Conservación de suelos, lo cual está lejos de ser una preocupación fundamental de los autores, tan sólo se pretende entregar una guía que permita a técnicos y agricultores elaborar propuestas conjunta para dar solución a los problemas del manejo de los suelos degradados, así como apoyar la acción de las diversas instancias que intervienen en la conservación de los recursos naturales del país, en particular a Operadores del Sistema de Incentivos del Programa de Recuperación de suelos degradados.

Este boletín está estructurado de tal forma que en el capítulo inicial se incorpora una visión general del suelo y la erosión, haciendo énfasis en los tipos de erosión, para continuar con un capítulo sobre técnicas de conservación y recuperación de suelos y aguas, que incluye las técnicas vegetativa y técnicas mecánicas, finalizando con un capítulo de manejo conservacionista del suelo, que incorpora técnicas de labranza conservacionista, entre las cuales destaca la cero labranza, y el manejo de los rastrojos.



CAPÍTULO 1

El Suelo y la Erosión

Jorge Carrasco J.
Dr. Ingeniero Agrónomo

INIA - Rayentué

1. CONCEPTO DE SUELO

La definición clásica de suelo, considera que éste es la formación natural de la superficie terrestre, de estructura esponjosa y espesor variable, que resulta de la transformación de la roca madre subyacente por la influencia de diversos procesos físicos, químicos y biológicos. Otros autores, lo definen como un sistema altamente complejo y dinámico, constituido por una capa superficial, relativamente delgada, de material disperso que se encuentra sobre la litósfera. De este material depende en buena parte el crecimiento de las plantas y alimentación de los seres vivos que habitamos la superficie terrestre (Bonneau, M., 1987; Montenegro, H. y D., 1990, Narro, E. 1994). Por lo tanto, como la vida humana y animal depende absolutamente de la existencia de las plantas, el suelo debe ser usado en forma racional, de modo de evitar su rápido deterioro, ya que es un recurso natural muy susceptible al agotamiento, y que sin su existencia, la vida sobre el planeta se vería seriamente amenazada.

El suelo es un sistema abierto, dinámico, constituido por tres fases. La fase sólida está formada por los componentes inorgánicos y los orgánicos, que dejan un espacio de huecos (poros, galerías, grietas y otros) en el que se hallan las fases líquidas y gaseosas. El volumen de huecos está ocupado parcialmente por agua, como componente principal de la fase líquida, que puede llevar iones y sustancias en solución o en suspensión; por aire, que constituye la fase gaseosa o atmósfera del suelo (Porta et. al, 1994). Debido a que la proporción en que se presentan estos cuatro elementos es variable, los suelos tendrán características cualitativas distintas, lo que determina el uso que se le puede dar a cada tipo de suelo.

Se definen cinco factores principales que influyen en la formación de los suelos: el clima (precipitaciones, temperatura y viento), los organismos vivos, el relieve, la roca madre originaria y el tiempo transcurrido. A estos factores se puede agregar la in-

tervención del hombre, con sus actividades agrícolas, pecuarias, forestales, o con usufructo directo de los recursos naturales, entre otros, lo cual ha influido, más que en la formación de suelos, en su destrucción.

Numerosos procesos físicos, químicos y biológicos actúan simultáneamente para mejorar o empobrecer la condición del suelo y las funciones que éste desempeña en beneficio de las plantas que crecen en él. Entre las funciones de mayor importancia del suelo están (Narro, E. 1990):

1. Anclaje para las raíces y soporte mecánico para el follaje, que permite a las plantas realizar una fotosíntesis más eficiente.

2. Suministra agua a las plantas, gracias a la capacidad de retener humedad en cantidades adecuadas y con alta disponibilidad. Es decir con un alto potencial hídrico.

3. Proporciona los nutrientes esenciales para las plantas; estos pueden provenir de la fertilidad natural del suelo de las prácticas de fertilización que se realicen.

4. Suministra oxígeno a las raíces y elimina el dióxido de carbono producido.

5. Transporta el calor y proporciona una temperatura adecuada para el desarrollo de las raíces, germinación de semillas, entre otros.

2. ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO DE IMPORTANCIA PARA LA AGRICULTURA

2.1 Textura

La textura se refiere al tamaño de las partículas minerales del suelo, que han pasado por un tamiz de 2 mm de diámetro, don-

de se definen tres tamaños característicos llamados separados texturales: arena, limo y arcilla.

Los materiales minerales del suelo provienen de las rocas pulverizadas progresivamente por acción del agua y del frío. Cada uno tiene su propia constitución mineralógica, y la proporción en que ellos se encuentren en un suelo definen la textura del mismo.

La arcilla se caracteriza por tener partículas muy finas, el limo medianas y la arena grandes. Estas tres clases de materiales se mezclan en diferentes proporciones y forman "terrones", partículas aglomeradas que conforman pequeñas "estructuras" de tierra. Generalmente los suelos adecuados para los cultivos son aquellos en que no predomina una u otra fracción. El porcentaje de arena, limo y arcilla que posea un suelo, se denomina clase textural, y es el nombre que recibe la textura (Porta, et al; 1994).

Los suelos arenosos, conocidos también como "livianos", son los que contienen mayor proporción de arena, no pueden retener mucha agua y, por lo tanto, se secan rápidamente. Son suelos con buena porosidad y con buen drenaje. Las raíces de las plantas penetran con facilidad, pero no encuentran los nutrientes suficientes, ya que estos suelos se caracterizan por ser bastante pobres en elementos minerales, salvo que contengan abundante materia orgánica.

Los suelos que contienen mayor cantidad de arcilla, poseen poco espacio entre partículas, ya que estás son de tamaño muy pequeño, y por lo tanto el agua, el aire y las raíces penetran con dificultad (Figura 1). Estos suelos son clasificados "pesados", porque son más difíciles de manejar, cuando no se trabaja con la humedad adecuada. Sin embargo, los suelos con alto contenido de arcilla, suelen ser ricos en nutrientes.

Los suelos limosos poseen mayor proporción de limo. Sus cualidades de retención de agua, soltura y riqueza mineral, son intermedias entre las de los suelos arenosos y la de los arcillosos.

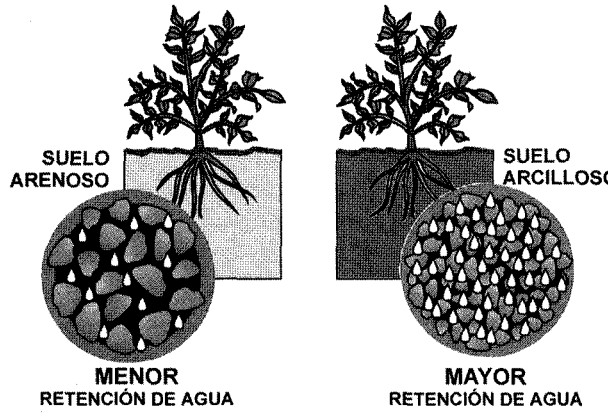


Figura 1. Comparación de la capacidad de infiltración de agua en un suelo arenoso y otro arcilloso.

Los suelos francos son los que contienen proporciones similares de arena, limo y arcilla. Por lo tanto como existe un equilibrio en sus características, son los más aptos para uso agrícola.

2.2 Estructura del suelo

Algunos autores, definen la estructura del suelo como la asociación de partículas en agregados, que dan origen a poros que contienen aire y agua, clasificados como: a) poros de transmisión, con diámetros cilíndricos equivalentes, mayores a 50 mm que permiten el libre movimiento del aire y el drenaje del exceso de agua, y b) poros de almacenamiento, con diámetros de 0,5 a 50 mm, que retienen el agua y la liberan a las raíces de las plantas. Otros la definen como la manera en que sus partículas primarias (arena, limo y arcilla) están ensambladas formando agregados, es decir unidades mayores con planos débiles entre sí (Dexter, A.R.,1988; Pérez, J. 1992).

Para que exista estructura, se requiere del proceso de agregación, que es el acercamiento y unión de las partículas de suelo por medio de agentes y elementos aglutinantes, como la mate-

ria orgánica. Al no remover el suelo, por ejemplo con el sistema de cero labranza, aumenta el diámetro medio de los agregados, con una consecuente mejora de la estructura del suelo (ver capítulo 2 de este Boletín).

La estructura considera tres aspectos:

- Forma, que se refiere al tipo de estructura formada, que puede ser laminar, prismática columnar, de bloque, subangular o granular.

- Tamaño, que puede ser muy fino, fino, medio, grueso, o muy grueso.

- Grado o nitidez, que considera la dificultad de observar a simple vista la formación de la estructura como unidad.

Una buena estructura del suelo es importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas, porque permite una buena aireación, necesaria para el desarrollo normal de las raíces, facilita el almacenaje del agua en los espacios porosos y evita la compactación superficial y encostramiento del suelo. Por lo tanto, es deseable un buen grado de estructura, para la obtención de mejores producciones agrícolas.

La estructura es una de las características físicas del suelo de mayor importancia agrícola; sin embargo, es una de las menos entendidas, escasamente descrita y mal manejada. En los suelos agrícolas, el tráfico o paso de los equipos y máquinas de labranza, durante la preparación del terreno o tratamientos posteriores, ya sea de control mecánico de malezas, aplicación de productos químicos, cosecha mecanizada, etc., produce un efecto directo que destruye los agregados. Además, la presión que se ejerce sobre el suelo aumenta la compactación, que se traduce en incrementos de la densidad aparente, provocando con ello una disminución de la porosidad.

F.A.O (1976) en una propuesta de métodos para evaluar la degradación de los suelos, incluye la destrucción de su estructura como el principal proceso a tener en cuenta. De ahí, la importancia que tiene el conocimiento de la estructura, desde el punto de vista de la conservación del suelo, y de sus procesos de degradación.

Un aumento de la agregación está relacionado con el contenido de materia orgánica. Lynch y Bragg (1985), lo atribuyen a varios factores, que incluyen materia orgánica, contenidos de óxidos de fierro y aluminio, y arcillas. La mejora de la estructura del suelo se atribuye a la alta actividad biótica, especialmente de lombrices. El número de biocanales visibles o canales de lombrices se utiliza como un índice del estado de la estructura. Un suelo manejado continuamente con un sistema de cero labranza permite el desarrollo de un perfil estructural de mejores características, a diferencia de la labranza convencional que a la larga destruye la estructura.

3. DEGRADACIÓN DEL SUELO

Los procesos que conducen a la degradación del suelo son producidos por erosión hídrica, erosión eólica acelerada, salinización, alcalinización, lixiviación intensa, o bien, por compactación y laterización que llevan finalmente a la degradación biológica. Estos procesos son los responsables de la disminución en la calidad del suelo.

Según Lal y Stewart (1990), se distinguen tres tipos principales de degradación, los cuales incluyen distintos procesos:

a. Degradación del medio físico

- Erosión y desertificación
  - Erosión hídrica
  - Erosión eólica
- Compactación y formación de capas endurecidas

b. Degradación del medio químico

- Disminución de la fertilidad
- Desequilibrio elemental
  - Acidificación
  - Sodificación
  - Compuestos tóxicos

c. Degradación del medio biológico

- Disminución en la materia orgánica del suelo
- Reducción de la macro y microfauna del suelo

3.1 Degradación del medio físico

La degradación del medio físico se refiere al deterioro de las propiedades físicas, como aumento de la densidad aparente, disminución de la porosidad, pérdida de estabilidad estructural, entre otros, por efecto de la erosión, desertificación, compactación y endurecimiento. Numerosas publicaciones indican que las propiedades físicas del suelo son las más importantes en la emergencia y desarrollo de los cultivos. Esta degradación se produce en tres etapas (Pérez, J. 1992):

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 fertilizantes.

Etapa 2. Se producen pérdidas acentuadas de la materia orgánica, con fuerte daño de la estructura (colapso estructural). Además de "encostramiento" superficial, se produce 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 fertilizantes.

Etapa 3. El suelo está intensamente dañado, con gran colapso del espacio poroso. La erosión es acelerada y hay dificultad de ope-

ración 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.

3. 2 Degradación del medio químico

La degradación del medio químico del suelo, es un proceso que modifica las propiedades químicas del suelo. La modificación de las propiedades químicas implica una modificación y empeoramiento en la composición química del suelo. Esta modificación puede producirse por la presencia de sustancias extrañas a los componentes habituales del suelo, o por una modificación en la concentración de las mismas cuando éstas son habituales.

El primer caso suele deberse a la adición de sustancias extrañas al suelo, lo que constituye un caso claro de contaminación. En el segundo caso las modificaciones se deberían al uso normal del suelo.

3.3 Degradación del medio biológico

Se habla de degradación biológica, cuando se produce una disminución de la materia orgánica incorporada. Esta reducción en los niveles de materia orgánica, genera una reducción en la actividad microbiana, que incluye la macro y microfauna del suelo, además de la microflora, lombrices, etc. La degradación biológica, está íntimamente relacionada con la degradación química, porque una reducción y desequilibrio en los niveles de materia orgánica, produce una reducción en los niveles de nutrientes del suelo.

4. LA EROSIÓN DEL SUELO

La erosión del suelo es definida como un proceso de degradación, transporte y deposición de materiales del suelo por efecto de agentes erosivos, tales como el agua, el viento o el hielo

(Peralta, J.M., 1993). Existen factores naturales que potencian esta situación, como es el caso de la topografía de lomajes, cerros y montañas que se extiende por la mayor parte de nuestro territorio. Sin embargo, el hombre siempre ha contribuido a acelerar los procesos erosivos naturales. Las principales causas antrópicas de la erosión son:

- La deforestación
- El mal uso de la capacidad del suelo
- El sobre pastoreo
- La sobre explotación de la vegetación natural para uso doméstico
- Las prácticas inadecuadas de manejo de suelos

4.1 Erosión hídrica

En Chile la erosión más común es la producida por el agua de lluvia. Por lo tanto, se dará mayor importancia a establecer la mecánica de la erosión provocada por este elemento, los factores que la condicionan y algunas técnicas que permiten atenuar el proceso.

El impacto de las gotas de lluvia sobre un suelo desnudo provoca la degradación de las partículas primarias (limo, arcilla y arena) formándose un sello superficial que disminuye la capacidad de infiltración del suelo. Cuando la precipitación es mayor que la tasa de infiltración de agua, se produce escurrimiento superficial del agua que no infiltra, como ejemplo de esta situación mediante el empleo de simuladores de lluvia se constató que, haciéndo variar el tamaño de la gota de 1 a 5 mm de diámetro, la infiltración decreció en un 70%, y la concentración de párticulas de suelo arrastradas por erosión, se incremento cerca de un 1.200% (Peralta, J.M., 1993). Después de una fuerte

lluvia, si el agua que corre sobre laderas y quebradas es de color café oscuro, es evidente que se está ante un proceso erosivo, que paulatinamente va lavando el suelo de su capa superficial y reduciendo su fertilidad. En casos de procesos graves de erosión la roca madre queda totalmente desnuda. Por lo tanto en la secuencia erosiva se reconocen tres procesos claros y definidos (Peralta, J.M., 1993):

- Las partículas se sueltan de la masa del suelo.
- Las partículas son transportadas.
- El material es depositado y los agentes erosivos que actúan conjuntamente son las gotas de luvia y el escurrimiento superficial.

4.1.1 Factores de erosión

La erosión de los suelos depende de la interacción de varios factores:

- A mayor inclinación de terreno, la susceptibilidad a la erosión es más alta.
- La erosión es mayor en las laderas de gran dimensión, y en especial cuando no tienen interrupción de su pendiente ya sea por cortinas vegetales, o cualquier otra barrera que impida el escurrimiento del agua.
- Cuanto más intensas y frecuentes sean las lluvias de un determinado lugar, mayor será la cantidad de suelo que éstas pueden arrastrar.
- A mayor densidad de la cubierta vegetal, el suelo estará más protegido y por lo tanto habrá menor riesgo de erosión.
- Factor suelo. La susceptibilidad de los suelos a la erosión varía en función de su constitución. Los suelos arenosos son

más susceptibles a la erosión que los arcillosos o que aquellos que contienen mucha materia orgánica. Éstos últimos, forman estructuras que tienen mayor grado de cohesión y resisten mejor el impacto de las gotas de lluvia. La profundidad efectiva de un suelo, también es un elemento importante.

- Un suelo mullido es más sensible a la erosión que otro conformado por grandes terrones. Mientras más mullido se encuentra el suelo, el agua arrastra más fácilmente sus partículas.

4.1.2 Formas de erosión

La erosión hídrica, puede manifestarse de diversas formas, que se describen a continuación:

4.1.2.1. Erosión de manto o laminar: es un modo uniforme de erosión producido por las gotas de lluvia, las cuales al golpear el suelo actúan en forma pareja removiendo una capa delgada del suelo superficial, que posteriormente es transportado por el agua que escurre.

Foto 1. Suelo sin cobertura vegetal susceptible a erosión de manto. (Litueche, VI Región).

La pérdida de esta fracción fina o complejo coloidal implica una pérdida de calidad del suelo, debido a que en ella se concentran las propiedades de intercambio catiónico, responsable de la fertilidad, la vida microbiana y la retención de humedad, entre otras. El proceso es difícil de detectar en sus primeras etapas, a menos que se realicen análisis de fertilidad que indiquen los cambios del nivel nutricional en el tiempo. Cuando está más avanzada, el efecto se puede visualizar por los cambios de color en la superficie del suelo. La erosión de manto es característica en los sectores altos de las praderas.

4.1.2.2. La erosión en surcos: se produce cuando el agua de lluvia que no infiltra en el suelo escurre sobre las laderas. Esta agua adquiere gran velocidad y fuerza, y se concentra poco a poco, dejando pequeñas depresiones que originan surcos a través de los cuales arrastran la tierra.

4.1.2.3. Erosión de zanjas: se produce cuando el agua de lluvia que no pudo infiltrarse en el suelo se desplaza por la ladera adquiriendo velocidad. Cuando este proceso es reiterado aumenta la cantidad de sedimentos en suspensión y por lo tanto su capacidad abrasiva. Este fenómeno es más intensivo en las partes bajas de la pendiente, ya que ahí se conjugan el mayor grado de velocidad y carga de sedimentos que contiene el escurrimiento, provocando que el suelo se socave con mayor rapidez en estos sectores.

4.1.2.4. Erosión de cárcava: con el tiempo los surcos erosionados se profundizan y se transforman en profundos barrancos. También pueden producirse, por la unión entre surcos erosionados, que posteriormente profundizan progresivamente por efecto de las lluvias.

4.1.2.5. Erosión por flujo subsuperficial o túnel: la existencia de galerías de macrofauna (roedores) puede favorecer la circulación subterránea del agua y el progresivo arrastre de partículas, con lo cual el orificio se irá agrandando. En los márgenes de las parce-

las puede llegar a ser grave, ya que finalmente puede provocar hundimiento. En algunos casos en suelos con arcillas expansibles (vertisoles) también es posible encontrar este proceso (Porta et al., 1994).

Foto 2. Erosión de cárcavas, máxima expresión de suelo erosionado. Paredones, VI Región.

5. COMPACTACIÓN Y FORMACIÓN DE CAPAS ENDURECIDAS

La compactación de suelos, por estar estrechamente relacionada con los procesos erosivos, en esta parte del capítulo se hace una descripción de su origen, importancia, y formas de identificación.

El concepto de compactación de suelos ha sido descrito por varios autores y se define como: "la modificación en el volumen y la estructura de los poros". Observaciones detalladas utilizando técnicas microscópicas en muestras de suelo compactado, revelan una notable reducción en el número y tamaño de los macroporos, así como, un cambio en la forma y continuidad del espacio

poroso total. Otros autores señalan que la compactación del suelo: "involucra una reorganización y estrecha unión de las partículas sólidas del suelo y consecuentemente un incremento en la densidad aparente". Desde el punto de vista agrícola, un suelo está compactado cuando se rompe el equilibrio entre las unidades estructurales, que origina una condición de volumen total de poros con relación al volumen total del suelo no adecuada para asegurar un buen desarrollo del cultivo (Hillel, D. 1980; Bonneau, M. 1987; Sánchez-Girón, V., 1996).

Dexter (1988), señala que el paso sistemático de los equipos de labranza y el tráfico del tractor, por la acción de las ruedas, produce la formación de un "pie de arado" a una cierta profundidad en el perfil del suelo, lo que impide el desarrollo de las raíces en profundidad (Figura 2). Se ha comprobado que el efecto del tráfico de la maquinaria sobre el suelo aumenta la densidad volumétrica, y la resistencia al esfuerzo cortante, y disminuye la porosidad y permeabilidad al aire y agua y por lo tanto aumenta el agua que escurre superficialmente sobre el suelo, favoreciendo con ello la erosión.

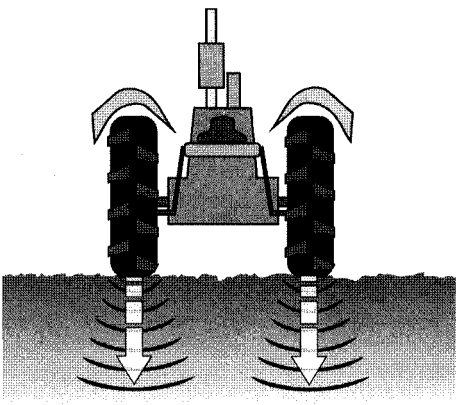


Figura 2. Compactación de suelo por acción de las ruedas del tractor.

Hillel (1980), señala que, en un contexto agronómico, un suelo se considera compactado cuando la porosidad total es baja y sin aireación, con una densidad aparente alta y poros pequeños, que impiden la penetración de las raíces de los cultivos y drenaje del suelo. Al limitar la penetración de las raíces, afecta seriamente la habilidad de las plantas para absorber agua del subsuelo, particularmente en las regiones semiáridas y de secano.

La mayor parte de la compactación, es decir hasta un 90 por ciento del incremento total de la densidad aparente, se produce con la primera pasada de las ruedas (Sánchez-Girón, V., 1996). No obstante, la respuesta del suelo dependerá de su resistencia a la compactación y de la distribución de ella en profundidad. Así los suelos sueltos se compactan más con la primera pasada de la rueda que con las siguientes, mientras que los suelos ligeramente consolidados se compactan por igual en cada pasada. En algunos casos esto puede ser una ventaja, por ejemplo, los suelos derivados de cenizas volcánicas, que son bastante esponjosos, requieren de algún grado de compactación para facilitar su cohesión. Sin embargo, en suelos y cultivos sensibles, una sola pasada de ruedas puede compactar el suelo hasta un nivel que afecte el desarrollo del cultivo.

Todo suelo labrado se encuentra sometido a un ciclo anual en el que se alternan los periodos de esponjamiento con los de compactación. Toda labor que se realice con arados de tipo convencional, inevitablemente compactará el suelo, tanto por la propia acción del apero como por el peso del tractor sobre el terreno.

Por encima del contenido óptimo de humedad, la compactación disminuye, porque los poros más grandes se llenan con agua y su volumen ya no se reduce tanto. Los suelos secos son difíciles de compactar, y a medida que aumenta el contenido de humedad, éste se compacta más fácilmente hasta un cierto punto óptimo, el cual depende, hasta un cierto grado, de la energía de compactación que se aplica.

Los índices para medir el grado de compactación son la densidad aparente, la porosidad del suelo, la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica y la resistencia a la penetración.

5.1 Identificación de la compactación

La existencia de problemas de compactación se pueden identificar fácilmente observando las raíces de un cultivo en una calicata, cuando ya se han desarrollado, es decir que el cultivo está en etapa de floración o más avanzado. Si las raíces están hinchadas o han crecido lateralmente por sobre una capa con poca porosidad, o tienen un crecimiento vertical restringido a los primeros 15 a 20 cm de profundidad, con frecuencia indica la presencia de una capa inferior compactada.

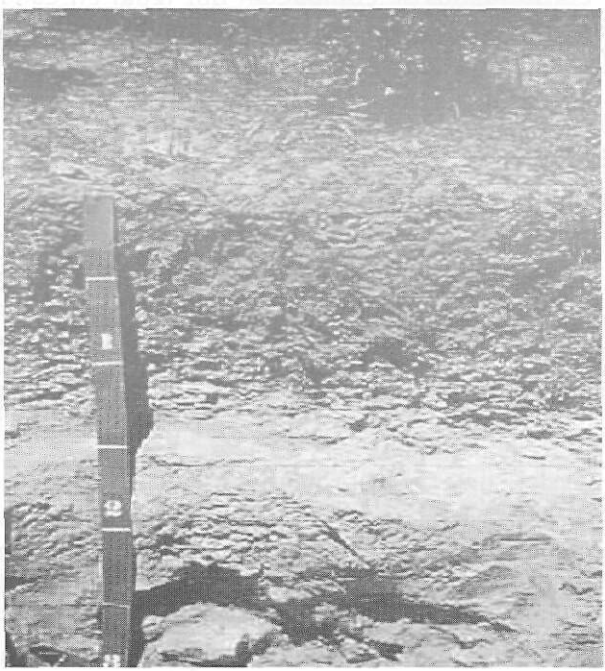


Foto 3. Corte vertical del suelo evidenciando problemas de compactación subsuperficial.

6. LA LABRANZA CONVENCIONAL Y LA DEGRADACIÓN DE SUELOS

La labranza es el conjunto de operaciones realizadas con equipos mecánicos para conseguir un mejor desarrollo de las plantas cultivadas. La Sociedad Americana de Conservación de Suelos clasifica los sistemas de labranza en dos grandes grupos: convencional y de conservación.

6.1 Labranza convencional

Se define como el conjunto de labores profundas y de preparación de la cama de siembra que se hacen para un cultivo. Lo que caracteriza a la labranza convencional es que no se prescinde de la labor en profundidad del terreno, la cual se puede realizar tanto con aperos que invierten el suelo (arados de vertedera y de discos), como con aquellos que no lo hacen (arados rotativos) (Ortíz-Cañavate; y Hernans, 1989).

Cada uno de los objetivos de la labranza convencional indica su uso para el establecimiento de un cultivo, sin embargo utilizada por muchos años ha conducido al deterioro, en numerosos casos irreversibles, de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El proceso es complejo y genera una degradación de la estructura del suelo en los primeros 30 centímetros, produciéndose un excesivo escurrimiento, erosión y disminución de la productividad.

Los arados de vertedera y de disco han sido durante años, las herramientas básicas en la labranza convencional. Ambos se caracterizan por trabajar invirtiendo el suelo, de esta forma cubren desechos y malezas, o las exponen a la superficie. Sin embargo, por el efecto negativo que provoca la inversión sobre las propiedades del suelo, no se recomienda utilizarlos en suelos degradados y susceptibles a erosionarse, como son los de las zonas de secano interior y costero de Chile.

Foto 4. Aradura de inversión de suelo. La Estrella, VI R egión.

La compactación del suelo es otro problema provocado por la labranza convencional, debido principalmente al "tránsito" de tractores e implementos, que puede llegar a ser grave, en casos de uso extremo de maquinaria agrícola. La gran demanda energética en la agricultura, ha obligado a diseñar tractores potentes, con un considerable aumento de peso, para transmitir a las ruedas toda su potencia cuando los suelos están húmedos. En estas condiciones las ruedas del tractor pueden destruir la estructura, al ejercer mayor presión o cizalladura sobre la superficie del suelo.

El sistema de labranza convencional rompe la estructura del suelo, en mayor o menor grado según la intensidad de las prác-

ticas que se realicen. Al principio da origen a una condición de porosidad (macroporosidad + microporosidad) artificial, buena en apariencia, la cual desaparece rápidamente al producirse una reagrupación de las partículas por efecto de las lluvias, el riego y el tráfico de la maquinaria agrícola. En suelos excesivamente fraccionados, durante el reacondicionamiento de partículas, los macroporos se reducen y con frecuencia se forman sellos de capas endurecidas a escasa profundidad. Éstos sellos obstaculizan el intercambio gaseoso, la penetración de agua y raíces o la emergencia de las plántulas. La reducción de la porosidad total, por los movimientos de oxígeno y CO_2 en el perfil del suelo es más grave, por estar relacionada con la actividad biológica, en particular la transformación de la materia orgánica, dando lugar a la pérdida de la estabilidad de los agregados del suelo (Kepner, 1972; Guerif, 1987; Pérez, 1992; Narro, 1994), favoreciendo con ello la erosión.

El sistema de labranza convencional disminuye el contenido de la materia orgánica del suelo. Esta disminución es particularmente más grave, en aquellos casos en los que se tiende a sustituir la fertilización orgánica con fertilización mineral, por los cambios de pH del suelo, lo cual es más grave en un régimen de monocultivo en el que esta disminución se observa continuamente, incluso cuando se incorpora materia orgánica al suelo.

CAPÍTULO 2

Técnicas de Conservación y Recuperación de Suelos y Aguas

Jorge Carrasco J.[1]
Ing. Agrónomo Dr.
Fernando Squella N.[1]
Ing. Agrónomo M.Sc., Ph.D.
Jorge Vergara C.[2]
Ing. Agrónomo

[1]*INIA - Rayentué*
[2]*Comisión Nacional de Riego (CNR)*

Las prácticas de conservación de suelos son aquellas actividades que se ejecutan para evitar la pérdida de los suelos por causa de la erosión. Son muy diversas y deben ser seleccionadas en función de la pendiente del terreno, del largo de ella, de la vegetación existente en cada lugar, y del costo. Obedecen a tres principios fundamentales: favorecer la cobertura vegetal del suelo, mejorar la infiltración del agua, y reducir o evitar que ella escurra sobre la superficie.

Favorecer la cobertura vegetal del suelo: la erosión empieza cuando el impacto de la gota de lluvia destruye el suelo, liberando partículas finas que son llevadas fácilmente por el agua. Por lo tanto, la cobertura del suelo a través de una capa de vegetación (árboles, arbustos, malezas, o cualquier cultivo), lo protege de la erosión causada por las precipitaciones, por que amortigua la energía con que caen las gotas sobre el suelo.

El uso de rastrojos en la superficie es una de las formas de mantener una buena cobertura en suelos de cultivo. La cero labranza, o siembra directa, permite establecer un cultivo con una mínima remoción de suelo, conservando más de un 60% de rastrojos sobre la superficie. Otra forma de mantener la cobertura es mediante la labranza de tipo vertical, con el uso del arado cincel, ya sea de tracción motorizada o de tiro animal. En general, la mejor forma de favorecer la cobertura del suelo, y por lo tanto controlando procesos erosivos, es estableciendo una pradera permanente con las especies recomendadas para los distintos climas y suelos.

Mejorar la infiltración del agua: un suelo que contiene mucha materia orgánica, absorbe con mayor facilidad el agua de las lluvias y evita que escurra sobre su superficie. Cualquier práctica que enriquezca el suelo con materia orgánica ayuda a disminuir los riesgos de erosión. La labranza vertical con arado cincel o subsolador, al no invertir el suelo, resquebraja el perfil, hasta la profundidad de trabajo de los equipos empleados, y rompe las capas de subsuelo compactado, favoreciendo la infil-

tración del agua. La cero labranza o siembra directa también es una buena alternativa, porque permite la acumulación de rastrojos y restos de cultivos que en definitiva se transforman en materia orgánica (Crovetto, C. 1992).

En general, en las zonas de secano, la disponibilidad de agua es el factor más limitante en el establecimiento y desarrollo de cualquier especie vegetal, particularmente para el establecimiento de pasturas herbáceas, plantación de arbustos forrajeros y recursos forestales diversos. De ahí que las siembras y plantaciones se realicen en otoño-invierno, cuando existe la mayor concentración de humedad en el suelo. Así se asegura un mejor establecimiento y desarrollo de las plantas. Luego, toda práctica que mejore la infiltración en esos terrenos, aumenta la seguridad de producir mayor cobertura vegetal y por lo tanto rendimientos más altos.

En algunos casos particulares —suelos muy superficiales o que tienen una capa subsuperficial impermeable— no se recomienda aumentar la infiltración de agua, porque podría causar deslizamientos masivos del suelo.

Reducir el escurrimiento superficial: en terrenos con pendientes se suele establecer obstáculos o barreras con la finalidad de reducir la velocidad de escurrimiento del agua, mejorar su infiltración y evitar que arrastre partículas de suelo. Dentro de las prácticas recomendadas se cuentan los surcos o acequias de infiltración, las pircas o paredes de piedra, las terrazas o andenes y las barreras vivas, entre otras.

En la mayoría de los casos, para lograr un buen efecto es necesario aplicar más de una técnica a la vez. Una práctica por sí sola no asegura el éxito en el control de la erosión, por lo tanto, cualquier estrategia al respecto, debe considerar un programa integrado de todas estas prácticas, variando su proporción en función de aspectos edafoclimáticos y socioeconómicos. Además es importante hacer un buen manejo de los cultivos, prade-

ras o plantaciones, hacer rotaciones de cultivos y manejo del ganado (carga animal) proteger los bancos de semilla de flora nativa que están en los suelos, entre otras.

A continuación se describen las técnicas más efectivas de conservación y recuperación de suelos y aguas.

1. TÉCNICAS VEGETATIVAS

1.1 Barreras vivas

Las barreras vivas son hileras de plantas perennes (árboles o arbustos) establecidas en laderas, en curvas a nivel, para reducir la velocidad de escurrimiento del agua de lluvia y retener los materiales transportados por ella. También protegen al suelo de la erosión eólica, pues hacen que disminuya la velocidad del viento. Además son útiles para estabilizar cárcavas, al ubicarlas en los bordes y dentro de ellas, proteger zanjas de infiltración y pircas. En el largo plazo, reducen la pendiente, ya que van creando pequeñas terrazas.

Para que las barreras sean eficaces en el control de la erosión, es muy importante seleccionar adecuadamente las especies vegetales a utilizar. Al elegir una especie vegetal, es fundamental observar si existen barreras vivas en la zona y el tipo de plantas que las componen, puesto que se debe seleccionar las de mejor adaptación al clima y suelo del lugar.

Para formar la barrera conviene plantar distintas especies, unas junto a las otras. En lo posible se debe utilizar plantas de viveros o producidas por el propio agricultor. Éstas tienen que ser perennes, de fácil propagación, con abundante follaje y ramificaciones que se inicien lo más cerca posible del suelo, y un sistema denso de raíces.

Puede ser una especie herbácea que se adapte a las condiciones de clima del secano. Por ejemplo, la ballica anual (*Lolium rigi-*

dum), proveniente del pastizal mediterráneo, ha dado excelentes resultados en el mejoramiento de la cobertura vegetal de suelos degradados del secano de la VI Región. El falaris (*Phalaris aquatica*), especie perenne de vigoroso sistema radical y buen crecimiento en "champa", también es promisoria como cultivo en faja, en el secano mediterráneo subhúmedo (Meneses et. al , 1985).

Otra alternativa son las especies arbustivas, de preferencia las de hábito de crecimiento postrado, como galenia (*Galenia secunda*) y pasto salado (*Atriplex*) en las regiones semiáridas del país (IV a V Región). También muestran una importante adaptabilidad a dichas condiciones los arbustos pasto sereno (*Atriplex repanda*), numularia (*Atriplex nummularia*) y tagasaste (*Chamaecytisus proliferus*), este último, arbustos forrajero leguminoso de hoja persistente, originario de las Islas Canarias (Meneses et. al, 1985).

En el estrato arbóreo, destacan especies como la acacia (*Acacia saligna*) y la acacia del país (*Acacia dealbata*), desde la zona mediterránea semiárida a subhúmeda, es decir, desde la V Región hasta el secano de la VII Región, respectivamente (Meneses et. al, 1985).

Las especies forestales introducidas, como pino (*Pinus radiata*), eucalipto (*Eucaliptus globulus*), seudoacacia (*Robinia pseudoacacia*), casuarina, álamo (*Populus* sp.) o las autóctonas de la zona de secano como Quillay (*Quillaja saponaria*), y alguna especie frutícola como olivo, también se recomiendan para la formación de barreras vivas (Meneses et. al, 1985).

1.1.2 Construcción

Para calcular la distancia entre las barreras es necesario determinar la pendiente promedio del terreno; cuanto más pronunciada sea la pendiente menor debe ser la distancia entre las barreras. No obstante, también deben considerarse otros aspectos,

tales como: el uso que se va a dar al terreno y la intensidad de las precipitaciones.

Luego se trazan las curvas a nivel utilizando un instrumento topográfico, como nivel o taquímetro, o un nivel "A" (ver cuadro explicativo sobre construcción de instrumentos, página 55), equipo artesanal apropiado para la pequeña y mediana agricultura, marcando con estacas los puntos de la línea de trazado donde se establecerá la barrera. En regiones lluviosas también es conveniente dar a las curvas a nivel una ligera inclinación lateral que facilite el desagüe, con la finalidad de evitar la acumulación de las aguas.

Para la plantación, primero se excava una zanja que puede ser de 40 cm de profundidad y de 50 a 60 cm de ancho. Si es posible, al fondo de la zanja, se hace una aplicación de estiércol descompuesto, para mejorar las condiciones físicas, químicas, y biológicas, del suelo para las plantas, y sobre él se esparce una capa de tierra. Allí se plantan los árboles y arbustos, en hileras dobles, entrelazados, a distancias desde 15 cm hasta un máximo de un metro, con el objeto de conseguir una máxima cobertura.

Figura 3. Uso de nivel tipo "A" y estacas para trazado de curvas a nivel.

1.1.3 Mantención

Para el rápido desarrollo de las barreras es importante:

- Regar las plantas después del trasplante todas las veces que sea necesario, hasta que prendan.

- Desmalezar alrededor de las plantas.

- Evitar que los animales dañen las plantas cuando aún están pequeñas y frágiles.

- Podar periódicamente los árboles, para prevenir un crecimiento y desarrollo excesivo que produzca sombra a los cultivos que se establecerán en sus proximidades.

- Fertilizar con abono orgánico, como estiércol, o algún fertilizante nitrogenado, fosfatado y potásico. En el caso de plantaciones de tipo forestal, en suelos degradados del secano costero, una buena fuente de materia orgánica es el uso de lodos provenientes de plantas depuradoras de aguas servidas.

La densidad de las barreras, dependiendo de la especie, se puede aumentar haciendo acodos. Los acodos se obtienen doblando con cuidado algunas ramas y enterrándolas parcialmente en una porción intermedia. Una vez enraizadas, al cabo de algunos meses, se pueden separar de la planta madre. Así se aumenta el número de plantas, aprovechando el material ya en crecimiento.

1.2 Abonos verdes.

Un abono verde corresponde a la práctica de sembrar una determinada planta en un terreno, con la finalidad de incorporarla o enterrarla en el suelo, durante el inicio de la floración, que corresponde a la época más adecuada del punto de vista nutricional y de su consistencia acuosa para su incorporación y descomposición.

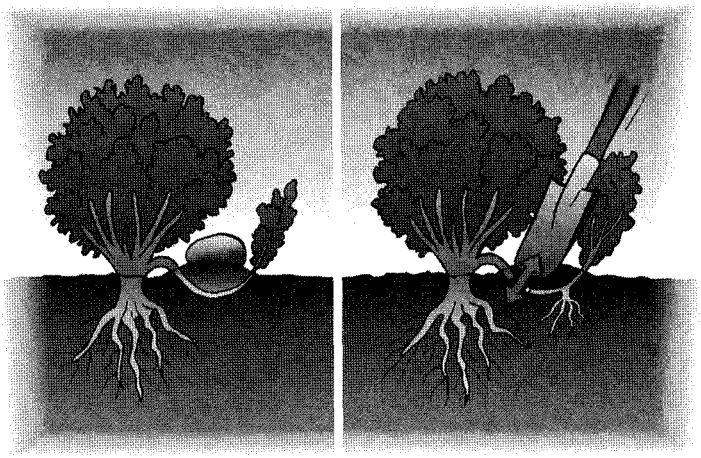


Figura 4. Acodos. Forma de reproducción vegetativa para aumentar la densidad de barreras vivas.

La incorporación de abonos verdes al suelo, se realiza con la finalidad de agregar materia orgánica. La agregación de materia orgánica al suelo permitirá:

- Mejorar las propiedades físicas, aumentando la capacidad de retención de humedad del suelo.
- Mantener y mejorar la fertilidad de los suelos.
- Reducir la erosión.
- Disminuir los escurrimientos superficiales.
- Reducir el nivel de nemátodos del suelo.

Las plantas utilizadas como abono verde, deben ser preferentemente aquellas que mejoren la fertilidad física, química y biológica de los suelos. Que lo enriquezca con nutrientes, como lo

son las leguminosas. Este tipo de plantas, además de proporcionar materia orgánica al suelo, tienen la característica de fijar en él nitrógeno atmosférico, el cual facilitará el desarrollo de otras especies.

La incorporación del abono verde se debe hacer con rastra de discos y arado de vertedera o disco, y con suficiente tiempo de anticipación a la siembra del cultivo siguiente, con el fin de dar tiempo a la descomposición del abono verde, lo cual toma de 50 a 80 días. Sembrar antes de ese periodo, la descomposición incompleta del abono verde puede provocar problemas en la germinación, si se trata de una siembra, o caída de plantas, si se trata de una plantación.

Las especies leguminosas más adecuadas para ser sembradas, como abono verde, bajo las condiciones del secano de la zona Central de Chile, están tratadas en extenso en el **Boletín Técnico INIA- N° 104, de Fernando Squella Narducci** "Cubiertas vegetales para la producción de forraje y conservación de los Recursos Naturales en el Secano Mediterráneo de la VI Región".

1.3 Cero labranza.

La cero labranza es una técnica vegetativa, que permite cubrir sobre un 90% la superficie del terreno. Junto al establecimiento de una pradera permanente, es la mejor forma de controlar la erosión.

Este tema, se trata en extenso en el capítulo 3, Manejo Conservacionista del Suelo, de este boletín técnico.

CONSTRUCCIÓN DE INSTRUMENTOS ADECUADOS PARA EL TRAZADO DE CURVAS DE NIVEL

Nivel tipo "A": Se necesitan tres trozos de madera seca lo más rectos posible. Las dimensiones pueden ser variables pero es importante que los "laterales" tengan el mismo tamaño. También es fundamental que ambos extremos del "travesaño" vayan ubicados a la misma altura en los brazos laterales. Si el terreno presenta una topografía muy irregular conviene que los extremos de los laterales no estén muy distanciados, para que aun los desniveles más pequeños queden representados.

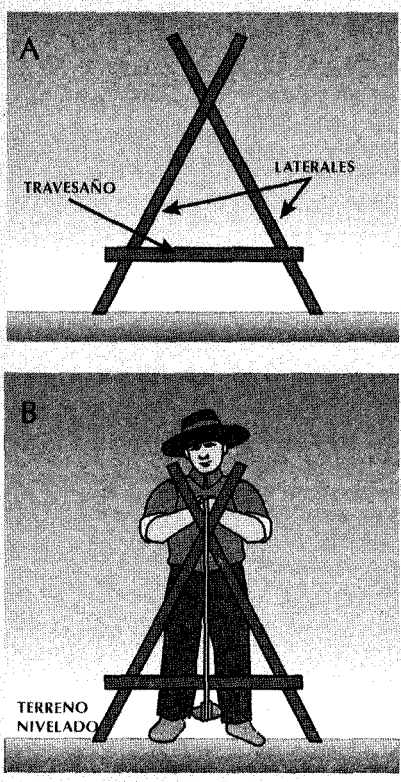
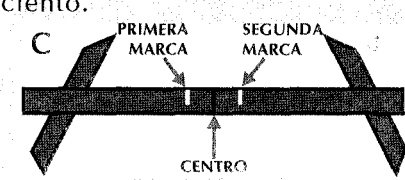


Figura 5 a, b y c. Secuencia de construcción de un nivel tipo "A".

Posteriormente, sobre una superficie nivelada, se amarra en el vértice superior una piedra con un cordel que atraviesa el travesaño, marcando con un lápiz el lugar por donde para el cordel y el lugar donde se apoyan los laterales en el suelo. Luego se gira el nivel, cambiando la posición, de modo que el lateral derecho ocupe el lugar del izquierdo y viceversa. Allí se procede hacer una segunda marca en el lugar del travesaño por donde para el cordel. Entre ambas marcas se ubica el centro, en ese punto se tendrá la certeza de que entre las dos patas habrá una pendiente de cero por ciento.



Una modificación y mejora al diseño anterior, es fijar un nivel carpintero al centro del travesaño, con la burbuja del nivel ubicada exactamente en el centro de este travesaño, evitando así el uso de la piedra y cordel que lo atraviesan. Al trazar una curva de nivel con pendiente cero, esta pendiente se consigue entre las dos patas del nivel tipo "A", cuando en la mitad exacta del centro del travesaño, se hace coincidir el centro de la burbuja del nivel carpintero.

Nivel de caballete. Consiste en un trozo de madera seco y recto de 1" x 3" y de 3m de largo, provisto de un nivel carpintero y dos patas, una de 100 y la otra de 99 cm. Esta diferencia de 1 cm da una pendiente de un 0,3 por ciento, o sea de un 3 por mil. El trazado de la curva se inicia tomando como referencia la "pata" más corta.

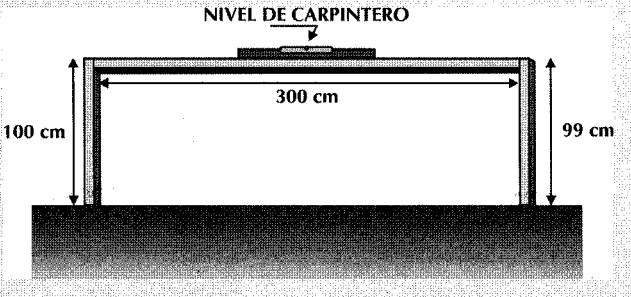


Figura 6. Medidas para la construcción de nivel de caballete.

Existen instrumentos topográficos de mayor precisión a los señalados anteriormente, entre los cuales se encuentran los niveles, taquímetros, estaciones totales, que permiten hacer un trabajo con mayor exactitud y rapidez. Sin embargo su uso se limita a personal capacitado, como topógrafos, o profesionales del área de la ingeniería, por lo cual su uso encarece el diseño de las distintas técnicas de conservación de suelos, pero si se trata de trabajos con mayor precisión, es necesario el servicio de estos equipos y los profesionales correspondientes.

2. TÉCNICAS MECÁNICAS

2.1 Subsolado en camellón

Es una técnica mecánica, apropiada para plantaciones forestales, que permite controlar la escorrentía superficial del agua y aumentar la infiltración de ella en el terreno. Se puede realizar con tractor oruga o agrícola equipado con subsolador, además de una rastra de discos y rodillo compactador.

Consiste en subsolar el terreno a una profundidad mínima de 0,5 m., siguiendo curvas a nivel. Posteriormente se forma un camellón, el cual se ubica sobre el subsolado, utilizando para ello una rastra de discos, y surcos en ambos costados, con una altura mínima del camellón de 0,3 m. Los surcos se forman lateralmente al construir el camellón, y cumplen la función de favorecer la infiltración y retener el material acarreado (Francke, 2002). El espaciamiento entre líneas dependerá de la distancia de plantación, pendiente del terreno, y del estado de degradación del terreno.

Foto 5. Subsolado con camellón, para una plantación de olivos en curvas de nivel. Pichilemu, VI Región

Para que la labor de subsolado sea eficiente, en lo posible se debe trabajar el terreno lo más seco posible, así se puede alcanzar el objetivo de romper capas compactadas, y provocar una rotura de suelos que permita una adecuada infiltración del agua de lluvias.

2.2 Surcos de infiltración.

Son aquellos destinados fundamentalmente a "cosechar" aguas lluvias infiltrándolas en el perfil de suelo, y esos son los llamados surcos de infiltración, que son acequias excavadas en curvas a nivel. Su función es contener el escurrimiento del agua y favorecer su infiltración en el suelo, por lo tanto, junto con evitar la erosión, aumentan la disponibilidad hídrica para plantaciones de tipo forestal. Si en el área donde se construirán surcos de infiltración los escurrimientos son muy fuertes, estos se trazan, perpendicular a la dirección de la pendiente del terreno, con una pendiente de un 3 por mil, lo que permite evacuar los excesos de agua con una baja velocidad de escurrimiento por el interior de ellos. Una pendiente de un tres por mil, corresponde a una diferencia de altura de tres metros en mil metros de largo.

Con esta práctica se logran los siguientes objetivos:

- Reducir la velocidad de los escurrimientos superficiales.
- Facilitar una mayor infiltración del agua en el suelo.
- Disminuir la erosión laminar de los suelos.
- Evitar la formación de cárcavas en terrenos con pendientes.

En zonas áridas y semiáridas, se recomienda, particularmente, en plantaciones de tipo forestal con la idea de aprovechar las escasas lluvias que se producen en esas zonas. Para aprovechar el escurrimiento y aumentar la infiltración en la estrata arcillosa, se construyen surcos de infiltración que permiten la acumu-

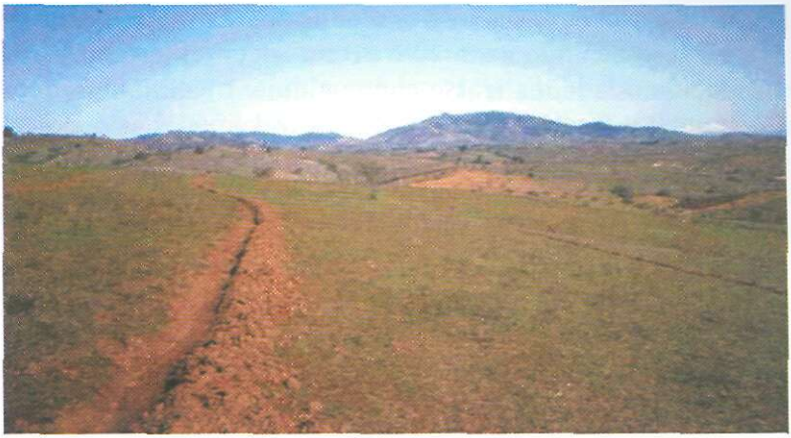


Foto 6. Surco de infiltración en una empastada natural.
Portezuelo, VIII Región.

lación de agua, que se utiliza para incrementar la oferta hídrica al suelo. Evaluaciones realizadas en el Centro Experimental Los Vilos con un régimen pluviométrico normal (228,8 mm) indican que los surcos de infiltración aumentan la oferta hídrica del segundo horizonte, con una separación óptima entre surcos de 3 m (Meneses et. al, 1985).

2.2.1 Construcción

En condiciones topográfica difíciles, donde es imposible construir con maquinaria los surcos de infiltración a nivel, las plantas son establecidas en hoyos de tamaño 30 x 30 x 30 cm, aproximadamente. Con la idea de aumentar la oferta de agua de lluvias, se canaliza el agua de escurrimiento hacia el casillero de plantación, por medio de la confección de "tazas" y colectores, que se originan en la base de la planta, las cuales se extienden en ángulo con dirección opuesta a la pendiente.

2.2.1.1 Trazado en pendiente uniforme. Se localiza la pendiente media del sector, y se marca con una estaca el punto de esa pendiente:

1. Partiendo de esa estaca se procede a marcar, una línea guía, a nivel, estacando cada 20 o 30 m. Según el terreno. La nivelación puede realizarse con cualquier nivel topográfico o taquímetro, incluso utilizando un nivel tipo "A".

2. Una vez estacado, se procede a marcar la línea guía con un arado de punta.

3. Una vez marcada la línea guía, se procede a arar, con un arado de vertedera de tiro animal, siguiendo el sentido de la línea guía, tanto sobre como bajo de ella.

4. Cuando la pendiente es muy larga, es conveniente ubicar dos o más líneas guías, para evitar el desplazamiento desde la curva de nivel.

2.2.1.2 Trazado en pendiente no uniforme. En general, la mayoría de los terrenos presentan pendientes no uniforme, por lo cual para la construcción de surcos en contorno, es conveniente separar las áreas de pendientes similares. Cuando las diferencias de pendientes no son muy marcadas, se procede a separar los sectores formando pendientes promedios (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distancia a que deben trazarse las líneas guías en cultivos a nivel, según la pendiente del terreno.

Práctica mecánica	Pendiente media del terreno %	Distancia entre líneas guías (metros)
Surco en contorno	1 a 3	50
	3 a 5	40
Surco en contorno, complementado con otra práctica mecánica	6 a 8	30
	8 a 10	20
	10 a 12	15
	12 a 15	10

Fuente. SARCH, 1982. Manual de Conservación del Suelo y del Agua. Colegio de Postgraduados. Chapingo. Mexico.

2.2.2 Mantención

En la temporada, invierno–primavera, después del trasplante de las especies seleccionadas, los árboles o arbustos deben permanecer en absoluta exclusión, protegidos del daño que pueden realizar animales silvestres y/o domésticos. Una vez hecho el trasplante se realiza un riego entre junio y agosto, dependiendo de las condiciones de precipitación.

En condiciones de sequía de verano se requiere aplicar uno o dos riegos suplementarios mensuales con 20 litros de agua por planta entre los meses de diciembre a marzo.

2.2.3 Evaluación del efecto de los surcos de infiltración

En 1983/84, en INIA Los Vilos, IV Región, años de precipitación normal para esa zona (220 mm), se evaluó el efecto de los surcos en un suelo con dos estratos muy marcados, uno de textura franca (0 a 32 cm) y otro arcilloso (de más de 32 cm). Los surcos se establecieron con una capacidad de 57 litros por metro lineal, tres distanciamiento (3, 6 y 9 m) y en dos tipos de pendiente (5 y 21%). Los resultados indicaron que la humedad es mayor en el suelo mientras menor es la distancia (3 y 6 m), dependiendo de la profundidad del primer estrato.

En el segundo estrato la acumulación de agua en el suelo fue mayor que en el primero. La humedad en los sectores con surco permaneció más tiempo por encima del nivel de punto de marchitez permanente que en los sectores sin surcos. Esta diferencia de tiempo fue aproximadamente de un mes y medio, a favor del tratamiento con surcos, lo que beneficia a las especies perennes y arbustos (Meneses, Squella y Soto, 1985; Meneses et. al., 1985).

En la zona centro sur de Chile, a partir de la VIII Región, las mayores precipitaciones —muy superiores a la de los secanos de más al norte— los surcos de infiltración podrían asegurar

una cierta reserva de agua en el perfil hasta fines de la primavera. En esas condiciones es posible establecer en la parte inferior de los surcos alguna especie frutal, como manzano, pero debe tenerse la posibilidad de instalar un sistema de riego tecnificado para cubrir el déficit en verano y asegurar la cuaja y el desarrollo del fruto; de lo contrario nunca las producciones llegaran a ser óptimas.

Es importante precisar que la mayoría de los suelos del secano costero e interior presentan dos estratos. El primero, de textura franca a franca arenosa y el segundo, más arcilloso, lo cual implica que el agua de lluvia infiltre más lentamente, produciéndose una rápida saturación del estrato superficial. Así se origina el escurrimiento del agua no infiltrada y un arrastre de suelo hacia las quebradas y posteriormente al océano.

2.3 Canal de desviación de aguas lluvias

Este tipo de estructura, es una técnica mecánica que permite evacuar excesos de agua, en terrenos donde se pueden producir acumulaciones que pueden afectar el desarrollo de una cárcava, o afectar siembras o plantaciones de cultivos establecidos.

Para estimar la descarga o escurrimiento máximo de la zona de aporte de agua al canal de desviación, se utiliza la fórmula:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360} \qquad (1)$$

donde:

Q = Caudal máximo de descarga desde el área de aporte al canal (m3/s).

C = Coeficiente de escurrimiento (escurrimiento superficial en porcentaje de las precipitaciones).

I = Intensidad de las precipitaciones (mm/hr).

A = Superficie de la zona de aporte que ha de drenar el canal (hectáreas)

Para determinar el coeficiente de escurrimiento (C), se puede utilizar los datos del cuadro 2, definidos por la Universidad de Chapingo, Mexico (1982).

Cuadro 2. Valores del coeficiente de escurrimiento (C) utilizado para calcular los escurrimientos máximos.

Topografía / Vegetación	Textura del suelo		
	Gruesa	Media	Fina
Bosque			
Plano (0 – 5 % de pendiente)	0,10	0,30	0,40
Ondulado (5 – 10 % de pendiente)	0,25	0,35	0,50
Encarpado (10-40% de pendiente)	0,30	0,50	0,60
Empastada			
Plano (0 – 5 % de pendiente)	0,10	0,30	0,40
Ondulado (5 – 10 % de pendiente)	0,16	0,36	0,55
Encarpado (10-40% de pendiente)	0,22	0,42	0,60
Terrenos cultivados			
Plano (0 – 5 % de pendiente)	0,30	0,50	0,60
Ondulado (5 – 10 % de pendiente)	0,40	0,60	0,70
Encarpado (10-40% de pendiente)	0,52	0,72	0,82

Ejemplo: cálculo de un canal de desviación en una empastada con 11% de pendiente.

En el caso de esta ladera según el cuadro 1, se seleccionó un coeficiente de escurrimiento de 0,22.

La intensidad máxima (I) promedio de las precipitaciones para junio del año 2000, es de 90 mm/h, registrados por pluviómetros.

El área (A) de aporte de agua al canal, se calcula preferentemente con un plano topográfico de dicha superficie. En el ejemplo se ha determinado una superficie de 2,5 hectáreas.

De esta manera, la descarga o escurrimiento máximo de la zona de aporte de agua al canal de desviación, es (ecuación 1):

$$Q = \frac{0{,}22 \times 90 \times 2{,}5}{360} = 0{,}137 \text{ m}^3/\text{s}$$

Entonces, el canal de desviación deberá tener una capacidad mínima de desviar 0,137 m^3/s. Por lo tanto, se deben seleccionar las dimensiones que tendrá la obra a emplazar.

El caudal máximo del canal se calcula según la ecuación de Manning:

$$Q = A \times V \qquad (2)$$

donde:
Q = Caudal máximo (m^3/s)
A = Área de la sección (m^2)
V = Velocidad del flujo al interior del canal (m^3/s)

La sección recomendada para construir el canal de desviación en zonas de secano es la semicircular o parabólica. Si la sección elegida es **parabólica**, el área se estima de la siguiente manera:

$$A = 2/3 \times a \times t \qquad (3)$$

donde:

A = Área de la sección del canal (m^2)
a = Ancho superior del canal (m)
t = Tirante hidráulico del canal (m)

La velocidad promedio del flujo de agua dentro del canal se expresa:

$$V = \frac{R^{(2/3)} \times S^{(1/2)}}{n} \qquad (4)$$

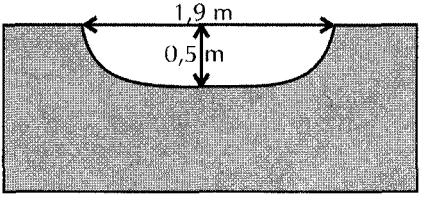
donde:

V = Velocidad promedio del flujo de agua dentro del canal (m/s)
R = Radio hidráulico (m), definido como la relación del área de la sección del canal dividida por el perímetro mojado (perímetro de la sección del flujo dentro del canal)

$$R = \frac{\text{Área}}{[a + (8 \times t^2) \times 3 \times a)]}$$

S = gradiente hidráulico (adimensional), se asume como la pendiente del canal expresada en tanto por uno.
n = coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

Entonces, un canal de desviación de sección parabólica con un ancho superior asumido (a) de 1,9 m y un tirante hidráulico (t) de 0,5 m, tiene un área de flujo de agua de 0,63 m^2, la cual resulta de la ecuación 3:



$$A = 2/3 \times 1{,}9\ m \times 0{,}5\ m = 0{,}63\ m^2$$

El radio hidráulico de este canal sería:

$$R = \frac{0{,}63}{(1{,}9 + [(8 \times 0{,}5^2) \times 3 \times 1{,}9])} = 0{,}047\ m$$

Por lo tanto, asumiendo una pendiente del canal de desviación de 3 por mil (0,003) y un coeficiente de rugosidad de 0,03 la velocidad promedio del flujo de agua al interior del canal sería (ecuación 4):

$$V = \frac{0{,}047^{(2/3)} \times 0{,}003^{(1/2)}}{0{,}03} = 0{,}24\ m/s$$

Finalmente de acuerdo a lo anterior, el caudal que es capaz de desviar el canal sería (ecuación 2):

$$Q = 0{,}63\ m^2 \times 0{,}24$$
$$Q = 0{,}15\ m^3/s$$

El canal tiene una capacidad de conducción mayor a la escorrentía máxima en el área de aporte (14%), lo anterior es muy importante debido a que se producen fenómenos de sedimentación los que disminuyen la capacidad del canal en el tiempo. Por lo tanto, se recomienda sobrestimar un 10 a 15% su capacidad, dependiendo de los riesgos de sedimentación anual que se producirían en el canal de desviación proyectado.

2.4 Zanjas de infiltración

La zanja de infiltración, es una excavación en el terreno, utilizada en zonas de baja precipitación (inferior a 250 mm al año) donde se acumula el agua de lluvia, para que infiltre más agua en el suelo, proporcionando humedad a las plantas ubicadas en los borde de ellas, en los periodos de lluvias escasas. Los materiales requeridos para su establecimiento, son un nivel tipo A, para el trazado de la línea de ubicación de ellas; palas y picotas.

Para un adecuado aprovechamiento de las aguas lluvias acumuladas en las zanjas de infiltración, se deben plantar especies vegetales, que servirán como barreras vivas, en la parte superior e inferior de ellas, pueden ser plantas herbáceas, idealmente perennes, o arbustos, para que sus raíces retengan el suelo y evitar el desmoronamiento del terreno hacia el interior de la excavación, así se favorece el flujo normal del agua en el interior de los surcos. En la parte inferior pueden ser árboles nativos de la zona o árboles de uso forestal, como eucaliptos, con el objeto de crear una cubierta vegetal y, a la vez, aprovechar el agua infiltrada por las zanjas.

2.4.1 Construcción

Lo mismo que las barreras vivas debe calcularse la pendiente del terreno, y en función de ella fijar las distancias entre zanjas y trazar las curvas a nivel por donde deberá construirse la zanja, siguiendo las siguientes etapas:

Etapa 1. Con el nivel en "A" se marcan las líneas de ubicación de las zanja, perpendicular a la dirección de la pendiente. Sobre la línea se marcan las zanjas de infiltración, considerando el largo y ancho de la zanja, así como la distancia entre ellas:
Largo de la zanja: 2 metros
Ancho de la zanja: 60 centímetros

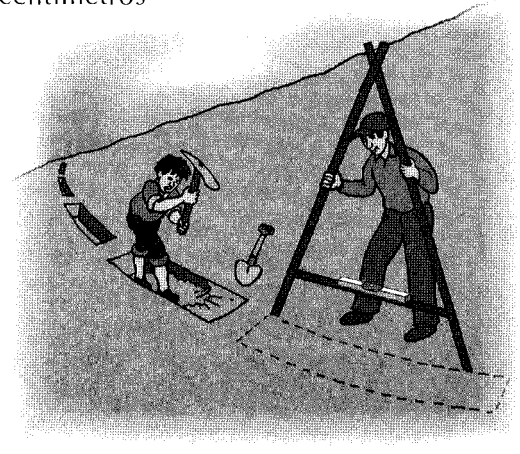
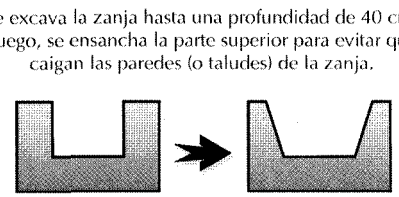


Figura 7. Trazando la línea sin caída para la zanja de infiltración.

Etapa 2. Se excava la zanja hasta una profundidad de 40 cm. a 50 cm. Posteriormente, se ensancha la parte superior para evitar que caigan las paredes (o taludes) de la zanja.



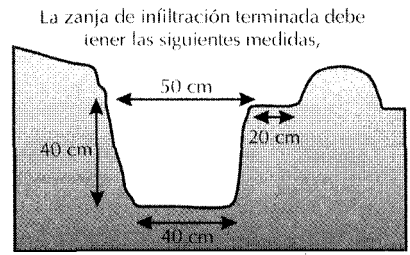


Figura 8. Construcción de zanjas

Etapa 3. La tierra que se saca de la zanja de infiltración debe depositarse en la parte baja de la zanja, formando un pequeño camellón para darle una sobre elevación. Se debe depositar la tierra no muy próxima a la zanja, en lo posible a unos 20 a 30 cm de distancia, para que la tierra no caiga nuevamente en la zanja.

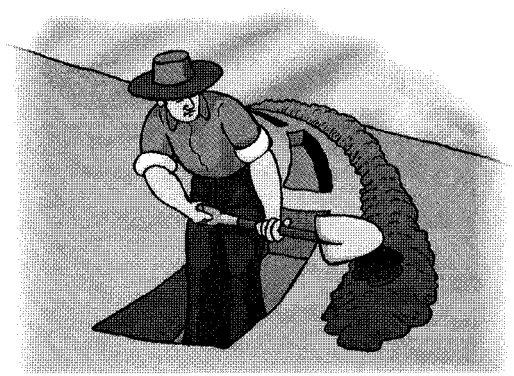


Figura 9. Depositando la tierra en la parte baja de la zanja, a unos 20 centímetros de distancia.

Etapa 4. Es recomendable sembrar especies herbáceas sobre los camellones, para que estos sean más resistentes y puedan resistir por más tiempo.

Etapa 5. Establecimiento de barreras vivas. Plantación de especies arbustivas o arbóreas.

Las barreras vivas para proteger las zanjas se ubican a 20 cm del borde superior (plantas herbáceas o arbustos) y a 50 cm del borde inferior (árboles nativos de la zona o árboles forestales). Las especies adecuadas son las mismas que se utilizan para las barreras vivas.

2.4.2 Mantención

El mantenimiento es uno de los elementos fundamentales en el uso de una zanja de infiltración, y debe realizarse permanentemente, y en especial cuando la zanja se haya llenado. Se debe hacer mantención de las zanjas después de un evento de lluvias, para asegurar su buen funcionamiento.

Con cada evento de lluvias, las zanjas de infiltración se llenan con tierra y restos de plantas, por lo cual no pueden seguir acumulando agua. El material acumulado son sedimentos finos y arenas, con la mejor fertilidad de esos terrenos. La zanja se limpia sacando los sedimentos acumulados, que posteriormente, para aprovechar su fertilidad, se llevan nuevamente a los terrenos, en las proximidades de las especies plantadas (Figura 10).

Para asegurar la eficiencia de las zanjas por mucho tiempo, se recomienda evitar el paso del ganado, particularmente cuando las plantas son pequeñas. En lo posible se tiene que evitar que los animales transiten por los bordes de la zanja o entren en ella, porque pueden, por un lado, derrumbar los costados, y por otro usar como alimento las especies que protegen los camellones (Figura 11).

Los cuidados necesarios que se deben dar a los árboles y arbustos son los mismos que se indican bajo el subtítulo "barreras vivas".

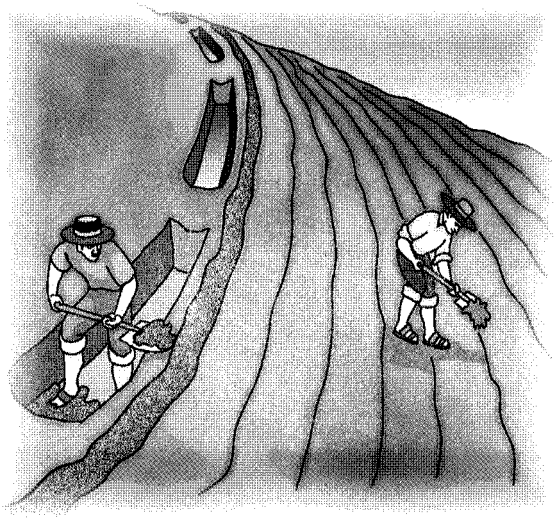


Figura 10. Realizando el mantenimiento de la zanja de infiltración.

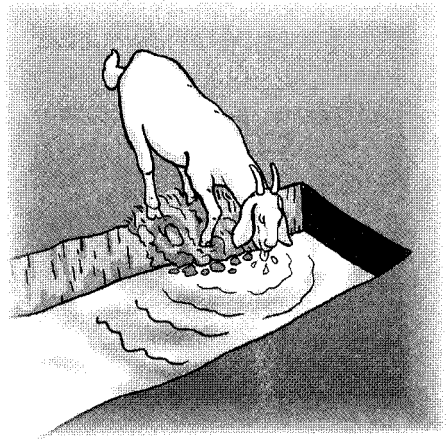


Figura 11. Evitar el paso de animales o que transiten por los bordes de la zanja.

2. 5 Pircas

Las pircas son muros de piedra, que cumplen la función de detener la pérdida de suelo y lograr que éste se fije en la parte superior de los muros, de modo que, paulatinamente, se vaya disminuyendo la pendiente del terreno entre pircas, creándose pequeñas terrazas mucho más fértiles que el suelo original y un microclima favorable para el crecimiento de vegetación, porque la protegen del viento y de las heladas.

Se recomiendan en terrenos donde haya gran cantidad de piedras, de lo contrario aumenta el costo por transporte. Su construcción demanda bastante mano de obra, pero es una labor que perfectamente la puede realizar el pequeño agricultor, con trabajo familiar, en tiempos disponibles donde no exista demanda de alguna labor agrícola.

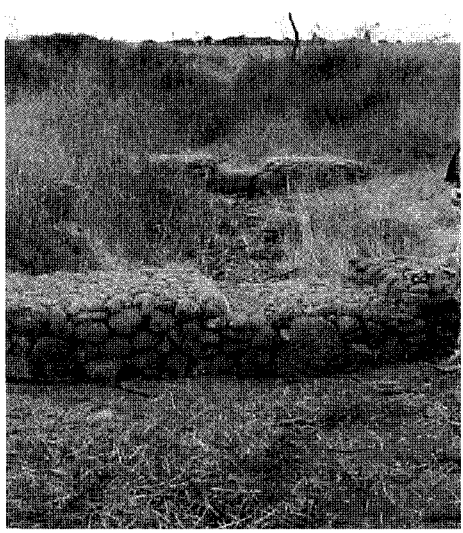


Foto 7. Uso de pircas al interior de una cárcava para reducir el flujo de agua. La Estrella, VI Región.

Para darles más estabilidad y protegerlas, conviene plantar árboles o arbustos en la parte inferior. Los árboles que se escojan, deben ser de fácil propagación y establecimiento, con raíces de desarrollo superficial y gran cantidad de follaje de rápida descomposición. Pueden ser aromo, boldo, o cualquier especie nativa con las características indicadas. En la parte superior se puede colocar alguna especie forrajera perenne, también con el fin de fortalecerla y ayudar a contener el suelo.

La asociación de pircas y barreras vivas son ventajosas: los árboles refuerzan las pircas, evitan que las parejas de animales, al momento de la preparación de los suelos, se acerquen demasiado a ellas y dañen su cimiento. La vegetación también es un complemento en la protección de los cultivos contra las heladas. Y por último, las hojas y ramas tiernas de los árboles, al caer al suelo y descomponerse, fertilizan la tierra, mejorando la capacidad productiva del terreno.

2.5.1. Construcción

Al igual que las estructuras anteriores, debe medirse la pendiente del terreno para fijar la distancia entre las pircas y trazar las curvas a nivel. Con relación a las distancias, también se debe considerar los aspectos de uso que se le dará al suelo, las precipitaciones y las labores de preparación de suelos.

En la mayoría de los terrenos existe gran cantidad de piedras que dificultan las labores agrícolas y obstaculizan el buen crecimiento de las plantas. Éstas se deben juntar en el lugar donde se levantará cada muro. En cada curva a nivel se excava una zanja de 50 cm de ancho y 15 a 20 cm de profundidad, donde se colocan las piedras del cimiento.

Su construcción requiere de habilidades y conocimientos que poseen los agricultores. Pero, como orientación, se recuerda que las piedras más grandes y planas tienen que ir en el cimiento, y que la

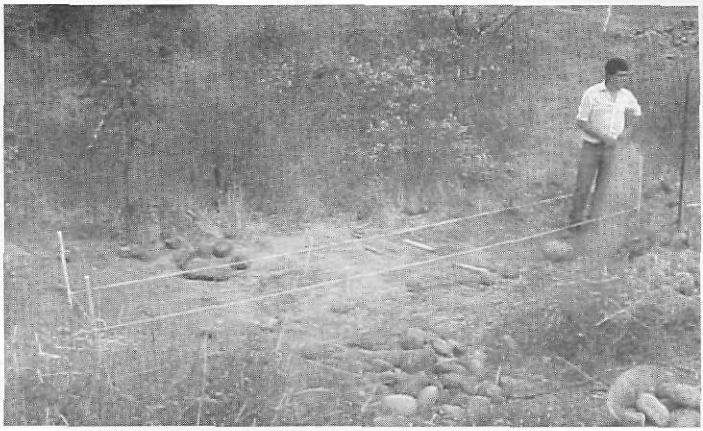


Foto 8. Trazado de la base para
la construcción de pircas.

pirca debe tener una forma ligeramente piramidal, con el fin de asegurar una mayor estabilidad. La altura inicial, 50 cm, más o menos, puede elevarse cada año con las piedras que se saquen del terreno, de acuerdo a las necesidades de fijar el suelo.

Una vez construida, se establecen las plantaciones de árboles al pie de la pirca, a una distancia aproximada de 0,5 a 1 m de su base (parte inferior) y a l metro entre plantas. En la parte superior las plantas (tunas, o alguna forrajera perenne) se ubican a una distancia de 0,5 metro de la pirca

2.5.2. Mantención

se debe realizar mantenciones con cierta frecuencia, cuando se detecte deslizamiento o movimiento de las piedras que conforman la pirca. Además, si se han establecido árboles, se deben efectuar podas periódicas, evitando el sombreamiento, para evitar que los árboles compitan con los cultivos o pastos de la parcela durante su crecimiento. En general todos los cuidados indicados para las barreras vivas son válidos para este sistema.

2.6 Terrazas y andenes

Las terrazas también llamadas andenes, o terraplenes, son cortes sucesivos de la ladera, como si fueran escalones que permiten aprovechar el espacio horizontal y vertical de un terreno, constituyendo el medio mecánico más antiguo de protección contra la erosión de los suelos. Es una tecnología agrícola ancestral, que permite utilizar racionalmente las laderas de terrenos de fuertes pendientes, la cual se ha desarrollado en muchos lugares del mundo, producto de condiciones económicas, técnicas y sociales a un medio adverso.

En el Perú, es una práctica conservacionista que los incas dominaron ampliamente, llegando a construir estructuras hidráulicas altamente tecnificadas. En la actualidad es una práctica en desuso en la agricultura chilena, con excepción en la actividad agrícola de las comunidades que se desarrollan en los pequeños valles de las regiones del norte y centro norte de Chile.

La terrazas se construyen formando terraplenes, los cuales deben tener una inclinación hacia adentro para evitar que el agua de lluvia se rebalse y que el agua se infiltre total y uniformemente en ella. Permiten formar una superficie de terreno horizontal sobre la cual se cultiva sin que escurra el agua. En este caso se requiere un movimiento de corte y relleno del terreno importante, en términos del volumen de suelo a desplazar, por lo cual se precisa de contratar el servicio de uso de maquinarias como niveladores, traíllas y otras.

2.6.1 Criterios de selección de una terraza.

Para el establecimiento de un sistema de andenes o terraza, se debe considerar lo siguiente (SARH,1082):

- La pendiente de la ladera debe estar comprendida entre un 5 y 60%, preferentemente por razones de costo.

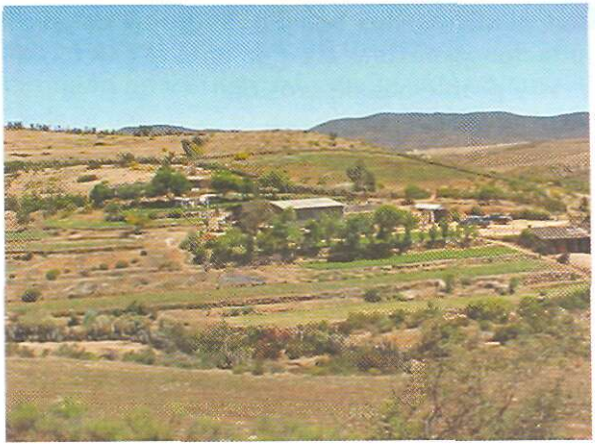


Foto 9. Cultivo de maiz y alfalfa en terrazas.
Combarbalá, IV Región.

Foto 10. Plantación de nectarines en terrazas con curvas a nivel,
localidad Lo Miranda, Sector El Cerrro, Doñihue, VI Región.

- La disponibilidad y caudal de las fuentes de agua para el riego: vertientes, canales, lluvias, neblinas, etc.

- La precipitación estacional anual en zonas de secano no debe ser inferior a 200 mm. Menos no justifica la inversión para el establecimiento y manejo de cultivos.

- Obtener y analizar los registros hidrológicos de la máxima precipitación y máxima avenida para el cálculo de caudales máximos y problemas de erosión.

- Estudios geológico y edafológico del terreno para la descripción del perfil de la ladera.

3. RECUPERACIÓN DE CÁRCAVAS

Cárcava es la forma producida por la socavación repetida sobre el terreno, debido al flujo incontrolado de los escurrimientos superficiales (SARH, 1983).

Principales causas que originan la formación de las cárcavas:
- Mal manejo del suelo y del agua.
- Falta de cubierta vegetal sobre el suelo.
- Presencia de depresiones naturales en el terreno.
- Falta de protección de caminos y empastadas.
- Ruptura de canales y terrazas.

3.1 Clasificación de las cárcavas.

Se agrupan de acuerdo a su tamaño y el área que drenan, tal como observa en el cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación de las cárcavas.

Cárcava	Tamaño (profundidad en metros)	Área drenada (hectárea)
Pequeña	< de 1 metro	< de 2 hectáreas
Mediana	1 a 5 metros	2 a 5 hectáreas
Grande	> de 5 metros	> de 5 hectáreas

Fuente: SARH, 1982.

Los principales daños causados por las cárcavas son las siguientes:

- Propician el arrastre de suelo fértil.
- Provocan daño en estructuras de almacenamiento y de conducción de aguas.
- Dificultan el uso de maquinaria agrícola.
- Reducen el área útil para el cultivo.
- Favorecen la destrucción de caminos vecinales.

3.2. Etapas para el control de cárcavas pequeñas y medianas.

Para lograr una eficiencia en el control de cárcavas pequeñas y medianas, es necesario realizar un control integral de la cuenca, que aporta los escurrimientos y sedimentos erosionados a la cárcava, mediante el uso de prácticas específicas de conservación de suelos, de acuerdo al uso del terreno.

Las etapas para el control de la erosión son las siguientes:

- Prevenir la erosión aguas arriba, en la cabecera de la cárcava.
- Reducir la velocidad de los escurrimientos superficiales que erosionan el interior, borde y taludes de la cárcava.
- Relleno del interior de la cárcava con los sedimentos captado por estructuras físicas diseñadas para ese fin.
- Repoblar con vegetación nativa de la zona.

3.2.1 Trazado de una zanja o canal de desviación de aguas lluvia

La primera medida que se debe realizar para la recuperación de una cárcava menor es el trazado de una zanja o canal que se sitúa en la parte superior de una cárcava para desviar el curso del agua causante de la erosión. Debe quedar a una distancia de la cabecera de la cárcava de al menos tres veces superior a su profundidad. Por ejemplo, si la profundidad de la cárcava es de 3 metro, el canal de desviación se ubicará a 9 metros de la cabecera. La obra debe ser capaz de interceptar y evacuar la

totalidad, idealmente, o una parte del caudal que potencialmente pueda escurrir desde la zona de aporte, la cual se ubica aguas arriba, conduciendo las aguas hacia desagües naturales o pendientes suaves más protegidas (quebrada, riachuelo, entre otros).

Las cárcavas son zanjas originadas por la erosión del suelo. Constituyen cauces naturales, donde el agua proveniente de las lluvias se concentra y escurre. Para estabilizarlas se recomienda construir zanjas de desviación, "peinar" los bordes, repoblar la ladera (cobertura vegetal) y construir barreras físicas, como diques de piedra o de sacos rellenos con tierra en hileras.

3.2.2 Peinado de la cárcava

Consiste en eliminar el suelo ubicado en el borde o taludes de la cárcava. Cuando ya hay un efecto erosivo, tanto en el interior como en el borde de ella, normalmente la estabilidad estructural del suelo es muy baja y sin cohesión, por lo cual cualquier especie vegetal que se pretenda establecer será arrastrada junto con el suelo al continuar los procesos erosivos.

3.2.3. Repoblamiento de la ladera

Es una medida importante para evitar que las cárcavas sigan desarrollándose. Consiste en sembrar alguna forrajera perenne, plantar árboles y arbustos que desarrollen un sistema denso de raíces y favorecer el crecimiento de la vegetación herbácea y arbustiva propia del lugar. El repoblamiento con vegetación se hace tanto en los bordes como en los terrenos aguas arriba de la cárcava, y este debe hacerse partiendo con especies herbáceas, seguido de arbustos, para finalmente terminar con especies arbóreas.

Cerca del borde se recomienda plantar árboles o arbustos de pequeño tamaño, para evitar el desmoronamiento del suelo por el peso que pudieran ejercer los más grandes. La cabecera de la cárcava debe repoblarse densamente, pues la erosión siempre

es más intensa en la parte superior. Es importante cercar el área erosionada para evitar el ingreso de animales que puedan dañar la plantación e impedir la regeneración de la vegetación natural (Foto 11). Como este proceso es lento, se necesitan varios años de vigilancia permanente.

Foto 11. Uso de cerca de protección en el contorno de una cárcava.

3.2.4 Construcción de barreras físicas al interior de la cárcava

La estabilización de la cárcava puede lograrse, además, con la construcción de barreras físicas como diques de piedra o de madera, tipo lampazos de pino, en sentido transversal a la misma. El uso de piedras dentro de la cárcava, es especial para suelos muy pedregosos, donde es difícil el crecimiento de la vegetación. Para una buena estabilización los muros deben construirse con un espaciado que permita que la parte superior de uno quede al mismo nivel de la base del muro anterior utilizando para ello la siguiente ecuación:

$$\text{Espaciamiento entre muros} = \frac{\text{Altura efectiva del muro}}{\text{Pendiente de la carcava (\%)}}$$

Estos muros retendrán parte del suelo arrastrado, donde la vegetación encontrará excelentes condiciones para desarrollarse. La construcción de los muros tiene que ser lo suficientemente fuerte para resistir la acción destructora del agua.

Una alternativa barreras físicas es el uso de sacos plásticos llenos de tierra y semillas de especies forrajeras (Foto 12). A través de perforaciones que se le hacen a los sacos por las partes superior, saldrán los brotes de la semilla germinada. Este sistema permite repoblar con vegetación que detendrá el arrastre del suelo en el interior de la cárcava. Otro es el uso de "lampazos" de pino, los cuales se ubican formando una barrera en forma perpendicular a la pendiente de la cárcava. Previo se entierran "lampazos" más resistentes que sirven de soporte a la estructura. La utilización de fardos de paja, unidos entre si por alambres y sujetos a "lampazos" enterrados, es una forma económica de construcción de muros de contención (Foto 13). El inconveniente es que deben ser cambiados año a año.

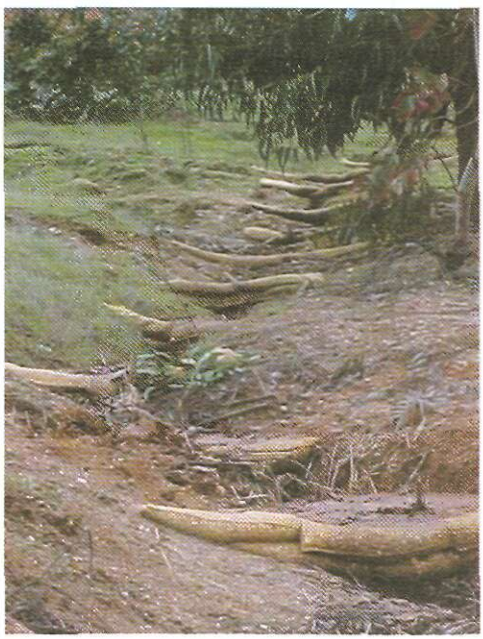


Foto 12. Sacos rellenos con tierra como reductores de la velocidad del flujo del agua. Pumanque, VI Región.

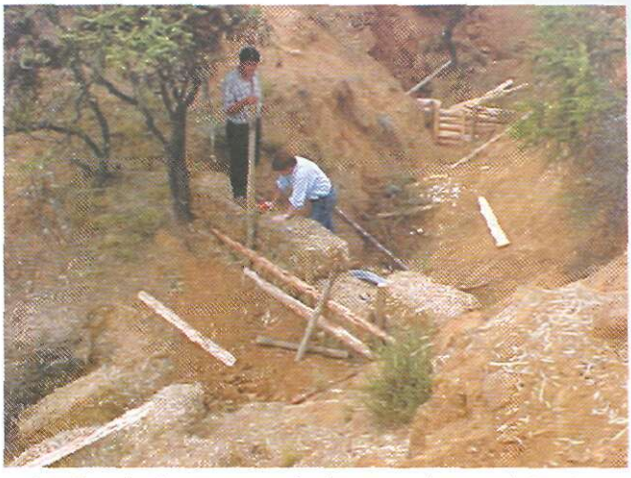


Foto 13. Uso de "lampazos" y fardos para el control de cárcavas, Marchigue, VI Región.

4. PENDIENTES, DISTANCIAS DE ESTRUCTURAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y TRAZADO DE CURVAS A NIVEL

Antes de seleccionar la técnica que se utilizará para la conservación de suelos y definir las distancias entre las estructuras, ya sean barreras vivas, zanjas de infiltración o pircas, es necesario conocer el grado de la pendiente. Lo mismo que para el trazado de curvas a nivel.

4.1 Pendiente

Existen diversas formas para medir la pendiente. La más conocida se realiza con instrumentos topográficos, como niveles, taquímetros, y estación total. Estos tienen la gran ventaja de dar resultados rápidos y exactos. Sin embargo, en algunas zonas agrícolas de Chile no siempre existe disponibilidad de tales equipos, y los pequeños agricultores muchas veces no cuentan con los recursos necesarios para la contratación de un especialista en su operación.

Una metodología alternativa de fácil aplicación consiste en utilizar un "clinómetro de madera", que puede ser confeccionado por los propios productores.

Confección de un clinómetro: consiste en una barra recta de madera de 1 m de largo y 3 cm de diámetro, que en uno de sus extremos se ata una soga o cáñamo de 2 m de largo. También se requiere de una huincha de medir. En vez de una soga puede ponerse una huincha costurera, cuidando que la medición se haga a partir del cero.

Para medir la pendiente la barra de madera del clinómetro se ubica horizontalmente en dirección de la pendiente, apoyando el extremo sin la soga sobre el suelo. Una vez realizada esta operación, con la huincha se mide la altura entre el otro extremo de la barra y el suelo (Figura 12). Esta medida se relaciona con una distancia de 100 metros, a través de una regla de tres simple, para determinar la pendiente en forma porcentual. Por ejemplo, si con un clínómetro con barra de madera de 1 m se mide una altura de 5 cm (0,05 m), en 100 metros la altura será de 500 cm (5 m), es decir la pendiente, expresada en porcentaje es de 5%.

Figura 12.
Clinómetro de madera.

4.2. Distancia entre estructuras

De acuerdo a estudios realizados por la Universidad de Chapingo (México) y por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile, se proponen las separaciones relacionadas con la pendiente que deben dejarse en cualquiera de las obras que se vayan a realizar: barreras vivas, surcos de infiltración, zanjas de infiltración, localización de pircas de piedra, y construcción de surcos en contorno (cuadro 4).

Cuadro 4. Relación de la distancia entre estructuras y el porcentaje de pendiente del terreno.

Porcentaje de Pendiente	Distancia entre estructuras
2 a 4 %	30 m
5 a 7 %	26 m
8 a 10 %	22 m
11 a 13 %	20 m
14 a 16 %	18 m
17 a 19 %	16 m
20 a 22 %	14 m
23 a 25 %	12 m
26 a 28 %	10 m
29 a 31 %	9 m
32 a 34 %	8 m

Fuente: Adaptado de SARH, 1983. y Gaete, N. 1999.

Para delimitar la distancia entre estructuras también debe tomarse en consideración el uso que se le da o dará al terreno, la pluviometría, y las condiciones de preparación del suelo. Si se siembran cultivos anuales, como garbanzo o chícharo, se usan las distancias menores, que si se va a poner una pradera perenne que protege mejor el suelo, o alguna especie frutal. A mayor intensidad de lluvias, deben usarse las distancias menores dentro del rango. Donde las labores se hacen con tracción animal, la distancia no debe ser inferior a 8 m para permitir el tránsito y vuelta de los animales con el implemento de labranza.

4.3 Curvas a nivel

Las curvas a nivel se trazan en forma transversal a la pendiente del terreno, iniciando el trabajo desde la parte más alta. La forma más rápida de delinearlas es con un nivel topográfico o taquímetro, pero en el caso de no disponer de esta tecnología son útiles los niveles tipo "A" y de "caballete", que también pueden construirse en el predio.

En conservación de suelo, dependiendo de los objetivos (cultivo, forestal), la pluviometría y el tipo de estructura (barrera viva, zanja u otras), se recomiendan dos tipos de curvas a nivel:

- En un suelo agrícola con pendiente inferior al 15% para establecer un cultivo con manejo entre hileras (lentejas, porotos, garbanzos, chícharos, arvejas, papas, entre otros), el trazado de la curva a nivel debería tener una pendiente de un cero por ciento, es decir los puntos de la curva tienen la misma cota (altura topográfica). De esta forma se consigue reducir el problema de erosión, con relación a la forma

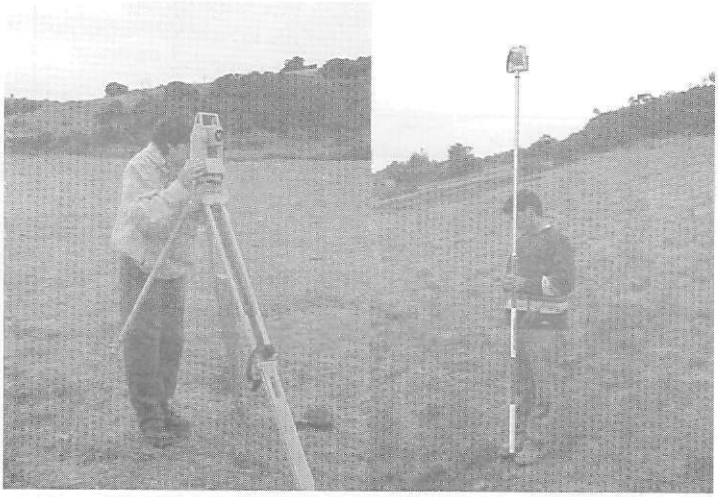


Foto 14. Uso de instrumentos topográficos para el trazado de curvas de nivel.

de cultivo tradicional, en que muchas veces las hileras se trazan a favor de la pendiente. A la vez se permite una mejor infiltración del agua favoreciendo al cultivo que, una vez establecido, cumple el papel de una barrera viva. La curva con pendiente "cero", en el caso de los pequeños agricultores, se recomienda realizar con un nivel tipo "A".

- En regiones lluviosas, conviene dar a las curvas a nivel una ligera inclinación transversal, con una pendiente no mayor a un 3 por mil. Es decir, por cada mil metros de distancia, debe haber un desnivel de 3 m entre un extremo y el otro de la curva. Con ello se facilita el desagüe lento, evitando que el agua se encharque. Esta curva se puede trazar con un nivel topográfico, o nivel de "caballete".

4.4. Trazado de curvas de nivel

La marcación y trazado de las curvas de nivel con los niveles tipo A y de caballete se realiza de la siguiente manera:

- Se elige un punto "X" en la parte alta de un extremo del terreno, señalándolo con una estaca o una piedra que servirá de referencia para trazar la primera curva a nivel, donde se ubicará la primera barrera, zanja, surco o pirca.

- En este punto se sitúa uno de los laterales del nivel tipo A o la pata más corta del tipo caballete. El otro lateral o la pata más larga se ubica en el lugar donde la cuerda coincida con la marca central del travesaño o donde el nivel de carpintero se encuentre centrado; la ubicación correcta se marca con una segunda estaca o piedra. El nivel tipo "A" se va moviendo de la misma forma como se hace con un compás, es decir se apoya una pata y se va girando la otra.

- La segunda estaca o piedra se usa como punto de partida para repetir el proceso, y así, sucesivamente, hasta llegar al final del terreno, donde se marca el último punto, "Z".

- A partir de cualquiera de los dos extremos (punto "X" o "Z"), siguiendo la dirección de la pendiente, se mide la distancia a la cual se ubicará la segunda curva a nivel. Se marca este nuevo punto y se reinicia el proceso con los niveles. El procedimiento se repite hasta llegar a la base de la pendiente.

- El trazado de las curvas a nivel se hace con un arado de vertedera de tiro animal, el cual sigue la curva trazada, botando las estacas.

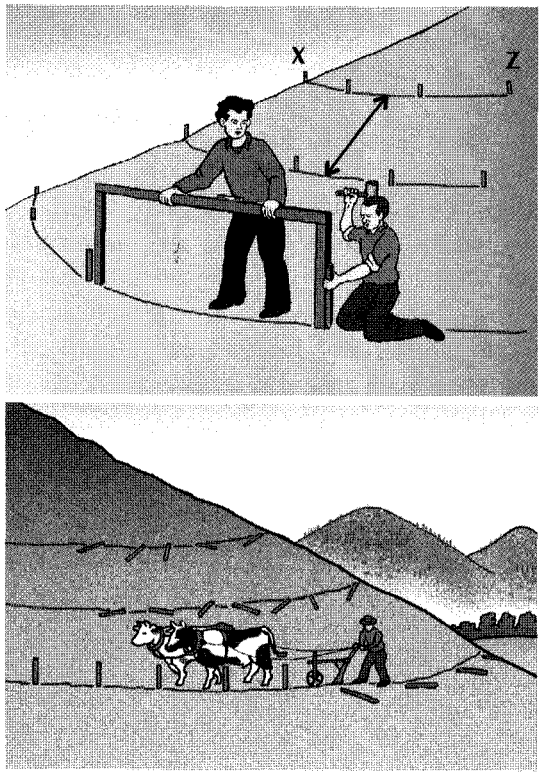


Figura 13. Trazado de curvas a nivel con caballete y arado de vertedera.

5. PLANIFICACIÓN DE TÉCNICAS DE MANEJO CONSERVACIONISTA

Como se ha visto para la conservación y recuperación de los suelos existen una serie de técnicas: algunas de ellas son adecuadas para pendiente ligeras y grandes explotaciones agrícolas, mientras que otras son de mayor utilidad para predios más pequeños y con pendiente mayores. En general, con respecto a las pequeñas explotaciones, qué es donde los problemas de erosión son de mayor envergadura, la aplicación de determinadas técnicas de conservación de suelos, debe considerarse los siguientes puntos:

5.1 Control de escurrimiento superficial

Es inevitable que el agua escurra pendiente abajo por la superficie de un terreno, particularmente en zonas de altas precipitaciones, como ocurre en el secano costero e interior entre mayo y agosto. De no adoptar medidas de control eficaces, pronto comienzan a formarse surcos y cárcavas. Por lo tanto, se requiere dar énfasis a la reducción de la velocidad, desvío y evacuación del agua de escurrimiento.

5.2 Establecimiento de sistemas de producción sustentables

La conservación del suelo no debe limitarse a prácticas cuyo único objetivo sea el de combatir la erosión, sino que debe entenderse como un medio para conseguir una mayor producción agrícola rentable y sostenida, de lo contrario los pequeños agricultores no estarán interesados en ellas. Es por esto, que las técnicas de conservación deben estar insertas dentro de una función de producción que favorezca al agricultor y haga rentable su negocio agrícola.

5.3 Elección de las técnicas de control

Si se trata de hacer eficaz un proyecto de conservación de suelos y aguas, es fundamental que el técnico con el agricultor, o con un grupo de ellos, estudien las diversas alternativas de control de erosión y elijan las más convenientes, en función de sus intereses, planificación del uso y capacidad del suelo. Por ejemplo, en las zonas que cuentan con una superficie agrícola importante cubierta por predios pequeños pertenecientes a familias campesinas, que proveen de mucha mano de obra, se puede considerar la adopción de una práctica más intensiva. Por el contrario, si se trata de un agricultor de edad avanzada, con escasa familia viviendo en su propiedad y que, además, no está en condiciones de realizar un manejo conservacionista y de cultivos más intensivos, puede optar por cultivos permanentes, como empastadas, plantaciones forestales o, cuando se dispone de agua para riego tecnificado, por frutales.

5.4 Análisis de costos y beneficios

Al planificar obras de conservación, debe evaluarse cuidadosamente la relación costo beneficio, considerando en la proyección todos los aspectos que aseguren el éxito de la o las técnicas que se apliquen, generalmente se requiere utilizar más de una. Un conjunto de técnicas aplicadas en forma simultánea puede tener un costo alto para un agricultor, sin embargo, en el tiempo se justificarán plenamente. En conservación de suelos, aplicar medidas de bajo costo, no adecuadas y sin el debido conocimiento, muchas veces significa pérdida de tiempo y dinero.

5.5 Enfoque de manejo integrado

Cualquier práctica, ya sea de acondicionamiento de suelo, agronómica, o estructural, tiene que estar inserta dentro del manejo integrado del predio. La conservación del suelo no se

puede aislar, debe ser coherente con el sistema de explotación agrícola, para alcanzar una producción sustentable.

En una concepción más amplia, dado que la distribución y el manejo del excedente de agua de lluvias tienen un ámbito geográfico bien definido, que es la microcuenca, las acciones de conservación de suelos deben considerar un trabajo conjunto e integrado de los habitantes o productores del área de la microcuenca.

Para que los agricultores adopten técnicas de manejo conservacionista de suelos, necesitan de apoyo técnico, la presencia frecuente y regular de extensionistas es un estímulo para los productores. De acuerdo a la experiencia de los trabajos realizados por INIA, se ha comprobado que los agricultores que están en mayor contacto con los extensionistas, son los que se desarrollan más rápidamente y con éxito. Uno de los objetivos de la transferencia es capacitar agricultores para con el tiempo sean ellos los que transfieran las tecnologías a otros y a las nuevas generaciones. Sin embargo, el primer paso es la presencia de un número suficiente de extensionistas, y con permanencia de a lo menos tres años en una zona para lograr comunicarse adecuadamente a los agricultores. Si estas condiciones no están presentes, será mucho más difícil conseguir que los agricultores adopten tecnologías nuevas o más avanzadas.

CAPÍTULO 3

Manejo Conservacionista del Suelo

Jorge Riquelme S.[1]
Ing. Agrónomo Dr.

Jorge Carrasco J. [2]
Ing. Agrónomo Dr.

[1] *INIA - Raihuén*
[2] *INIA - Rayentué*

Es probable que las más importantes prácticas, por los resultados a corto plazo que se obtienen y por ser el factor que más incide en las considerables pérdidas de suelo y productividad, son todas aquellas relacionadas con los sistemas de labranza que implican menos laboreo del suelo (cero o mínima labor) en comparación con la labranza convencional.

La labranza convencional abarca una serie de acciones, que se realizan en gran cantidad y con una variedad de equipos, que producen la inversión del suelo. En el secano de la VI Región, normalmente se inicia a fines del invierno de la temporada anterior a la siembra de cereales o praderas, dejando el suelo en barbecho. Un porcentaje no superior al 30% de los productores, establece una leguminosa de primavera, tales como garbanzo y chícharo (barbecho cubierto); el 70% restante deja el suelo desnudo, con el consecuente sellado del suelo y la generación de un estrato compacto que contribuyen al escurrimiento superficial.

Durante 1994 y 1996, en el Campo Experimental Hidango, se desarrolló un trabajo orientado a evaluar las pérdidas de suelo por erosión de cinco alternativas de manejo:
1) Suelo desnudo/barbecho,
2) Pradera permanente,
3) Trigo tradicional,
4) Trigo mínima labor y
5) Trigo cero labor.

Estas evaluaciones se realizaron en una rotación avena–trigo–avena, por ser los principales cultivos de la zona y, por lo tanto, responsables en un alto grado del nivel de erosión observado. La evaluación de pérdidas de suelo se realizó mediante el método de parcelas de escurrimiento de Michael Stocking.

Los resultados obtenidos, mostraron que con cualquiera de estas técnicas se puede producir rendimientos de trigo similares a los obtenidos con sistemas tradicionales, sin mayores costos y con enormes beneficios desde el punto de vista de la conserva-

ción de suelo, oportunidad de siembra y mejor aprovechamiento de las empastadas.

Los sistemas de labranza, denominados conservacionistas (mínima y cero labranza) tuvieron como objetivo principal reducir las pérdidas de suelo por erosión. Los resultados indican que con labranza convencional las pérdidas son dos, siete y diez veces mayor que con labranza mínima, cero y pradera natural, respectivamente. Al extrapolar los valores de pérdida de suelo a una ladera de 100 metros de longitud y pendiente que varían entre 5 y 20%, éstas fluctúan entre 11,9 y 94,1 ton/ha en labranza convencional, entre 6,7 y 53 ton/ha en labranza mínima, y entre 1,8 y 4,7 ton/ha en cero labranza.

La labranza de conservación es cualquier sistema de laboreo que, en comparación con la labranza convencional, reduzca las pérdidas de suelo por erosión hídrica o eólica, y la pérdida de humedad del suelo por escurrimiento, percolación o evaporación, tuvo sus comienzos en la década de los años 20 en los Estados Unidos. Los conservacionistas tuvieron éxito al lograr que un gran número de agricultores adoptara las prácticas de conservación de suelos y aguas; sin embargo, las técnicas disponibles sólo ayudaban a disminuir los riesgos de la labranza pero no a eliminarlos.

En la actualidad, la tendencia hacia la reducción de labranza se ha intensificado a consecuencia del fuerte incremento de los precios del combustible y de la maquinaria, lo que no se ha visto compensado por un aumento en los precios de los productos agrícolas. Gracias a ello, un elevado número de agricultores en todo el mundo relegó el arado de vertedera y comenzó a utilizar sistemas alternativos de manejo conservacionista del suelo.

Los distintos sistemas de labranza de conservación están dirigidos a limitar el número de labores antes de la siembra. Con ello, además de haber reducido las pérdidas de suelo y agua, han disminuido los costos de producción.

Para que un sistema de labranza sea clasificado como de conservación, debe cumplir una serie de requisitos, los principales son:

- Mantener residuos de cosecha.
- Conservar efectivamente el suelo y el agua.
- Mantener o mejorar la estructura del suelo y el contenido de materia orgánica.
- Preservar la estabilidad ecológica con menores necesidades y aportes de agroquímicos que contaminen en forma mínima el agua y el medio ambiente.

Según Sánchez–Girón (1996), el sistema de labranza con rastrojo y el de siembra directa o cero labranza, satisfacen los requisitos exigibles para ser considerados con el calificativo de conservacionista.

1. LABRANZA CON RASTROJOS

Corresponde a un sistema en que el terreno se labra con implementos que no invierten el suelo, de modo que en la superficie quede una cubierta vegetal procedente del rastrojo de la cosecha anterior. La misma labor permite controlar las malezas, las cuales también se pueden eliminar con herbicidas.

La agricultura moderna tiene dos imperiosas necesidades: conservar los suelos y aumentar el rendimiento de los cultivos. No cabe duda de que los implementos agrícolas actuales deben contribuir a lograr esos resultados. Es el caso del **arado cincel**, que, además de conservar los suelos, mejorar la porosidad y eliminar el pie de arado, tiene varias otras ventajas sobre implementos tradicionales.

El arado cincel realiza labores primarias de preparación de suelo (aradura). Se identifica con la labranza vertical, cuya principal

característica es soltar el suelo sin invertir ni mezclar las distintas capas de su perfil, lo cual lo convierte en un protector del suelo.

La labranza vertical sostiene mejor la productividad de los suelos, debido a que mantiene los rastrojos en la superficie, los que protegen al suelo de los procesos de erosión. Esta cobertura también impide la formación de costras superficiales (planchado) que pueden provocar una baja emergencia de los cultivos. Además, al no haber inversión del suelo, la descomposición de la materia orgánica y la pérdida de humedad del suelo es menor, lo que es muy importante antes de la siembra.

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

Si el suelo se ha compactado debido al tráfico de la maquinaria o al pastoreo de los animales, conviene efectuar una labor de "estallamiento", o sea romper, y quebrar el suelo para aumentar su porosidad. El implemento apropiado para efectuar esta operación básica es el arado cincel.

1.1. Arado cincel

En el país el arado cincel que más se utiliza es el de tipo integral con vástagos curvos, cuya estructura básica es el marco portador o chasis, en el cual, de acuerdo a sus dimensiones, se pueden montar de 5 a 9 cinceles o vástagos con sistemas de sujeción independientes, lo que permite su modificación de acuerdo al tipo de trabajo y capacidad de potencia del tractor.

Los arados cinceles de vástagos curvos han sido diseñados para proporcionar una óptima fractura del suelo con una mínima tracción. Conviene seleccionar un arado con gran radio de curvatura en sus vástagos, característica que proporciona un mayor espacio libre vertical, evitándose problemas cuando existe exceso

de rastrojo. De lo contrario se produce una sobrecarga, que aumenta la tracción requerida.

El sistema de doble resorte de la mordaza de unión protege al vástago y al marco portador cuando la punta del cincel choca contra obstrucciones, como piedras o raíces ocultas de árboles, condición muy común en los suelos de nuestro país. Además, el efecto amortiguador de este tipo de montaje produce una acción vibratoria en suelos firmes y secos, lo que ayuda a fragmentar y romper su estructura.

Las ruedas controladoras de profundidad del arado se ubican de tal modo que no interfieren con la configuración de los vástagos, ni sobrecargan la zona de rompimiento del suelo

1.1.1. Condiciones de trabajo

Para lograr una buena aradura es imprescindible conocer las condiciones de trabajo en el campo, las regulaciones de nivelación del arado y de la profundidad de trabajo, además de la mantención y ajuste que se debe hacer a la herramienta en cada etapa de la temporada.

Foto 15. Arado cincel en labor de aradura.

El trabajo con arado cincel debe iniciarse en un costado del campo, realizando pasadas adyacentes a la anterior hasta terminar el potrero. Al llegar a las cabeceras, el arado debe levantarse desde el suelo para girar. Esto facilita el trabajo y protege a los vástagos y al marco portador de las fuertes presiones laterales. Las pasadas siguientes se realizan en diagonal o en ángulo recto, para nivelar mejor el suelo.

Si el suelo tiene residuos abundantes, conviene utilizar una rastra de disco o una desmalezadora rotativa, antes del arado cincel.

Cuando el suelo está muy compactado, especialmente si es arcilloso, conviene pasarlo dos veces: la primera pasada, a una profundidad superficial y la segunda, en forma diagonal a la primera, rompiendo a la profundidad deseada. De esa manera se suprimen los camellones que quedan en la primera pasada y, paralelamente, se evita que las puntas sigan las mismas roturas del suelo producidas con anterioridad.

La velocidad de trabajo puede ser entre cinco y nueve kilómetros por hora, según lo que se quiera lograr. Si el objetivo es obtener un barbecho con el suelo desmenuzado y cubierto de camellones para reducir la erosión provocada por el viento, conviene trabajar con el arado a una mayor velocidad. Si la intención es dejar un suelo en condiciones de sembrar, se debe trabajar a una velocidad más lenta.

1.1.2. Regulaciones

1.1.2.1. Nivelación del arado: el plano formado por todos los cinceles del arado en posición de trabajo (a la profundidad deseada) debe mantenerse paralelo a la superficie del suelo. Sólo de esta manera se logra que la profundidad de aradura sea uniforme. En los arados integrales, para tal efecto, se debe nivelar el chasis transversalmente, articulando uno de los brazos laterales del sistema hidráulico del tractor, y longitudinalmente, modificando el largo del brazo superior del mismo sistema.

El arado cincel debe estar bien nivelado lateralmente al engancharlo, lo que se logra ajustando el largo de las conexiones de elevación. Con el fin de asegurar una penetración uniforme de todos los vástagos, el arado tiene que contar con una perfecta nivelación longitudinal; para ello se debe ajustar la conexión superior del enganche (tercer punto).

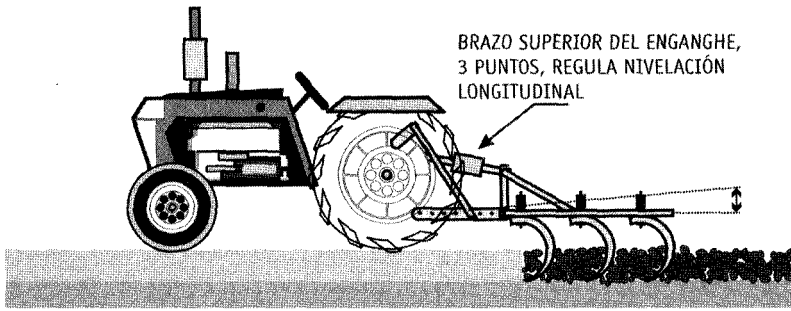


Figura 14. Regulación longitudinal del arado cincel.

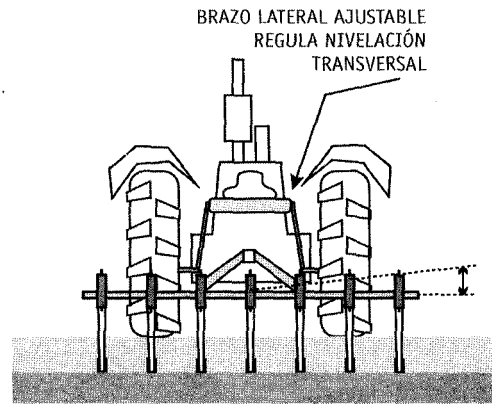


Figura 15. Regulación transversal del arado cincel.

1.1.2.2. Profundidad de trabajo: se regula mediante el sistema hidráulico del tractor, que sube y baja todo el conjunto. El modelo de enganche integral cuenta con ruedas que limitan la penetración del arado, fijando la profundidad de trabajo en la di-

ferencia de posición entre el plano formado por los cinceles y el punto de apoyo de la rueda.

La profundidad de labor va a estar dada por el tipo del suelo y por la humedad que posea en el momento de arar. Si se trata de un suelo delgado es decir con una capa arable de unos pocos centímetros, no tiene mucho sentido profundizar la aradura.

Para suelos de textura media, como los franco arenosos a franco arcillo arenosos, con poca humedad, la profundidad óptima es de 15 a 20 centímetros. El arado cincel hace muy buen trabajo a esa profundidad, siempre que la humedad del suelo sea escasa. A medida que aumenta el porcentaje de humedad, para obtener el mismo resultado, es necesario aumentar la profundidad, no sobrepasando en ningún caso los 25 a 30 centímetros.

La profundidad de 25 cm se puede utilizar para realizar una labor superficial, en especial para eliminar el pie de arado causante, en muchos casos, del crecimiento y desarrollo irregular de varios cultivos. A 30 cm de profundidad es muy difícil llegar con una primera pasada de cincel, debido a que se requiere

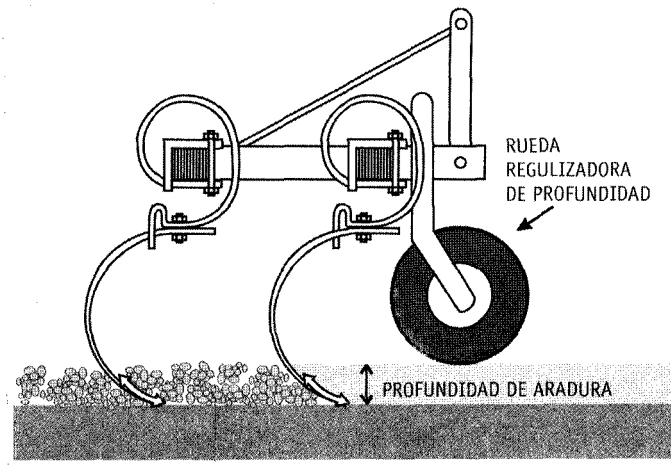


Figura 16. Regulación de la profundidad de aradura del arado cincel.

mayor potencia. Además, la velocidad debe ser sacrificada a objeto de lograr la marcha que sea capaz de mover el arado a esa profundidad. En estos casos resulta mucho más recomendable invertir el método de preparación de suelo, es decir, primero se cultiva la zona superficial con rastra de disco para procesar residuos y mullir el suelo, acción que suelta los primeros 10 centímetros. Luego se procede con el arado cincel, que penetra con facilidad hasta los 30 cm deseados, debido a que la zona rastreada no le ofrece una resistencia adicional.

El tractor con que se utiliza el arado cincel, debe estar en perfectas condiciones mecánicas, para entregar máxima salida de potencia con el mínimo consumo de combustible.

La separación de las ruedas del tractor debe dar un ancho total menor que el ancho de operación del arado cincel, de manera que las ruedas queden fuera del suelo ya trabajado, para disminuir el patinaje.

2. CERO LABRANZA

Se denomina cero labranza al establecimiento de un cultivo sin preparación de suelo. La semilla se localiza en surcos o agujeros sin remover el suelo, con un ancho y profundidad suficiente para una adecuada cobertura y contacto de la semilla con el suelo. Se le define también como siembra directa, es decir, se siembra sobre el rastrojo del cultivo anterior, sin haber preparado el terreno.

La labor de cero labranza, se realiza con una sembradora especial, la cual posee un abridor de surco simple o doble que abre un surco o banda estrecha, de ancho y profundidad suficiente para obtener una cobertura adecuada de la semilla. Las malezas, previamente, se controlan con herbicidas de tipo sistémicos.

Numerosos autores señalan que el sistema de cero labranza es el mayor exponente de la labranza de conservación. Ofrece algunas ventajas interesantes, tales como: lograr un control efectivo de la erosión; mejorar los niveles de humedad y reducir las labores de preparación del suelo y, en consecuencia, disminuir el consumo de combustible. Estas cualidades flexibilizan el momento de hacer las labores de campo, en especial las de siembra, y facilitan el doble cultivo dando la posibilidad de hacer un uso más correcto del suelo, principalmente de aquellos en pendientes.

Se describen a continuación dos sistemas mecanizados para la aplicación de la cero labranza en predios de agricultores medios y grandes empresarios y predios de pequeños agricultores.

2.1. Sistema mecanizados para medianos y grandes empresarios agrícolas

Este se basa en la utilización del tractor agrícola como fuente de energía principal, en este caso se debe tener presente los siguientes aspectos:

2.1.1. Selección del tractor para la Cero Labranza.

En primer término, se debe considerar que la condición de trabajo de los tractores para la cero labranza es diferente al sistema convencional, ya que se trabaja sobre un suelo no labrado en el que un parámetro importante es la cohesión del suelo. De acuerdo con Coulomb y Mickletwaite (Ashburner y Sims, 1984), la fuerza máxima de tracción que puede ejecutar un tractor sobre el suelo depende de la siguiente relación:

$$H_{max} = c*A + Q* \text{Tangf}$$

Donde: H_{max} = Fuerza de corte máxima
c = Cohesión del suelo
A = Área de la superficie de apoyo de la rueda del tractor
Q = Peso sobre la superficie de apoyo de la rueda del tractor
TangØ = Tangente del ángulo de fricción interna suelo/suelo

La cohesión del suelo es una propiedad dinámica, que depende del contenido de arcillas del suelo y su contenido de humedad, suelo con más contenido de arcilla y en consistencia friable presentan una mayor cohesión, un suelo arenoso o labrado presenta valores mínimos.

La fricción es otra propiedad dinámica del suelo y esta relacionada con el contenido de arenas del suelo, sus valores son más bajos a medida que el suelo es más arcilloso, en suelos labrados es prácticamente la única propiedad que interviene, por ello la necesidad de incrementar el peso del tractor para incrementar la capacidad de tracción del tractor en estas condiciones.

En cero labranza, el tractor trabaja sobre un suelo firme, donde interviene principalmente la cohesión, de esta manera es factible incrementar la capacidad de ejecutar tracción incrementando la pisada del neumático, con ruedas más anchas o de mayor diámetro. Además, el tractor con tracción asistida o de doble tracción incrementa la capacidad para conseguir más tracción, distribuyendo su peso en una mayor área de contacto efectiva. La mayor distribución de peso por área de contacto, también disminuye el efecto de compactación. La cohesión del suelo esta relacionada con la resistencia a la compactación del suelo, de esta manera suelos que llevan muchos años manejados con cero labranza, presentan valores más altos de cohesión, a un mismo contenido de humedad, lo que representa una ventaja, para labores que necesariamente deben realizarse con contenido de humedad más alto, como aplicación de biocidas y fertilizantes.

La potencia que un tractor puede suministrar en la barra de tiro, varía dependiendo de varios factores, incluyendo la superficie del suelo y tipo de enganche. De las distintas formas de potencia, se toma como patrón la Potencia en el Toma de Fuerza (PTF), ya que evita las variables relacionadas con el esfuerzo de tracción entre las ruedas y la superficie del terreno.

Mientras menos firme es el suelo, más Potencia se pierde en la barra de tiro. En el Cuadro 5, se relaciona la potencia en la barra de tiro requerida en la toma de potencia, según condición del suelo y tipo de tracción:

Cuadro 5. Coeficiente de eficiencia tractiva

Condición del suelo	Tipo de tracción		
	Simple	Delantera asistida	Doble
Labrado	0,45	0,60	0,68
Firme	0,50	0,65	0,75

Donato, Lidia. 1999

De esta manera si requerimos saber cual será la Potencia necesaria de un tractor tracción delantera asistida para trabajar con una sembradora de cereales de Cero labranza de 15 hileras, con un requerimiento de tracción de 150 kg/hilera de siembra y a una velocidad de trabajo de 6 km/hr.

La potencia requerida en la barra de tiro del tractor, la obtenemos mediante la siguiente relación:

$$PBDT = \frac{EDT * NH * V}{273}$$

Donde:
PBDT = Potencia a la barra de tiro del tractor (HP)
EDT = Esfuerzo de tracción por hilera (kg)
NH = Número de hileras de la sembradora
V = Velocidad de trabajo (km/hr)

$$\text{De esta manera: } PBDT = \frac{150 * 15 * 6}{273} = 49{,}5 \text{ HP}$$

Si el tractor es de tracción asistida y trabaja sobre suelo firme, que es el caso de cero labranza, la demanda de potencia equivalente al Toma de Fuerza (TDF), sería de:

$$\text{Potencia TDF (HP)} = \frac{49{,}5 \text{ HP}}{0{,}65} = 76{,}2 \text{ HP}$$

Si se quiere mover la misma sembradora con un tractor de tracción simple, entonces la demanda de potencia equivalente al TDF, sería de:

$$\text{Potencia TDF (HP)} = \frac{49{,}5 \text{ HP}}{0{,}50} = 99 \text{ HP}$$

De esta manera se requiere un tractor con un 30% más de potencia en el motor. Por lo tanto, aquí se explica la conveniencia de utilizar tractores de doble tracción en la cero labranza, ya que la mayor demanda de potencia no solo esta relacionada con el costo más alto de un motor más grande sino que además con el consumo de combustible. Así se considera que el consumo horario (L/h) por HP de Potencia del tractor estaría en el orden de 0,19 L/HP* h. De esta manera para la misma labor el consumo de combustible para el tractor de tracción asistida sería de 14,5 l/h y para el tractor de tracción simple de 18,8 l/h, lo que nos indica un 30% más de ahorro en combustible.

2.1.2. Sembradoras

En general las sembradoras se clasifican en dos grandes grupos, sembradoras en líneas a chorrillo y sembradoras a golpes y monograno (Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989). O simplemente de acuerdo al tamaño de grano que se quiere sembrar: sembradoras de grano fino o de grano grueso (Baumer, C. 1999). En Chile, la mayoría de las siembras de cero labranza corresponde a siembras en líneas o de grano fino, como trigo, avena y praderas.

2.1.2.1. Sembradoras en líneas a chorrillo. En la actualidad existe una gran diversidad de sembradoras atendiendo a las características técnicas de los abresurcos, podemos encontrar cuatro grandes grupos bien diferenciados:

- Sembradoras de triple disco
- Sembradoras de doble disco desencontrados
- Sembradoras de mono disco
- Sembradoras con cinceles

Las sembradoras de **triple disco** se caracterizan por una mayor relación peso por ancho de trabajo, 1.100 kg/m, pero ejerce menor presión por disco, ya que debe distribuir su peso prácticamente en tres discos por unidad, este peso incrementa el requerimiento de tracción y potencia, llegando a requerir 38 HP/m. Este tipo de abresurco evolucionó al triple disco con **doble disco "desencontrado"**, con el objeto de facilitar el corte y pe-

Foto 16. Sembradora cero labranza con abresurco de disco simple o monodisco.

netración, ésta mejora posibilitó trabajar sin el disco delantero, reduciendo el número de órganos activo con lo que se incremento el peso por unidad de siembra, mejorando la penetración y ganando espacio.

El **doble disco "desencontrado"** consta de dos discos que pueden ser de 38 cm de diámetro con el centro desplazado de modo tal que uno queda por delante del otro enfrentando el suelo con un solo filo, semejando la acción del disco de corte delantero del triple disco. Otra posibilidad es utilizar discos de diferente diámetro, 38 y 35,5 cm, "desencontrados".

Las sembradoras de **monodisco**, poseen una relación peso por ancho de trabajo menor que en el caso anterior, 800 kg/m, pero una mayor presión por disco, ya que el peso se distribuye en un disco por unidad, también los requerimientos de potencia son menores 27 HP/m. Estas sembradoras se adaptan mejor a condiciones de excesivo rastrojo, pero en condiciones de suelo muy saturado, se tiende a compactar el surco y dejar la semilla descubierta, además presenta problemas en condiciones de excesiva pedregosidad.

Las sembradoras con **cincel**, no requieren de peso para que el cincel corte el suelo, son más livianas 200 kg/m y requieren menos potencia, 20 HP/m, no se adaptan bien a condiciones de exceso de residuo, son las mas adecuadas en terrenos muy pedregosos. Debido a que el cincel incrementa su capacidad de estallamiento de suelo a medida que aumenta la velocidad de avance, es necesario trabajar con estas máquinas a baja velocidad.

Cualquiera sea la máquina utilizada se deben seguir los mismos procedimientos para lograr una adecuada dosificación tanto de la semilla como el fertilizante:

1. Vigilar los abresurcos de la sembradora, para una germinación adecuada la mayoría de las semillas deben colocarse bajo la superficie del suelo. Existen distintos tipos de dispositivos

los que deben estar en buen estado, debidamente lubricados y fijos en su soporte. Los reguladores de profundidad de siembra deben ajustarse de acuerdo al tipo de semilla. El chasis principal de la sembradora debe trabajar nivelado respecto al suelo para que los abresurcos funcionen adecuadamente.

2. Dosificación de la semilla, para obtener un rendimiento óptimo durante la cosecha, hay que tener una proporción de siembra controlada, la que puede expresarse en kilos por hectárea. Todas las sembradoras cuentan con un mecanismo dosificador de semilla, los que de acuerdo al manual de operaciones de la máquina indican la dosis esperada para una determinada posición del mecanismo regulador. El resultado de la dosificación puede ser evaluado con sencillas prácticas como una regulación estática: levantar la rueda de la sembradora, ubicar una pequeña bolsa plástica en cada tubo sembrador, hacer una señal en la rueda y dar veinte vueltas utilizando la marca como referencia. Una vez terminada esta operación, retirar y pesar cada bolsa, el peso de cada una de ellas deberá coincidir con el calculo teórico de la siguiente expresión:

$$PE = 0{,}01257 * DS * RD * DEH$$

Donde:
PE : Peso esperado (kg.)
DS : Dosis de semilla (kg./ha)
RD : Radio dinámico de la rueda (m)
DEH : Distancia entre las hileras de siembra (m)

El Radio dinámico de la rueda de la sembradora se obtiene, midiendo la distancia que existe desde el eje de la rueda hasta la superficie del suelo al sembrar con la máquina cargada. El comparar el peso de todas las bolsas permitirá saber si el mecanismo es uniforme para todas las hileras, sino es así revise el dosificador correspondiente y efectuar los ajustes mecánicos necesarios. En el caso de la semilla se acepta una desviación de

más/menos un 7% en torno a la media de todas las hileras (Coelho, 1996).

Observar el estado de la semilla recogida en las bolsas, si existen semillas partidas, es conveniente revisar el o los dosificadores correspondientes para hacer los ajustes necesarios, por ejemplo en el caso de dosificadores tipo rodillo acanalado existe un dispositivo que permite modificar la abertura del regulador de semilla dependiendo del tamaño de esta.

3. Dosificación del fertilizante. Los pasos de regulación son similares a los de la semilla, en este caso también es conveniente revisar el estanque antes de llenarlo con el fertilizante, para el caso de dosificadores tipo estrella conviene controlar si estos giran, al hacer girar la rueda, pudiera estar roto el mecanismo de enganche y de esta manera no arrastrar fertilizante durante la siembra, además este sistema cuenta con un regulador individual que se abre o cierra dependiendo de la posición de una palanca general asociada a una escala de regulación. Una manera sencilla de ajustar la ubicación de estos reguladores individuales, es ubicar la palanca general en cero, ubicar una moneda de $10 chilenos en cada estrella y ajustar cada regulador de manera que todos sujeten la moneda en esa posición, esto asegura que todos lo reguladores en cualquier posición de la palanca general mantengan la misma altura. En el caso del fertilizantes se acepta una desviación de más/menos un 12% en torno a la media de todas las hileras.

4. Algunas sembradoras debido a sus sistemas de dosificación que son muy sensible al movimiento sobre el terreno de siembra, presentan diferencias con respecto a la regulación estática, en este caso se puede efectuar una regulación dinámica, para ello se ubican bolsas en los tubos de salida de semilla y fertilizante y se hace trabajar la sembradora en el mismo terreno de siembra, se avanza una distancia de 50 m y luego se pesan las bolsas, las que también deberán llevar un

numero para identificar al dosificador que corresponden. El peso de cada bolsa deberá coincidir con el calculo teórico de la siguiente expresión:

$$PE = 0.005 * DS * DEH$$

El significado de las expresiones es el mismo de la relación anterior.

5. La sembradora debe colocar uniformemente las semillas en condiciones de suelo con microrelieve desuniforme. Este proceso debe ser aún más cuidadoso en siembras de cero-labranza, para lo cual se debe regular adecuadamente la tensión del resorte sobre el abresurco.

6. Se debe cuidar la colocación de la semilla con respecto al fertilizante, no todas las sembradoras tienen un abresurco independiente para la semilla y el fertilizante. Si se utilizan fertilizantes amoniacales y las semillas son muy sensibles a este, y ambos pasan por un mismo abresurco, se debe retirar el tubo del fertilizante y ubicarlo delante del abresurco para que se incorpore primero en el suelo. Nunca utilizar mas de 40 unidades de nitrógeno, como fertilizante amoniacal al momento de la siembra, una mayor cantidad puede afectar la germinación de la semilla.

7. Revisar los dispositivos compactadores de semilla. En cero-labranza el cubrimiento de la semilla depende del contenido de humedad del suelo. En un suelo saturado (muy húmedo), el surco quedara abierto. Si el suelo esta seco se formarán terrones encima de la semilla. Por ello la mejor condición es la intermedia, denominada friable, en la que el suelo se cierra por su propiedad cohesiva inmediatamente después de abierto el surco. Un rodillo compactador cóncavo solo asegura una compresión lateral, dejando el suelo suelto sobre la semilla, con ello se evitan problemas de encostramiento que pudieran afectar a la semilla.

8. Al finalizar cada jornada se deben revisar pernos y tuercas de la máquina sembradora. Un perno quebrado puede soltar una pieza de alto costo. Se debe lubricar y engrasar la máquina todos los días que trabaje, con ello se alargará la vida útil de la sembradora.

2.1.3. Pulverizador

En cero labranza las labores de preparación de suelo que permiten controlar las malezas de presiembra, son reemplazadas por un barbecho químico. Esta sola diferencia, da el argumento para acusar injustamente a esta técnica de contaminante. Olvidando, que la labranza convencional recurre a una serie de herbicidas de posemergencia, y otros que son incorporados en el suelo mediante la labranza, así como una serie de fungicidas e insecticidas. La cero labranza al mantener un suelo en las condiciones más similares a lo natural, estimula la vida de micro y macroorganismos que actúan como un tampón, degradando compuestos químicos nocivos, se favorece también el control biológico, disminuyendo la utilización de biocidas. La utilización de rotaciones de cultivos más intensivas en la cero-labranza disminuye la incidencia de malezas.

Al trabajar con cero-labranza se debe tener un mayor cuidado con la regulación y utilización del pulverizador, ya que muchos fracasos se deben a la mala aplicación de los herbicidas, la que además puede afectar el medio ambiente.

Como una manera de lograr una mejor precisión y reducción de los efectos nocivos de una mala aplicación, se sugiere las siguientes medidas:

1. Comprobar el funcionamiento del pulverizador con agua limpia. Si el equipo ha sido utilizado en la pulverización de un pesticida, se llena el deposito hasta la mitad con agua, y se agrega 1,5 kg de soda por cada 100 litros de agua o 1 litro de amoníaco de uso domestico, diluido en 250 litros de agua.

Poner en marcha la bomba y lavar todo el equipo, incluyendo brazos y boquillas. Tirar el agua en un lugar no cultivado, pero no siempre en el mismo sitio. Nunca realizar esta labor en la proximidades de cursos de agua.

2. Una vez limpio, comprobar con agua, que el caudal de las boquillas no se desvíe más ni menos de un 10% del promedio del caudal. Estas desviaciones pueden deberse a filtros o boquillas tapadas o gastadas. Si las boquillas presentan un caudal superior al 10% del original deben reemplazarse.

3. Para evitar la deriva por el viento no se debe efectuar aplicaciones cuando la velocidad del viento mueva las hojas y ramas de los árboles. Si estas se mueven, se debe suspender la aplicación.

4. Al utilizar boquillas de chorro de abanico, espaciadas a 50 cm, se debe ajustar la altura de la barra a 50 cm del punto de aplicación. Si la altura es mayor o menor la distribución será muy irregular.

5. La presión de trabajo de boquillas tipo abanico no debe superar los 3 bares, si la presión es superior se producen gotas muy finas lo que aumenta el riesgo de deriva. Para disminuir la deriva se puede trabajar con menos presión hasta 1,5 bar, efectuando las correcciones respectivas, ya que a menor presión también se entrega menor caudal.

6. Para obtener una distribución óptima y asegurar una mejor penetración del producto, no se debe trabajar a velocidades superiores a 8 km/hr. A mayor velocidad también se aumenta el riesgo de deriva. En base a estos criterios se puede seleccionar las boquillas de caudal más apropiado para el volumen requerido.

7. Si al terminar el trabajo aún queda un resto de la mezcla en el estanque, conviene diluir el resto en 10 partes de agua y volver a repetir el tratamiento sobre el mismo campo.

2.2. Manejo de rastrojos

Los residuos de cosecha sobre la superficie del suelo reducen la erosión. Investigaciones realizadas en Nebraska y otros Estados del Medio-Oeste norteamericano (NebGuide, 1981), indican que con cantidades de residuos tan pequeñas como un 20% de cobertura se puede reducir a la mitad la erosión provocada por el impacto de la gota de lluvia y escurrimiento del agua, comparando con un suelo libre de residuos. En Brasil, la investigación conducida por Lopes et al (1987), concluyó que un nivel de cobertura de 40% es suficiente para reducir la erosión en forma significativa. Se determinó, además, que a un mismo nivel de cobertura los rastrojos de trigos ofrecían una mejor protección del suelo que los rastrojos de maíz.

Algunos investigadores, consideran imprescindible el manejo de los rastrojos durante la cosecha a través de la regulación de la altura de corte de la automotriz y la utilización de algunos aditamentos, tanto en la salida de los sacapajas como de los harneros. Operaciones adicionales realizadas entre cosecha y siembra se consideran costosas e implican pérdida de tiempo (Agdex, 1996). Así por ejemplo, para esparcir la paja a la salida del sacapajas se puede utilizar un picador, el cual pica y esparce la paja. Su funcionamiento es similar al de una segadora rotativa "rana", e incrementa en un 5 a un 8% la potencia total requerida por la automotriz. También se puede utilizar un esparcidor de molinete el que a diferencia del anterior sólo distribuye la paja sin picarla. En este caso la potencia requerida viene a ser sólo del 1 al 1,5% del total, (Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989).

Es importante mencionar que el capotillo que sale de las zarandas de limpieza debe quedar bien distribuido para evitar efectos alelopáticos. Según Crovetto (1992), aunque los fabricantes no suministran estos equipos, con un bajo costo es posible accionar dos sopladores que entreguen aire a presión a través de toberas dispuestas en forma de cruz a la salida de los harneros.

La cantidad de residuos que pueden quedar sobre el suelo después de la cosecha depende del tipo de cultivo y de su rendimiento en grano. Así para el cultivo de trigo se espera una producción de residuos de 1,6 ton por cada tonelada de grano producida, en cambio para la cebada las toneladas de residuos son equivalente a las toneladas de grano producidas, (Agdex, 1996). En Chile, Mellado et al (1998), indican producciones de 9 ton/ha de paja para un trigo que produzca 60 qqm/ha.

2.3. Adecuación del suelo

En algunos casos, dependiendo de la condición en que se encuentren los potreros, problemas de microrelieve debido a la erosión, compactación de suelo provocada por las labores tradicionales será necesario efectuar un manejo de suelo tendiente a mejorar el microrelieve y eliminar las estratas compactadas producidas por las herramientas de labranza tradicionales.

De modo de impedir la pérdida del microrelieve en este manejo de suelo se deberá considerar siempre el aprovechar los rastrojos que queden del cultivo anterior, evitando quemarlos, deben picarse adecuadamente utilizando una desmalezadora rotativa o un equipo apropiado como las trituradoras de rastrojos, que se ofrecen actualmente, seleccionando aquellas que cuenten con un distribuidor de rastrojos en la cubierta superior de estas máquinas (Foto 16). Luego de preferencia se utilizaran herramientas que efectúen una labranza vertical, como el arado cincel de vástago rígido, los que deberán usarse con el suelo, con un contenido de humedad menor a la usada para una labor de aradura convencional, de modo de favorecer el rompimiento de las estratas compactadas superficiales y subsuperficiales. La necesidad de utilizar subsolador dependerá de una evaluación técnica apropiada, que consiste en realizar previamente una calicata en el lugar de la labor, y observar en ella problemas de compactación subsuperficial a profundidades mayores a los 30 cm.

Otra forma de evaluar la compactación subsuperficial, es utilizando el penetrómetro, instrumento que mide la resistencia a la penetración, expresada por la presión (fuerza por unidad de superficie) necesaria para introducir la punta cónica del equipo de medida hasta una cierta profundidad en el suelo (Carrasco, J. 1998).

Foto 17. Máquinas trituradoras de rastrojos accionada por el Toma de Fuerza del Tractor.

La presión de contacto rueda-suelo se puede mantener constante si al aumentar el peso en la rueda también aumenta el tamaño del neumático, ya que así se compensa el incremento de peso con una mayor superficie de contacto entre la rueda y el suelo, por lo que eligiendo los neumáticos apropiados se evita un au-

mento de la compactación del suelo. Pesos en las ruedas superiores a 2500 kg, producen ya niveles apreciables de compactación profunda.

La siguiente relación propuesta por Raghavan et al (1977), permite predecir la densidad aparente en el suelo tras haber pasado sobre el mismo una rueda:

$$\gamma_d = A + B \log (NP) + C \log H$$

Donde: γ_d = densidad aparente seca del suelo (t/m^3)
A, B, C = constantes del suelo (t/m^3)
N = número de pasadas de la rueda sobre el terreno
P = presión de contacto en la interfase rueda-suelo (KPa)
H = contenido de humedad del suelo en peso (%).

De acuerdo con esta relación, se puede concluir que la compactación del suelo depende fundamentalmente del contenido de humedad del suelo, del numero de pasadas del vehículo sobre el terreno y de su peso. Otros factores que influyen, son la presión de inflado de los neumáticos y sus características constructivas. También el patinaje de la rueda influye, una rueda arrastrada sin patinaje puede elevar la densidad aparente de un suelo desde 1580 kg/m^3 hasta 1700 kg/m^3; la misma rueda con un patinaje de un 50% eleva dicho valor hasta 1900 kg/m^3 (Sánchez-Girón, 1996).

Las labores convencionales de preparación de suelo compactan el suelo, por ejemplo la reja del arado de vertedera crea una zona compactada en el fondo del surco, las rastras de disco y fresadoras rotativas de eje horizontal, crean capas compactadas más superficiales.

En cero-labranza en cambio tras una década de experiencias en diversas condiciones de clima y con distintos tipos de suelo, se

ha observado que, tras un periodo de al menos tres años, el nivel de compactación de un suelo no labrado adquiere un equilibrio en el que alcanza la suficiente resistencia para soportar el paso de la maquinaria agrícola sin que su compactación aumente (Ellis et al, 1979; Cannell et al, 1980; Sanchez-Girón, 1986).

Según Sánchez-Girón (1996), es importante mejorar la estructura del suelo superficial dejando sobre el suelo los restos de cosechas en vez de quemarlos y estableciendo cultivos con sistemas radicular superficial y vigoroso.

La decisión de subsolar un suelo, deberá provenir de un estudio técnico apropiado, donde se debe tener presente el tipo de suelo. Por ejemplo los efectos del subsolado duran menos de un año cuando se realizan sobre un suelo de textura media o gruesa (Sánchez-Girón, 1996).

3. SISTEMA MECANIZADO PARA PEQUEÑOS AGRICULTORES

En Chile de acuerdo con el último censo nacional agropecuario (INE 1997), se puede inferir que existen casi 150.000 productores que trabajan con implementos de tracción animal y sólo 23.000 poseen implementos accionados por tractor. El 13% de los productores con predios mayores de 50 hectáreas son dueños de casi el 90% de la superficie agrícola de Chile. En cambio los propietarios con predios menores de 50 hectáreas y que sólo pueden acceder a implementos manuales o de tracción animal, corresponden al 87% de los productores agrícolas que en total no son más de 312.000. Llama la atención que los propietarios del 90% de la superficie agrícola sólo producen el 38% de las "Chacras", (alimentos básicos de la dieta de los chilenos). Los pequeños agricultores con sólo el 10% de la superficie agrícola son los responsables del 62% de la producción de alimentos básicos, (papas; maíz choclero; frejoles; etc.), de la dieta de los habitantes de Chile.

Por otro lado los pequeños agricultores se ubican en sitios marginales, con altas pendientes no aptos para el desarrollo de una agricultura tradicional, lo que ha traído como consecuencia una alta degradación del suelo, llegando a situaciones en las que actualmente el 70% de los suelos presentan erosión grave.

Actualmente se aplican en algunas de las comunas del secano del país, programas de ayudas estatales, orientados a la reconversión de los pequeños agricultores apoyando, mediante subsidios, la instalación de equipos de riego donde existan fuentes de aguas disponibles, así como el manejo de pequeños huertos de vides o frutales que les genere ingresos suficientes, con los cuales puedan comprar alimentos, y de esa manera concentren su actividad agrícola en cultivos de mayor rentabilidad, en una menor superficie, y así reducir los procesos erosivos. Pero la sustentabilidad de este sistema, depende del manejo adecuado de la cobertura del suelo de las microcuencas; las que debido a su manejo tradicional no tienen la capacidad de permitir una infiltración del agua en suelo durante la época de lluvia y el rápido escurrimiento de las aguas con arrastre de sedimentos, pueden "colmar" rápidamente las estructuras de almacenaje y cosecha de agua. Por ello dentro del sistema apropiado de manejo de estos sistemas, la cero labranza juega un rol importante en conseguir una cobertura permanente así como permitir que los agricultores puedan continuar produciendo sus cultivos tradicionales de fuerte arraigo cultural para ellos.

Se presentan a continuación algunas tecnologías desarrolladas en Chile y otras recogidas en el Cono Sur a través de los programas de capacitación desarrollados gracias al Proyecto Siembra Directa del PROCISUR, (Díaz, R. 2001).

3.1. Adecuación de suelo

Una de las principales labores a ejecutar, es revisar previamente el potrero donde se efectuará la cero labranza, eliminando los obstáculos que puedan impedir el correcto funcionamiento

de la sembradora: piedras, troncos, restos de raíces. Si el suelo proviene de un sistema de labranza tradicional y presenta surcos de erosión que afectan su microrrelieve, será conveniente efectuar primero una mínima labranza. La mínima labranza se efectúa con un arado cincel de tracción animal, (Figura 17) el que no invierte suelo y posibilita mejorar el microrrelieve del suelo, para facilitar el paso de la sembradora. El arado cincel de tiro animal efectúa una labor primaria de suelo identificada como labranza vertical, cuya principal característica es soltar el suelo, sin invertir ni mezclar las distintas capas del perfil.

El sistema permite una mejor protección del suelo contra la erosión, dado que el rastrojo queda cerca o en la superficie, se evita la formación de una estrata impermeable o pie de arado, y se mejora la infiltración de agua en el suelo.

Desde el punto de vista de la rapidez de la labor, el arado cincel ocupa menos de la mitad del tiempo en arar una hectárea de suelo que el arado de vertedera, dado el mayor ancho de trabajo que se consigue con la labranza vertical.

El arado cincel cuenta con unos vástagos vibrocultores, los que contribuyen a mejorar el tiro de los animales, ya que la vibra-

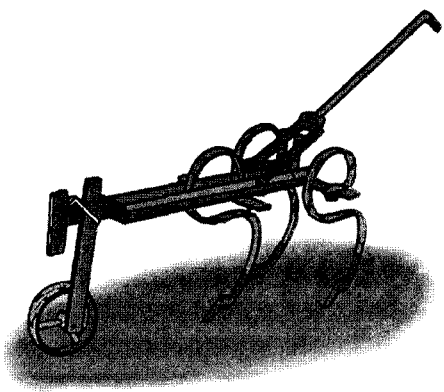


Figura 17. Arado cincel de tiro animal.

ción absorbe las variaciones del esfuerzo de tracción que se producen durante la labor de estallamiento de suelo, las que en un equipo rígido, mediante los aperos, se trasmiten directamente a los animales.

Mediciones de tracción realizadas, durante la labor de un arado cincel de 5 vástagos, trabajando a 12 cm de profundidad, con un ancho de trabajo de 47 cm, en un suelo de origen granítico en condiciones friable, indicaron una necesidad de tracción de 136 kg.; por lo que una pareja de animales resuelve en forma apropiada estos requerimientos.

La mayor capacidad de trabajo del arado cincel, permite eliminar la práctica tradicional del barbecho, uno de los principales factores causante de la erosión de suelo, ya que el suelo queda sin una cubierta protectora, que reduzca el impacto de la gota de lluvia.

La profundidad de trabajo del arado cincel no llega más allá de 10 cm; por lo tanto, en suelos compactados por el pastoreo animal en invierno o en aquellos que han sido arado durante muchos años con arado de vertedera y se ha formado una estrata compactada denominada: "pie de arado". Es necesario utilizar una herramienta denominada "subsolador de tracción animal"

De modo de utilizar correctamente el implemento es conveniente en primer lugar efectuar calicatas en el suelo, para determinar la existencia y profundidad de la estrata compactada. Luego se regula el equipo para conseguir que la punta del subsolador pase justo por el centro de la estrata compactada; se efectúa una primera pasada y se mide el ancho de las grietas formadas; el promedio de los anchos medidos; indicara la distancia de pasada para el equipo.

Esta labor es conveniente efectuarla a comienzos de invierno con las primeras lluvias, o a salida de invierno en una condición tal que el suelo no tenga excesiva humedad. Si hay mucha

humedad el suelo no se agrieta, y si esta muy seco se incrementa el requerimiento de tracción para los animales.

Mediciones de tracción realizadas con este equipo trabajando a una profundidad de 20 cm, indicaron un requerimiento de tracción de 200 kg. de tiro; demanda de fuerza que solo puede ser satisfecha utilizando animales pesados y bien alimentados.

La capacidad de trabajo del implemento, depende del ancho de trabajo requerido para la labor. De este modo para un ancho de trabajo de 30 cm, podría requerirse de 15 horas de trabajo para subsolar una hectárea de suelo.

Foto 18. Demostración de uso de arado cincel de tiro animal para pequeños agricultores

3.2. Manejo de rastrojos

Los potreros más adecuados para la cero labranza, son aquellos que provienen de una pradera natural y que no presentan problemas de compactación. En el caso que se trate de rastrojos de cultivos como trigo o avena, es conveniente efectuar una labor de manejo de rastrojos. Los rastrojos se pueden picar con una rastra de disco de tiro animal, trabajando en el verano con el suelo seco. También una barra segadora de tracción animal, puede ser muy útil en el corte de los rastrojos. Después de picar los rastrojos, éstos se pueden rastrillar con un rastrillo de tracción animal o una rastra de clavo formando cordones. Es conviene dejar estos cordones en forma transversal a la pendiente a una distancia de 8 a 10 m, uno de otro, los cuales pueden servir de marcadores naturales para el paso de un pulverizador. Los cordones de un ancho promedio de 1 metro no ocupan más de un 9 a un 10% del potrero, contribuyendo al mejoramiento de la nutrición del suelo y frenando además el escurrimiento superficial del agua, durante las lluvias.

3.3. Control de malezas

Previo a la siembra es necesario controlar las malezas con un herbicida total. En los sectores de secano se deben esperar las primeras lluvias que estimulen la emergencia de las malezas. Las aplicaciones, pueden realizarse en predios pequeños con pulverizadores manuales tipo mochila o con una pulverizadora de tracción animal, las que dado su mayor ancho de trabajo, tarda sólo una hora en pulverizar una hectárea.

3.4 Siembra

Después de transcurridos 4 días de la aplicación del herbicida, se puede efectuar la siembra. Lo ideal será trabajar con la humedad adecuada del suelo; ni demasiado seco, donde se corre el riesgo de dejar la semilla destapada; ni demasiado húmedo, donde el surco de siembra se compacta y la semilla queda descubierta.

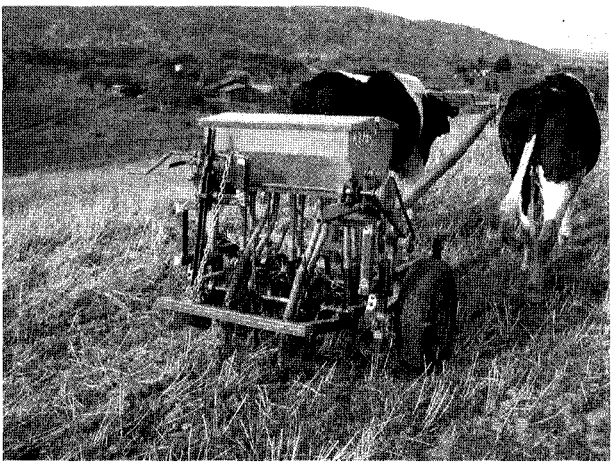


Foto 19. Sembradora de tiro animal con abridor de surco tipo cincel.

Para siembra de grano fino y semillas de praderas se puede utilizar una sembradora de tracción animal, la que corresponde a una sembradora con dosificadores de flujo continúo, que cuenta con un depósito para semilla de grano fino (trigo, avena, cebada, arroz, lenteja, porotos, arvejas, lupino); otro para empastadas (tréboles, alfalfa, hualputras) y uno para fertilizante. El sistema abridor de surco permite la siembra directa sobre un suelo no labrado previamente, mediante la utilización de un vástago tipo "S" con una herramienta cincel. En la parte posterior de la herramienta lleva una "zapata" especial que permite depositar la semilla y el fertilizante en el surco abierto por el cincel, antes de que éste se cierre por la propiedades cohesivas de un suelo sin labrar.

En cuanto a la aplicación de fertilizante, en el caso del trigo, se recomienda, aplicar sólo el fósforo durante la siembra y parcializar en tres tercios la aplicación del nitrógeno, el primer tercio cuando el trigo ha emergido y tiene tres hojas, el segundo tercio a la macolla y el último tercio cuando el trigo se encuentra en el estado fenológico de encañado. De esta manera las

plantas hacen un uso más eficiente de los nutrientes y se disminuyen las pérdidas por lixiviación las que podrían contaminar las aguas.

En Paraguay la siembra directa se realiza con sembradoras manuales; las que también se originaron en Brasil. Estas sembradoras se denominan "matraca" (Bragagnolo, 1995). La matraca siembra y aplica fertilizante al mismo tiempo; sirve para sembrar maíz, soja y frejol. Se puede usar terrenos de alta pendiente y la siembra es rápida y pareja.

Aunque existe una oferta tecnológica, de maquinas y equipos que permitiría la incorporación de pequeños agricultores a la cero labranza, se debe tener presente, que su baja capacidad de inversión es una de las principales limitantes para que puedan acceder a la tecnología. Por ello es importante que se establezcan las estrategias de apoyo financiero y capacitación que faciliten la adopción de las tecnologías.

Bibliografía Consultada

AGDEX. 1996. Equipment Issues in Crop Residue Management for Direct Seeding. 519-4

ASHBURNER, JOHN y SIMS, BRIAN. 1984. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. IICA. San José, Costa Rica. 473 p.

AVNIMELECH, Y., 1986. *Organic residues in modern* agriculture. In: The role of organic matter in moderm agriculture. *Developments in Plant and Soil Sciences.* The Netherlands, 25 :1-10.

BAHAMONDES, R., 2002. Diseño de Obras de Recuperación de Suelos. Ejemplos con Diseños y Cálculos. En: "Tecnologías Apropiadas para la Restauración Ambiental e Integral de los Suelos".Serie de Acta INIA-Carillanca Nº 20. Temuco. Chile. pp 67-90.

BAUMER, CARLOS. 1999. Sembradoras y fertilizadoras, para siembra directa. Editorial Amalevi. Santa Fe, Argentina. 345 pp.

BENITO, Mª.E., 1988. Iniciación al estudio de la estructura de los suelos de Galicia y de sus procesos de degradación. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago. Facultad de Farmacia. Santiago de Compostela. 337 pp.

BLEVINS, R.L., SMITH, M.S., THOMAS, G.W. and FRYE, W.W., 1983. Influence of conservation tillage on soil propiertes. In: *Journal of Soil Water Conservatión.* 38: 301-305.

BRAGAGNOLO, N. 1995. Manual integrado de prácticas conservacionistas. Proyecto Regional GCP/RKLA/!=//JPN: FAO: Santiago, Chile. 128 p.

BONNEAU, M. y SOUCHIER, B., 1987. *Edafología. Constituyentes y propiedades del suelo.* Versión española traducidad de Pëdologie, 2. Consttitutuans et propriétés du sol. Masson, S.A., Barcelona, 461 pp.

CANNELL, R.Q.; ELLIS, F.B.; CHRISTIAN, D.G.; GRAHAM, J.P. and DOUGLAS, J.T 1980. The growth and yield of winter cereals after direct drilling, shallow cultivation and ploughing on a non calcareous soil. J. Agric. Sci. Camb, 94: 345-359.

CARRASCO, J. 1998. Estudio de las propiedades físicas, químicas, y biológicas de un Calcic aploxeralf de la Meseta Central de España. Tesis Doctoral. E.T.S.I de Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. España. 246 pp.

CARRASCO, J. 1998. Efecto del pastoreo animal sobre la estructura de un suelo con labranza cero. En : Resúmenes "Viabilización de la Siembra Directa en Sistemas Mixtos de Producción. INIA La Estanzuela, Colonia, Uruguay 22-24 de Abril, pag. 9.

CERISOLA , F.C., 1993. Estudio evolutivo de aspectos físicos y estructurales del suelo bajo diferentes técnicas de labranza en la implantación de cultivos extensivos. Tesis Doctoral. E.T.S.I. de Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 352 pp.

COELHO, J.L.D. 1996. Ensaio & certificacodas máquinas para a semeadura. En: Máquinas Agríclas Ensaios & Certificao de Mialhe, Luiz. Piracicaba, SP, Brasil: Fundacao de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. Pags: 551-570.

CROVETTO, C. 1992. Rastrojos sobre el suelo una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria, Santiago, 301 pp.

CROVETTO, C. 2002. Cero Labranza: Los rastrojos, la nutrición del suelo y su relación con la fertilidad de las plantas. Trama Impresores. Talcahuano. Chile. 225 p.

CROVETO, C., 1992. *Rastrojos sobre el suelo.* Una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. pp. 301.

DELEMON, A. 1965. Principios de Agronomía (I). Dinámica del suelo. Editorial Omega

DEXTER, A.R., 1988. Advances in characterization of soil structure. In: *Soil Tillaje Res.,* 11: 199-238.

DÍAZ, ROBERTO. 2001. Siembra Directa en el Cono Sur. PROCISUR. Montevideo. 450 p.

DONATO, LIDIA. 1999. Gestión integral de la Maquinaria Agrícola. En: "Selección y utilización correcta de las máquinas en Cero Labranza". Curso Internacional. INIA CRI Quilamapu. Chillán. 56 p.

DOUGLAS, J.T. y GOSS, M.J., 1982. Stability and organic matter content of surface soil aggregates under different methods of cultivation and in grossland. In: *Soil Tillage Res.,* 2: 75-155.

DUNN, G.H., y PHILLIPS, R.E., 1991. Macro-porosity of a well-drained soil under no-till and conventional tillage. In: *Soil Sci. Soc. Am. J.,* 55: 817-823.

EHLERS, W.; KOPKE, U.; HESSE, F. and BOHN, W., Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. In: *Soil Tillage Res.,* 3 : 261-277.

ELLIS, F.B.; ELLIOT, J.C.; POLLARD, F.; CANNELL, R.Q. y BARNES, F.T. 1979. Comparison of direct drilling, reduced cultivation and ploughing on the growth of cereals. J. Agric. Sci. Camb, 93: 391-401.

FAO., 1995. Necesidades y recursos. *Geografía de la agricultura y la alimentación.* Roma.

FORSYTHE, W., 1985. Infiltración de agua en el suelo y capacidad de campo. En :*Física de suelos. Manual de Laboratorio.* Ed. IICA. San José. Costa Rica. 212 pp.

FRANCKE, S. 2002. Control de Erosión en Terrenos Degradados Vìa D.L. 701 de Fomento Forestal En : PEREZ, C. Manejo de Microcuencas y Prácticas Conservacionistas de Suelo y Agua. Serie de Actas Nº 22. Chillán. Chile. pp. 55-82.

GAETE, N., y CARRASCO, J., 1999. Prácticas de Conservación de suelos y aguas para el control de la erosión hídrica. En: "Técnicas para el Manejo de los Recursos Naturales en el Programa de Recuperación de Suelos Degradados en la Novena Región". Serie INIA - Carillanca Nº 75. Temuco. Chile. pp. 107-128.

GREENLAND, D. J., 1971. Interactions between humic and fulvic acids and clays. In: *Soil Science,* 111: 34-41.

GUERIF, J.,1987. L'analyse de la porosité. Application á l'etude du compactage des sols. En: *"Soil compactation and regeneration".* G.Monier y M.J.Goss, Editorial A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 1-13.

HARRIS, R.F.; CHESTER, G; ALLEN, O.N., 1966. Dynamic of soil aggregation. In: *Advances in Agronomy,* New York, 18: 69-107.

HILLEL, D. and TALPAZ, H., 1977. Simulation of soil water dynamics in layered soil. In: *Soil Sci.* 125: 54-62.

HILLEL, D. , 1980. Fundamentals of soil physics. New York, Academic Press. pp. 413.

INE. 1997. Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadísticas (INE) Santiago, Chile. 443 p.

KEPNER, R. ,1972. Principles of farm machinery. The Avi publishing Company Inc., USA., 486pp.

LAL, R., 1976. No-tillage propiertes different crops in western Nigeria. In: *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40: 762-768.

LAL, R. and STEWART., B.A . 1990. Soil degradation. A Global Threat. In : *Advance in Soil Science*, 11:XIII-XVII.

LARSON, W.E.; HOLT, R.F. and CARLSON, C.W. , 1978. Residues for soil conservation. In: *Crop Residue Management Systems ASA*: Special Publication Number 31 (pp.1-16). Am. Soc. Agron.; Crop Sci. Soc. Am.; Soil Sci.Am., Madison,WI.

LYNCH, J.M. y BRAGG, E., Microorganisms and Soil Aggregate Stability. En: Advances in Soil Science. New-York. 2: 133-171.

LOPES, P.R.C.; COGO, N. G.; LEVIEN, R. 1987. Eficacia. Relativa do tipo e quantida de residuos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na reducao da erosao hídrica. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 11:71-75. 1987.

MELLADO, M., CHAVARRÍA, J.y VELASCO, R. 1998. Análisis de alternativas de preparación de suelo para sembrar trigo en la zona centro sur de Chile. INIA, Quilamapu. Boletín ISBN:956-7436-04-5.142 p.

MENESES, R.; SQUELLA, F.; GARCÍA-HUIDOBRO, G. y NOVOA, P. 1985. Los surcos de infiltración en zonas áridas. Investigación y Progreso Agropecuario N° 29. Estación Experimental La Platina (INIA). p.: 31-33.

MENESES, R.; SQUELLA, F. y SOTO, G. 1985. Sistemas de cosecha de agua en plantas arbustivas. Investigación y Progreso Agropecuario Nº 30. Estación Experimental La Platina (INIA). p.: 31-33.

MERTEN, G. 1994. Prácticas conservacionistas en los Estados de Sao Paulo y Paraná, Brasil. En: Memorias del Taller sobre Planificación participativa de conservación de suelos y aguas. Proyecto Regional GCP/RLA107/JPN.FAO. Santiago. Págs:251-260

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.

MONTENEGRO, H y MALAGON , D., 1990. *Propiedades físicas de los suelos.* IGAC - Subdirección Agrológica, Instituto Geográfico. Bogotá, Colombia. 813 pp.

NARRO FARIAS E., 1994. *Física de suelos, con enfoque agrícola.* Editorial Trillas. Mexico. pp 193

NASR, H.M. and SELLES, F., 1995. Seedling emergence as influenced by aggregate size, bulk density, and penetration resistance of the seedbed. In: *Soi l and Tillage Research,* 34: 61-76.

NEBGUIDE. 1981. Residue Management for Soil Erosion Control. G81-544.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.; y HERNANZ, J.L., 1989. *Técnica de la Mecanización Agraria.*Ediciones Mundi Prensa, 3ª Edición. Madrid. España. 641 pp.

PERALTA, J.M., 1993. Agentes Erosivos y Tipos de Erosión. En: "Tecnologías de Conservación de Suelos y Agua". Programa de Capacitación a Agentes de Extensión. INIA-Serie Platina Nº 46. Santiago. Chile. pp. 14- 81.

PERALTA, M., 1993. Algunas Prácticas y Estructuras de Conservación de suelos. En: "Tecnologías de Conservación de Suelos y Agua". Programa de Capacitación a Agentes de Extensión. INIA-Serie Platina Nº 46. Santiago. Chile. pp. 115-141.

PEREZ, J., 1992. Estudio de la estabilidad estructural del suelo en relación con el complejo de cambio (comportamiento de algunos suelos característicos españoles). Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 462 pp.

PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO; M., ROQUERO, C., 1994. *Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España, 807 pp.

RAGHAVAN, G.S.V.; MCKEYS, E.; STEMSHORN, E.; GRAY, A. and BEAULIEU, 1977. Vehicle compaction patterns in clay soil. Transactions ASAE, 20 (2): 218-220, 225.

SANCHEZ-GIRON, V., 1996. *Dinámica y Mecánica de Suelos.* Ediciones Agrotécnica, S.L. Madrid 426 pp.

SARH, 1982. Prácticas Mecánicas. En : Manual de Conservación del suelo y del agua. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México. pp.213-326.

UNGER. P.W., 1990. Conservation tillaje system. In: *Advances in Soil Science,* New York . 13: 27-68

VOORHEES, W.B.; SENST, C.G.; NELSON, N.W.; 1978. Compactation and soil structure modification by wheel trafic in the northern corn belt. In: *Soil Science Society Am. J.,* 42(2): 344-349.

WALL, P. 1998. Introducción a la Cero Labranza. En: Curso Taller Internacional Cero Labranza para la agricultura campesina. INIA CRI Carillanca – PROCISUR – Gobierno Regional de la Araucanía. Carahue. Chile.

WANG, D., LOWERY, B., NORMAN, J.M., and Mc SWEENEY, K., 1996. Ant burrow effects on water flow and soil hydraulic properties of Sparta sand. In: *Soil Tillage Res.,* 37: 83-93.