

F. S. DE CASTRO

CONSERVACION DE SUELOS

IICA

RESERVA
NO PUEDE SACARSE
DE BIBLIOTECA



100

100

FERNANDO SUAREZ DE CASTRO

**CONSERVACION
DE SUELOS**

CONSERVACION DE SUELOS





CONSERVACION DE SUELOS

FERNANDO SUAREZ DE CASTRO



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS
San José, Costa Rica
1979

This One



YE5H-J87-TSY0

Copyrighted material

TERCERA EDICION

© Fernando Suárez de Castro

© Derechos reservados de esta edición por el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin el permiso del editor por escrito.

Diseño de la cubierta: Víctor Ramiro Acosta

Levantamiento del texto: Zaida Sequeira

Editora de la Serie: Matilde de la Cruz

Primera edición: 1956

Segunda edición: 1965 (© Salvat Editores, S.A. Barcelona)

Tercera edición: 1979 (Editorial IICA)

EDITORIAL IICA



1979

Serie de Libros y Materiales Educativos No. 37

Este libro fue publicado por el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Es parte de la Serie de Libros y Materiales Educativos, la cual cuenta con el apoyo financiero de la Fundación Kellogg, y cuyo fin es contribuir a promover el desarrollo agrícola del Continente Americano.

Marzo de 1979

San José, Costa Rica

CONTENIDO

	Pag. No.
Prólogo de la primera edición	xiii
Prólogo de la segunda edición	xv
Prólogo de la tercera edición	xvii

PRIMERA PARTE

COMO SE FORMAN Y COMO SE DESTRUYEN LOS SUELOS

CAPITULO 1. NOCIONES GENERALES SOBRE LOS SUELOS (3)

Qué es el suelo	3
Constituyentes principales de los suelos	3
Perfil del suelo	6
De dónde provienen los suelos	7
Meteorización física	8
Meteorización química	9
Agentes biológicos de meteorización	10
Transformación del material parental en suelo	10
Factores de formación del suelo	10
Material parental	10
Clima	11
Organismos vivos	12
Topografía	12
Edad	13
Principales características físicas de los suelos	13
Color del suelo	13
Textura del suelo	14
Estructura del suelo	16
Porosidad del suelo	17
Bibliografía	18
Bibliografía complementaria	18

CAPITULO 2. COMO SE DESTRUYEN LOS SUELOS (20)

Introducción	20
Factores que intervienen en la erosión y en la escorrentía	21
Lluvias	21
Pendiente y área del terreno	30
Suelos	35
Susceptibilidad relativa de los suelos a la erosión	38
Vegetación	39
La ecuación universal de erosión	43
Clases de erosión causadas por el agua	44
Pérdidas de elementos nutritivos por erosión	49
La erosión reduce la productividad de los terrenos	53
Erosión eólica	56
Daños que causa la erosión eólica	56
Proceso de la erosión eólica	58
Dinámica de la erosión eólica	59
Formas de erosión eólica	62
Condiciones de clima y suelo	62
Bibliografía	63
Bibliografía complementaria	66

CAPITULO 3. FACTORES SOCIALES Y ECONOMICOS QUE INFLUYEN SOBRE LA EROSION DE LOS SUELOS (67)

Introducción	67
El exceso de población	68
Tamaño de las fincas y distribución de la propiedad rural	70
La tenencia de la tierra	72
Precios en los mercados	73
Las tradiciones y costumbres	74
La ignorancia	75
Bibliografía	76
Bibliografía complementaria	77

SEGUNDA PARTE**COMO SE DEFIENDEN LOS SUELOS****CAPITULO 4. RECONOCIMIENTO Y MAPIFICACION DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS TERRENOS DE LA FINCA (81)**

Introducción	81
División de los cultivos	82
Distribución de los cultivos	83
Clases agrológicas	83

	Pág. No.
Características consideradas en la clasificación de los terrenos	85
Levantamiento del plano o mapa de la finca	86
Cómo se levanta un plano con la plancheta o con la brújula	88
Uso de la plancheta	89
Reconocimiento y anotación de las características importantes de los sue- los de la finca	92
Profundidad efectiva	92
Textura del suelo superficial	93
Permeabilidad del suelo y del subsuelo	95
Reacción del suelo	96
Contenido de materia orgánica	98
Pendiente del terreno	98
Grado de erosión	100
Uso actual de los terrenos	101
Cómo deben anotarse y ordenarse las observaciones sobre las caracterís- ticas físicas de los terrenos de la finca	101
Clasificación agrológica	103
Sistemas de conservación de suelos	111
Prácticas culturales y agronómicas	111
Prácticas mecánicas	111
Sistemas de conservación	112
Bibliografía	112
Bibliografía complementaria	113

CAPITULO 5. PRACTICAS CULTURALES Y AGRONOMICAS (114)

Distribución de los cultivos	114
Introducción	114
Pastos	115
Bosques	118
La siembra en contorno	122
Introducción	122
Efectividad del sistema	123
Aparatos de campo para trazar líneas de contorno	123
Trazo de una plantación en contorno	128
Trazo con un nivelador de lectura indirecta	131
Labranza en curvas de nivel	132
Siembra en curvas de nivel	133
Cultivo en fajas	134
Introducción	134
Efectos del cultivo en fajas al contorno	135
Clases de terrenos en los cuales debe usarse el sistema	135
Trazado	136
El manejo de los terrenos cultivados en fajas	137
Las barreras vivas	139
Introducción	139
Distanciamiento de las barreras	140
Plantas que pueden utilizarse para barreras vivas	143

	<u>Pág.</u> <u>No.</u>
<u>Cómo se establecen las barreras vivas</u>	144
<u>Mantenimiento de las barreras vivas</u>	144
<u>Fajas de contención</u>	144
<u>La rotación de cultivos</u>	145
<u>Introducción</u>	145
<u>Factores que influyen en la selección de una rotación de cultivos</u>	145
<u>Ventajas de una buena rotación desde el punto de vista de la conservación de los suelos</u>	146
<u>Diferentes tipos de rotación</u>	152
<u>Diseño de un sistema de rotaciones</u>	152
<u>Ejemplo de un sistema de rotaciones</u>	152
<u>Secuencia de las rotaciones</u>	154
<u>Plantas de cobertura y abonos verdes</u>	154
<u>Introducción</u>	154
<u>Cómo se acumula la materia orgánica en los suelos.</u>	155
<u>Formación del humus</u>	155
<u>Importancia de la materia orgánica</u>	156
<u>Materia orgánica y nitrógeno</u>	157
<u>Nitrógeno orgánico y nítrico</u>	157
<u>Nitrógeno amoniacal</u>	157
<u>Otros efectos importantes de las coberturas y de los abonos verdes</u>	159
<u>Las leguminosas como abonos verdes</u>	160
<u>Algunos factores que limitan el uso de las plantas de cobertura y de los abonos verdes</u>	162
<u>Especies que se usan como coberturas y como abonos verdes</u>	162
<u>Uso de los abonos verdes</u>	166
<u>Los abonos verdes y las plantas de cobertura en el control de la erosión</u>	167
<u>Las plantas de cobertura en la conservación del agua</u>	167
<u>Plantas de cobertura en plantaciones perennes</u>	168
<u>Bibliografía</u>	168
<u>Bibliografía complementaria</u>	170

CAPITULO 6. PRACTICAS MECANICAS (171)

<u>Cálculo de la escorrentía crítica y su utilización en el diseño de obras de conservación de suelos</u>	171
<u>Introducción</u>	171
<u>Cómo se calcula la escorrentía crítica</u>	172
<u>Coefficiente de escorrentía (C)</u>	173
<u>Intensidad crítica de las lluvias (I)</u>	173
<u>Tiempo de concentración</u>	177
<u>Area de la vertiente (A)</u>	177
<u>Aplicación de la fórmula de Ramser</u>	178
<u>Canales de desviación</u>	179
<u>Introducción</u>	179
<u>Localización de los canales de desviación</u>	179
<u>Velocidad del agua en el canal</u>	181
<u>Fórmulas y cálculos</u>	182
<u>Ejemplo del cálculo de un canal de desviación</u>	192

	Pág. No.
Terrazas	194
Introducción	194
Tipos de terrazas	194
Espaciamiento de las terrazas	195
Desnivel de las terrazas	197
Longitud de las terrazas	197
Sección transversal de las terrazas	198
Localización de las terrazas	198
Desagües	200
Trazo	200
Eficiencia en la construcción de las terrazas	201
Construcción con arado	203
Construcción con arado y rastra	205
Construcción con terracedor vertical rotatorio	206
Revisión de las terrazas	210
Mantenimiento de las terrazas	210
Cómo arar los terrenos con terrazas	210
Cómo sembrar un terreno con terrazas	212
Combinación de terrazas y cultivo en fajas	213
Acequias de ladera	213
Introducción	213
Modo de calcular acequias de ladera	214
Trazo de las acequias de ladera	215
Construcción de las acequias de ladera	216
Terrazas de banco y bancales	218
Introducción	218
Diseño y cálculo	220
Trazo sobre el terreno	222
Excavación y terraplén	224
Desagües	224
Protección de los bancales	224
Otras precauciones importantes	226
Terrazas individuales	226
Introducción	226
Ventajas y desventajas	228
Especificaciones de la terraza individual	229
Construcción de las terrazas individuales	229
Bibliografía	231
Bibliografía complementaria	232

CAPITULO 7. LUCHA CONTRA LA EROSION EOLICA (233)

Introducción	233
Manejo del suelo	233
Rotación de cultivos	234
Cultivos en fajas	235
Rompevientos y cortinas protectoras	236
Utilización del mantillo	237

	<u>Pág.</u> <u>No.</u>
Fijación de dunas	239
Bibliografía	243
Bibliografía complementaria	243

CAPITULO 8. ALGUNOS CASOS ESPECIALES DE CONTROL DE LA EROSION (244)

Control de cárcavas o zanjones	244
Introducción	244
Clasificación de los zanjones por su profundidad y por el área que en ellos drena	245
Corrección de zanjones	245
Pastos en zanjones	249
Propagación por cespedones	249
Protección de la parte alta de una cárcava	250
Medidas de carácter mecánico	250
Represas de piedras sueltas	251
Represas de malla de alambre	253
Represas de tallos y hojas de plantas leñosas	254
Represas de madera	254
Estructuras permanentes para proteger zanjones	255
Control de la erosión en las riberas de los ríos	257
Introducción	257
Protección de las orillas de los ríos y quebradas	258
Construcción de esterillados	260
Diques	261
Localización de los diques	261
Diques de madera	262
Diques de piedra	262
Otro tipo de diques	264
Vegetación	264
Bibliografía	266
Bibliografía complementaria	266

CAPITULO 9. PROGRAMAS NACIONALES DE CONSERVACION DE SUELOS (267)

Introducción	267
Nivel económico para el individuo	268
Algunos interrogantes	269
Intervención estatal	270
Formas cómo el Estado puede intervenir en la conservación de los suelos	271
Condiciones sociales y económicas favorables para la conservación	272
Colonización	273
Regulaciones sobre el uso de los terrenos agrícolas	275
Intervención sobre los contratos de arrendamiento	277

	Pág. No.
Regulación de los precios	277
La reforma agraria	278
Características del fenómeno erosivo en cada zona y desarrollo de sistemas de combate	278
Metodología experimental	279
Investigaciones sobre la economía de la conservación	282
Educación de la población	283
Los distritos y los núcleos de conservación	284
Demostraciones	286
Otros sistemas educativos	287
Juntas de conservación	287
Clubes juveniles	287
Resultados logrados	287
Ayuda técnica y económica	287
Bibliografía	288
Bibliografía complementaria	289
Glosario	291
Índice de materias	299
Índice de autores	321

PROLOGO DE LA PRIMERA EDICION

En 1798, el economista Thomas Malthus publicó su **Ensayo sobre la población** destinado a alcanzar extensa fama y a suscitar prolongadas controversias. La idea básica sostenida por el investigador inglés fue la de que en tanto que la población del mundo aumenta en proporción geométrica, los recursos alimenticios se incrementan en proporción aritmética. De ello resulta un desequilibrio que se cancela tan sólo al actuar algunos factores limitantes externos tales como las hambres, las epidemias y las guerras, los cuales aumentan la mortalidad y obran como diques de contención en el desarrollo fisiológico de la especie. La fantástica transformación industrial y comercial del siglo XIX derrotó las concepciones pesimistas del señor Malthus; sin embargo, para muchos esa derrota era apenas un aplazamiento de su vigencia, y entre 1938 y 1946, los hechos parecieron darles la razón. En ese período la producción mundial de alimentos disminuyó en un 5%, en tanto que la población aumentó en un 10% y con estos datos a la vista tomó auge un movimiento neomalthusiano el cual considera que, sobrepasada la etapa de transformaciones fundamentales del siglo pasado, nuevamente se encuentra enfrentada la humanidad al dilema de limitar su crecimiento o desaparecer.

Sin llegar a plantear el problema en esos términos extremos, vale sí la pena reflexionar sobre algunos hechos incontrovertibles que deben ser motivo de estudio. Nadie puede negar que actualmente una proporción alta de la humanidad está sometida a regímenes alimenticios inadecuados. Nadie puede negar tampoco que el hambre y la miseria han existido siempre en el planeta. Sir Herbert Broadley recordaba hace poco, ante una conferencia de científicos convocada por las Naciones Unidas, que aun en épocas tan recientes como el siglo XIX y los principios del XX, Europa se vio enfrentada por tres veces a un negro futuro de escasez de alimentos: al finalizar las guerras napoleónicas fue la primera; hacia 1850, en plena revolución industrial, fue la segunda, y en el período anterior a la primera guerra mundial fue la tercera. En otros continentes la subalimentación es una crónica dolencia, de la cual no han podido librarse sus habitantes. Sin embargo, ello no quiere decir ni que la situación sea irremediable ni mucho menos que se esté cumpliendo inexorablemente la teoría malthusiana.

Los recursos naturales, entre los cuales el suelo es uno de los más importantes, constituyen la materia prima que el ingenio del hombre utiliza para subvenir a sus necesidades. De la manera como los ha aprovechado ha dependido su bienestar y su futuro también descansa en la sagacidad y sabiduría con que se sirva de ellos.

Fuerza es confesar que el hombre ha abusado de esos recursos. Para limitarnos al suelo, de donde extraemos casi todos nuestros alimentos y los materiales que nos dan abrigo y protección, no puede menos de causar honda preocupación el panorama que hoy presentan extensas zonas en otro tiempo fértiles y prósperas.

Su aspecto desolado pocas esperanzas aviva sobre el futuro alimenticio del hombre, quien en cortos años saqueó su fertilidad y destruyó su riqueza, y así sirven de argumento poderoso a los profetas de miserias y desgracias.

Pero el ánimo se tonifica y el optimismo se reconstituye cuando se comprueba la modificación substancial que está ocurriendo en la actitud de importantes núcleos humanos. El llamado movimiento conservacionista, que no es otra cosa que la mística del buen uso de los recursos naturales, se hace cada día más poderoso, conquistando nuevos adeptos.

En lugares tan distantes como los Estados Unidos y Chile, Africa del Sur y Colombia, se establecen entidades gubernamentales encargadas de desarrollar métodos de conservación de suelos y de enseñarlos a los agricultores; se inician poderosos movimientos de opinión tendientes a modificar condiciones sociales y económicas que obligan a saquear la capacidad productiva del suelo; se imponen restricciones y vigilancia a la actividad destructora de los habitantes y, en fin, se intenta crear conciencia sobre la estrecha unión entre la riqueza de los terrenos agrícolas y la prosperidad de las naciones. Como resultado, se forjan armas eficaces para mantener a niveles altos el equilibrio entre la capacidad y la intensidad de uso de cada terreno, ampliándose así las posibilidades alimenticias de la población, y adquieren importancia la ciencia y el arte de la conservación de los suelos que día a día también adquieren mayor complejidad.

Este volumen intenta ser una ordenada presentación de los principios y de los métodos de ese arte y de esa ciencia. Se ha pretendido incluir, no solamente las nociones teóricas sobre la erosión y la conservación de los suelos, indispensables como base y fundamento, sino también las aplicadas o prácticas que explican el modo de ejecutar cada labor. La primera parte del libro se refiere a la manera como se forman y como se destruyen los suelos, incluyendo el examen de los factores físicos y de los sociales y económicos que influyen sobre el mal uso de los terrenos agrícolas. En ella se han tratado de presentar ejemplos sencillos, gráficos y figuras para poner de relieve las nociones teóricas, de tal manera que éstas lleguen con más fuerza y claridad a la mente de los lectores. En la segunda parte, se explica cómo se defienden los suelos, destacando el concepto de que la conservación no se reduce a la ejecución de muchas o pocas prácticas en los predios de las fincas, sino que incluye el desarrollo de un plan armónico e integral que, con base en un inventario de los recursos, fija niveles de intensidad de uso y de necesidades de tratamiento. Por último, en las páginas finales, se presenta un glosario de los términos utilizados en la ciencia de la conservación, el cual servirá para aclarar interpretaciones variadas de lo que no puede tener sino un significado. En todos los capítulos se incluye una bibliografía sobre el tema respectivo.

Confiamos en que la lectura del volumen, el cual al menos tiene la ventaja de ser poco extenso, sirva en alguna forma a los empeñados en la defensa de los suelos en los países de habla española.

Réstanos agradecer la colaboración de innumerables colegas, compañeros de trabajo en la Campaña de Defensa y Restauración de Suelos de la Federación de Cafeteros de Colombia, y de muchos amigos que, en una u otra forma, con su consejo y guía ayudaron a mejorar los originales, así como a Guillermo Combariza, quien ejecutó los dibujos, y al Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, que amablemente nos facilitó numerosas fotografías. No sería justo dejar de mencionar en forma especial a Ulla Urhan de Suárez, ayudante insomne, a cuya actividad se debe la ordenación final de la obra.

Chinchiná, octubre de 1955

PROLOGO DE LA SEGUNDA EDICION

Desde que se escribió la primera edición de este libro, se ha agudizado la percepción de algunos fenómenos socioeconómicos de tremenda importancia para la humanidad. El primero es la llamada "explosión demográfica", término en el cual se ha vertido la preocupación existente por el aumento de la población, que está ocurriendo a una tasa sin paralelo en la historia del hombre. Como resultado de los gigantescos adelantos logrados, desde la finalización de la segunda guerra mundial, en el campo de la prevención y el combate de las enfermedades, el tributo que la muerte cobra se ha reducido drásticamente sin que la natalidad haya descendido en forma correlativa. La tasa de crecimiento anual de la población mundial ha pasado de 1% en 1945 a cerca de 2% en 1962, lo cual significa que en 35 años se duplicarán a 6.000 millones los 3.000 millones de habitantes actuales de la tierra.

Al otro fenómeno, fruto de la postguerra, se le ha bautizado con el nombre de "explosión de expectativas". Los habitantes de los países "subdesarrollados", que en número equivalen a las dos terceras partes de la raza humana, han adquirido, por primera vez en la historia, clara conciencia de su pobreza y de la posibilidad de salir de ella. Ha desaparecido el fatalismo con que las masas de los países atrasados aceptaban su suerte y ha sido reemplazado por un hondo deseo de disfrutar de niveles de vida, que las pantallas de televisión y de cine popularizan como metas alcanzadas aún por las clases de más bajos ingresos de los países adelantados.

Estos dos fenómenos, agudizado el último en forma particular en la América Latina, por razón de su cercanía física y su vinculación económica a la nación más poderosa del universo, no podrán encauzarse constructivamente sin asignarle un papel preponderante a la educación en la conservación y buen uso de los recursos naturales. El progreso es, antes que nada, un proceso mental y su requisito supremo es la formación de una mentalidad nueva dispuesta a pagar el precio de ese progreso en monedas de sacrificio, disciplina y hábitos de trabajo y de ahorro. El aprovechamiento sagaz de las riquezas acumuladas por la naturaleza en cada porción del planeta será el camino más seguro para transformar esas explosiones de vidas nuevas y de expectativas en factor positivo para el desarrollo social y económico de los pueblos.

Por esta razón, juzgamos muy oportuna la aparición de la segunda edición de este libro que precisamente trata sobre el arte y la ciencia de manejar **el suelo**, el más importante de los recursos naturales renovables, de manera que se aproveche plenamente su riqueza sin deteriorarlo y sin menguarle su valor.

Animados por la buena acogida que tuvo la primera edición, hemos revisado su contenido agregando un capítulo sobre la erosión eólica, incorporándole algunos conceptos nuevos y complementando la bibliografía citada en los diferentes capítulos, hasta cubrir los trabajos más representativos aparecidos en los últimos años.

A la lista de personas que colaboraron en la primera edición de este libro debemos agregar, además de los numerosos lectores que nos estimularon con sus conceptos, los nombres de María Dolores Malugani, Bibliotecaria del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A., quien colaboró en la revisión bibliográfica, y Miguel J. Lozano, Director de Agricultura de las Américas, quien nos ayudó en la consecución de valioso material.

San José, Costa Rica, diciembre de 1964

PROLOGO DE LA TERCERA EDICION

En la última década se han agudizado los fenómenos que se señalaron en el prólogo de la segunda edición de este libro como de una gran importancia para la América Latina y que están conectados con el aumento de la población y la explosión de expectativas. Adicionalmente, ha adquirido importancia y ha merecido mayor atención de la sociedad, la situación del inmenso grupo de habitantes rurales y urbanos de más bajos ingresos. Los "marginados", como se le ha bautizado para señalar así su condición de personas que no participan en el trajín económico y político de la sociedad se encuentran cada día más distanciados en sus ingresos y en sus posibilidades de vivir mejor, de los otros grupos económicos. Este distanciamiento ha llegado a ser tan dramático que ha golpeado duramente la conciencia de las clases dirigentes.

Como resultado, el desarrollo comienza a adquirir una fisonomía más claramente humana; ya se aceptan, en toda la plenitud de sus consecuencias, que además de preocuparnos por el crecimiento económico debe dársele principal consideración a la redistribución del ingreso de manera que llegue una proporción mucho mayor del total a los estratos de población menos favorecidos. En el caso del sector rural, eso significa dirigir con mayor vigor la acción del Estado, tanto en su quehacer regulador como en la prestación de servicios, hacia el beneficio de los campesinos de menores ingresos.

Aumentar la producción y la productividad de las fincas más pequeñas y asegurar que sus beneficios queden en manos de quienes las trabajan, se constituye así en una meta importante cuya escogencia no necesita defenderse con complejas reflexiones de carácter económico sino apenas señalando que si el hombre es el centro y motivo del desarrollo, el beneficio y mejoramiento del mayor número tiene que ser el indicador más claro de los avances que se logren. Ante esta situación nunca antes registrada, adquiere una redoblada importancia la conservación de los suelos como parte de un sistema de producción bien adaptado a las condiciones de esas fincas pequeñas. Si en ellas, buscando un productivismo a corto plazo, se descuida el cuidado de los recursos renovables, fácil es desembocar en mayor miseria, pues destruido el suelo, es imposible pensar en una agricultura próspera y estable. Estas reflexiones, adicionadas a la mayor complejidad que en condiciones de graves limitaciones de capital adquiere el diseño de sistemas de conservación de suelos, me indujo a publicar esta tercera edición que hoy ve la luz bajo los auspicios de la Serie de Libros y Materiales Educativos, del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

Siendo la conservación de los suelos una tarea compleja en donde las unidades agrícolas no pueden considerarse independientemente ya que lo que ocurre en cada una de ellas se relaciona y muchas veces influye sobre lo que ocurre en el conjunto, es necesario partir de un conocimiento amplio del fenómeno de la erosión, de las características y maneras de actuar de los agentes que en él intervienen, de las implicaciones sociales y económicas tanto de su ocurrencia como de las formas de atacarlo, para poder diseñar y ejecutar programas bien adaptados a las necesidades de cada región. Con esa idea en mente han sido revisados todos y cada uno de los capítulos de la obra; se incorporaron a su texto aquellos conceptos nuevos que han probado ser útiles y se puso al día su bibliografía.

En el momento actual, es clara la necesidad de un texto en el cual se presenten en forma ordenada y sencilla, tanto los principios de la conservación de los suelos como la manera de aplicarlos, dentro de un criterio amplio, integrándolos con el conjunto de las demás prácticas que constituyen el sistema de producción típico de cada finca.

Se ha puesto especial cuidado en enfocar el texto hacia América Latina sin que ello signifique que no se haya buscado información y respaldo en trabajos llevados a cabo en otras latitudes, sino que esto siempre se ha hecho teniendo muy en cuenta su relación con los problemas de nuestro continente.

Fernando Suárez de Castro

PRIMERA PARTE

COMO SE FORMAN Y COMO SE DESTRUYEN LOS SUELOS

CAPITULO 1

NOCIONES GENERALES SOBRE LOS SUELOS

QUE ES EL SUELO

El suelo es la capa de materiales orgánicos y minerales que cubre la corteza terrestre y en la cual las plantas desarrollan sus raíces y toman los alimentos que les son necesarios para su nutrición.

Los procesos físicos, químicos y biológicos que intervienen en la formación de los suelos están gobernados por factores del medio ambiente tales como el clima y la vegetación. Ellos actúan en forma combinada y variable, de manera que los suelos resultantes de su acción son complejos organismos sujetos a mudanza continua y que nunca alcanzan una condición estática. Su permanente evolución puede dividirse en etapas que, como las de cualquier organismo, se denominan juventud, madurez y vejez.

CONSTITUYENTES PRINCIPALES DE LOS SUELOS

La historia de un suelo comienza con la acumulación de materiales rocosos meteorizados y finamente divididos. Luego aparecen los organismos vivos y con ellos se inicia la fase constructiva de los procesos de formación. Así se van diferenciando capas que descansan sobre el material rocoso original y cuyo espesor varía desde pocos milímetros hasta varios metros. Tanto las características como el espesor de los suelos dependen de la intensidad con que actúen los procesos de formación, el tiempo que haya durado su acción y la resistencia del material original a sufrir esos cambios.

Es fácil comprender que los suelos ofrecen toda una amplia gama de variaciones resultantes de las diferencias de un lugar a otro en las fuerzas actuantes en el proceso. Tan sólo cuando se presenta una combinación más o menos uniforme de factores, puede esperarse que se encuentren suelos de características similares.

El suelo está formado de substancias en estado sólido, líquido y gaseoso. La porción sólida está constituida por materiales orgánicos,

resultantes de las plantas y animales vivos o muertos y de sus productos, y materiales inorgánicos o minerales, formados de los residuos de la descomposición de la roca madre (1)*.

Los materiales inorgánicos o minerales del suelo varían en tamaño, desde pedruscos de tamaño considerable hasta partículas coloidales de arcilla con diámetro inferior a 0,002 mm. La proporción en que se hallan mezcladas las partículas de diferente tamaño determina la textura del suelo.

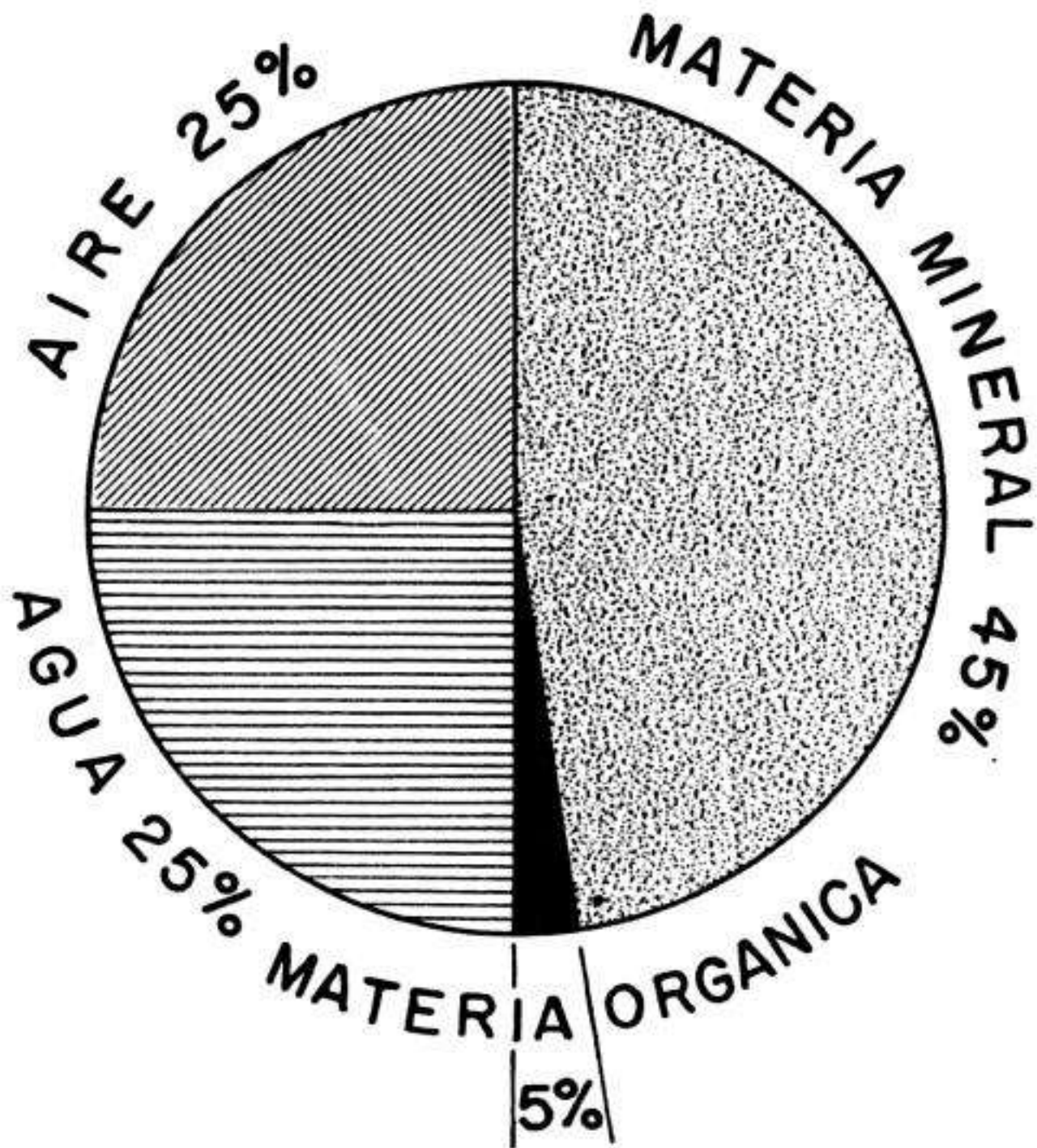


Fig. 1. Diagrama en donde se indica la composición volumétrica de un suelo normal.

Los materiales gruesos y medianos son prácticamente inactivos y tan sólo sirven como esqueleto del organismo total. La parte activa es aquella de reducido tamaño que se denomina arcilla, la cual es de naturaleza coloidal y sirve como depósito de almacenamiento de nutrientes que luego van siendo utilizados lentamente por las plantas. La clase y la cantidad de material coloidal determinan asimismo la cantidad de agua que el suelo puede retener, en especial en regiones muy secas.

(*) Los números entre paréntesis se refieren a la bibliografía que se cita al final de cada capítulo.

La parte orgánica del suelo está formada de sustancias vivas y muertas, en las cuales se incluyen raíces de plantas, hongos, algas, bacterias, larvas de insectos, miriápodos, roedores, etc., junto con los productos de su descomposición. Los residuos son también de carácter coloidal (coloide orgánico) y, como el coloide inorgánico, desempeñan un papel primordial en la retención de nutrimentos y de agua.

La parte líquida del suelo consiste en agua con cantidades variables de materia mineral, anhídrido carbónico y oxígeno, disueltos en su seno. Debido a ella los elementos minerales, el nitrógeno y el agua penetran en las plantas para contribuir a su alimentación y desarrollo.

La parte gaseosa del suelo es también muy importante; tanto las raíces de las plantas como un número considerable de microorganismos, que desempeñan un papel esencial en los procesos evolutivos del suelo, necesitan cantidades variables de oxígeno proveniente del aire para su existencia.

Material orgánico en diferentes estados de descomposición

Primera capa mineral. Contiene proporciones relativamente altas de humus. Color oscuro.

Contiene proporciones relativamente reducidas de humus. Generalmente es de textura mas pesada que el horizonte A.

Color generalmente mas claro.

Estratos subyacentes

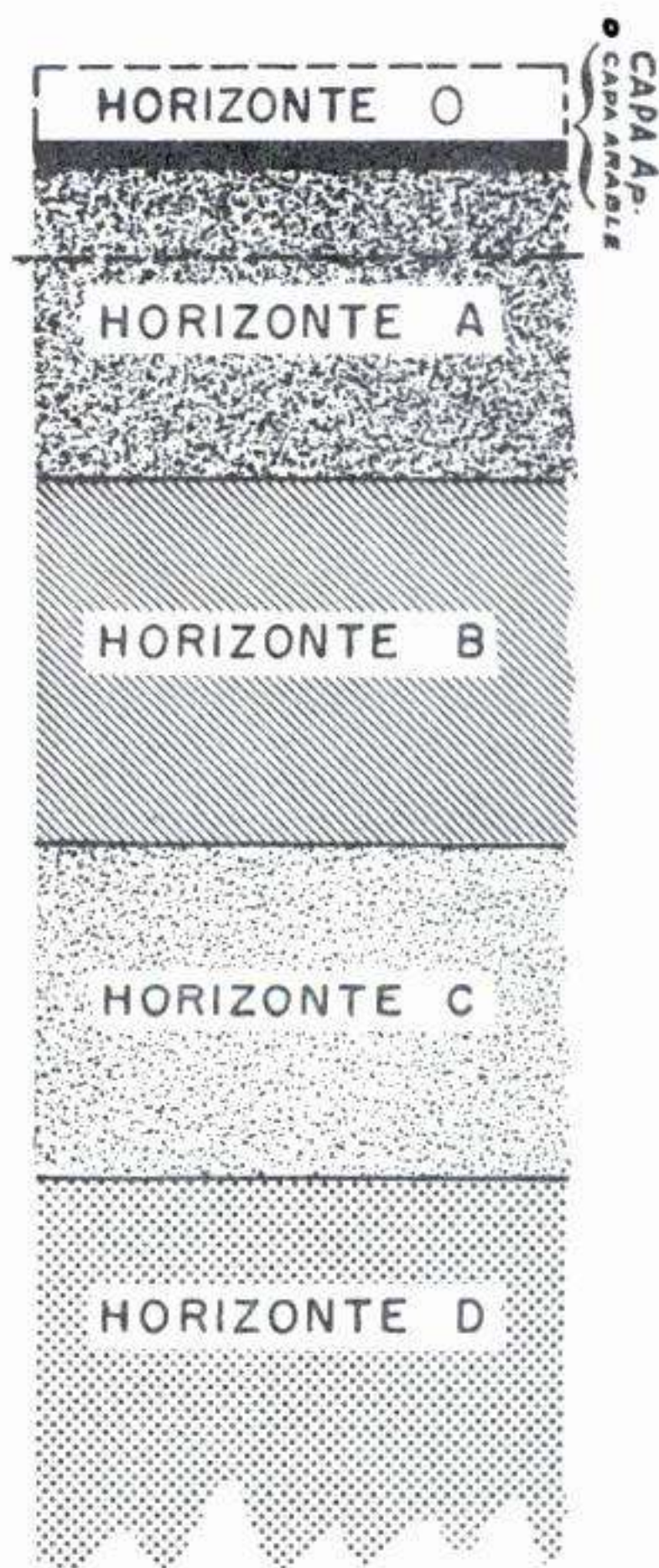


Fig. 2. Perfil de un suelo normal.

Como los suelos varían naturalmente en composición, características físicas y químicas y fertilidad, las nociones que aquí se expresan deben considerarse como simples conceptos generales aplicables a un suelo normal (1).

PERFIL DEL SUELO

Cuando se hace un corte vertical en un terreno se observa una serie de capas superpuestas perfectamente diferenciadas, con características físicas y químicas variadas, a las cuales se les da el nombre de horizontes. El conjunto de horizontes constituye el llamado perfil del suelo.

En general, en un suelo maduro se encuentran los siguientes horizontes:

Horizonte O

Formado por el material orgánico que se encuentra sobre la superficie y cuyo espesor generalmente varía entre 2 y 10 cm. En un suelo que haya permanecido largos años cubierto de bosque, se pueden distinguir en este delgado horizonte varias capas: en la parte superior hojas, tallos y otros residuos orgánicos caídos recientemente que aún no muestran signos de descomposición; más abajo, material de esta misma clase que ya ha comenzado a desintegrarse, de color pardo oscuro y en el cual aún puede distinguirse el material original, y, por

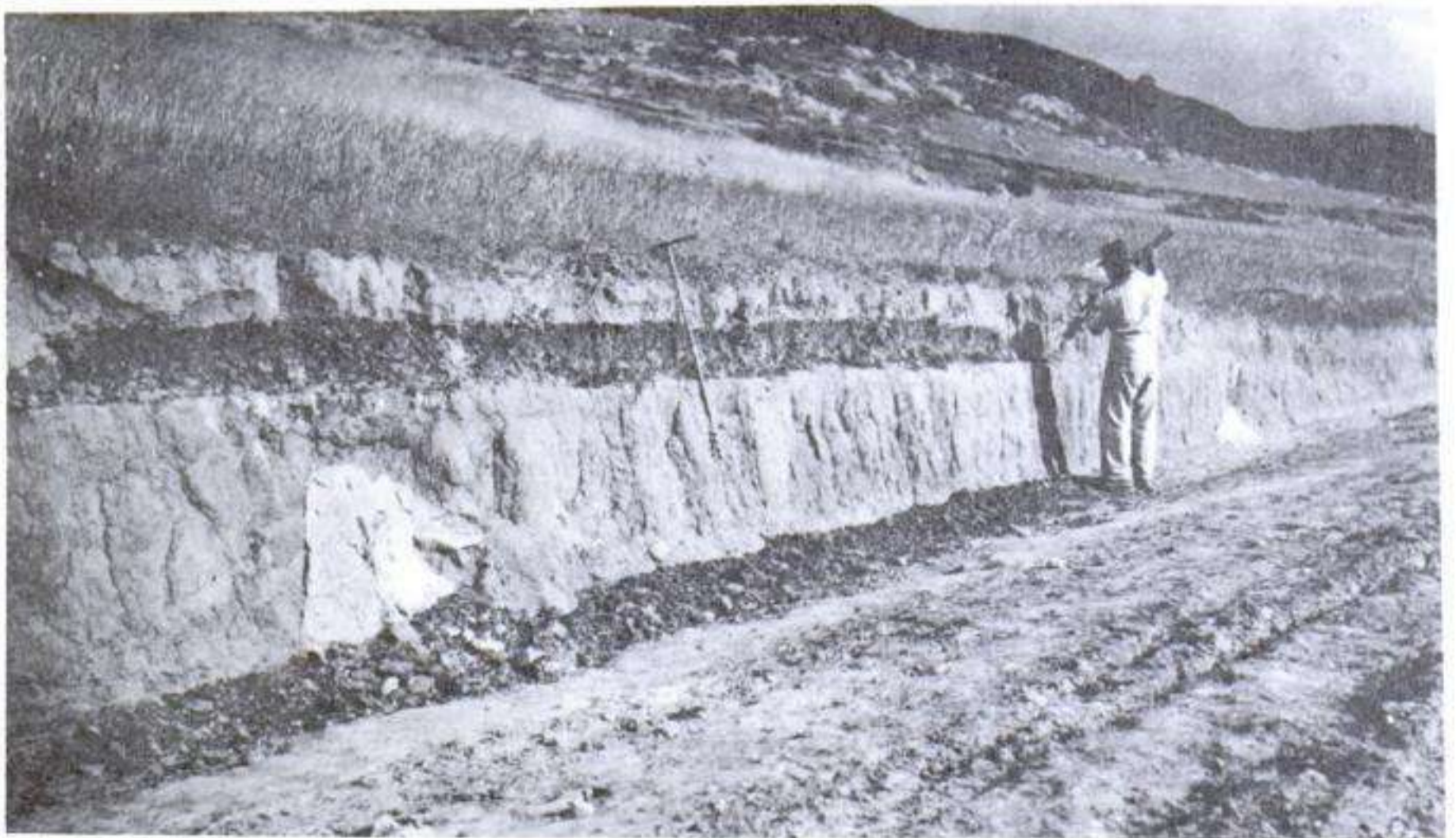


Fig. 3. Perfil típico de un suelo. Claramente se distinguen capas u horizontes de diferente espesor, color y estructura. (Foto Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia).

último, una tercera capa de materia orgánica, de color negro o pardo obscuro, de material completamente desintegrado y amorfo que se denomina **humus**.

Horizonte A

Debajo del horizonte 0 se encuentra la primera capa mineral del suelo denominada horizonte A. La porción superior generalmente es oscura por la influencia del humus que sobre ella descansa. Se aclara su color a medida que se profundiza y casi siempre alberga gran cantidad de raíces vivas y muertas, insectos y otras formas animales de tamaño reducido. Su espesor varía desde pocos centímetros hasta uno o dos metros en regiones de poca lluvia y de gran fertilidad. En ocasiones se subdivide este horizonte, por razón de su color más claro en la parte inferior, en los subhorizontes A1 y A2.

Capa Ap

Cuando se cultiva un terreno los instrumentos de labranza con los cuales se rotura, mezclan el horizonte 0 con la parte superior del A. Para fines prácticos, se ha juzgado conveniente considerar esta capa en forma independiente, bautizándola con el nombre de "capa arable" y distinguiéndola con el signo Ap, que indica que es una subdivisión del horizonte A.

Horizonte B

Sobre él descansa el horizonte A. Se reconoce fácilmente por el cambio que ocurre en color y por su menor contenido de materia orgánica. Generalmente es también de textura más pesada que el horizonte superior y su espesor es tan variable como el de aquél.

Horizonte C

Luego se encuentra el llamado horizonte C, cuyo color generalmente es más claro y el cual en realidad ofrece poco interés desde el punto de vista del manejo del suelo. Su estudio se conecta mejor con la geología (4).

DE DONDE PROVIENEN LOS SUELOS

Como se observa en la Fig. 1 la mayor proporción del suelo está formada de materia mineral, la cual proviene de la descomposición de las rocas.

La corteza terrestre está cubierta de materiales sueltos no consolidados los cuales constituyen el llamado "manto rocoso", en cuya

composición química participan los elementos enumerados en el Cuadro 1 (2, cit. por 9).

CUADRO No. 1. Elementos que forman la corteza terrestre.

Elementos	%	
Oxígeno	46,4	
Sílice	27,6	
Aluminio	8,1	
Hierro	5,1	
Calcio	3,6	
Magnesio	2,1	
Sodio	2,8	
Potasio	2,6	<u>98,3%</u>
Otros elementos (titanio, hidrógeno, fósforo, manganeso)		1,7%

Debido al proceso de meteorización el manto rocoso se desintegra y descompone para llegar a formar el material parental del cual provienen los suelos. Hay, pues, dos partes en el proceso: la primera es la formación de la materia prima o material parental y la segunda la transformación de este material en un cuerpo nuevo que se denomina suelo.

La meteorización se clasifica como física o química, según las fuerzas que en ella intervienen. La física es una especie de desintegración mecánica del material original, la cual modifica su forma y tamaño, pero no altera su composición. La meteorización química, en contraste, descompone las sustancias complejas de las rocas en sustancias más simples, pudiendo ocurrir algunas pérdidas de masa en forma de solución o de gases; simultáneamente con este proceso de descomposición puede ocurrir uno de síntesis o construcción, en el cual se forman nuevas sales al combinarse los elementos libertados por la meteorización química.

METEORIZACION FISICA

La meteorización física se verifica debido a la acción de los cambios de temperatura, del agua y del viento.

Las rocas se expanden al calentarse y se contraen al enfriarse. Normalmente la parte superficial de la roca expuesta al sol se calienta durante el día hasta temperaturas elevadas y se enfría durante la noche. Como sus diferentes componentes tienen diversos coeficientes

de expansión y contracción, estos cambios naturales en temperatura originan fuerzas simultáneas de magnitudes variables que causan rompimientos y desintegraciones de la más variada índole.

Independientemente de esta acción directa, el agua que contiene el suelo, al solidificarse en la tierra por razón de un descenso en la temperatura ambiente, aumenta su volumen y ejerce presión sobre las partículas que la rodean causando así rupturas. Por otra parte, a través de la energía del agua en movimiento ocurren abrasiones, rupturas y transporte de fragmentos de roca.

En forma similar actúa el viento, el cual aumenta su poder abrasivo por las partículas de polvo y arena que arrastra en su seno. La formación de dunas en zonas desérticas demuestra el efecto de este agente de desintegración (10).

METEORIZACION QUIMICA

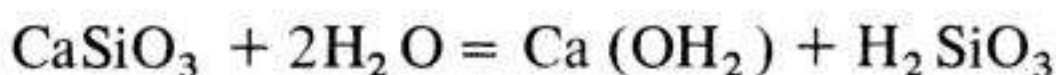
La meteorización química se lleva a cabo a través de diversas reacciones, entre las cuales las más caracterizadas son: la oxidación y reducción, la carbonatación, la hidratación y la solución.

La **oxidación**, definida como un aumento de la valencia positiva de un elemento o compuesto, ocurre especialmente debido a la acción del oxígeno. Los compuestos de hierro son los que más fácilmente se oxidan, formando óxidos ferrosos y férricos de baja solubilidad, los cuales imparten un color rojo al suelo.

El proceso opuesto, o sea la pérdida de oxígeno o **reducción**, ocurre principalmente en terrenos en los cuales hay escasa aireación; algunos organismos de los que toman parte activa en la descomposición de la materia orgánica, pueden extraer oxígeno de compuestos oxidados, tales como el hidróxido férrico, produciendo combinaciones más solubles. Estos cambios pueden ejercer una notable acción en la descomposición de una roca.

La **carbonatación** se refiere a la acción sobre las rocas del CO_2 que contienen el aire y el agua. De esta manera se forman carbonatos, los cuales se acumulan en el suelo o lava el agua. El proceso es más activo en regiones de mucha lluvia, pero por razón de la remoción de los carbonatos fácilmente solubles por el agua que circula a través de los terrenos, la acumulación de estos compuestos es en ellas menor que en regiones semiáridas.

La **hidrólisis** y la **solución** son los procesos predominantes en la meteorización química de las rocas. Consiste el primero en la reacción entre el agua y diversos compuestos químicos para formar productos secundarios. Por ejemplo, al ponerse en contacto el agua con uno de los muchos silicatos que contienen las rocas, ocurre la siguiente reacción:



es decir, hay un intercambio entre las dos sustancias formándose hidróxido de calcio y ácido silícico, compuestos con propiedades diferentes a las de los que entraron en la reacción. El proceso opuesto, o sea, la deshidratación o pérdida de agua, también ocurre en forma normal especialmente con los hidróxidos de hierro y aluminio.

La solución, que consiste en la dispersión de un compuesto hasta el estado molecular, está unida estrechamente al proceso de hidratación. Ambos son activados por la presencia de ácido carbónico y ácidos orgánicos. También ocurren con mayor rapidez a medida que el material está más finamente dividido (10).

AGENTES BIOLÓGICOS DE METEORIZACION

Los agentes biológicos son activos participantes en el proceso de meteorización. Los vegetales, que comienzan a crecer sobre las rocas, aun en los más atrasados estados de descomposición, ejercen una acción física a través de la presión que desarrollan sus raíces, en muchos casos preponderante en la desintegración de las rocas. Ejercen también una acción química, pues segregan ácidos que actúan sobre el material en el cual crecen, disolviendo algunos de sus componentes. En igual forma, los microorganismos y sus sustancias metabólicas (ácido cítrico, tartárico, oxálico, málico, etc.), actúan como agentes activos de descomposición de las rocas (3).

TRANSFORMACION DEL MATERIAL PARENTAL EN SUELO

Una vez desarrollado el material parental, a través del proceso antes descrito, se inician los procesos que desembocan en la formación del suelo que el hombre explota en su provecho.

FACTORES DE FORMACION DEL SUELO

Los factores que universalmente se reconocen como participantes en la formación del suelo son: el material parental, el clima, la actividad biológica (organismos vivos), la topografía de la zona y la edad del terreno (5).

MATERIAL PARENTAL

Es la materia prima de la cual se forman los suelos. Su papel es por lo tanto pasivo, y las modificaciones que sufre dependen de las diferentes influencias a que está sometido. Es posible que sobre el mismo material parental se desarrollen dos suelos diferentes, si los factores activos de formación son disímiles, como es posible que el mismo suelo provenga de materiales parentales distintos.

CLIMA

La lluvia y la temperatura son los componentes del clima que principalmente influyen sobre la evolución de los suelos. Jenny encontró en los Estados Unidos una pronunciada correlación entre la lluvia anual y el contenido de nitrógeno de los suelos, la cual sigue vigente, aunque más tarde ha habido ocasión de rectificar un tanto su criterio y no se acepta actualmente esa matemática conexión entre un solo componente de un factor de formación y el tenor de cualquier elemento en los suelos. Las lluvias, al penetrar en el perfil, distribuyen en forma variada los elementos solubles y los van depositando a diferentes profundidades formando capas de lavado y acumulación, de espesor y posición variables (7).

En regiones de poca lluvia los suelos maduros presentan la característica de un horizonte de acumulación de carbonatos en el cual existen cantidades de CaCO_3 y MgCO_3 superiores a las que contienen las capas superiores e inferiores. El mismo Jenny ha comprobado la relación entre la profundidad a que se encuentra este horizonte y la precipitación de la zona. Marbut, uno de los primeros investigadores que llamaron la atención sobre este hecho, escogió la presencia del horizonte de carbonatos como criterio de clasificación de los suelos (pedocales) lo cual indica hasta qué punto ella es constante con las variaciones climáticas.

En regiones áridas las partículas de suelo retienen la escasa cantidad de lluvia que en él penetra, la cual puede luego desplazarse nuevamente hasta la superficie por evaporación y transpiración, sin que haya, por lo tanto, remoción de los productos de meteorización. En regiones húmedas, al contrario, se percolan grandes cantidades de lluvia a través del perfil y con ellas se pierden los compuestos solubles. Puede, por lo tanto, esperarse que los suelos de las regiones áridas sean más ricos en constituyentes solubles y alimentos para las plantas. Innumerables análisis comparativos fortalecen esta afirmación.

La velocidad de las reacciones químicas aumenta en proporciones definidas con los aumentos en temperatura y de allí la influencia de esta integrante del clima sobre la formación de los suelos. A temperaturas bajo cero grados centígrados, se detienen las reacciones químicas en el suelo; a partir de este nivel Jenny ha encontrado (en zona templada) que a medida que aumenta la temperatura disminuye la acumulación de materia orgánica en el suelo, y aumenta su contenido de arcilla. Sin pretender adherirse al sistema matemático utilizado por dicho autor, se debe reconocer que sus datos sí demuestran la marcada influencia de la temperatura y la humedad, actuando siempre en forma combinada, sobre el desarrollo de las características de los suelos (5, 6, 8).

ORGANISMOS VIVOS

La principal acción de los microorganismos en el suelo es la de descomponer los restos vegetales que a éste llegan hasta convertirlos en materia orgánica. Diversas clases de hongos y bacterias son los responsables de esa labor. Debe también mencionarse la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno, que toman este elemento del aire y lo fijan de manera que puede ser aprovechado por las plantas superiores.

Los escasos datos que existen permiten afirmar que cada suelo tiene una población microbiana característica. Es más, se ha comprobado que los cambios en las propiedades del suelo siempre originan cambios en su constitución microbiológica. En los suelos muy ácidos, por ejemplo, no se encuentran organismos del género *Azotobacter*, pero al neutralizar la acidez comienzan ellos a establecerse hasta llegar a ser abundantes. Asimismo, en un terreno cubierto de bosques predomina una microflora compuesta principalmente de hongos, en tanto que cuando la cobertura es de pastos predominan las bacterias, cuyos productos metabólicos son diferentes.

La vegetación ejerce además un papel preponderante en la formación de los suelos a través del suministro de materia orgánica y de la translocación de elementos de los estratos inferiores a los superiores del perfil. Las raíces de las plantas aumentan la porosidad de los suelos en donde ellas crecen y permiten una más rápida penetración del agua: además, toman agua y elementos en solución y los transportan a la parte aérea del vegetal; al caer las hojas y tallos sobre el terreno, dichos elementos ingresan al horizonte superior del perfil, estableciéndose así una translocación permanente de sustancias minerales que tiende a mantener una condición adecuada para el crecimiento vegetal.

Los animales, incluyendo al hombre, son en primer lugar agentes intermediarios en la descomposición de muchos vegetales, ya que éstos directa o indirectamente, sirven de base a su alimentación y las excreciones animales ingresan en un plazo más o menos largo al suelo. Las lombrices se alimentan de materia orgánica y colaboran en su desplazamiento y descomposición. Los roedores mezclan partículas de distintos estratos. El hombre, a través de su actividad agrícola, modifica substancialmente los factores de formación del suelo, especialmente la vegetación, cambia en ocasiones el clima de los terrenos, su actividad biológica y aun su propia composición química, ejerciendo un papel preponderante en el desarrollo de determinadas características en el suelo (13).

TOPOGRAFIA

La Topografía o relieve de la superficie terrestre interviene en la formación de los suelos a través de su influencia en el movimiento

transversal y lateral del agua. Según Ellis, en un sitio alto y bien drenado, las condiciones normales de humedad se presentan en la topografía plana y allí se forman suelos representativos del clima regional. Las variaciones locales de topografía —ondulaciones, depresiones, pendientes fuertes— originan condiciones de humedad más o menos alejadas de las normales y, en consecuencia, los suelos allí formados también difieren del normal o representativo.

Según Jenny, Bray obtuvo datos muy interesantes sobre la relación entre el grado de pendiente por una parte, y el pH y el porcentaje de arcilla en las aguas de percolación por la otra. A 10 pulgadas de profundidad el porcentaje de arcilla en el percolado de la porción ondulada fue del 19,2 y sólo del 18,2 en la porción plana en tanto que los pH fueron del 5,8 y 4,7 respectivamente; a 20 pulgadas de profundidad ese contenido de arcilla subió al 30% en la parte ondulada y al 38,4% en la plana, en tanto que la acidez se mantuvo cercana a los valores dados anteriormente. Estos datos son un claro ejemplo de cómo, bajo diferentes condiciones topográficas, son diferentes también, tanto el grado como el proceso de meteorización de los materiales del suelo.

ED. D

El desarrollo de un suelo depende naturalmente del espacio de **tiempo** durante el cual actúan los factores de formación. Esto no quiere decir que todos los suelos de la misma edad sean iguales o parecidos, sino que el suelo, como organismo en permanente actividad, modifica sus características paralelamente con su edad, hasta alcanzar un equilibrio con su medio ambiente, o sea, hasta llegar a su madurez.

El proceso total puede requerir un plazo relativamente breve en material parental ácido que contenga abundante arena y que esté cubierto de bosque denso, especialmente si el clima es húmedo y frío. Será más amplio si la textura del material es pesada o si existen concreciones de cal.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS

Los suelos, formados a través de los procesos descritos, se diferencian unos de otros por diversas características que les imprimen su carácter particular. Entre ellas las principales son el color, la textura, la estructura y la porosidad.

COLOR DEL SUELO

El color es una de las características más fácilmente distinguibles. Los suelos, en general, exhiben diversas tonalidades del color pardo,

aunque hay variaciones en los distintos horizontes del mismo perfil. En general, el color se aclara a medida que se profundiza.

Aunque por sí misma esta característica es de muy poca importancia, sirve frecuentemente de guía en la valoración de otras condiciones que influyen sobre la manera como se utilizan y manejan los suelos. El contenido de materia orgánica, por ejemplo, se calcula frecuentemente por la tonalidad más o menos oscura del horizonte respectivo, aunque debe advertirse que este cálculo puede resultar errado en muchos suelos tropicales, y en suelos con alto contenido de algunos minerales de color oscuro, como la magnetita o algunos compuestos de manganeso (11).

El color rojo o pardo rojizo depende en gran parte del contenido de óxido de hierro no hidratado (hematita). Como este compuesto se forma bajo condiciones de buena aireación y es relativamente inestable bajo condiciones húmedas, se puede calcular que los suelos de color rojo o pardo rojizo tienen muy buen drenaje.

El color amarillo muchas veces depende del contenido de óxido de hierro hidratado y está ligado a condiciones de mal drenaje. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que en suelos arenosos se presenta frecuentemente ese color originado por la mezcla de arenas de color claro, casi blanco, con pequeñas cantidades de materia orgánica u otros materiales colorantes.

Los tonos grises y blancuzcos indican condiciones de mal drenaje. Cuando el nivel freático fluctúa, los suelos con drenaje imperfecto presentan moteamientos de color gris, amarillo y pardo. En zonas semiáridas el color blancuzco puede deberse a una acumulación de carbonato de calcio u otras sales (álcali). En zonas húmedas los suelos de colores muy claros son de baja productividad, pues su incapacidad para acumular materia orgánica indica que hay condiciones ambientales desfavorables para el crecimiento de las plantas (11).

Algunas circunstancias especiales pueden impartir a los suelos peculiares coloraciones. La tonalidad púrpura, por ejemplo, se debe a un alto contenido de manganeso, en tanto que la acumulación de cal puede producir manchas claras de tamaño pequeño.

El color también varía con el contenido de humedad del suelo; por esta circunstancia siempre se determina en el campo en condiciones normales de humedad.

TEXTURA DEL SUELO

La textura del suelo se refiere a las cantidades relativas de partículas de diverso tamaño que contiene el suelo. Es importante en conexión con la estructura, como se verá más adelante, y porque muchas de las propiedades físicas y químicas de la porción mineral de los suelos dependen de la proporción de partículas de tamaño pequeño que contienen. Las partículas minerales de diámetro menor de 2

mm se clasifican, de acuerdo con su tamaño, en tres grupos o separados que se denominan arena, limo y arcilla.

Como muchas de las reacciones físicas y químicas en los suelos se verifican principalmente sobre la superficie de las partículas, los separados más pequeños son los que ofrecen mayor interés. El área superficial de 5 Kg de arcilla seca con partículas con diámetro de 0,001 mm equivale a una superficie de cerca de 1 Ha. El área expuesta por unidad de peso disminuye rápidamente con los aumentos en diámetro de las partículas (11).

De acuerdo con el sistema del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, que es el más ampliamente utilizado, los límites para los diferentes separados son los indicados en el Cuadro 2.

CUADRO No. 2. Tamaño de los separados del suelo.

Nombre del separado	Límites en diámetro de las partículas. Milímetros
Arena muy gruesa	2,0 – 1,0
Arena gruesa	1,0 – 0,5
Arena media	0,5 – 0,25
Arena fina	0,25 – 0,10
Arena muy fina	0,10 – 0,05
Limo	0,05 – 0,002
Arcilla	menos de 0,002

Casi ningún suelo está compuesto exclusivamente de uno solo de tales separados; lo normal es que exista una mezcla variable de ellos y con base en sus porcentajes relativos se diferencian los diversos tipos de textura, los cuales se denominan arenoso, areno-limoso, franco, franco-limoso, franco-arcilloso, franco-arcillo-limoso y arcilloso, en orden ascendente con su contenido de partículas del menor tamaño.

La textura del suelo es una de las características más permanentes y depende de las características del material parental y, de los procesos de formación que sobre éste actúan. Por ejemplo, un suelo formado de la meteorización de calizas tiene un contenido mayor de arcilla que un suelo formado de una arenisca. Los suelos formados por la meteorización de granito o basalto contienen generalmente más arcilla en la zona tropical que en la zona templada.

Los suelos arenosos son sueltos, friables y no ofrecen resistencia a la penetración de las raíces, en tanto que los suelos arcillosos son plásticos y pegajosos. Esto, sin embargo, tiene sus excepciones y resulta peligroso generalizar. En la Fig. 4 se presentan los principales grupos texturales, de acuerdo con sus proporciones relativas de arcilla, limo y arena (12).

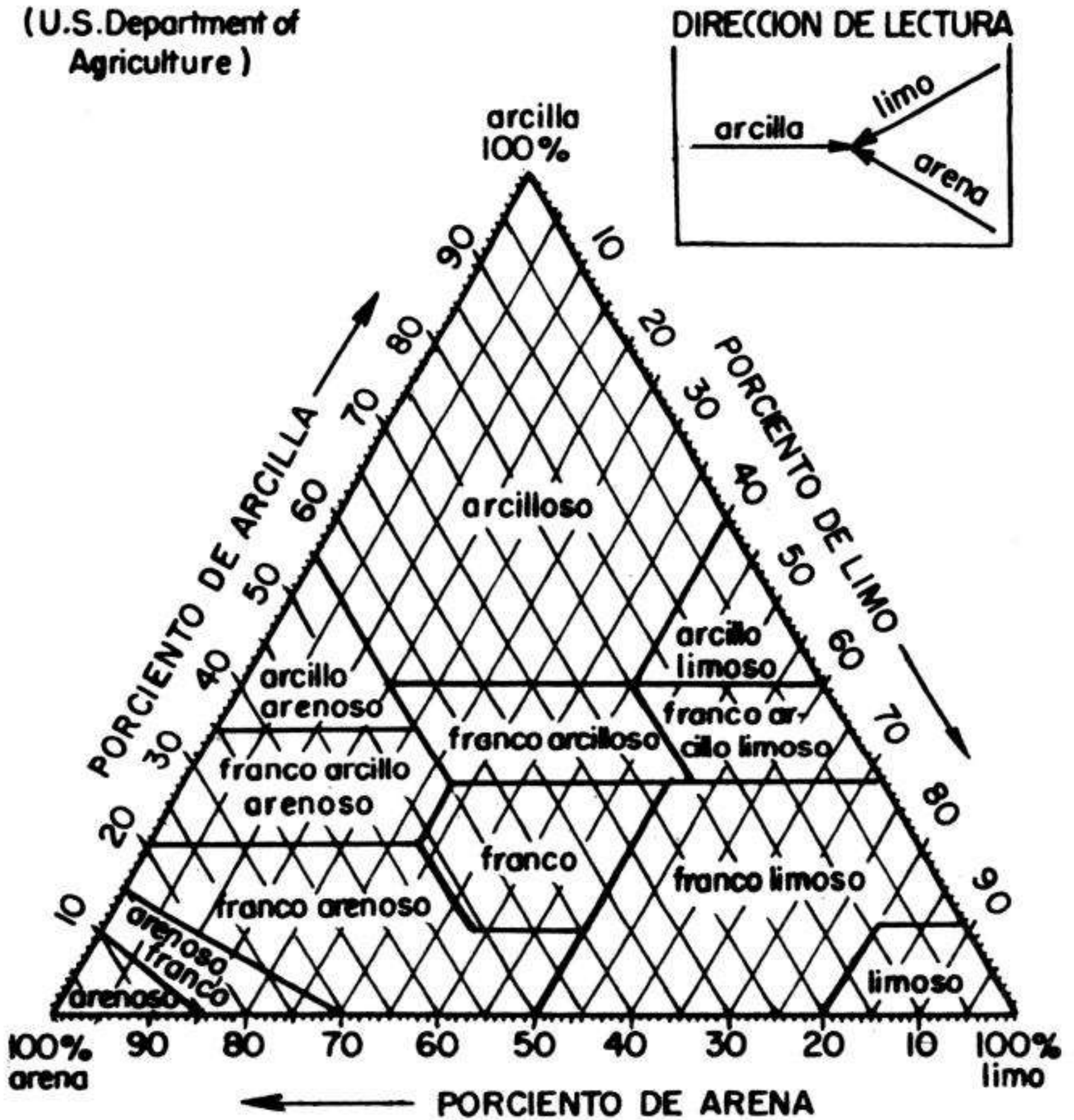
(U.S. Department of
Agriculture)

Fig. 4. Guía para la clasificación de la textura de los suelos (porcentaje de arcilla, limo y arena en las diferentes clases texturales). (U.S. Department of Agriculture).

ESTRUCTURA DEL SUELO

La estructura es una de las características de mayor importancia. Se refiere a la forma como se unen y ordenan las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla), y determina en gran parte la facilidad para trabajar los terrenos, la permeabilidad de éstos al agua y su resistencia a la erosión, lo mismo que las condiciones que ofrecen para el crecimiento de las raíces de las plantas. Los suelos con mala estructura son siempre de baja productividad (12).

Generalmente es más difícil mejorar la estructura que la fertilidad de un terreno. Por medio de un manejo inapropiado, pueden en

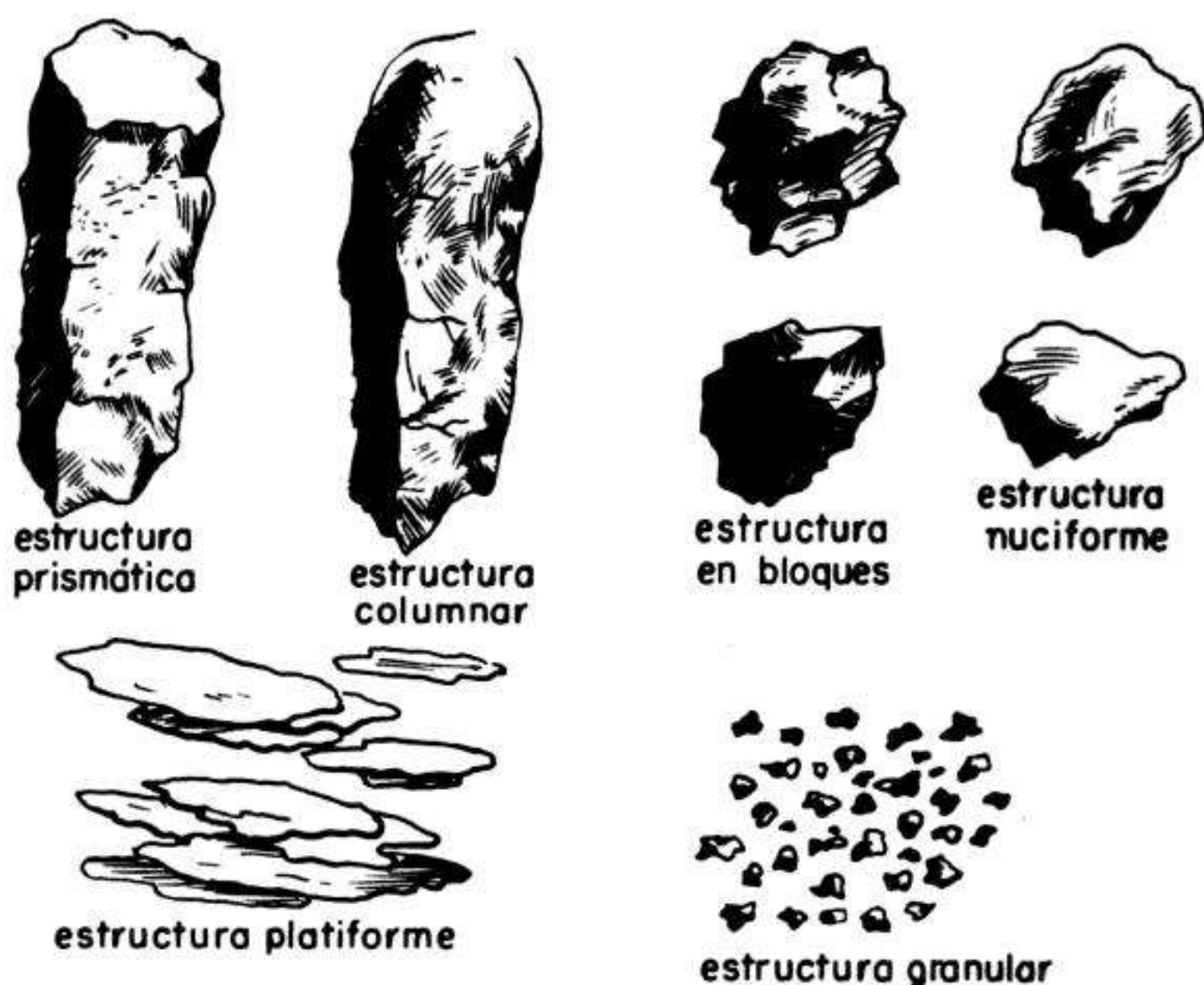


Fig. 5. Diversos tipos de estructura. (Según Soil Survey Manual).

cambio destruirse con relativa rapidez las buenas condiciones estructurales. La arada de algunos terrenos cuando están muy secos o muy húmedos puede causar este perjuicio por un lapso más o menos largo; el crecimiento continuo de algunas plantas, tales como el sorgo y el timoty, produce un efecto similar, en tanto que las leguminosas son benéficas, pues propician la formación de migajones y gránulos que constituyen la estructura más adecuada. Esta es una de las razones, como se verá más adelante, para incluir leguminosas en las rotaciones.

En los últimos años se han desarrollado algunos compuestos, tales como el **Krilium**, los cuales mejoran las condiciones estructurales de los suelos que contengan buena cantidad de arcilla. Su uso es costoso y hasta ahora impracticable en agricultura comercial.

POROSIDAD DEL SUELO

La porosidad se refiere a la proporción de espacios o cavidades ocupados con aire y agua que existen en la masa del suelo. Su importancia reside en el hecho de que por estos espacios o poros circulan los gases y las soluciones a través del perfil.

Con estas nociones generales es posible formarse una idea de la complejidad y variaciones del suelo, las cuales aprovecha el hombre para hacer crecer en él diversas plantas que utiliza luego en su alimentación y en su comodidad.

BIBLIOGRAFIA

1. BUCKMAN, H.O. y BRADY, N.C. The nature and properties of soils. 7a. ed. New York, MacMillan, 1971. 653 p.
2. CLARKE, F.W. Data of geochemistry. 5a. ed. U.S. Geological Survey. Bulletin no. 770. 1924. 841 p.
3. FASSBENDER, H.W. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Serie de Libros y Materiales Educativos no. 24, 1975. 398 p.
4. HARDY, F. Suelos tropicales; pedología tropical con énfasis en América. México, D.F., Herrero, 1970. 334 p.
5. JENNY, H. Factors of soil formation, a system of quantitative pedology. New York, McGraw-Hill, 1941. 281 p.
6. ————. Los grandes grupos de suelos en las regiones ecuatoriales de Colombia (Sur América). Boletín Técnico de la Federación Nacional de Cafeteros (Colombia) 1(7):1-32. 1953.
7. ———— et al. El contenido de nitrógeno y materia orgánica en los suelos ecuatoriales de Colombia. Boletín Técnico de la Federación Nacional de Cafeteros (Colombia) 1(8):1-18. 1953.
8. ————, GESSEL, S.P. y BINGHAM, F.T. Estudio comparativo sobre la velocidad de descomposición de la materia orgánica en regiones tropicales y templadas. Boletín Técnico de la Federación Nacional de Cafeteros (Colombia) 1(8):19-39. 1953.
9. JOFFE, J.S. The ABC of soils. New Brunswick, New Jersey, Rutgers State University, Pedology Publications, 1949. 283 p.
10. ROBINSON, G.W. Los suelos, su origen, constitución y clasificación. Barcelona, Omega, 1967. 515 p.
11. U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil survey manual. Washington, D.C., Agriculture Handbook no. 18. 1951. 503 p.
12. ————. Soil classification; a comprehensive system. 7th. approximation. Washington, D.C., 1960. 265 p.
13. VIEIRA, L.S. Solos: fundamentos de ciencia do solo. Belén, Brasil, Universidad Federal do Pará, Facultad de Ciencias Agrarias, 1973. 483 p.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. BLACK, C.A. Relaciones suelo-planta. Buenos Aires, Argentina, Hemisferio Sur, 1975. 444 p.
2. COMBER, N. M. An introduction to the scientific study of the soil. 4a. ed. rev. by W. N. Townsed. London, E. Arnold, 1960. 232 p.
3. JACK, G.V., TAVERNIER, R. y BOALCH, D.H. Multilingual vocabulary of soil science. 2a. ed. rev. Roma, Food and Agricultural Organization of the United Nations, 1960. 428 p.
4. MILLAR, C.E., TURK, L.M. y FOTH, H.D. Edafología; fundamentos de la ciencia del suelo. Trad. de la 3a. edición inglesa, México, D.F., Continental, 1961. 612 p.

5. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Suelos de las regiones tropicales húmedas. Buenos Aires, Marymar, 1975. 271 p.
6. RODE, A. The soil forming process and soil evolution. Trans. from Russian by J. S. Joffe. Jerusalem, Israel, Program of Scientific Translation, 1961. 100 p.
7. ———. Soil Science. Trans. from Russian by A. Gourevitch. Jerusalem, Israel, Program for Scientific Translation, 1962. 517 p.
8. RUSSELL, E.W. Soil conditions and plant growth. 9a. ed. London, Longmans, 1961. 688 p.
9. SAENZ MAROTO, A. Formulario técnico de suelos tropicales. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Serie Textos no. 341. 1975. 396 p.
10. SANCHEZ, P.A. ed. A review of soils research in tropical Latin America. Raleigh, North Carolina State University, 1972. 263 p.
11. SEMINARIO SOBRE MANEJO DE SUELOS Y EL PROCESO DE DESARROLLO EN AMERICA TROPICAL, CALI, 1974. Manejo de suelos en la América tropical. Edit. por E. Bornemisza y A. Alvarado. Raleigh, North Carolina State University, 1974. 582 p.
12. SOCIEDAD VENEZOLANA DE LA CIENCIA DEL SUELO. Problemas de investigación en suelos en Latino-América. Maracay, Venezuela, Boletín Técnico no. 12. 1975. 188 p.

CAPITULO 2

COMO SE DESTRUYEN LOS SUELOS

INTRODUCCION

Puede observarse por lo expuesto en el Capítulo 1, que la tierra es un organismo dinámico sujeto a permanentes mudanzas, y la remoción y redistribución de partículas de suelo es un fenómeno natural tan antiguo como el planeta. La erosión geológica o natural, denominaciones que se le dan a este proceso, se inició en el instante en que sopló la primera brisa y cayeron las primeras gotas de agua; actúa sin la intervención del hombre, y participa en la formación de los suelos. El agua y el viento transportan partículas de material meteorizado y las depositan en sitios más o menos distantes. Cuando el equilibrio natural no se ha perturbado, el proceso se desarrolla con un ritmo tal que la remoción de partículas se equilibra, en términos generales, con la formación de nuevo suelo.

Pero al comenzar el hombre a explotar el suelo en su provecho, destruye la vegetación protectora, rompe con el arado la superficie de los terrenos para sembrar especies vegetales especialmente útiles para atender a sus necesidades de alimentación y abrigo, y somete el suelo a laboreo periódico con herramientas de labranza. Entonces el proceso erosivo adquiere velocidad y se torna muy perjudicial. La naturaleza sigue transformando el material parental en suelo con la misma parsimoniosa lentitud, en tanto que los agentes transportadores, al encontrar debilitadas las barreras que moderaban su acción, aceleran su trabajo hasta límites casi increíbles. Como el hombre obtiene del suelo todos sus alimentos y gran parte de los materiales que utiliza para su abrigo y comodidad, ese transporte acelerado de partículas fértiles le afecta de manera directa.

Para que se aprecie el enorme desequilibrio resultante basta tener en cuenta que en ocasiones se necesitan varios siglos para formar 1 cm de suelo y que en un terreno pendiente mal protegido unos pocos aguaceros pueden arrastrar una capa de ese espesor. Pero el ingenio del hombre es casi infinito, y a través de los siglos ha desarrollado sistemas que le permiten utilizar la riqueza acumulada sin que ella sufra

mengua, los cuales aseguran para cada zona el establecimiento de una agricultura próspera y estable.

La **erosión** se define como el proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas del suelo causado por el agua y el viento. Intervienen por lo tanto en el fenómeno un objeto pasivo, que es el suelo, colocado en determinadas condiciones de pendiente, dos agentes activos, el agua y el viento, y un intermediario, la vegetación, que regula sus relaciones.

Con fines de ordenación deben considerarse separadas la erosión causada por el agua y la causada por el viento o erosión eólica. La primera es especialmente predominante en regiones húmedas y en terrenos pendientes, en tanto que la segunda causa principalmente sus daños sobre terrenos planos y en regiones secas. Se verá primero lo relacionado con el agua de lluvia y los daños que ella puede causar.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA EROSION Y EN LA ESCORRENTIA

El agua de lluvia ejerce su acción erosiva sobre el suelo mediante el impacto de las gotas, las cuales caen con velocidad y energía variables según sea su diámetro, y mediante la escorrentía o agua de escurrimiento que se origina en la forma como se explicará más adelante.

El volumen y la velocidad de la escorrentía, los cuales controlan su capacidad de arrastre, dependen de la intensidad, duración y frecuencia del aguacero que la origina, llamando aguacero a la lluvia que cae en forma continua en un determinado lapso. Dependen también de la pendiente y del área del terreno, lo mismo que de la capacidad del suelo de absorber y dejar pasar agua a través del perfil.

La resistencia que ejerce el suelo (factor pasivo) a la acción erosiva del agua, está determinada por diversas características o propiedades físicas y químicas del suelo, y por la naturaleza y cantidad de la vegetación que en él crece.

Estos son los factores físicos de mayor significación que intervienen en la erosión de los suelos, los cuales se presentan en forma esquemática en el diagrama de la Fig. 6.

Para poder buscar soluciones adecuadas al problema de la erosión es necesario entrar a investigar las interrelaciones de los factores contribuyentes, pues aunque algunos no pueden modificarse directamente, todos pueden controlarse comprendiendo bien la forma como actúan. Véase lo que esto significa.

LLUVIAS

Si se omite la erosión eólica, y los deslizamientos o movimientos gravitacionales, toda remoción de suelo exige la presencia de agua sobre el terreno, cuya única fuente es la lluvia. De su cantidad, intensidad y distribución depende el volumen del flujo que se desliza en



Fig. 6. Factores que afectan la erosión causada por el agua.

capa uniforme sobre la tierra llevando en suspensión las sustancias minerales, o que se concentra en canales o arroyos que cortan el suelo.

Asimismo la lluvia determina en alto grado, a través de su influencia sobre el suelo y la vegetación, la eficiencia de las protecciones naturales contra la erosión.

La cantidad total de agua que existe en la tierra no varía, aun en períodos muy largos; pero sus formas y localización si cambian constantemente. En general, el agua sigue un sistema natural de circulación que se conoce con el nombre de ciclo hidrológico y en el cual ocurren las siguientes etapas (3):

- a. La atmósfera absorbe agua de todas las superficies expuestas, especialmente del océano, de los lagos, de los ríos y de los terrenos. Esta absorción directa se denomina evaporación. El agua que está almacenada en la tierra a diversas profundidades, también la absorbe la atmósfera gracias a la transpiración de los

vegetales. En zonas continentales la cantidad de agua que llega así a la atmósfera puede variar entre el 50% y el 90% de las lluvias que caen.

- b. El aire cargado de humedad se mueve, en ocasiones a grandes distancias, hasta ponerse en contacto con masas de aire con temperatura baja, capaces de condensar la humedad y dejarla caer en forma de lluvia o nieve.
- c. La lluvia y la nieve, al caer sobre los terrenos, son absorbidas por el suelo. Esta penetración de agua en el suelo se denomina infiltración. Cuando el contenido de agua de los horizontes del suelo sobrepasa la cantidad que puede el suelo sostener, la fuerza de gravedad arrastra el excedente a estratos profundos (percolación).
- d. Cuando la cantidad del agua de lluvia excede a la de absorción e infiltración, el agua en exceso fluye sobre la superficie de los terrenos hasta llegar a un arroyo o río y luego al mar. Esta es la llamada agua de escurrimiento o escorrentía.
- e. El agua acumulada en los océanos, ríos, lagos, terrenos, etc., vuelve a la atmósfera y se reinicia el ciclo hidrológico.

El agua de escorrentía es la que arrastra a su paso partículas de suelo en cantidad variable, según sea su volumen y velocidad, por una parte, y las resistencias que se oponen a su acción, por la otra.

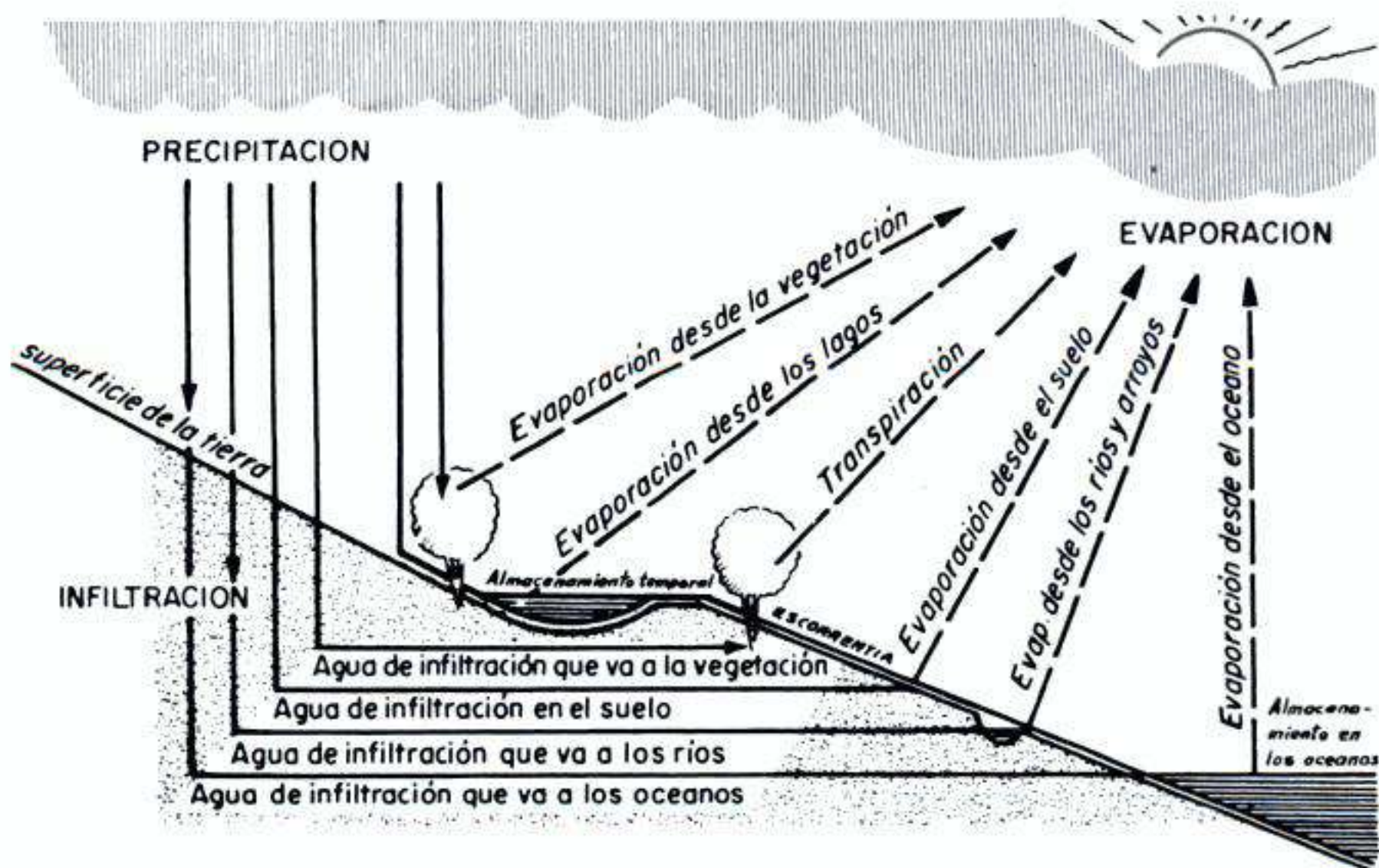


Fig. 7. Ciclo hidrológico.

El equilibrio natural de formación y remoción de suelo, que existe antes de que el hombre intervenga, sólo puede entenderse teniendo muy en cuenta el factor lluvia. No es, pues, de extrañar que éste sea el factor climático más importante en relación con la erosión de los suelos.

Se le ha dado demasiada importancia a cifras que, como los totales o promedios mensuales o anuales, significan poco en relación con la erosión. En dos regiones puede caer la misma cantidad de lluvia en el año, sin que ello signifique que las situaciones son semejantes, pues en un sitio ese total puede estar formado por un buen número de lloviznas leves, en tanto que en el otro dos o tres aguaceros fuertes pueden contribuir con el 50% ó el 80% de la lluvia total. En este último caso, si las condiciones son similares en los demás aspectos, pueden esperarse daños más severos causados por la erosión. Crítica similar puede formularse al método usual de tabular los datos de lluvia por totales diarios, limitados arbitrariamente por horas definidas de observación, ya que casi nunca la precipitación se distribuye uniformemente en las 24 horas. Estos reparos indican que, en lo que concierne a la erosión de los suelos, la unidad de trabajo debe ser el **aguacero**, definido como la cantidad de lluvia que cae en forma continua en un período más o menos largo, individualizado a través de sus diversas características de intensidad, duración y frecuencia.

La **intensidad** del aguacero es el factor pluviométrico más importante que afecta la escorrentía y la erosión, aunque ejerce mayor influencia sobre el segundo fenómeno.

Esta influencia se ilustra con los siguientes datos obtenidos en el Centro de Investigaciones de Café de Chinchiná (Colombia):

CUADRO No. 3. Intensidad de las lluvias y pérdidas de suelo. Chinchiná, Colombia.

Cantidad de lluvia milímetros	Intensidad máxima en 5 minutos milímetros	Escorrentía milímetros	Erosión toneladas por hectárea
20,6	7,9	6,8	7,35
21,4	5,0	11,1	1,74
18,0	4,5	7,8	1,06
21,8	2,2	4,5	0,47
20,0	1,9	0,8	0,12
22,0	1,0	?	0,06

NOTA: vertiente desnuda con erosión severa (20% de pendiente).

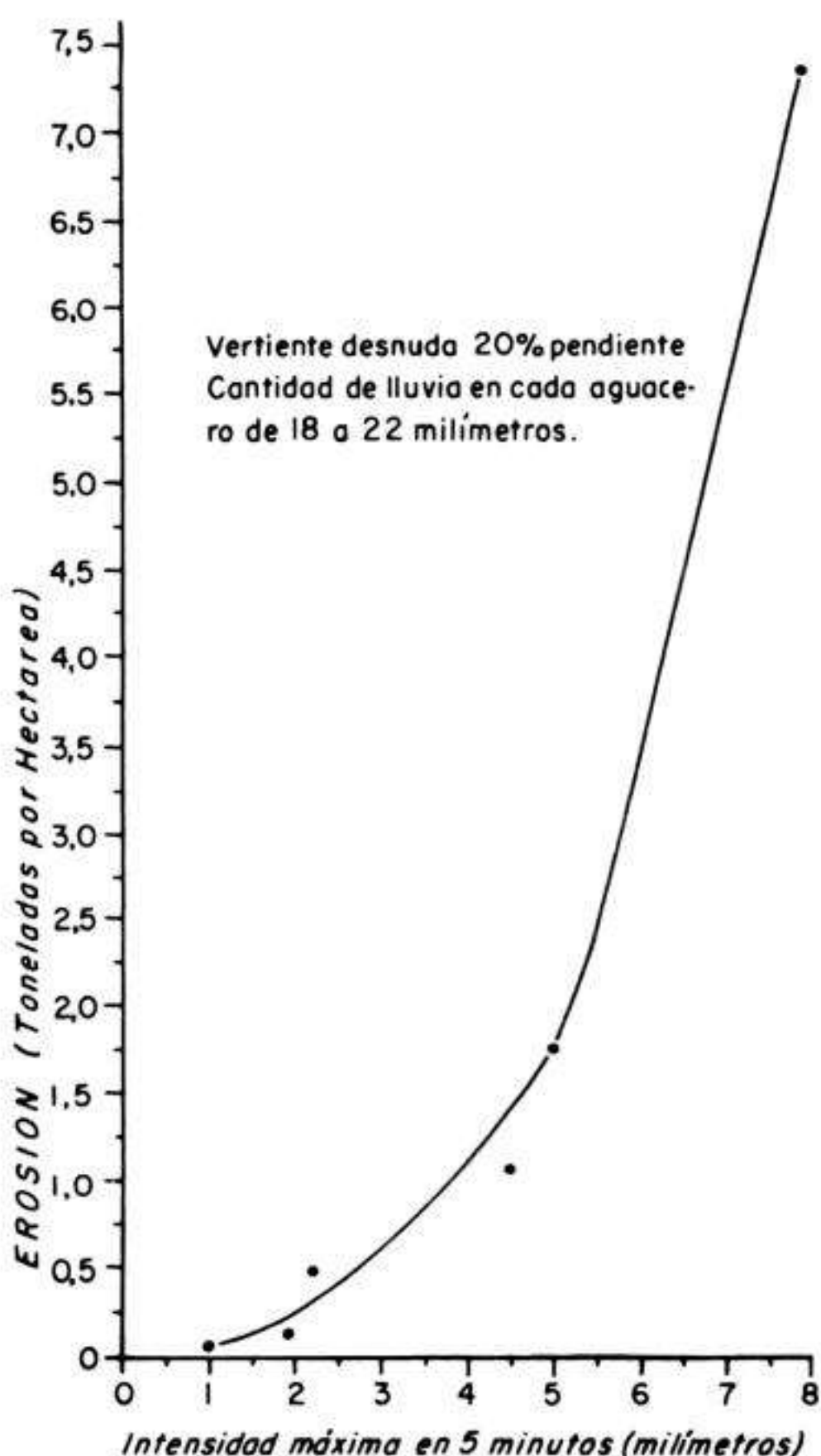


Fig. 8. Intensidad de las lluvias y pérdidas de suelo, según datos obtenidos en Chinchiná (Colombia).

Como puede observarse, los aguaceros similares en cantidad total de agua caída, causaron pérdidas muy disímiles de suelo y agua (erosión y escorrentía), directamente relacionadas con las diferencias en intensidad de las lluvias. El aguacero con 22 mm de precipitación total y 1 mm de intensidad máxima en 5 minutos produjo pérdidas de suelo cien veces menores que el aguacero en el cual tan sólo cayeron 20,6 mm, pero con una intensidad máxima en cinco minutos de 7,9 mm.

Algo similar encontró Greer en observaciones efectuadas durante seis años en el Sur de los Estados Unidos (22); él clasificó como "lluvias de intensidad alta", aquellos aguaceros en los cuales la intensidad fue mayor de 75, 35, 25 y 20 mm/hr para 5, 15, 30 y 60 min, respectivamente; comparando las pérdidas de suelo en parcelas con pendientes variables entre 2, 5 y 10%, halló en resumen lo siguiente:

- los aguaceros de alta intensidad contribuyeron con 37% del total de las lluvias;
- esos aguaceros produjeron el 59, 55 y 54% del total de la escorrentía y el 80, 78 y 73% del total del suelo perdido por erosión en parcelas con 2, 5 y 10% de pendiente, respectivamente.

Neal desarrolló para las condiciones de sus experimentos la ecuación $E = K(I)^{1,2}$ en la cual E es el peso en libras del suelo arrastrado en 1/100 de acre ($40,5 \text{ m}^2$), K es una constante de pendiente, e I es la intensidad de las lluvias en pulgadas por hora. Naturalmente, en esta ecuación se consideran el suelo saturado de humedad y las otras variables reducidas a la unidad (34, 35).

La **duración** del aguacero es el complemento de la intensidad; la asociación de las dos determina la precipitación total. Al caer una lluvia de intensidad uniforme sobre un suelo, el agua se infiltra durante un lapso más o menos largo según sean las condiciones de humedad y la intensidad de la precipitación; después comienza la escorrentía, la cual va aumentando su volumen en proporciones cada vez más pequeñas hasta alcanzar un volumen estable.

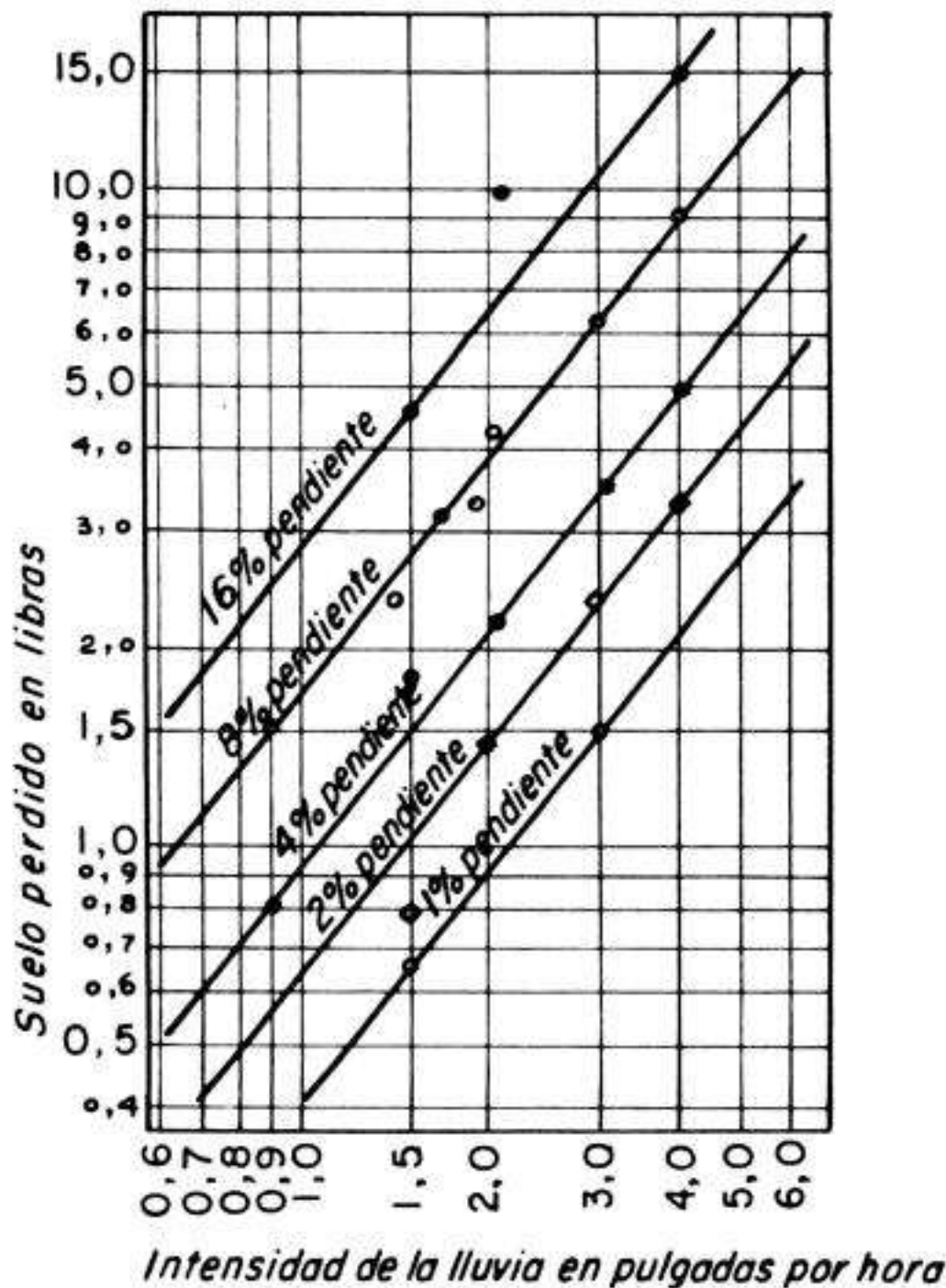


Fig. 9. Libras de suelo perdido en parcelas de 4 m^2 , como resultado de una pulgada de lluvia caída a diferentes intensidades (34).

NOTA: 1 pulg. de lluvia = 25,4 mm.

Neal encontró en sus experimentos que cuando la escorrentía comenzó durante el primer período de 10 minutos, a partir del momento de iniciarse la lluvia, la máxima pérdida de suelo ocurrió durante el segundo período de 10 minutos. Tomando esta pérdida de suelo como unidad, comprobó que durante el primer período se perdió un promedio de peso de suelo de 0,63. Cuando la escorrentía se inició entre los 10 y los 20 minutos de haber comenzado la lluvia, la máxima pérdida de suelo se retardó del tercero al sexto período de 10 minutos. Asimismo, la densidad de la escorrentía disminuyó hasta finalizar la primera hora. Al continuar la lluvia, la densidad se uniformó. Debido a esta tendencia opuesta entre el porcentaje de la escorrentía y la densidad del material que ella transporta, la proporción de suelo perdido aumentó durante los primeros 20 a 40 minutos, decreció durante la hora siguiente y luego se hizo más o menos constante (33).

Estos trabajos de Neal son valiosos en cuanto estudian las variables de lluvia en forma independiente y controlada.

La frecuencia de las lluvias es crítica con respecto a las condiciones de los terrenos. Si los intervalos entre lluvias son cortos, es alto el contenido de humedad del suelo al comenzar aquéllas y aumentan los riesgos de que se originen escorrentías, aun con lluvias de baja intensidad. Si por el contrario, son largos los períodos entre lluvias, el suelo estará seco y no habrá escorrentías con aguaceros de baja intensidad. En el caso extremo la vegetación puede sufrir por falta de humedad y reducirse así la protección natural del terreno.

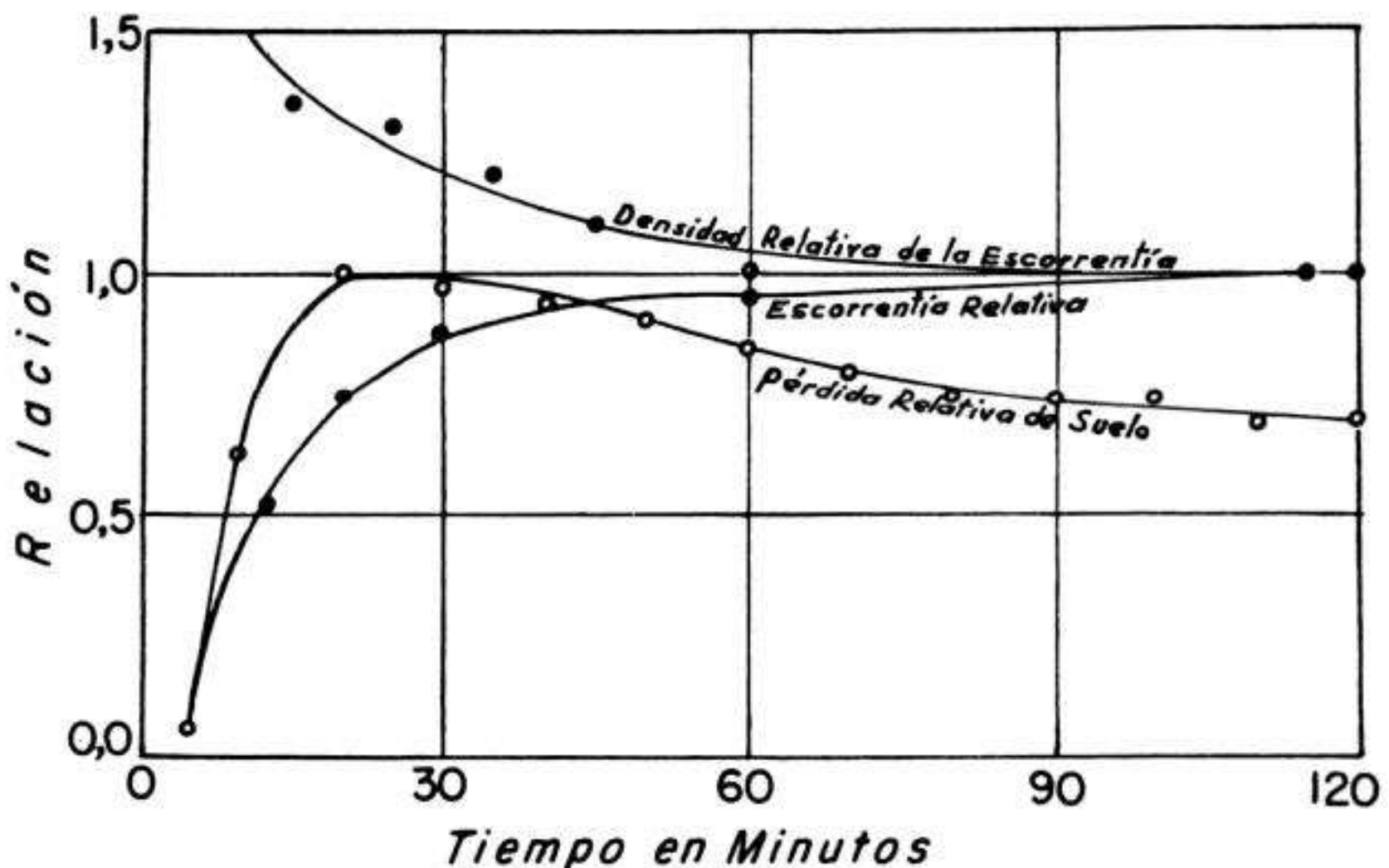


Fig. 10. Efecto de la duración de las lluvias sobre: a, densidad relativa de la escorrentía; b, escorrentía relativa; c, pérdida relativa de suelo.

Los datos del Cuadro 4 obtenidos en el Centro Nacional de Investigaciones de Chinchiná (Colombia), pueden servir de ejemplo:

CUADRO No. 4. Pérdidas de suelo y agua con distintas frecuencias de aguaceros*.

Fecha de la lluvia anterior	Fecha de la lluvia que causó la erosión	Cantidad de lluvia milímetros	Intensidad en 5 minutos milímetros	Escorrentía milímetros	Erosión toneladas por hectárea
Agosto 3	Agosto 20	17,8	3,0	0,09	0,002
Octubre 20	Octubre 22	12,6	2,2	2,36	0,395

(*) Estos datos se obtuvieron en parcelas desnudas.

Se observa que el aguacero del 20 de agosto, el cual ocurrió después de 17 días de no llover, no ocasionó sino 0,09 mm de escorrentía y una erosión de 0,002 Ton/Ha, en tanto que el aguacero del 22 de octubre, el cual cayó después de tan sólo 2 días de carencia de lluvia, produjo 2,36 mm de escorrentía y 0,395 Ton/Ha de erosión, a pesar de que tanto la cantidad total de lluvia como la intensidad de este aguacero son menores que las del examinado en primer término.

Unos pocos aguaceros son, por lo tanto, los causantes de la casi totalidad de las pérdidas de suelo por erosión que ocurren en una región. En Chinchiná, Colombia, el autor determinó que en un lapso de ocho años, el 9,9% de aguaceros fueron los responsables del 88,7% de las pérdidas de suelo. Esos pocos aguaceros aportaron el 35% del agua caída durante el período, y se caracterizan por ser de larga duración y alta intensidad que sobrevinieron cuando lluvias anteriores habían elevado el contenido de humedad del suelo reduciendo, por lo tanto, su capacidad de infiltración (44, 45).

Es necesario, por lo tanto, tener en cuenta las frecuencias de ocurrencia de las lluvias y las variaciones periódicas de intensidad para ajustar a ellas la aplicación de prácticas culturales y de conservación.

Por lo explicado en relación con las lluvias, se acepta que hay una forma de combinación de la intensidad, la duración y la frecuencia de los aguaceros que guarda relación, en términos generales, con las pérdidas de suelo y agua.

Grandes esfuerzos se han hecho para calcular, dentro de este criterio, un "factor" o "índice" de lluvia que incorpore tales características en una cifra utilizable de manera general, o al menos amplia, para caracterizar la capacidad erosiva de las lluvias (20, 36, 44, 45, 46, 47, 48).

El autor calculó un "factor de lluvia", tomando como base el análisis de los aguaceros individuales caídos en una zona durante

cerca de 20 años; ese factor resultaba de la suma de los siguientes productos:

- a. cuatro veces la máxima intensidad del aguacero en 30 minutos, expresada en milímetros por hora;
- b. una vez la máxima intensidad en cinco minutos, expresada en milímetros por hora;
- c. dos veces la precipitación total.

El cálculo del coeficiente de correlación entre el factor lluvia (F) calculado en la forma indicada y las pérdidas de suelo, dio un valor de + 0,74 el cual resultó estadísticamente "altamente significativo" (44, 45).

En otros estudios similares se ha encontrado que una combinación de intensidad y cantidad de lluvia, con humedad del suelo, da una más alta correlación con las pérdidas de suelo (47, 48).

Investigadores del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos han desarrollado una ecuación para predecir pérdidas de suelo, la cual pretende ser universal o sea aplicable a las más variadas condiciones porque está más en función de características o propiedades que inciden en los factores de erosión que de las condiciones del medio en que fue desarrollada.

Para predecir las toneladas de suelo que se perderían por hectárea y por año, uno de los factores que calculan es la capacidad erosiva de las lluvias (R), para lo cual toman en cuenta la energía cinética (E) y la intensidad máxima en 30 minutos de cada aguacero (¹30). Promediando para un año la suma de estos valores, para todos los aguaceros que caen en un lapso determinado, se obtiene el factor R que se utiliza en la "ecuación universal" (20, 36, 46).

Forsythe (20) determinó valores promedios anuales en el sistema métrico para el factor lluvia (R), de 122 en Turrialba, Costa Rica, en donde el promedio de lluvias es de 2.600 mm por año, y de 1.150 en el aeropuerto de San Salvador, El Salvador, en donde el promedio de lluvia es apenas de 1.600 mm anuales. Estos datos destacan una vez más, el efecto preponderante de la intensidad de las lluvias en la capacidad erosiva de éstas.

Finalmente, la extensión y las características del área cubierta por la lluvia son también de importancia. El centro del aguacero puede ser muy pequeño y causar daños diferentes aun en regiones próximas. Si toda una vertiente mal protegida se afecta, pueden presentarse inundaciones.

En el "Muskingum Climatic Research Center" de Ohio (Estados Unidos), se llevaron a cabo trabajos con pluviógrafos situados muy próximos y la información obtenida ha clarificado en mucho la morfología de las precipitaciones individuales. En general, puede afirmar-

se que lluvias de larga duración son de baja intensidad y cubren una extensa área, en tanto que las lluvias intensas ofrecen una condición más localizada y duran corto tiempo. Además, en tanto que la magnitud e intensidad de un aguacero guardan una relación directa con su frecuencia promedio de ocurrencia, parece que la lluvia total anual de una región es independiente del número o de la magnitud de las precipitaciones fuertes que pueden ocurrir en determinado lapso y que esta cifra, lo mismo que los promedios anuales o mensuales, aunque proporcionan una indicación válida del volumen total de escorrentía, no guarda relación alguna con el peso de suelo erosionado, pues mucha escorrentía puede tener una intensidad menor que la crítica (1).

Aunque en el actual desarrollo de las ciencias no es posible para el hombre mantener bajo control el fenómeno de las lluvias o modificar sus características morfológicas, sí puede estudiarlas para conocerlas bien y con esta base protegerse de sus efectos perjudiciales. En América Latina hay pocas estaciones pluviométricas y en algunos países éstas tienen una tradición muy corta de funcionamiento, pero del estudio de los datos recogidos en la forma vista, por incompletos que sean, pueden sacarse importantes conclusiones utilizables en el diseño de prácticas de defensa de los suelos.

PENDIENTE Y AREA DEL TERRENO

La erosión por el agua no es problema de zonas planas. Tan sólo cuando la topografía de los terrenos se hace quebrada, las pérdidas de suelo comienzan a adquirir importancia. El tamaño y la cantidad de material que el agua puede arrastrar o llevar en suspensión dependen de la velocidad con que ésta fluye, la cual, a su vez, es una resultante de la longitud y el grado de pendiente del terreno.

Deben examinarse algunos principios que ayudan a comprender mejor cómo se efectúa el fenómeno de la suspensión de materiales del suelo en el agua. Cuando se sumerge un cuerpo en el agua desaloja un volumen de líquido, de gravedad específica igual a uno, equivalente a su propio volumen, y su peso disminuye en una cantidad igual al peso del líquido desalojado. Así, si se sumergen en agua las partículas de suelo, de gravedad específica 2,5, la gravedad específica efectiva se reduce a 1,5. Por otra parte, una película de agua se adhiere a las partículas de suelo en suspensión y actúa como si fuera parte de las mismas formando una proporción tan alta del material que prácticamente la gravedad específica de éste se hace igual a la unidad. Así se explica que el agua, aun a velocidades muy reducidas, sea capaz de transportar cantidades apreciables de materiales minerales en suspensión (23).

Tomando los demás factores como iguales, el agua fluye más rápidamente a medida que aumenta la pendiente y, por lo tanto, el tiempo de infiltración es menor.

Teóricamente las relaciones entre la velocidad del agua y su poder erosivo son de la siguiente magnitud:

- a. La velocidad varía con la raíz cuadrada de la distancia vertical que ella recorre y su energía cinética, o sea su capacidad erosiva, de acuerdo con el cuadrado de la velocidad. Es decir, si la pendiente del terreno se aumenta cuatro veces, la velocidad del agua que fluye sobre él se duplica y su capacidad erosiva se cuadruplica.
- b. La cantidad de material de determinado tamaño que puede arrastrar varía con la quinta potencia de la velocidad del flujo.
- c. El tamaño de las partículas que pueden transportarse por rodamiento varía con la sexta potencia de la velocidad del agua.

De manera que si se duplica la velocidad de la escorrentía la cantidad de material de determinado tamaño que puede transportarse, se aumenta 32 veces y el tamaño de las partículas que pueden transportarse por rodamiento, se aumenta 64 veces (1).

Estos principios de hidráulica, sobre los cuales poco se reflexiona, pues existe la creencia generalizada de que dichos factores se relacionan aritméticamente, explican los peligros que existen en la destrucción de las defensas naturales de los terrenos escarpados. Afortunadamente, y como barrera a ese vertiginoso multiplicarse de los daños, existe un límite máximo para la cantidad de limo en suspensión que puede transportar el agua, el cual depende de la velocidad y de la profundidad de la capa líquida. Cuando este límite se alcanza, cesa el desprendimiento y arrastre de material, aun suponiendo que el terreno sea muy erosionable, a menos que se aumente la velocidad o la profundidad del flujo. Asimismo, una reducción en cualquiera de estas dos características, origina la deposición de partículas.

La longitud de la pendiente es tan interesante como el grado, especialmente en terrenos bajo cultivo. Al saturarse de humedad el suelo, el agua de escurrimiento se acumula a todo lo largo de la pendiente, aumentando su volumen y velocidad y con ellos sus daños. Como se verá más adelante, hay muchos sistemas para modificar indirectamente estas condiciones topográficas.

De los experimentos efectuados para comprobar cómo se comportan y modifican estos principios teóricos bajo condiciones naturales, pocos son de interés. En ocasiones, las parcelas de estudio han sido tratadas para sujetarlas a cierto desnivel y se han perturbado en tal forma las condiciones físicas de los suelos que los resultados no reflejan el efecto del tratamiento en estudio. Los experimentos que más se acercan a las condiciones óptimas son los efectuados en la Estación Experimental de Kansas y en el Instituto Politécnico de Alabama (Estados Unidos). En la Fig. 11 se resumen los resultados de

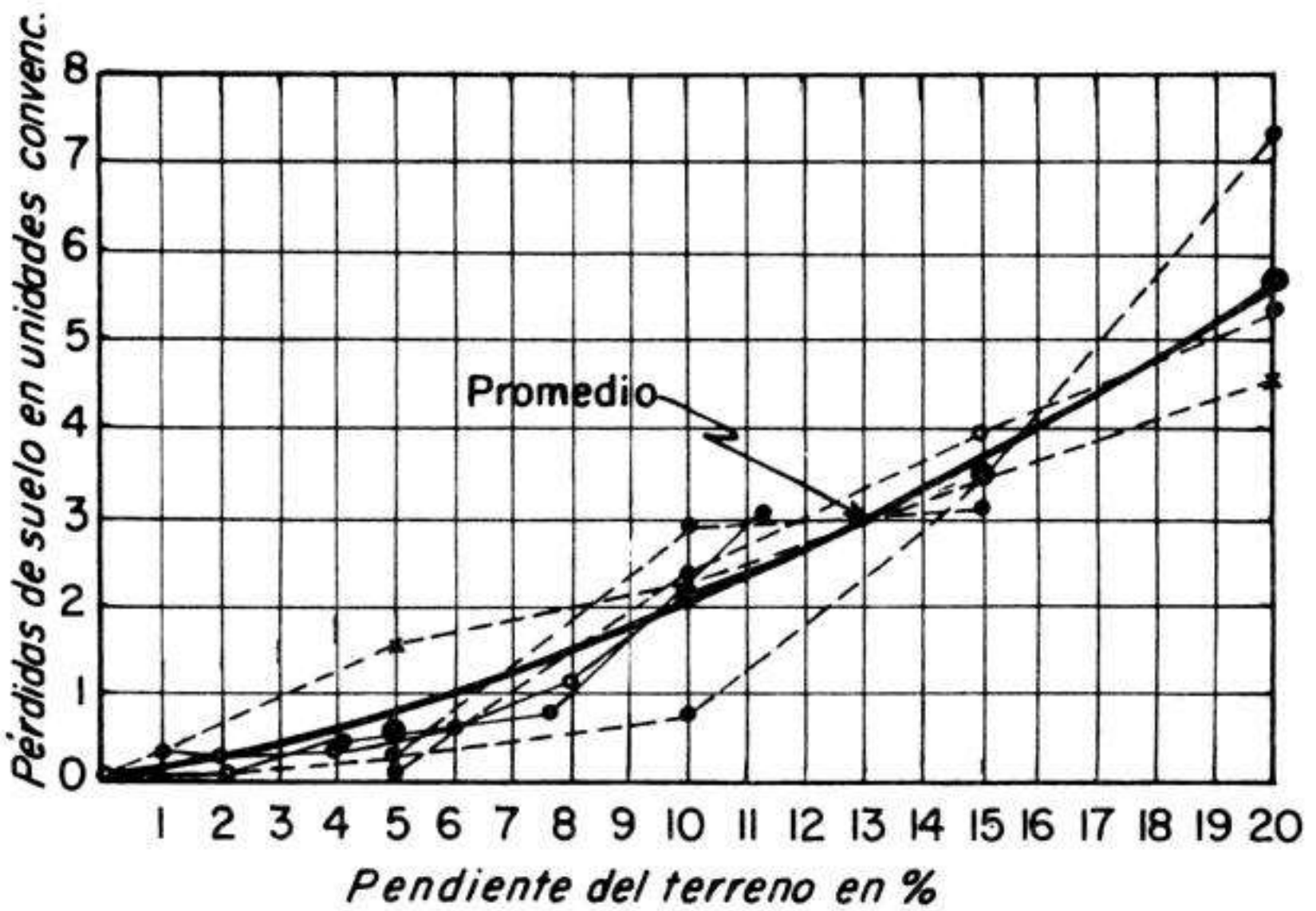


Fig. 11. Relación entre el grado de pendiente del terreno y las pérdidas de suelo (en unidades convencionales) (52).

seis pruebas efectuadas, cuatro de ellas en suelo franco-arcillo-limoso y francoarenoso, con aplicaciones artificiales de lluvia de 1 pulgada por hora para el primer caso y 2 pulgadas en 30 minutos para el segundo. Las otras dos se llevaron a cabo en suelo arcilloso (comprobando la uniformidad de textura por medio de análisis mecánico) aplicándole 1,25 pulgadas de agua en 25 minutos. En todos los casos se trabajó con suelo saturado.

Los resultados se redujeron a unidades convencionales uniformes, es decir, comparables. Al trazar una curva logarítmica con los promedios, se comprueba que la pérdida total de suelo es proporcional a la potencia 1,49 del grado de la pendiente, o más exactamente que:
 $X_c = 0,065S^{1,49}$.

La pérdida total de suelo para una condición general podría, por lo tanto, representarse por la ecuación: $X=CS^m$, siendo X la pérdida total de suelo en unidades de peso, C una constante de variación, S la pendiente del terreno en porcentaje y m el exponente de la pendiente del terreno (52).

Estos resultados no son estrictamente aplicables a las condiciones de campo teniendo en cuenta que se trabajó con suelo saturado y que el ámbito de lluvias e infiltración no comprende las condiciones que se presentan en distintas zonas y a través de todo el año. En el campo, cuando una lluvia es de corta duración y su intensidad es un poco mayor que la capacidad de infiltración del suelo, pueden presentarse pérdidas de suelo en pendientes pronunciadas y no en desni-

veles moderados. Pero como la mayor parte de las pérdidas de suelo en el curso del año ocurren durante unas pocas lluvias de gran intensidad, las cuales caen sobre suelos de reducida capacidad de infiltración, el exponente de pendiente hallado debe ser aproximado al que puede obtenerse bajo condiciones naturales. Otros experimentos, entre ellos uno efectuado por espacio de diez años en la Universidad de Missouri, corroboran la aceptable validez de la ecuación (52).

Agrupando, reduciendo a unidades convencionales y promediando los resultados obtenidos en Tyler (Texas), Guthrie (Oklahoma), Clarinda (Iowa), Bethany (Missouri) y La Crosse (Wisconsin), Estados Unidos, con relación a la longitud de la pendiente, es posible trazar el gráfico que se ve en la Fig. 12.

La pérdida total de suelo resulta en este caso proporcional a la potencia 1,53 de la longitud horizontal de la pendiente, o más exactamente, se encuentra que $X=0,0025 L^{1,53}$, ecuación en la cual X representa la pérdida total de suelo en unidades convencionales y L la longitud horizontal del terreno medida en pies. Se debe hacer énfasis sobre el hecho de que los suelos estudiados son de distinta formación, poseen diferentes grados de infiltración y estuvieron sometidos a distintas intensidades de lluvia pero, sin embargo, los resultados se desvían poco del valor promedio. Esto se puede apreciar mejor en el Cuadro 5 donde se resumen los promedios de las pérdidas anuales de suelo en los distintos experimentos que aquí se han considerado, calculados en forma de la relación existente al duplicar la longitud de la pendiente, entre la pérdida mayor (longitud 2 a) y la menor (longitud a) (52).

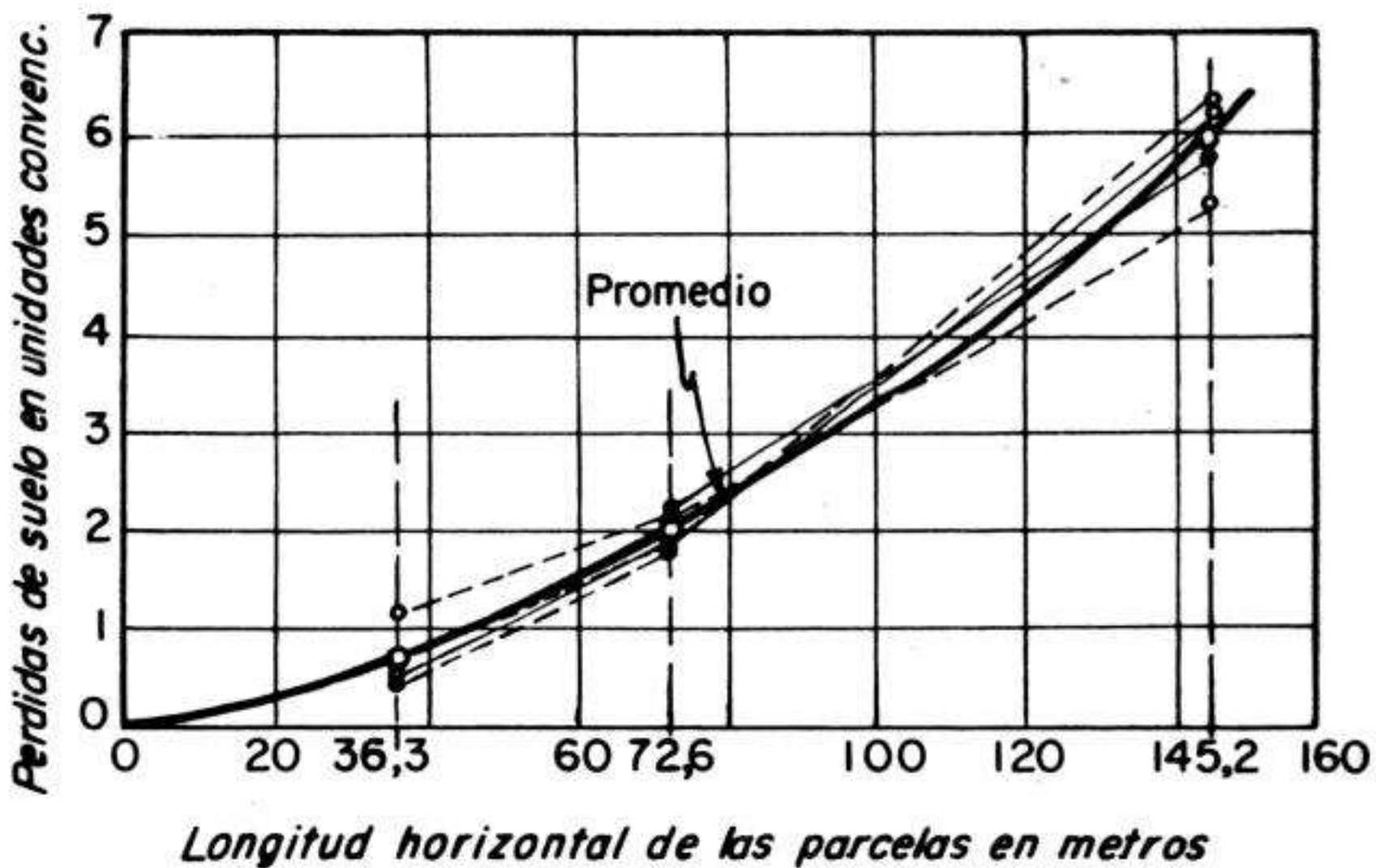


Fig. 12. Relación entre la longitud horizontal de la pendiente del terreno y las pérdidas de suelo (en unidades convencionales) (52).

CUADRO No. 5. Pérdidas de suelo en parcelas de diferente longitud.

Localidad	Textura del suelo	Años del experimento	Relación de las pérdidas de suelo en las parcelas largas y en las cortas
Bethany, Mo.	Franco	7	3,08
Clarinda, Iowa	Franco-limoso	3	2,56
La Crosse, Wisc.	Franco-limoso	3	3,04
Guthrie, Okla.	Franco-arenoso fino	6	3,27
Tyler, Texas	Franco-arenoso fino	12	3,21
Promedio general: 3,03			

Por los datos obtenidos hasta el presente, parece que la longitud y el grado de la pendiente obran como dos variables independientes en relación con las pérdidas de suelo. Al estudiar el efecto simultáneo de esas características topográficas, en parcelas de 42 pulgadas de ancho y con una aplicación artificial de lluvia de 3,15 pulgadas por hora durante 45 minutos (suelo franco), se obtuvieron en seis ensayos los resultados promedios que aparecen en el Cuadro 6.

CUADRO No. 6. Pérdidas de suelo en parcelas con diferente grado y longitud de pendiente.

Longitud de las parcelas en pies	Pendiente de las parcelas en porcentaje	Libras de suelo perdidas en la escorrentía (promedio de seis ensayos)
8	4	5,83
8	4	5,32
8	8	12,50
8	8	13,12
8	12	25,13
8	12	21,73
16	8	41,35
16	8	37,44

Con estos datos se obtiene una ecuación general de la forma:

$X=0,026 S^{1,37} L^{1,60}$, siendo X las libras de suelo perdidas en la escorrentía, S la pendiente en porcentaje y L la longitud horizontal en pies (52).

Estas ecuaciones no representan valores absolutos para un suelo o una condición específica; son sólo promedios de los datos disponibles (52).

SUELOS

Los factores examinados anteriormente como contribuyentes a la erosión, no producen los mismos efectos en todos los suelos. Las condiciones físicas y químicas de los terrenos, al impartirles mayor o menor resistencia a la acción de las aguas, tipifican y singularizan el comportamiento de cada suelo expuesto a condiciones similares de pendiente, lluvia y cubierta vegetal. El tamaño de los espacios porales del suelo, y con él la rapidez de absorción de agua, está determinado de modo general por el tamaño de sus partículas. Un suelo arenoso, por ejemplo, con espacios porales grandes, durante una lluvia leve absorbe toda el agua que recibe sin originar corrientes superficiales y, por lo tanto, sin sufrir erosión; pero, en compensación, como posee baja proporción de partículas arcillosas que actúan ligando y manteniendo unidas las partículas gruesas, al fluir cualquier corriente de agua sobre su superficie arrastra grandes cantidades de suelo; esta misma ausencia de partículas cimentadoras disminuye la capacidad retentiva de esos suelos y durante períodos secos se resienten por falta de humedad.

El extremo opuesto en la escala de textura, o sea el suelo arcilloso con espacios porales muy pequeños, presenta opuestas ventajas e inconvenientes. Durante una lluvia normal, debido al reducido tamaño de sus espacios porales, gran parte de las aguas no penetra en el terreno sino que corre superficialmente hacia las vías de drenaje. En contraposición, es grande la capacidad retentiva de las aguas que penetran y mayor también la resistencia a la acción desintegradora de las corrientes superficiales.

Desde este punto de vista, los suelos más ventajosos son los de textura intermedia. En un suelo franco o francoarcilloso, las partículas son de diferentes tamaños y mezcladas en tales proporciones que minimizan los inconvenientes de los extremos.

La estructura o modo como se ordenan las partículas individuales del suelo es asimismo primordial en la determinación de la erodabilidad de los suelos. Middleton (31) estudió en forma extensa la relación de algunas condiciones físicas con la facilidad de erosión de los terrenos, y los resultados de sus investigaciones indican que tres características hacen posible la diferenciación de los suelos a este respecto: la relación de dispersión, la relación de coloides a equivalente de humedad y la relación de erosión.

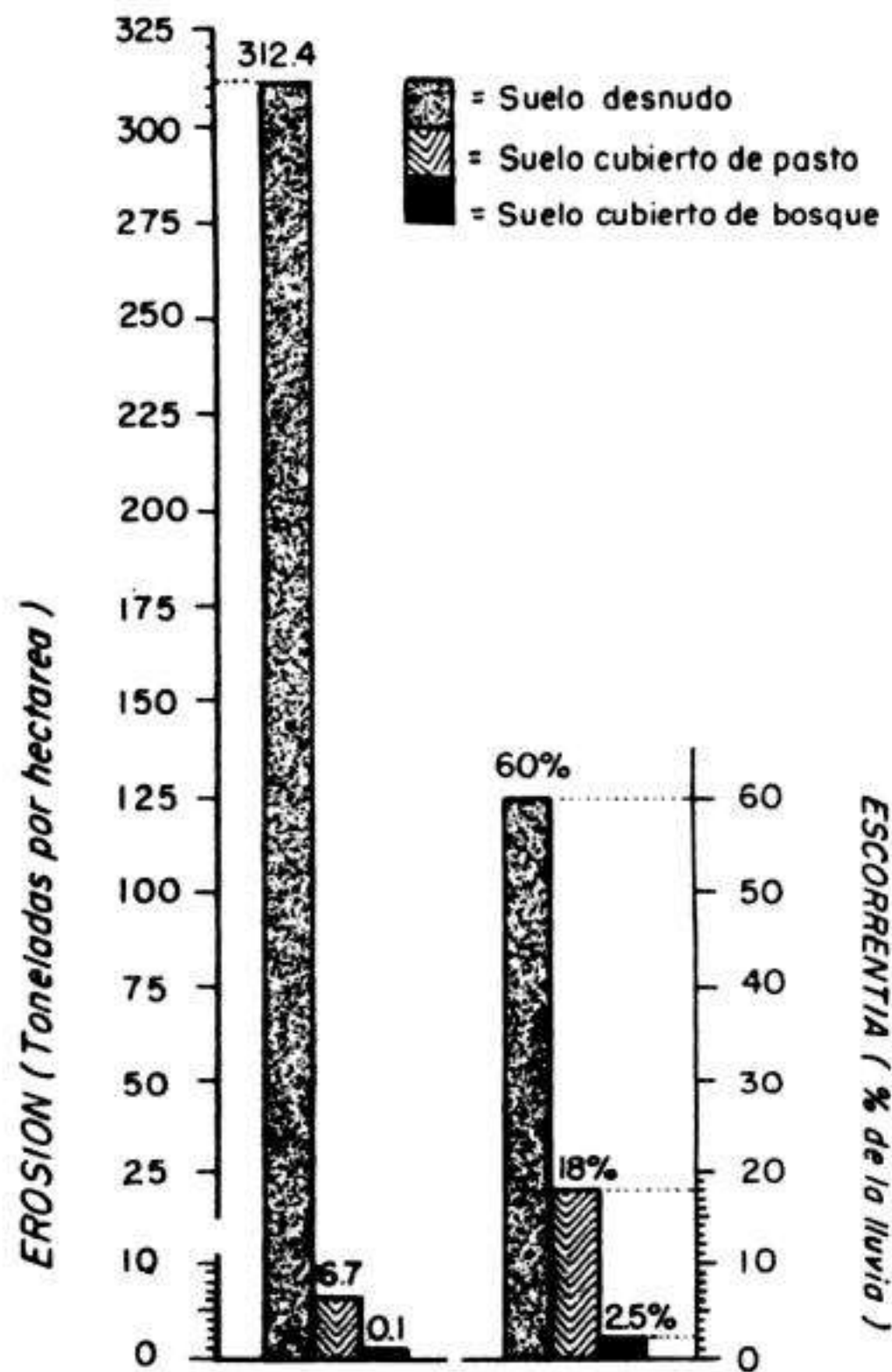


Fig. 13. Pérdidas de suelo y agua bajo tres coberturas. Promedio de cinco años de observaciones. (Chinchiná, Colombia).

La relación de dispersión es el valor resultante, expresado en porcentaje, de dividir el peso de arcilla y limo que entra en suspensión al tratar una muestra con agua, bajo condiciones específicas y controladas, por el peso total de arcilla y limo determinado por análisis mecánico. Parece ser uno de los criterios más útiles para distinguir entre suelos erosionables y no erosionables, lo cual es fácil de explicar si se considera que a medida que aumenta la facilidad de dispersión de un suelo crece el peligro de que él sea arrastrado por las aguas. La más alta relación obtenida para los suelos no erosionables fue de 15,1 y la más baja para los suelos erosionables de 13, lo cual hace suponer que puede utilizarse, con buen margen de seguridad, el valor de 15 como límite crítico entre las dos clases (31).

El equivalente de humedad es el porcentaje de agua retenida por el material del suelo al someterlo, bajo condiciones específicas, a una fuerza centrífuga mil veces mayor que la gravitacional. La relación de los coloides a dicho equivalente es también un buen índice de erodabilidad. Los suelos no erosionables mostraron en todos los casos relación superior a 1,5 (31).

Pero el mayor valor de las determinaciones anteriores se cifra en sus conexiones con la relación de erosión, la cual no es sino el resultado de dividir la relación de dispersión por la relación de coloides a equivalente de humedad.

La relación de erosión es más significativa que cualquiera de las determinaciones vistas anteriormente, pues las resume y las relaciona dando una indicación más segura de la erodabilidad de los suelos bajo condiciones similares. Debe tenerse muy en cuenta que ella no indica en ningún caso el grado relativo de erosión de terrenos sujetos a lluvias de distinta periodicidad. Tan sólo sirve, y en tal virtud puede ser útil, para clasificar ampliamente a los suelos como erosionables o no erosionables sin que hasta el momento se haya dilucidado si con diferencias muy pequeñas la relación es suficientemente característica para colocar los suelos en un exacto orden relativo de erodabilidad (31).

Aunque Middleton (31) no encontró ninguna propiedad de orden químico utilizable como criterio de diferenciación, Bennett (4) trabajando con suelos tropicales, halló diferencias químicas marcadas entre algunos tipos de arcilla muy meteorizados y friables, casi inmunes a la erosión y otros tipos, plásticas y ligeramente meteorizadas, muy susceptibles a ser dañadas gravemente por las aguas en pendientes cultivadas; esas diferencias se referían especialmente a la relación molecular de sílice a óxido de hierro más alúmina o sea a la relación:

$$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

El análisis de tres muestras de suelos de Cuba dio los resultados que aparecen en el Cuadro 7.

CUADRO No. 7. Composición química del suelo y resistencia a la erosión (4).

Grupo de suelo	Consistencia	Relación de sílice a óxido de hierro más alúmina
Arcilla Nipe	Extremadamente friable (muy resistente a la erosión)	0,17
Arcilla Matanzas	Friabilidad intermedia (resistencia a la erosión intermedia)	1,86
Arcilla Bayamo	Extremadamente plástica (menor resistencia a la erosión)	4,13

En todos los suelos tropicales estudiados se halló una relación entre la erodabilidad y la relación de sílice a sesquióxido de hierro más alúmina, siendo ésta menor de 2 en los más resistentes a la acción de las aguas.

La porosidad y grado de percolación han sido también estudiados con alguna extensión. En general, es difícil duplicar las condiciones naturales en el laboratorio y se han obtenido resultados contradictorios (4). Falta ante todo establecer un criterio seguro de diferenciación entre los espacios porales capilares y no capilares, los cuales se comportan en forma muy diferente con respecto a la infiltración.

Finalmente, el contenido de materia orgánica, la profundidad del suelo y las características del subsuelo, ejercen también una acción definida. Dejando aparte muchos de los múltiples efectos de la materia orgánica que se examinarán en el Capítulo 5, es importante recalcar sobre el hecho de que ella tiene mayor capacidad de absorción y retención de agua que la porción mineral del suelo y que, por otra parte, ayuda a la formación de agregados estables al agua, los cuales aumentan la permeabilidad y porosidad de los terrenos y mejoran su estructura.

Wischmeier y Mannering (49), al resumir los resultados obtenidos en un gran número de experimentos, informan sobre reducciones, debidas a la incorporación de residuos vegetales al suelo, cercanas al 50% de la escorrentía que ocurre en parcelas testigos. Asimismo, señalan que en experimentos realizados con lluvia artificial en 44 suelos diferentes, el contenido de materia orgánica del suelo fue la variable más estrechamente correlacionada con las disminuciones en la escorrentía.

La profundidad del suelo, lo mismo que las condiciones físicas del subsuelo, contribuyen a la capacidad de almacenamiento de agua de los terrenos. Un suelo suelto y poroso, colocado sobre un substrato también poroso y de textura media, podrá absorber y retener mayores cantidades de humedad que un suelo de las mismas condiciones que repose sobre estratos duros, compactos o poco permeables.

SUSCEPTIBILIDAD RELATIVA DE LOS SUELOS A LA EROSION

Un conocimiento cuantitativo de las variables que intervienen en el proceso de la erosión facilitará mucho el cálculo científico y económico de las prácticas para evitarla.

Una de las investigaciones que se juzgan fundamentales es la determinación de la susceptibilidad relativa de los suelos a la erosión, o sea de un índice de erodabilidad que permita clasificar los terrenos en grupos de resistencia natural similares. Con ese conocimiento, será posible, calcular con bastante precisión los tratamientos protectores de intensidad creciente y graduada según la susceptibilidad de cada

suelo (45). En estudios de esta clase, se han utilizado aparatos de lluvia artificial que permiten regular la intensidad, duración y frecuencia de las lluvias a las cuales se someten las muestras.

Los bloques de suelo bajo estudio se toman con un aparato de muestreo introducido a presión, de manera que las muestras conservan las condiciones naturales del perfil, al menos en sus horizontes superiores. Sometidos esos bloques a la acción de aguaceros comparables y uniformes se determinan las pérdidas de suelo y agua.

Usando procedimientos experimentales similares, Wischmeier y Mannering (49) calcularon la erodabilidad de los suelos en función de 15 propiedades de éstos y sus interrelaciones; a pesar de que los autores señalan que la ecuación resultante es suficientemente exacta y técnicamente válida para una amplia gama de suelos de textura intermedia, advierten también que su uso es muy complicado hasta el punto de no constituir una herramienta de trabajo adecuada (51). Más tarde, y con el propósito de simplificar la ecuación, redujeron a cinco los parámetros necesarios para predecir la erodabilidad de un suelo; ellos son:

- a. porcentaje de limo más arena muy fina;
- b. porcentaje de arena con partícula mayor de 0,1 mm;
- c. contenido de materia orgánica;
- d. estructura, y
- e. permeabilidad (51).

La distribución del tamaño de las partículas es uno de los más importantes determinantes de la susceptibilidad o resistencia de un suelo a la erosión. En general, dicen los autores citados, la erodabilidad del suelo tiende a aumentar con un mayor contenido de limo y a disminuir con un mayor contenido de arena, arcilla y materia orgánica; sin embargo, según ellos, las arenas muy finas (con diámetro de partícula entre 0,10 y 0,05 mm) se comportan en forma similar al limo, lo cual los llevó a redefinir los límites texturales para estos efectos, (ver Cuadro 2, Capítulo 1), elevando el límite del diámetro de las partículas de limo hasta 0,10 mm, o sea, incluyendo en este separado a las arenas muy finas (51).

Ya se explicó la influencia de la materia orgánica, la estructura del suelo (especialmente su tipo y tamaño) y su permeabilidad, en la mayor o menor resistencia de los suelos a la erosión y resulta lógica su incorporación en el cálculo de un índice de erodabilidad (K).

VEGETACION

La cubierta vegetal es la mejor defensa natural de un terreno contra la erosión. Toda planta, desde la más minúscula hierba hasta el árbol más corpulento, defiende el suelo de la acción perjudicial de las lluvias, en forma y proporción diferentes; a ello se debe la fertilidad

de las tierras vírgenes que el hombre aprovecha en la producción de cosechas útiles para él.

Ayres (1) resume la forma cómo las plantas defienden el suelo en los siguientes puntos:

- a. dispersión directa, intercepción por el follaje y evaporación de gotas de agua de lluvia, que en esa forma no llegan al terreno;
- b. transpiración, a través de los tejidos, de grandes cantidades de humedad que pasan de estratos profundos al aire;
- c. protección directa contra el impacto de las gotas de lluvia;
- d. efecto sujetador del sistema radicular sobre las partículas del suelo;
- e. penetración de las raíces a través del perfil, las cuales al morir y descomponerse dejan numerosas cavidades tubulares que aumentan la infiltración y mejoran la aireación del suelo;
- f. mejoramiento de la estructura del suelo y consiguiente aumento de la infiltración debido al suministro de materia orgánica;
- g. aumento de la fricción superficial y dispersión lateral de la escorrentía, que así reduce su volumen y disminuye su velocidad.

De todos estos efectos, los más notables son los conectados con el aumento en la infiltración y con la protección directa contra el impacto de las lluvias.

Cuando una gota de lluvia golpea un terreno cubierto con una vegetación densa, se rompe en minúsculas gotitas de agua clara que penetran fácilmente en los innumerables intersticios y canales del suelo; cuando esa gota golpea un suelo desnudo, la fuerza del impacto desprende partículas que quedan en suspensión y a medida que el agua se infiltra, se depositan en los espacios porales del suelo, obstruyéndolos y dificultando el paso posterior del agua, la cual se ve obligada a fluir sobre la superficie del terreno.

Por otra parte, la vegetación, al morir y descomponerse, aumenta el contenido de materia orgánica y de humus del suelo, y con ellos la porosidad y capacidad de retención de agua de los terrenos (48).

En la Fig. 14 se presentan los resultados de varios ensayos llevados a cabo en Chinchiná (Colombia). El índice de permeabilidad para el terreno desnudo fuertemente erodado, fue de 1,80; para el terreno cubierto de pasto de 6,15 y para el cubierto de bosque de 21,27, cifras que indican claramente la influencia de la vegetación sobre la infiltración del agua (véase el Cuadro 8).

Durante un aguacero fuerte, varios miles de millones de gotas de agua, golpean cada hectárea de terreno. Si el terreno está desnudo de

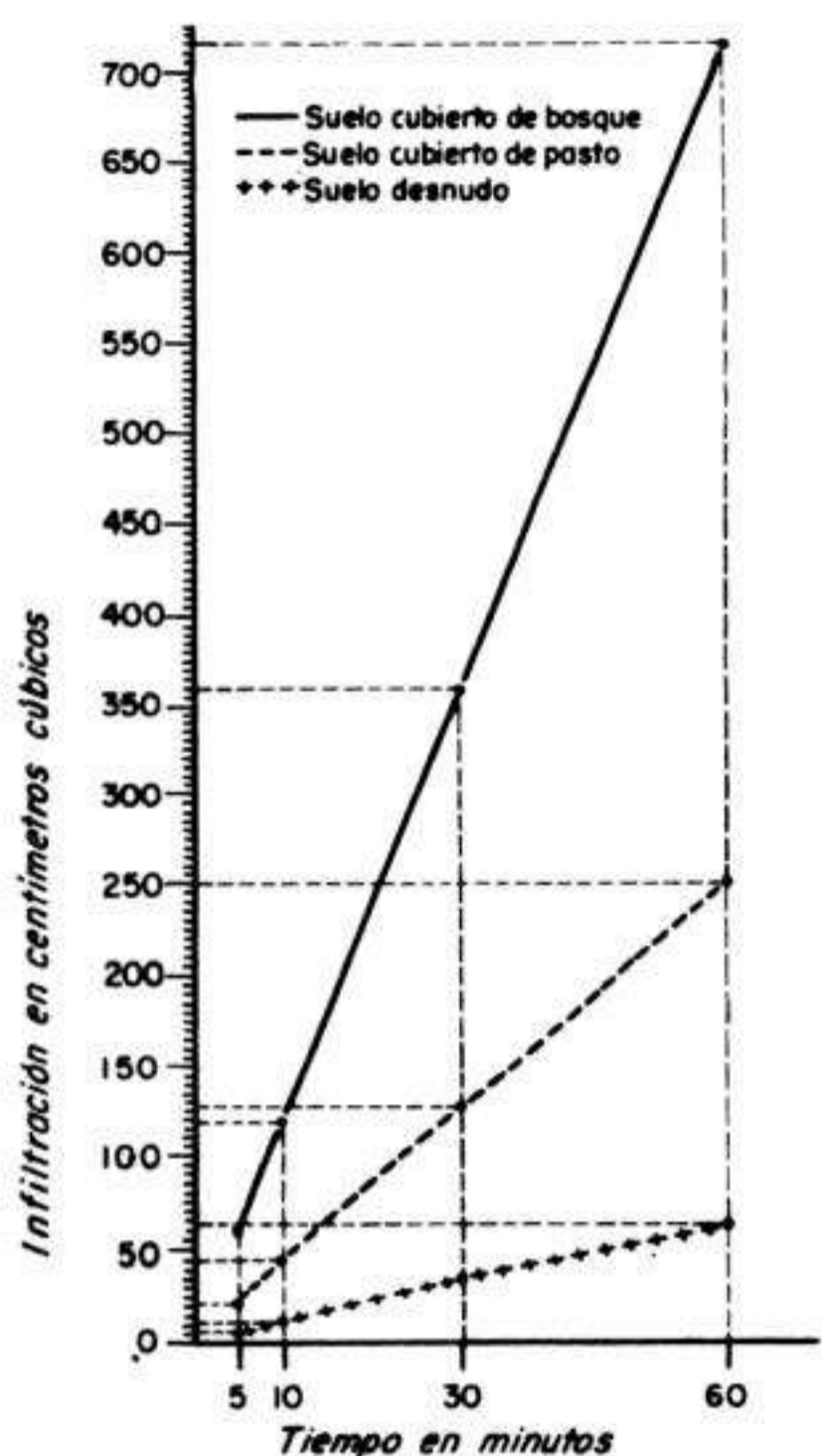


Fig. 14. Infiltración del agua en terrenos con diferentes coberturas.

vegetación, las gotas desprenden y salpican cientos de toneladas de partículas de suelo, las cuales son fácilmente transportadas por el agua. En contraste, cuando es densa la vegetación a ras del suelo o es densa la capa de restos vegetales sobre el terreno, la fuerza del impacto de las gotas de lluvia queda amortiguada, permitiendo que el agua llegue suavemente al terreno, sin energía suficiente para desprender partículas (17).

CUADRO No. 8. Infiltración del agua en terrenos con diferentes coberturas.

Tiempo en minutos	Suelo cubierto de bosque agua infiltrada	Suelo cubierto de pastos agua infiltrada	Suelo desnudo severamente erosionado agua infiltrada
5	60,0 cm ³	21,0 cm ³	5,3 cm ³
10	119,0 cm ³	45,8 cm ³	11,0 cm ³
30	360,0 cm ³	127,0 cm ³	35,5 cm ³
60	715,0 cm ³	250,0 cm ³	63,0 cm ³

El resultado de esta acción múltiple puede verse en el Cuadro 9, en el cual se resumen los datos obtenidos en cuatro estaciones experimentales del Estado de Sao Paulo (Brasil) durante dos años de observaciones; estos datos muestran cómo varían las pérdidas de suelo y agua, con cuatro coberturas diferentes. La lluvia en esta zona es de 1.300 mm anuales y la pendiente de las parcelas varió entre 10 y 12% (30).

CUADRO No. 9. Pérdidas de suelo y agua en terrenos con diferentes coberturas.

Vegetación del terreno	Erosión (promedio anual) toneladas por hectárea	Escorrentía (promedio anual) por 100 de la lluvia
Bosque	0,001	1,1
Potrero (pasto)	1,0	1,6
Cafetal sin sombra	1,4	1,6
Algodón	36,0	8,2

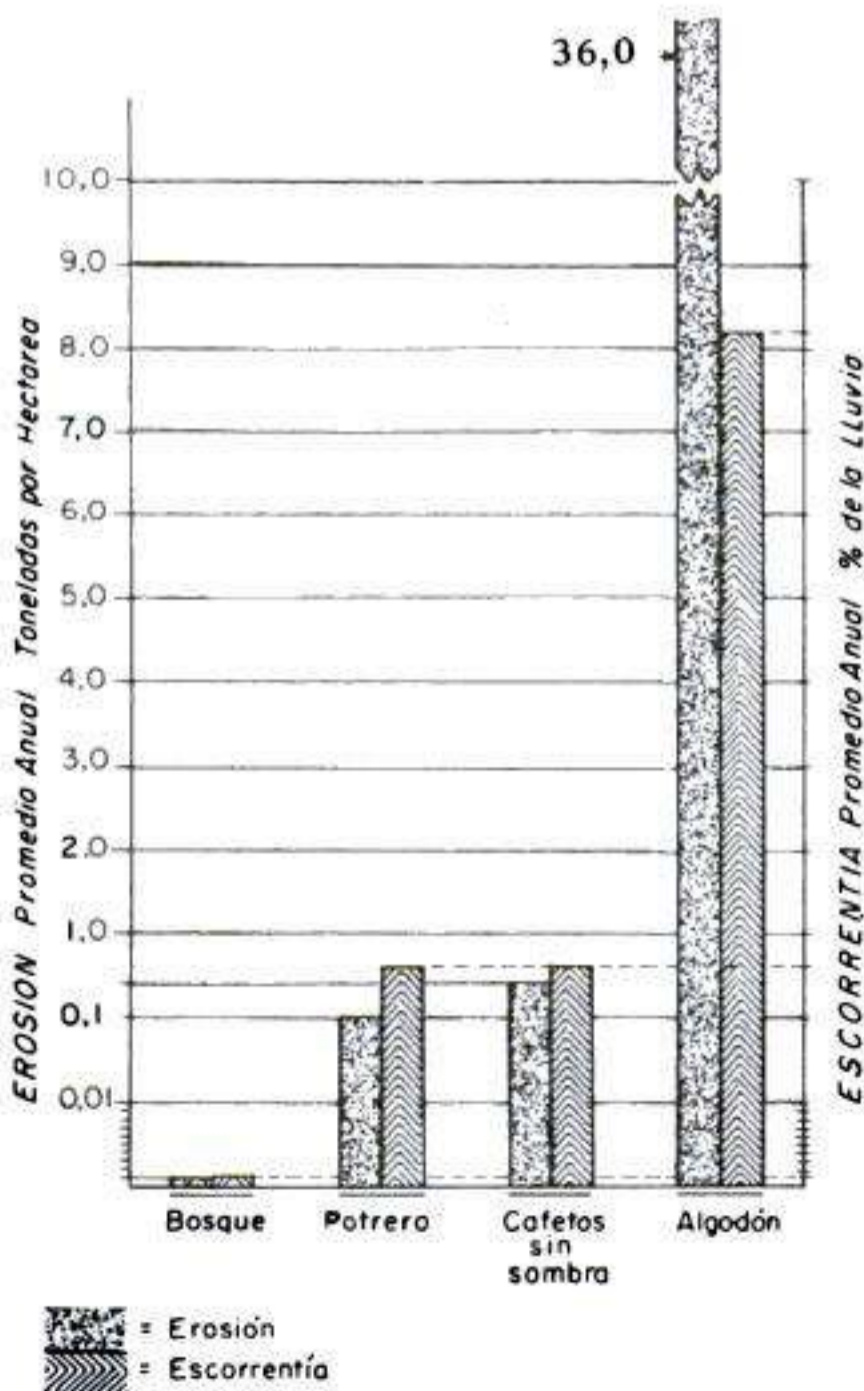


Fig. 15. Pérdidas de suelo y agua bajo diferentes cubiertas vegetales (Campinas, Brasil).

En el Cuadro 10 se resumen los datos obtenidos en Chinchiná (Colombia) en parcelas testigo durante cinco años de observaciones y con tres clases de cubiertas (44).

Merecen también citarse los datos obtenidos por Bates y Henry (2) en dos vertientes montañosas de 80 Ha aproximadamente cada una. Con una lluvia anual de 525 mm comprobaron que al deforestar las vertientes, se aumentaba en un 15% la escorrentía total, la intensidad máxima de la escorrentía en un 58% y la erosión ocho veces y media.

CUADRO No. 10. Pérdidas de suelo y agua en terrenos bajo tres coberturas (Chinchiná-5 años).

Año	Suelo desnudo		Potrero (<i>Axonopus micay</i>)		Cafetal con sombra (Bosque)	
	Erosión Ton/Ha	Escorrentía %	Erosión Ton/Ha	Escorrentía %	Erosión Ton/Ha	Escorrentía %
1er. Año	259,0	64,3	4,6	30,7	0,2	2,5
2do. Año	279,0	74,8	24,0*	23,0	0,2	4,2
3er. Año	162,3**	61,8	3,3	16,3	0,1	1,9
4to. Año	449,0	65,3	0,9	16,2	0,1	2,3
5to. Año	412,5	66,7	0,8	16,4	0,1	1,7
Promedio para cinco años	312,4		6,7		0,1	

(*) De abril a diciembre sembrado de maíz.

(**) De enero a mayo sembrado de maíz.

LA ECUACION UNIVERSAL DE EROSION

Combinando el efecto de los diversos factores que intervienen en la erosión de los suelos, se desarrolló la llamada “ecuación universal de erosión”; en ella se incorporan observaciones y resultados experimentales logrados en más de 20 años y tiene valor como aproximación empírica a la predicción de la erosión que ocurrirá bajo determinadas condiciones. Su uso, sin embargo, debe ser cuidadoso buscando más bien, a través de él, ampliar las bases para valorar preliminarmente situaciones generales (47, 48).

La ecuación universal de erosión expresa las pérdidas de suelo, en peso, por unidad de superficie y de tiempo, que ocurrirían al presentarse una combinación determinada de condiciones en un terreno. En el sistema métrico se trabaja con toneladas de suelo perdido por hectárea y por año.

La ecuación universal de erosión se expresa en los siguientes términos (20, 47, 48):

$$A = R K L S C P$$

Siendo:

- A el promedio anual de pérdidas de suelo en toneladas por hectárea;
- R la capacidad erosiva de las lluvias, determinada combinando la intensidad máxima en 30 minutos y la energía cinética de los aguaceros;
- K la erodabilidad de los suelos, calculada combinando las cinco características que atrás se señalaron (limo más arenas muy fina; arena fina a muy gruesa; materia orgánica; estructura y permeabilidad);
- L el factor que mide el efecto de la longitud de la pendiente, determinado empíricamente;
- S el factor que mide el efecto de la inclinación (grado de la pendiente), determinado también empíricamente;
- C el factor clase de cultivo o cobertura el cual mide el efecto de la cobertura y de su manejo, determinado empíricamente (tiene valor 1 cuando el suelo está en barbecho desnudo y preparado en dirección de la pendiente);
- P el factor prácticas de control de la erosión, tomando como punto de referencia la situación de un terreno arado y sembrado en dirección de la pendiente (las prácticas de conservación reducirán el valor máximo 1 de este factor).

CLASES DE EROSION CAUSADAS POR EL AGUA

La erosión causada por el agua se acostumbra dividir en tres tipos, los cuales pueden ocurrir simultáneamente sobre el mismo terreno. Estos tipos se denominan: **laminar**, en **surcos** y en **zanjones** o **cárcevas**.

La **erosión laminar** consiste en la remoción de capas delgadas y más o menos uniformes de suelo sobre toda una área. Es la forma menos notable del flagelo y, por lo mismo, la más peligrosa. A través de su acción comienza a tornarse de color más claro el suelo superficial por efecto de la remoción de humus, y a reducirse la productividad de los terrenos en forma progresiva. Frecuentemente, los agricultores no se dan cuenta de la causa por la cual las cosechas se reducen año tras año y tan sólo cuando comienzan a ver aparecer en sus tierras de labranza parches estériles de color claro conectan esos decrecimientos de la fertilidad con la reducción del espesor del suelo

por efecto de factores que en muchos casos ellos juzgan como incontrolables.

Los terrenos con escasa cubierta vegetal protectora están siempre expuestos a sufrir este empobrecimiento, en menor o mayor grado, según sean sus condiciones de pendiente, las características intrínsecas del suelo en cuanto a resistencia a la acción de las aguas y la distribución y volumen de las lluvias. Aquellos terrenos con subsuelo impermeable y con suelo superficial u horizonte A de poca cohesión, reducido espesor y pobres en materia orgánica, presentan las condiciones más críticas para esta clase de erosión. La erosión laminar se debe especialmente al desprendimiento más o menos uniforme de partículas en toda una área, ocasionado por el impacto de las gotas de lluvia sobre un suelo mal protegido y al arrastre posterior de dichas partículas por la escorrentía. La porción del suelo que sufre primero esa acción es la más liviana, de menor peso específico y que ofrece menor resistencia al golpe de las gotas de lluvia.

Ellison (17) sostiene que el movimiento lateral de las partículas que salpican por el impacto de las gotas de lluvia puede llegar a ser hasta de 1,20 m. Cuando el suelo está seco y cae un aguacero, esta acción prolongada de las gotas de lluvia "amasa" y humedece una capa superficial de muy pocos milímetros de espesor, dejando bajo ella suelo seco que puede contener cantidades considerables de aire el cual dificulta el movimiento vertical del agua.

Al secarse el suelo, la delgada capa superficial humedecida se transforma en una costra dura que obstaculiza mucho la penetración posterior del agua. Simultáneamente, la escasa agua que logra infiltrarse va depositando dentro del suelo las diminutas partículas que lleva en suspensión, obstruyendo los espacios porales y contribuyendo a hacer aún más difícil la infiltración. Así aumenta la escorrentía en las lluvias posteriores y con ella las pérdidas de suelo, ampliadas aún más por la propia acción abrasiva de las partículas sólidas que entran en suspensión.

La erosión laminar es especialmente perjudicial por su acción selectiva sobre las partículas de suelo. Arrastra primero la porción más liviana de esas partículas, especialmente si los aguaceros que caen en la zona son de mediana o reducida intensidad. Como resultado de este trabajo continuado comienza a desarrollarse en muchos terrenos el llamado "pavimento de erosión", que es la pérdida de todo material liviano (materia orgánica, etc.) en suelos gravillosos o pedregosos, con la consiguiente acumulación en la superficie, de los constituyentes de mayor tamaño (gravas, cascajos, etc.).

Si se considera que la parte más activa del suelo y, por lo tanto, la de mayor valor, es la integrada por las partículas de tamaño reducido, se podrá apreciar que los daños que sufre la fertilidad de los terrenos por efecto de la erosión laminar son mucho más considerables que los ocasionados por la pérdida de un determinado peso de material representativo de la capa superficial del terreno.



Fig. 16. Erosión laminar: el agua ha arrastrado una capa uniforme de suelo y la fertilidad del terreno ha descendido hasta niveles muy bajos. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

La **erosión en surcos** ocurre cuando por pequeñas irregularidades en la pendiente del terreno, la escorrentía se concentra en algunos sitios hasta adquirir volumen y velocidad suficientes para hacer cortes y formar canalículos que se destacan en el terreno.

En este tipo de erosión, se forman zanjillas de pequeño tamaño a lo largo de la pendiente, las cuales van indicando las zonas de concentración de la escorrentía; estos pequeños surcos cortados por el agua pueden borrarse fácilmente en el transcurso de las labores normales de cultivo que se aplican al terreno. Los daños de la erosión en surcos pueden ser de gravedad. Sin embargo, por ser más manifiestos, el agricultor les presta mejor y más oportuna atención que a los causados por la erosión laminar.

Ocurren especialmente durante aguaceros de gran intensidad y en terrenos con pendientes pronunciadas.

La **erosión en zanjones o en cárcavas** se presenta generalmente cuando hay una gran concentración de la escorrentía en determinadas zonas del terreno y se permite que año tras año vayan ampliándose los surcos formados por la acción de esas corrientes de gran volumen y velocidad.

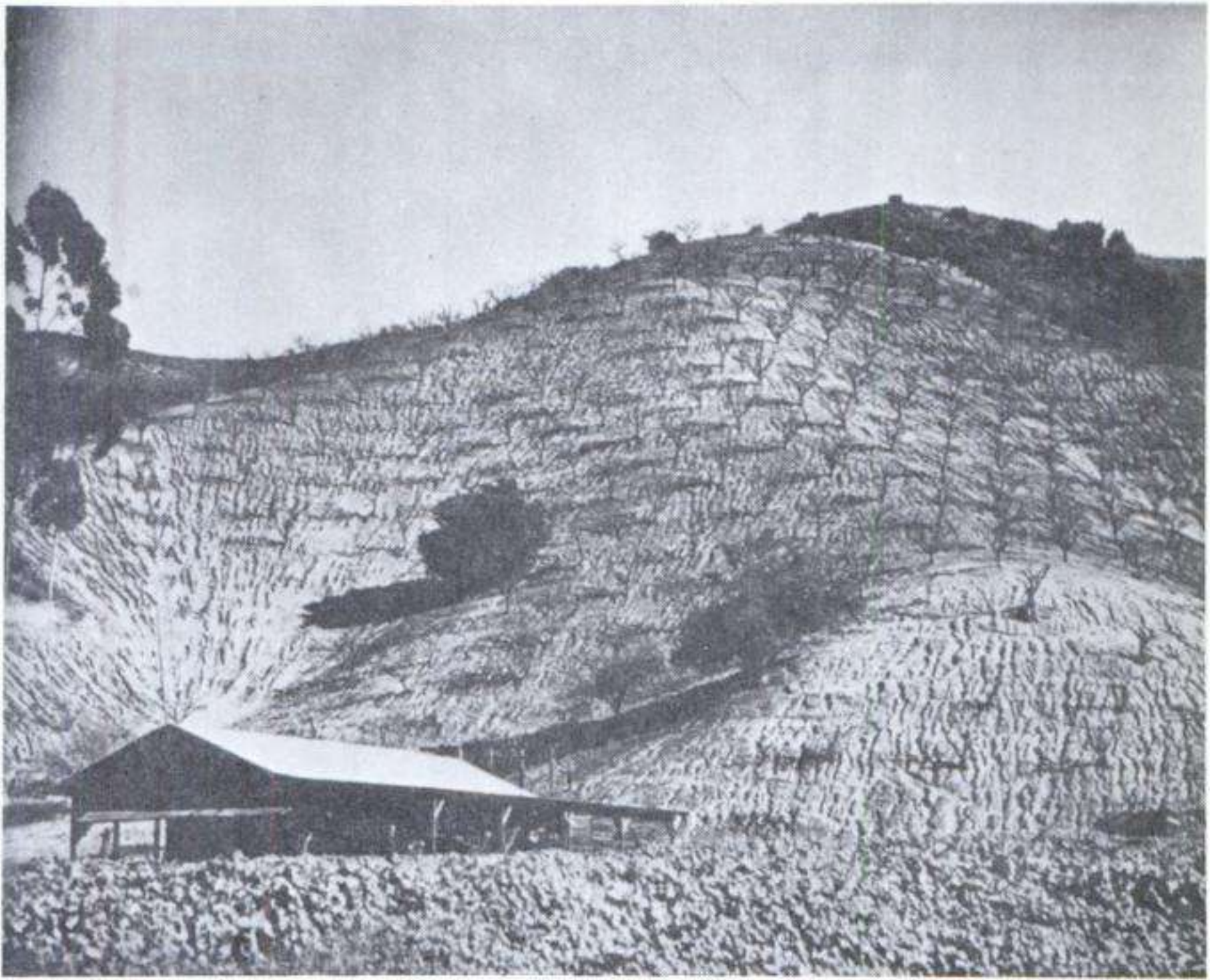


Fig. 17. Erosión en surcos: el agua de lluvia se concentró en las huellas dejadas por las herramientas de cultivo y formó zanjillas en dirección de la pendiente. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

En casos excepcionales, en terrenos muy erosionables, puede formarse una cárcava o zanjón profundo en el transcurso de un solo aguacero. Lo más común, sin embargo, es que los surcos de poca profundidad, que puede cavar un aguacero, se agranden paulatinamente por el descuido en aplicar medidas protectoras. Los surcos que dejan máquinas de labranza conducidas en la dirección de la pendiente, lo mismo que las depresiones por donde normalmente drenan las aguas superficiales de un terreno y las huellas que deja el ganado en potreros sobrepastoreados, pueden ser el origen de profundas cárcavas, las cuales son después imposibles de cruzar con maquinaria agrícola.

Cuando los diferentes horizontes del suelo son de material de consistencia uniforme, el zanjón o cárcava se desarrolla con paredes más o menos verticales, y si el material es muy friable, está sujeto a frecuentes derrumbes. Cuando el material del subsuelo o de horizontes profundos es más resistente que el horizonte superficial, se forman cárcavas con paredes en forma de V.



Fig. 18. Erosión en zanjones en estado poco avanzado. Los surcos formados por la acción de las aguas de escorrentía se han ido profundizando. Nótese la casa de la finca abandonada. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).



Fig. 19. Erosión en cárcavas; el pastoreo excesivo ha contribuido a la formación de zanjones en los surcos que el paso continuo de ganado va dejando en dirección de la pendiente.

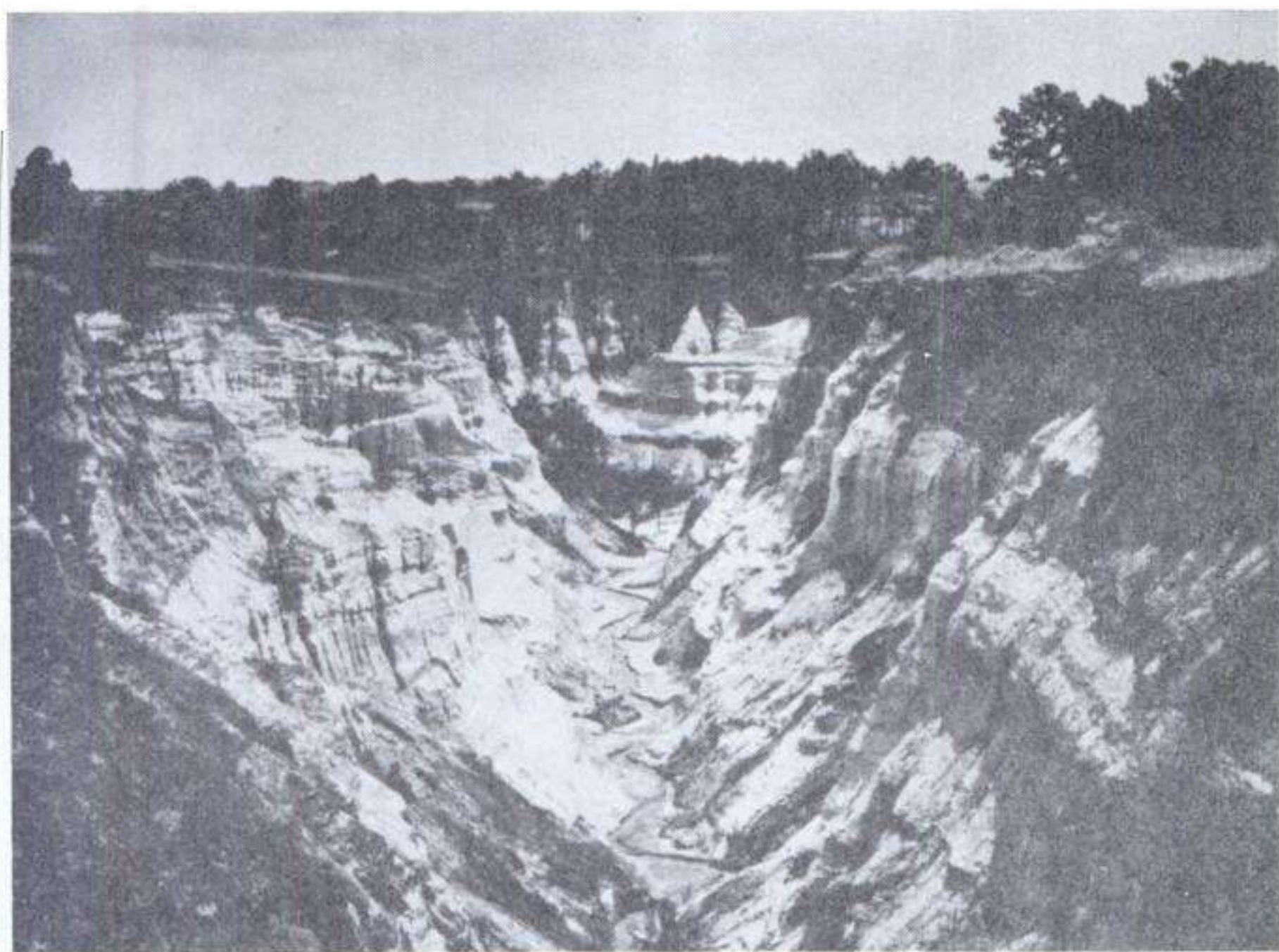


Fig. 20. Cárcava en pleno desarrollo. El zanjón ya tiene hasta 30 m de profundidad y aún sigue creciendo en forma rápida por la acción del agua. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

En general, en un zanjón de esta clase solamente circula agua durante e inmediatamente después de un aguacero. Cuando ya ha adquirido alguna profundidad, la misma acción de la cascada que se forma en la parte más alta del zanjón contribuye a hacerlo crecer con velocidad creciente (5).

PERDIDAS DE ELEMENTOS NUTRITIVOS POR EROSION

Entre los daños que la erosión causa a los terrenos deben considerarse los elementos nutritivos que se pierden con el suelo que las aguas arrastran.

Esto no quiere decir que las sustancias que el suelo contiene y que la planta utiliza para su nutrición, estén almacenadas en una forma inerte, de manera que anualmente baste restar de las cantidades totales los kilogramos que el cultivo extrajo y los que se perdieron por erosión, para tener un balance indicador de las exigencias de

fertilizantes para el cultivo siguiente. El suelo es un organismo vivo, en continua actividad y hay muchos factores envueltos en la utilización de los nutrimentos por la planta. Sin embargo, es más fácil visualizar los daños que la erosión ocasiona a los terrenos teniendo información no sólo sobre las toneladas de suelo perdidas sino también sobre los kilogramos de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio extraídos por la escorrentía.

Debe tenerse en cuenta que la remoción de materiales gruesos (gravas y arenas) es mucho menos perjudicial en igualdad de pesos, que el lavado de material coloidal orgánico e inorgánico y de nutrimentos en solución. El índice de erosión no debe ser, por lo tanto, sólo cuantitativo sino también cualitativo.

Duley (15) estudió durante un año en la Estación Experimental de Missouri, las pérdidas de sales solubles en la escorrentía, en parcelas con una pendiente del 3% ocupadas con diferentes cultivos. Los principales resultados que obtuvo fueron los siguientes: 1) las pérdidas de nitratos fueron muy pequeñas y un poco mayores las de nitrógeno orgánico; 2) se perdieron de 15 a 26 libras de calcio por acre (4.046 m^2), de 0,2 a 2,6 libras de potasio por acre y de 0,3 a 2,7 libras de fósforo por acre. Concluyó que estas pérdidas deben considerarse como una de las formas más importantes de empobrecimiento de los suelos en elementos nutritivos. También determinó los elementos nutritivos contenidos en el suelo erosionado, los cuales fueron mucho mayores. El suelo desnudo perdió en esa forma 98,8 libras de nitrógeno por acre; 47,4 de fósforo y 379,3 de calcio; el potrero perdió 0,5 libras de nitrógeno por acre; 0,09 de fósforo y 0,6 de calcio; el terreno sembrado de maíz perdió 40,3 libras de nitrógeno, 8,10 de fósforo y 103,3 de calcio. Las cifras de nitrógeno y fósforo corresponden a dos años y las de calcio a uno.

Holland y Joachim (25) encontraron en Ceilán que el material erodado en una plantación de té era mucho más rico en nutrimentos que el suelo original.

Daniel y colaboradores (14), determinaron en un suelo franco arenoso fino de los Estados Unidos, que cerca de una tercera parte del nitrógeno agregado por las aguas-lluvias se perdió en la escorrentía de un terreno en rotación de trigo, trébol y algodón. La pérdida anual del suelo fue de 4,5 toneladas por acre.

Rogers (39) informa que en un suelo franco limoso sembrado de maíz (5 a 25% de pendiente) el material erosionado fue 16% y 11% más rico en nitrógeno total y fósforo, respectivamente, que el suelo original. El examen del extracto acuoso del material erosionado contuvo de 6 a 8 veces más fósforo orgánico que el extracto obtenido del suelo original.

Kohnke (28) resume los primeros resultados obtenidos en una investigación llevada a cabo en Lafayette, Indiana, para determinar el efecto de diversos usos y tratamientos del terreno sobre nutrimentos y coloides perdidos en la escorrentía. La concentración de iones fue

siempre mayor al comienzo de la escorrentía que cuando ésta llegaba a su intensidad máxima.

Knoblauch (27) informa sobre pérdidas anuales por acre, en terrenos sembrados de papas, de 23 libras de nitrógeno total, 50 libras de fósforo y 153 libras de potasio total. Con cobertura y abono de establo se logró una reducción en las pérdidas.

En el valle de Willamette, en Oregon (Estados Unidos), se verificaron análisis de suelos erosionados los cuales demostraron que su contenido de nutrimentos para las plantas era más bajo que en la pradera original. La disminución en nitrógeno, calcio y azufre llegó a ser hasta del 50%. Se calculó que los suelos de este valle pierden anualmente 29.000 Ton de nitrógeno y sufren pérdidas de potasio, azufre, calcio y magnesio variables entre 2.500 y 106.000 Ton anuales. Las pérdidas de nutrimentos son de 2 a 17 veces mayores que las cantidades de ellos que se agregan al suelo (38).

Fippin (18) calculó que la vertiente del río Tennessee en los Estados Unidos pierde por hectárea y por año 12 Ton de limo, 105 Kg de calcio, 120 Kg de magnesio, 250 Kg de potasio, 15 Kg de anhídrido fosfórico y 25 Kg de nitrógeno.

Para la vertiente del río Mississippi se calculan en un año pérdidas por hectárea bajo cultivo de 4,8 Ton de limo, 55 Kg de calcio, 69 Kg de magnesio, 70 Kg de potasio, 6 Kg de anhídrido fosfórico y 7,5 Kg de nitrógeno.

En el Cuadro 11 se resumen las cantidades de nutrimentos que llevan en solución los ríos Mississippi y Ohio en los Estados Unidos (38).

En la América Tropical el autor llevó a cabo una investigación sobre este asunto. En los Cuadros 12 y 13 se resumen los resultados obtenidos en dos años de observaciones (43).

En los cuatro tratamientos que se compararon (suelo desnudo, potrero, cafetal joven y cafetal viejo) fueron mayores las pérdidas de

CUADRO No. 11. Cantidades de nutrimentos que arrastran anualmente en solución los ríos Ohio (en su confluencia con el Mississippi) y Mississippi (en Baton Rouge, La.).

Elementos	Río Ohio Toneladas	Río Mississippi Toneladas
Fósforo	17.199	62.188
Sodio	119.466	630.720
Potasio	396.521	1.626.312
Calcio	6.752.222	22.446.379
Magnesio	1.629.319	5.179.788
Azufre	2.229.544	6.732.936

CUADRO No. 12. Pérdidas de elementos en las aguas de escorrentía. Primer año de observaciones. Lluvia = 3.137,6 mm (Chinchiná, Colombia).

Tratamiento	Escorrentía mm	Kilogramos por hectárea				
		Nitratos	Otras formas de nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio
Suelo desnudo	2,271	7,71	28,44	2,23	31,47	304,94
Potrero	866	4,12	7,87	0,26	9,64	48,75
Cafetal joven	471	1,29	3,86	0,05	4,43	8,63
Cafetal viejo	133	1,50	1,20	0,12	1,80	2,98

CUADRO No. 13. Pérdidas de elementos en las aguas de escorrentía. Segundo año de observaciones. Lluvia = 2.505,1 mm (Chinchiná, Colombia).

Tratamiento	Escorrentía mm	Kilogramos por hectárea				
		Nitratos	Otras formas de nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio
Suelo desnudo	1,414	5,06	8,75	0,22	14,40	152,55
Potrero	283	2,64	1,62	0,07	2,99	13,73
Cafetal joven	317	2,60	1,21	0,03	3,91	9,29
Cafetal viejo	40	1,05	0,20	0,04	0,62	1,02

elementos durante el primer año, en el cual cayeron 3.137,6 mm de lluvia, cifra que sobrepasa ampliamente al promedio de 2.480 mm determinado para esta zona con los datos de 10 años. El año siguiente puede considerarse a este respecto mucho más representativo o típico. Existió, pues, una relación directa entre los totales de lluvia anual y las pérdidas de elementos nutritivos para las plantas.

Durante el primer año, 2 aguaceros sobrepasaron la intensidad máxima en 5 min de 100 mm por hora y 13 aguaceros sobrepasaron la intensidad máxima en 30 min, de 40 mm por hora.

Durante el segundo año hubo tres aguaceros con intensidades máximas en 5 min mayores al límite comparativo fijado atrás y 6 aguaceros con intensidades máximas en 30 min de 40 mm por hora.

Es decir, no se observó influencia muy clara de la intensidad de las lluvias sobre las cantidades de nutrimentos perdidos durante un año.

El número de aguaceros fue de 264 y 227 respectivamente.

El número de escorrentías fue de 167 en el primer año y 125 en el segundo (suelo desnudo).

En el primer año en el terreno desnudo hubo una escorrentía total de 2.271 mm; en el potrero 866 mm; en el cafetal joven 411 mm y en el cafetal viejo 133 mm. En el mismo orden de magnitudes se ordenan las cantidades de elementos nutritivos perdidos, exceptuando los nitratos y el fósforo en el cafetal joven, que fueron inferiores a los perdidos en el cafetal viejo.

En el segundo año la escorrentía ascendió a 1.414 mm en el terreno desnudo; 283 mm en el potrero; 316 mm en el cafetal joven y 40 mm en el cafetal viejo. Las pérdidas de elementos nutritivos, excepto potasio, fueron, sin embargo, ligeramente mayores en el potrero que en el cafetal joven.

El suelo desnudo, removido mensualmente con herramientas de labranza, perdió cantidades varias veces mayores de los diversos elementos que el resto de los tratamientos. El potrero, a su vez, sobrepasó ampliamente al cafetal. Las relaciones entre los extremos (o sea entre el suelo desnudo y cafetal viejo) fueron en el primer año de 6 a 1 para nitratos; 18 a 1 para fósforo; 17 a 1 para potasio y de 100 a 1 para calcio. Es decir, un suelo desnudo, por efecto de la escorrentía se empobrece principalmente en bases.

Las pérdidas de elementos nutritivos que ocurren en la zona tropical en un terreno desnudo, por efecto de la erosión, en general sobrepasan a las observadas por algunos investigadores en regiones de la zona templada, lo cual puede explicarse en parte porque casi todos los datos que se han obtenido en esta zona se refieren a terrenos de menor pendiente y sometidos a lluvias más escasas que los que predominan en los trópicos.

Según Ignatief (26) una buena cosecha de maíz extrae por hectárea del terreno 106 Kg de nitrógeno, 39 Kg de fósforo, 78 Kg de potasio, 6 Kg de calcio y 6 Kg de magnesio. En un terreno mal defendido las cantidades de calcio y magnesio que se pierden están muy por encima de estas cifras. Los suelos de la región tropical, con lluvias intensas, están más propensos a sufrir empobrecimientos de bases que de otros elementos nutritivos.

Las pérdidas de fósforo son pequeñas, pero pueden ser de gran importancia en suelos de tan bajo contenido fosfórico como los de la zona tropical.

Se destaca la gran eficiencia de la cubierta vegetal en la reducción de las pérdidas de nutrimentos. El manejo adecuado de la vegetación es el arma más efectiva con que se cuenta para desarrollar un plan de conservación de la fertilidad de los suelos.

LA EROSION REDUCE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS TERRENOS

La prosperidad de cualquier nación depende en gran parte de la capacidad de sus suelos para producir alimentos y materias primas.

Así, el futuro de un país se edifica sobre la productividad de sus terrenos agrícolas. Los progresos logrados durante los últimos años en los métodos agrícolas a través del mejoramiento de variedades, utilización creciente de fertilizantes, control eficaz de insectos y enfermedades, no han producido todos los efectos esperados por la degeneración que han sufrido los suelos a causa de la erosión.

Si se consideran las enormes cantidades de elementos nutritivos que el agua arrastra, es fácil darse cuenta de las reducciones que ocurren en su capacidad para producir cosechas (40). Además, se han verificado muchas determinaciones directas de esa disminución.

En Iowa, Estados Unidos, estudiaron la influencia de la profundidad del suelo (la cual a su vez es índice de la erosión que ha ocurrido) sobre los rendimientos de maíz y de avena. Cuando la profundidad del primer horizonte aumentó de 0 a 30 cm, la cosecha de maíz en un suelo franco limoso se elevó de 31 a 53 bushels* por acre. En el Cuadro 14 se presentan los resultados completos que se obtuvieron en este experimento con profundidades variables del primer horizonte del suelo (33).

CUADRO No. 14. Efecto de la profundidad del primer horizonte del suelo sobre la producción de maíz y de avena, en un suelo franco-limoso.

Profundidad del primer horizonte del suelo en centímetros	Maíz		Avena Producción promedio en un año bushels por acre
	Primer año: producción promedio bushels por acre	Segundo año: producción promedio bushels por acre	
0- 5	31	47	
8-10	28	69	52
12-15	39	77	61
17-20	49	82	70
22-25	50	88	72
27-30	50	82	70
> 30	53	88	64

Estos datos indican que la profundidad del suelo influye sobre la producción de maíz y avena.

En Georgia (Estados Unidos), encontraron que durante 5 años, la producción de algodón fue de 615,9 libras por acre en un suelo con horizonte superficial de 5 cm de profundidad; 889,1 libras cuando la profundidad era de 13 cm y de 1.019,6 libras por acre cuando la

(*) El Bushel es una medida de capacidad que equivale a 35,2 litros.

profundidad del primer horizonte era de 20 cm. La producción de maíz fue de 18,8, 24,9 y 32,2 bushels por acre, respectivamente, para las mismas condiciones descritas y la de avena de 49,6, 61,3 y 69,7 bushels por acre. Estas producciones representan el promedio de un número de rotaciones. Los datos indican que por cada pulgada de suelo que se pierde hay una reducción en promedio de 64 libras por acre de algodón-semilla, de 2,2 bushels por acre de maíz y 3,3 bushels por acre de avena. En la Fig. 21 se presentan esos datos en forma gráfica (24).

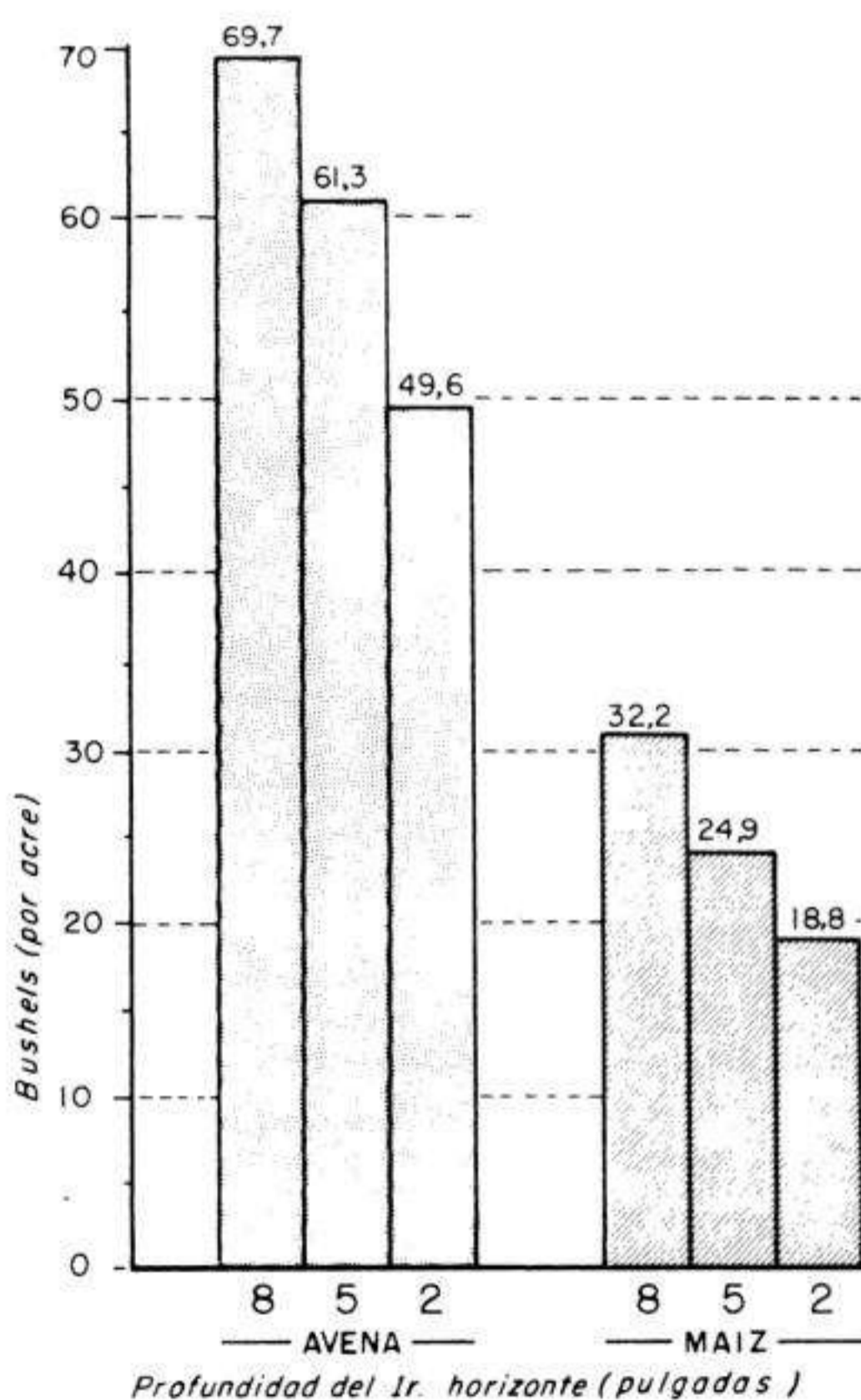


Fig. 21. Efecto de la erosión sobre la producción de maíz y avena. Producción promedia anual. (Watkinsville, Georgia, E.U.A.)

En el Condado de Geary, en Kansas (Estados Unidos), se verificó un reconocimiento de suelos dedicados al cultivo del trigo, para tratar de relacionar las cosechas con el grado de erosión que aquéllos habían sufrido. Los datos se presentan en el Cuadro 15 (37).

CUADRO No. 15. Efecto de la erosión sobre la producción de trigo (Condado de Geary, Kansas, Estados Unidos).

Topografía y grado de erosión	Producción bu/acre
Plana a pendiente moderada; erosión de ninguna a ligera	21
Ondulada: erosión de ninguna a ligera	12
Ondulada: erosión severa	11
Ondulada: erosión muy severa	8

Como puede observarse, los terrenos que no habían sufrido erosión produjeron dos veces y medio más trigo que los terrenos severamente erosionados.

Con todos estos datos puede concluirse que la erosión de los suelos es uno de los más graves factores de disminución de las cosechas y que combatiéndola no sólo se beneficia a las generaciones futuras, sino que produce ganancias a más corto plazo al agricultor actual, quien conservando la riqueza de los suelos asegura mejores cosechas y, por lo tanto, una mejor retribución a sus esfuerzos.

EROSION EOLICA

La erosión eólica o erosión causada por el viento, es un fenómeno que ocurre generalmente en regiones planas y de poca lluvia, en donde la vegetación natural crece escasamente y ofrece una reducida protección al suelo y en dónde, además, soplan brisas o vientos de velocidad considerable.

También se presenta con frecuencia en regiones húmedas en las cuales existen períodos prolongados de sequía.

DAÑOS QUE CAUSA LA EROSION EOLICA

La erosión por el viento, lo mismo que la causada por el agua, remueve grandes cantidades de elementos nutritivos. En 1933, cuando ocurrieron las tormentas de polvo en los Estados Unidos, las cuales obscurecieron extensas zonas durante varias semanas, en la Estación Experimental de Goodwell, en Oklahoma, se encontró, al analizar el material transportado por el viento, que éste contenía 24,6% de materia orgánica, en tanto que el suelo original no tenía en

promedio, más del 2% de este constituyente. Así, el viento se lleva la parte más fértil del suelo y después de que una zona ha estado sometida a su acción prolongada, el residuo de suelo que queda es pura arena de muy escasa fertilidad. En Oklahoma, algunas muestras de polvo que se analizaron durante dichas tormentas, contenían 62,5% de limo y 14,3% de arena; el suelo original no contenía sino 42% de limo y 35,4% de arena y el residuo que quedó después en el lugar original contenía 15% de limo y 58,2% de arena. Este efecto selectivo del viento sobre las partículas livianas se ilustra en la Fig. 22 (19).

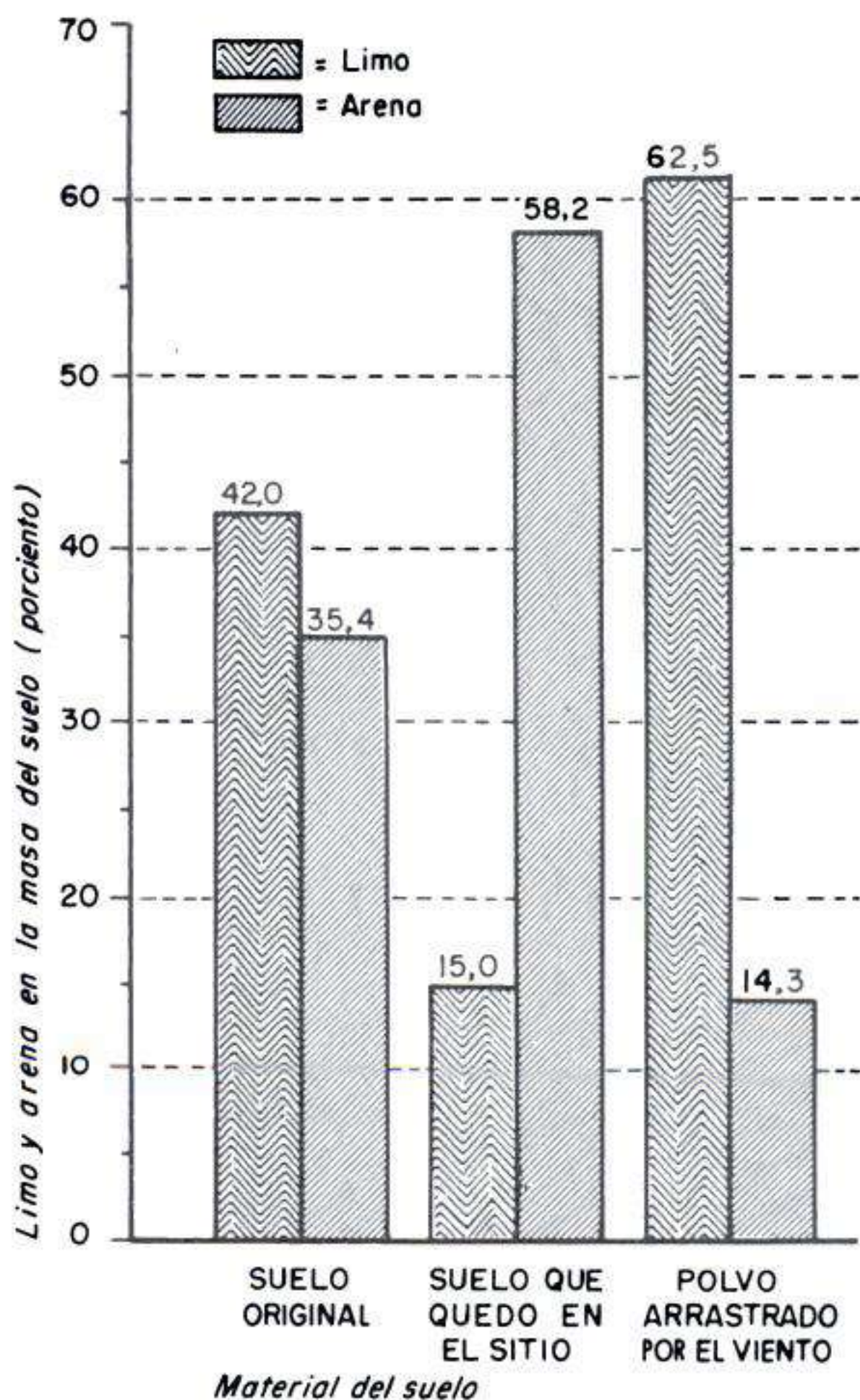


Fig. 22. Efecto del viento sobre las partículas livianas del suelo. El polvo arrastrado contiene un porcentaje más alto de limo y más bajo de arena que el suelo original. El material residual, en contraste, es más rico en arena y menos rico en limo que el suelo original.

En 1937 se analizaron algunas muestras del material que arrastró el viento desde el Estado de Texas y depositó en Iowa, y los resultados se compararon con el análisis del suelo original y del suelo residual. El polvo transportado contenía 10 veces más materia orgánica, 9 veces más nitrógeno, 19 veces más ácido fosfórico y 1 1/2 veces más potasio que el suelo residual y 3 veces más materia orgánica y nitrógeno, 5 veces más ácido fosfórico y 1 1/4 veces más potasio que el suelo original (13).

Además del empobrecimiento que ocurre en los terrenos, la erosión por el viento causa perjuicios de variada índole. En muchos casos las plantas de cultivo que crecen en porciones de la zona afectada pueden sufrir daños mecánicos por el suelo que el viento arrastra, los cuales en ocasiones llegan hasta la muerte de plantitas en pleno crecimiento.

Las carreteras y caminos de regiones sujetas a esta acción del viento se hacen a menudo intransitables por el material que en ellas se deposita, proveniente de áreas sobrepastoreadas o desnudas; los habitantes urbanos a menudo también alcanzan a sufrir directamente incomodidades y perjuicios por las nubes de polvo, provenientes de zonas en ocasiones muy apartadas, que se depositan sobre las poblaciones y ciudades causando daños y poniendo en peligro hasta la propia salud de las gentes.

PROCESO DE LA EROSION EOLICA

La fuerza que el viento ejerce sobre la superficie del suelo depende de la velocidad con que sople, la cual se ha podido comprobar que aumenta proporcionalmente con el logaritmo de la altura del viento sobre la superficie del suelo. Si el terreno es muy liso y está completamente desnudo, la velocidad del viento es nula en la capa comprendida entre 0,03 y 2,5 mm. Sobre esta altura las corrientes de aire se ordenan laminarmente, y más arriba forman turbulencias (FAO, 35). Las irregularidades del terreno hacen ascender la altura de la velocidad cero del viento, y en ese principio se basan algunas de las medidas encaminadas a contrarrestar la erosión eólica. Se busca entonces mantener sobre la superficie una capa de partículas grandes, capaces de absorber la fuerza del viento sin que ocurran desplazamientos de las partículas más finas, las cuales quedarán dentro de la capa de velocidad cero (11).

En tres formas transporta el viento las partículas: las más pesadas apenas ruedan, impulsadas principalmente por el choque de las partículas de tamaño intermedio, que el viento alcanza a elevar un poco y a mover por trayectos cortos (**saltación**); las partículas más livianas son transportadas, en ocasiones a distancias considerables, tras permanecer en suspensión en el aire por lapsos más o menos prolongados. El efecto abrasivo de las partículas en movimiento aumenta el poder



Fig. 23. Al preparar los terrenos, durante los meses críticos en relación con la erosión eólica, se buscará el mantenimiento sobre la superficie de una capa de terrones gruesos que absorba la fuerza del viento y dificulte el desplazamiento de las partículas más finas. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

erosivo de las corrientes de aire y con él la carga que transporta el viento, hasta llegar a un máximo que depende de la susceptibilidad del suelo y la distancia que el viento recorre sin encontrar obstáculos (40).

DINAMICA DE LA EROSION EOLICA

A Chapin (8) se debe el estudio más completo que se haya efectuado sobre esta materia. Advierte dicho autor que son numerosos los factores que intervienen en el fenómeno, clasificables dentro de tres categorías, según afecten al aire en movimiento, al terreno o al suelo propiamente dicho.

Entre los primeros se incluyen la velocidad y turbulencia de las corrientes de aire lo mismo que su viscosidad y densidad, la cual, a su vez, depende de la temperatura, la presión y la humedad de la masa.

Las características del terreno más directamente relacionadas con la erosión eólica se refieren a su rugosidad, a la cubierta que soporta, a los obstáculos que en él existen y a la temperatura y condiciones topográficas que lo singularizan.

En cuanto al suelo, la estructura, que a su turno depende del contenido de materia orgánica y de cal, lo mismo que de la textura, desempeña un papel preponderante, junto con la gravedad específica de las partículas y el contenido de humedad.

Las interrelaciones y combinaciones variadas de muchos de estos factores permiten toda una amplia gama de situaciones en las cuales las características favorables y desfavorables se equilibran diferentemente.

Fue Free (21) quien primero llamó la atención sobre el hecho que la mayor parte del suelo que arrastra el viento se mueve en una serie de saltos, y distinguió esta forma de desplazamiento con el nombre de **saltación**. Las partículas de cuarzo de 0,1 mm de diámetro marcan el límite inferior, en peso, del material transportado en esta forma. Las partículas por debajo de este límite muestran una velocidad de caída inferior al empuje hacia arriba de los vientos turbulentos, y por tanto permanecen en suspensión por lapsos más o menos largos, mientras se desplazan en dirección paralela a la de la corriente de aire a distancias en ocasiones muy considerables. Sólo regresan a la superficie del terreno cuando ya el viento ha disminuido considerable-

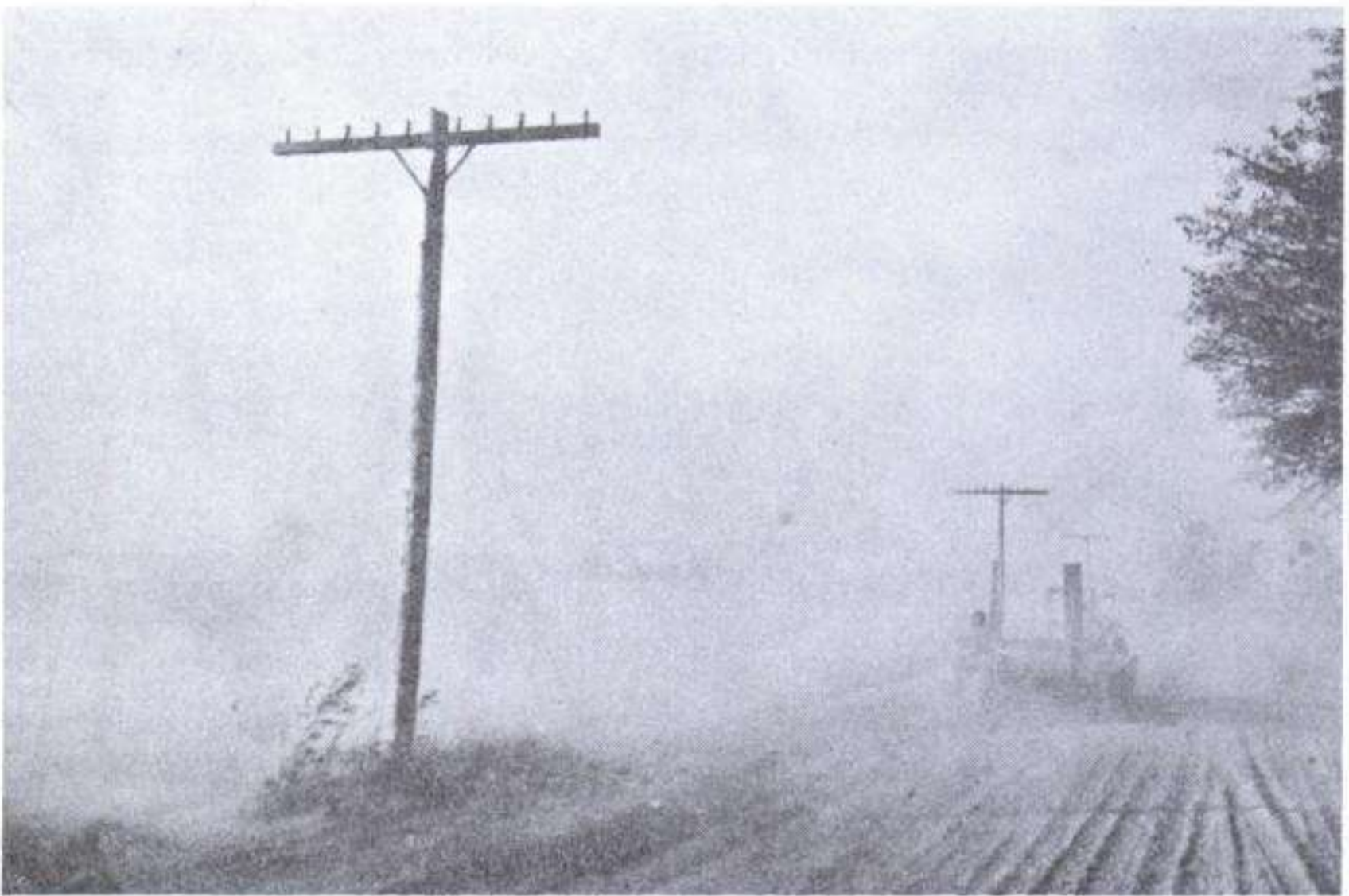


Fig. 24. Las partículas más finas pueden ser transportadas por el viento a distancias considerables. Sólo la disminución de la velocidad del viento o las gotas de lluvia las hacen regresar a la superficie del terreno. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

mente su velocidad o al ser arrastradas hacia abajo por las gotas de lluvia. Esta segunda forma de desplazamiento se distingue con el nombre de **suspensión**.

Por último, las partículas de cuarzo cuyo diámetro fluctúa entre 0,5 y 1 mm, demasiado pesadas para ser arrastradas por saltación o suspensión, se desplazan por **rodamiento** sobre la superficie del suelo. Con material de menor peso específico los límites de tamaño mencionados antes se amplían proporcionalmente.

Chepil (8) probó experimentalmente que la **saltación** es la fase inicial de casi todo el proceso y que a la reducción o a su eliminación deben encaminarse los métodos de combate. Determinó asimismo que la intensidad del fenómeno depende no tanto de la fuerza con que el viento actúa sobre la superficie del terreno, como de su presión contra las partículas en proceso de desplazamiento por saltación. Por lo tanto el movimiento del suelo depende de la distribución de la velocidad del viento en todo el plano de **saltación** y no en una altura fija.

Las partículas en **suspensión** constituyen, en general, una pérdida neta para el terreno del cual provienen. No así las desplazadas en las otras dos formas, ya que muy rara vez alcanzan a salir del área en proceso de erosión eólica. En los casos estudiados por Chepil, por **saltación** se consiguió desplazar entre el 55 y el 72% del peso del suelo; por suspensión entre el 3 y el 38% y, finalmente, por **rodamiento** entre el 7 y el 25%.

La velocidad mínima del viento necesaria para iniciar el movimiento de las partículas del suelo también fue estudiada por Chepil (9); él comprobó que la velocidad del viento lo mismo que las condiciones del suelo, varían mucho aun en lapsos muy cortos, lo que impide predefinirla específicamente para un terreno. El tamaño de las partículas del suelo es el factor que influye más preponderantemente en esa velocidad mínima erosiva de las corrientes de aire. Cuando la velocidad del viento llega a ser de 12 a 20 Km/hr a una altura de 15 cm sobre la superficie, mueve partículas con diámetros entre 0,1 y 0,15 mm. Este es el límite crítico, a partir del cual la velocidad mínima erosiva crece con el aumento del tamaño de las partículas; del mismo límite aumenta también hacia abajo la velocidad mínima por la disminución en el tamaño de las partículas. Esto se explica porque en el caso de las partículas más grandes su mayor peso requiere también una fuerza mayor para moverlas, la cual varía según la raíz cuadrada del producto del peso específico multiplicado por el diámetro. En el caso de las partículas por debajo del límite de 0,1 mm, su mayor resistencia obedece parcialmente a su cohesión mutua y sobre todo al hecho de que su tamaño es tan reducido que no permite que sobresalgan por encima de una capa de aire, "laminar y viscosa", cercana a la superficie del terreno (9). De esa manera, las arenas muy finas y los limos se desprenden del suelo especialmente por el impacto de partículas más grandes.

FORMAS DE EROSION EOLICA

Tratando de ordenar las diferentes modalidades de erosión eólica encontradas en sus estudios, Chepil (10) las clasificó en grupos diferenciados por la manera como ocurre el desplazamiento de las partículas. Las formas principales descritas por él son las siguientes:

- a. **Efluji3n:** remoci3n de las part3culas del suelo de tama1o entre 0,1 y 0,5 mm de diámetro, iniciada y mantenida por la presi3n directa del viento. La **saltaci3n** es la forma de desplazamiento casi exclusiva en esta modalidad de erosión eólica, aunque el viento puede desprender y llevar directamente en suspensi3n una peque1a proporci3n de las part3culas mäs cercanas en tama1o al límite inferior.
- b. **Extrusi3n:** ocurre cuando las fracciones que componen el suelo son demasiado gruesas para que el viento las remueva directamente; es necesario que el viento llegue cargado de part3culas mäs livianas para que pueda remover las gruesas, a traväs del golpe persistente contra la superficie del terreno. En esa forma la extrusi3n ocurre principalmente por medio de remolinos a ras del suelo.
- c. **Detrusi3n:** es la remoci3n de part3culas en las crestas de las irregularidades que presenta un terreno, las cuales estän sometidas a la acci3n de vientos de mayor velocidad en comparaci3n con las superficies lisas. Las part3culas mäs pesadas, que no alcanzan a traspasar las zonas intermedias de menor velocidad, se desprenden y deslizan hacia las depresiones del terreno.
- d. **Eflaci3n:** actúa sobre las part3culas mäs livianas, cuya velocidad terminal o crítica de ca3da es menor que el empuje vertical del viento en turbulencia. Dichas part3culas se elevan a grandes alturas y no regresan a la tierra sino por efecto de las lluvias o al llegar a zonas de vientos muy débiles. Es la forma mäs grave de erosión eólica en terrenos arables, ya que remueve las partes mäs livianas del suelo, que son las mäs valiosas. En zonas sometidas a esta acci3n de eflaci3n los terrenos llegan a ser mäs arenosos en raz3n de la p3rdida de limos y arcillas.
- e. **Abrasi3n:** producida por el golpe directo y continuo de part3culas en saltaci3n. Los suelos arcillosos son los mäs resistentes a esta forma de erosión eólica, y los francos y francoarenosos, los mäs susceptibles.

CONDICIONES DE CLIMA Y SUELO

Tanto la escasez como la inadecuada distribuci3n de las lluvias durante el a1o influyen bastante sobre el grado de erosión eólica.

Cuando la lluvia es insuficiente para suministrar al suelo la humedad necesaria para cohesionarlo o para que crezca vegetación protectora, se halla éste indefenso y ocurren desplazamientos de partículas. Es fácil comprobar la relación directa entre los años de sequía extrema y la extensión de los daños provocados por el viento (17).

La distribución de las lluvias es también de importancia. En la región de la Pampa Argentina, para citar un ejemplo ilustrativo, la precipitación en invierno apenas equivale al 12% del total anual; en esa forma, al iniciarse la primavera el suelo está seco y en condiciones de ser arrastrado por los vientos, que en esa estación aumentan tanto en velocidad como en frecuencia. Ese período es crítico en esta zona (27). Por lo explicado sobre la dinámica de la erosión eólica, se comprende la influencia que la textura del suelo ejerce sobre la intensidad del fenómeno. Son también muy importantes la estructura del suelo (o sea la forma como se ordenan sus partículas) y el contenido de materia orgánica, ya que ésta le imparte resistencia al aglutinar los componentes minerales (27).

En general la erosión eólica es problema de tierras planas. Cuando ocurre en terrenos ondulados, las lomas sufren más desgastes por hallarse más expuestas, en tanto que las porciones bajas están más resguardadas y acumulan mayor cantidad de agua, en beneficio de la estabilidad del suelo (27).

BIBLIOGRAFIA

1. AYRES, Q.C. La erosión del suelo y su control. Trad. de la ed. inglesa. Barcelona, Omega, 1960. 441 p.
2. BATES, C.B. y HENRY, A.J. Forest and stream flow experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado. U. S. Monthly Weather Review, Suplement no. 30. 1928. 79 p.
3. BAVER, L. D. et al. Física de suelos. Trad. de la 4a. ed. inglesa por I. M. Rodríguez. México, D.F., Uthea, 1973. 529 p.
4. BENNETT, H. H. Soil conservation. New York, McGraw-Hill, 1939. 993 p.
5. ————. Elements of soil conservation. 2a. ed. New York, McGraw-Hill, 1955. 358 p.
6. BLUMENSTOCK, D.I. Rainfall characteristics as related to soil erosion. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin no. 698. 1939. 44 p.
7. BUENOS AIRES. INSTITUTO DE SUELOS Y AGROTECNIA. Conservación del suelo y del agua. Publicación Miscelánea no. 416. 1956. 118 p.
8. CHEPIL, W.S. Dynamic of wind erosion. I. Nature of movement of soil by wind. Soil Science 60(4):305-320. 1945.
9. ————. Dynamic of wind erosion. II. Initiation of soil movement. Soil Science 60(5):397-411. 1945.
10. ————. Dynamic of wind erosion. IV. The translocating and abrasive action of the wind. Soil Science 61(2):167-177. 1946.
11. ————. Erosion of soil by wind. U. S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture 1957, Soil. Washington, D.C., 1957. pp. 308-314.

12. CONNER, A.B., DICKSON, R. E. y SCOATES, D. Factors influencing run-off and soil erosion. College Station, Texas Agricultural Experiment Station. Bulletin no. 411. 1930. 50 p.
13. DANIEL, H.A. y LANGHAM, W.H. The effect of wind erosion and cultivation on the total nitrogen and organic matter content of soils in the southern high plains. *Journal of the American Society of Agronomy* 28(8):587-596. 1936.
14. _____, ELWELL, H. M. y HARPER, H. J. Nitrate nitrogen content of rain and run-off water from plots under different cropping systems on soil classified as Vernon fine sandy loam. *Soil Science Society of America. Proceedings* 3:230-233. 1938.
15. DULEY, F.C. The loss of solubles salts in run-off water. *Soil Science* 21(5):401-409. 1926.
16. DULEY, F.L. y HAYS, O.E. The effect of the degree of slope on run-off and soil erosion. *Journal of Agricultural Research* 45(6):349-360. 1932.
17. ELLISON, W. D. Studies of raindrop erosion. *Agricultural Engineering* 25(4):131-136; (5):181-182. 1944.
18. FIPPIN, E. O. Plant nutrient losses in silt and water in the Tennessee river system. *Soil Science* 60(3):223-239. 1945.
19. FLY, C. A preliminary report of the chemical and mechanical analysis of dust deposited by wind at Goodwell, Oklahoma. Stillwater, Oklahoma. Agricultural Experiment Station. Bulletin no. 57. 1935. pp. 11-15.
20. FORSYTHE, W. El uso de la ecuación universal de erosión para evaluar el potencial de erosión de sistemas agrícolas. In *Curso Nacional sobre Conservación y Manejo de los Recursos Tierra y Agua*. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1976. 5 p.
21. FREE, E.F. The movement of soil material by the wind. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, Bureau of Soils. Bulletin no. 68. 1911. 263 p.
22. GREER, J. D. Effects of excessive-rate rainstorms on erosion. *Journal of Soil and Water Conservation* 26(5):196-197. 1971.
23. GUSTAFSON, A. F. *Conservación del suelo*. México, D.F., Continental, 1957. 329 p.
24. HENDRICKSON, B. H. Review of principal results. Washington, D.C., U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 1948.
25. HOLLAND, T.H. y JOACHIM, A.W.R.A. Soil erosion experiment. *Tropical Agriculturist (Ceylan)* 80(4):199-207. 1933.
26. IGNATIEFF, V. y PAGE, H. J. El uso eficaz de los fertilizantes. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Estudios Agropecuarios* no. 43. 1959. 379 p.
27. KNOBLAUCH, H. C. Saving New Jersey coasted plain soils. *Hints to potato growers* 21(10): 1941.
28. KOHNKE, H. Run-off chemistry; and undeveloped branch of soil science. *Soil Science Society of America. Proceedings* 6:492-500. 1941.
29. LILLARD, J. H., ROGERS, H. T. y ELSON, J. Effects of slope, character of soil, rainfall, and cropping treatments on erosion losses from Dunmore silt loam. Blacksburg, Va., Virginia Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin no. 72. 1941. 32 p.
30. MARQUES, J. Q. A. et al. Algumas conclusões gerais preliminares das determinações de perdas por erosão realizadas em São Paulo. In *Reunião Brasileira de Ciencia do Solo*, 3a., Recife, Brasil, 1951.

- Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira da Ciencia do Solo, 1951. v. 2. pp. 775-804.
31. MIDDLETON, H. E. Properties of soils which influence soil erosion. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin no. 178. 1930. 16 p.
 32. MURRAY, W. G. et al. Yield tests and land valuation. Ames, Iowa Agricultural Experiment Station, Research Bulletin no. 252. 1939. s.p.
 33. NEAL, J. H. The effect of the degree of slope and rainfall characteristics on run-off and soil erosion. Columbia, Missouri Agricultural Experiment Station, Research Bulletin no. 280. 1938. 47 p.
 34. _____ . Effect of degree of slope and rainfall characteristics on run-off and soil erosion. *Agricultural Engineering* 19(5):213-217. 1938.
 35. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La erosión eólica y medidas para combatirla en suelos agrícolas. Roma, Cuaderno de Fomento Agropecuario no. 71. 1961. 96 p.
 36. PAULET ITURVI, M. Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvia del Perú, Lima, Universidad Agraria La Molina, Programa de Conservación de Suelos. Publicación no. 3, 1973. 55 p.
 37. PINE, W.H. Methods of classifying Kansas land according to economic productivity. Ph.D. Tesis. St. Paul, Min. Minnesota University, 1948.
 38. POWERS, W. L., JONES, J. S. y RUZEK, C. V. Composition, rating and conservation of Willamette valley soils. Corvallis, Oregon Agricultural Experiments Station. Station Bulletin no. 365. s.a. 38 p.
 39. ROGERS, H. T. Plant nutrient losses by erosion from a corn, wheat, clover rotation on Dunmore silt loam. *Soil Science Society of America. Proceeding* 6:263-271. 1941.
 40. STALLING, J. H. Erosion of topsoil reduces productivity. Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. SCS-TP no. 98, 1950.
 41. _____ . Mechanics of wind erosion. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, SCS-TP no. 108. 1951. 12 p.
 42. SUAREZ DE CASTRO, F. Experimentos sobre la erosión de los suelos; resumen de los resultados obtenidos en algunas investigaciones sobre conservación de suelos y agua, durante los años 1949 y 1950. Chinchiná, Colombia, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. *Boletín Técnico* no. 6. 1951. 44 p.
 43. _____ . Pérdidas por erosión de elementos nutritivos bajo diferentes cubiertas vegetales. *Agricultura Tropical (Colombia)* 8(8):31-36. 1952.
 44. _____ . Principales datos obtenidos sobre pérdidas de suelo y agua en la zona cafetera de Colombia, Bogotá, Informe al Departamento Técnico de la Federación de Cafeteros, 1954. (no publicado).
 45. _____ . y RODRIGUEZ GRANDAS, A. Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia. Bogotá, Federación de Cafeteros, 1962. 473 p.
 46. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. A universal equation for predicting rainfall erosion losses; an aid to conservation farming in humid regions. Washington, D.C., Agricultural Research Service. ARS. 22-68. Special Report. 1961. 11 p.

47. WISCHMEIER, W. H., y SMITH, D. D. A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. In International Congress of Soil Science, 7th, Madison, Wisconsin, 1960. Transactions. Amsterdam, Elsevier, 1961. v. 1. pp. 418-425.
48. _____ . Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. Agricultural Handbook 282. 1965. 47 p.
49. _____ y MANNERING, J. V. Effect of organic matter content of the soil on infiltration. *Journal of Soil and Water Conservation* 20(4):150-152. 1965.
50. _____ . Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society America. Proceedings* 33(1):131-137. 1969.
51. _____ , et al. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation* 26(5):189-193. 1971.
52. _____ . Conservation tillage to control water erosion. In National Conference of the Soil Conservation Society of America. Conservation Tillage, Des Moines, Iowa, 1973. Proceedings. Ankeny, Iowa, 1973. pp. 133-141.
53. ZINGG, A. W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in run-off. *Agricultural Engineering* 21(2):59-64. 1940.
54. _____ . The wind erosion problem in the great plains. Transactions. American Geophysical Union 35(2):265-269. 1954.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. BARNETT, A. P. et al. Soil and nutrient losses in run-off with selected cropping treatments on tropical soils. *Agronomy Journal* 64(3):391-395. 1972.
2. BISOT, P. Le cycle d'érosions sous les différents climats. Rio de Janeiro, Universidade do Brasil, 1960. 137 p.
3. CHEPIL, W. S. The cycle of wind erosion. In International Congress of Soil Science. 7th., Madison, Wisconsin, 1960. Transactions. Amsterdam, Elsevier, 1961. v. 1. pp. 225-231.
4. FREE, G. R. Erosion characteristics of rainfall. *Agricultural Engineering* 41:447-455. 1960.
5. LAL, R. Soil erosion problems on an alfisol in Western Nigeria and their control. Ibadan, Nigeria. International Institute of Tropical Agriculture. Monograph no. 1. 1976. 160 p.
6. RIPLEY, P.O., et al. Soil erosion by water. Ottawa, Canada, Department of Agriculture. Research Branch Publication no. 1083. 1961. 34 p.
7. ROCHA, J.A.N. Erosión de suelos de pendientes cultivadas con maíz y frijoles con diferentes grados de cobertura viva dentro de una plantación forestal. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 1977. 182 p.
8. SAUBERAN, C. y MOLINA, J. S. Agotamiento, erosión y recuperación de suelos en la República Argentina. Buenos Aires, "Hombre y Suelos", 1958. 90 p.
9. WISCHMEIER, W. H. Use and misuse of the universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 31(1):5-9. 1976.

CAPITULO 3

FACTORES SOCIALES Y ECONOMICOS QUE INFLUYEN SOBRE LA EROSION DE LOS SUELOS

INTRODUCCION

La erosión no es solamente un fenómeno físico sino también un problema social y económico. Hay diversas circunstancias, tales como la distribución de la población y de los terrenos agrícolas, la abundancia de capital, la estabilidad de los precios de los productos agrícolas, el grado de educación del campesino, las vías de comunicación, etc., que explican mejor que las mismas características físicas predominantes, la magnitud y las características de la erosión de los suelos en una zona.

La erosión resulta fundamentalmente de una inadecuada relación entre el suelo y el hombre. El hombre extrae del suelo directa o indirectamente, todos los alimentos que consume y gran parte de los materiales que utiliza para su protección y abrigo. Es, pues, vital la relación entre los seres humanos y el territorio en que ellos habitan (9).

En el Capítulo 2 se indicó cómo al romperse un suelo virgen con herramientas de labranza y ponerse bajo cultivo, se debilitan sus defensas naturales y se propicia el arrastre inmoderado de partículas por parte del agua y del viento. Es decir, bajo condiciones naturales, la erosión como proceso acelerado y perjudicial no es generalmente de importancia. Sin embargo, resulta inevitable que el hombre destruya la protección natural de los terrenos para sembrar en ellos las plantas que utiliza en su provecho. Si ello no ocurriera, tan sólo podrían desarrollarse los más primitivos grados de la sociedad en los cuales sus integrantes se alimentarían de frutos silvestres. De manera que no es posible preconizar el mantenimiento del **equilibrio natural**, sin renegar a la vez de todo el progreso en comodidad que el hombre ha logrado a través de siglos de extraer de la tierra, bajo la vigilancia y la guía de su inteligencia, los productos que en más alto grado le aseguran los mayores beneficios (4).

La meta de la conservación no es la de proteger los recursos naturales como un fin en sí mismo, sino la de asegurar la mejor utilización de ellos de manera que se usen sin despilfarros (12). En el caso del

suelo, que es un recurso natural renovable, su uso racional y prudente llevará al mantenimiento de una agricultura próspera y permanente soportada por un suelo fértil. Es decir, lo que se busca con la aplicación de métodos de conservación es el establecimiento de un nuevo nivel de equilibrio, diferente al natural, en el cual el hombre de hoy y de mañana aprovecha plenamente los dones de la naturaleza. De la forma adecuada como una región o un país logre establecer y conservar ese nuevo nivel de equilibrio, depende su prosperidad (10).

Aunque resulta muy difícil dictaminar si muchas de las civilizaciones desaparecidas debieron su decaimiento y destrucción a la erosión de los suelos, lo cierto es que a todo lo largo de la historia la decadencia de las civilizaciones ha estado unida indisolublemente a la erosión. Sea ésta una causa o un efecto es cosa imposible de aclarar, ya que en los procesos históricos, que se suceden en el transcurso de varias generaciones, interviene una muy compleja combinación de factores de la más variada índole, algunos de los cuales pueden adquirir inusitada e injusta importancia para los estudiosos modernos. Pero el hecho de que la erosión aparezca cuando comienza a declinar una sociedad es de por sí muy significativo y revela la importancia que debe atribuirse al establecimiento de un adecuado nivel de equilibrio entre el suelo y el hombre.

EL EXCESO DE POBLACION

El primer factor que rompe ese equilibrio es el exceso de población agrícola. Cada porción de terreno tiene una capacidad de producción máxima estable, la cual se alcanza al aplicarle los mejores sistemas agrícolas conocidos. Ella no puede sobrepasarse sin saquear las reservas del suelo y disminuir su fertilidad. Esa capacidad de producción varía no sólo con las características de los terrenos, sino también con el grado de avance tecnológico de la sociedad. Cuando un número excesivo de personas tiene que extraer su sustento de cada hectárea de terreno, se ejerce una gran presión de uso que da origen a prácticas y sistemas inconvenientes. Se destruyen entonces los bosques para sembrar cosechas alimenticias y se ponen bajo cultivo laderas con pendientes excesivas. Se subdividen las propiedades y se valorizan las tierras por razón de su gran demanda. Como resultado, comienza a predominar el minifundio, en el cual las familias subsisten trabajosamente, acosadas por las necesidades y sin tener recursos para atender debidamente a la defensa de los terrenos. Comienza también a implantarse el ausentismo al descubrir los propietarios de fundos de mayor tamaño que el promedio, que la renta que están dispuestos a pagar los labriegos ávidos de tierra de sembradío permite vivir en las ciudades con suficientes comodidades.

Para la gran mayoría de los pequeños agricultores de una zona el cultivo de la tierra no es un negocio que ellos manejen con los cálcu-



Fig. 25. El exceso de población obliga a ejercer una gran presión de uso sobre los terrenos. Se destruyen los bosques y se siembran cultivos limpios en las pendientes más críticas, dando origen a graves casos de erosión. Las prácticas de conservación de suelos que se aplican en tales circunstancias aminoran los daños, pero no resuelven el problema.

los económicos con que se maneja una empresa industrial. Es el único sistema de vida que han conocido, el cual no abandonan ni aun cuando la renta que de él perciban no alcance ni siquiera a compensar el valor de su trabajo y el de su familia. Se someten resignados a un nivel de vida en permanente descenso en tanto que explotan y destruyen la capacidad productora que por siglos se ha acumulado en los terrenos agrícolas, invirtiendo cada vez menores esfuerzos y menor cantidad de dinero por unidad de superficie en la producción de cosechas. La erosión de los suelos, en estos casos, no puede pensarse que se controle por la simple enseñanza de sistemas que aminoran sus daños. Es indispensable entrar a resolver la situación básica de excesiva presión de uso sobre los terrenos agrícolas para crear las condiciones adecuadas para la aplicación de prácticas de conservación. Entonces se impone el desplazamiento de parte de la población hacia otras zonas y el desarrollo de industrias que permitan la ocupación económica de un buen porcentaje de la población y produzcan el dinero necesario para adquirir alimentos de otras regiones (8).

TAMAÑO DE LAS FINCAS Y DISTRIBUCION DE LA PROPIEDAD RURAL

Una finca demasiado pequeña ofrece escasas alternativas de uso. La combinación agricultura-ganadería, en la cual se dedica anualmente una proporción considerable de los terrenos a la producción de forrajes que protegen el suelo, es generalmente poco remunerativa en ellas; los bosques tampoco caben dentro de sus posibilidades. Los cultivos limpios, es decir, las cosechas anuales que exigen escardas periódicas, predominan por razón del mayor ingreso periódico que aseguran, el menor capital que necesitan y la más rápida retribución al trabajo invertido. Para compensar el escaso ingreso total, el agricultor se ve obligado a explotar intensamente el suelo, sometiéndolo a los mayores excesos y exponiéndolo a los mayores riesgos. El uso de abonos verdes, los cuales impiden durante algunos meses el crecimiento de cultivos comerciales, la rotación de cosechas y la siembra de plantas de cobertura no pueden desempeñar sino un papel muy modesto dentro del manejo de una finca demasiado pequeña y de la cual toda una familia deriva su subsistencia. Se causan así daños irreparables a los suelos, que no podrán evitarse con simples consejos o enseñanzas, sino remediando el desajuste entre las necesidades del hombre y las posibilidades de la tierra de la cual vive.

Algo similar sucede cuando la propiedad se halla mal distribuida. En algunos países latinoamericanos ha ocurrido una excesiva concentración de las tierras de buena calidad en manos de familias herederas de los conquistadores. Los descendientes de los primitivos habitantes del territorio, colocados aún hoy en posición social inferior, se han visto obligados a resignarse con los terrenos de topografía quebrada y de productividad reducida. Los grandes terratenientes mantienen improductivas extensas haciendas de terrenos planos o las dedican a una ganadería extensiva que exige pocos cuidados y escaso trabajo, colocando así extensas zonas planas de fértiles suelos casi totalmente al margen de toda actividad económica. En la práctica esto equivale a la inexistencia para el país o la región respectiva, de los terrenos planos monopolizados en esta forma por propietarios que, gracias a las inmensas áreas que poseen y a la valoración paulatina de sus dominios por el simple progreso y desarrollo de la comunidad, obtienen pingües ingresos. Los campesinos pobres, por el contrario, localizados en las vertientes montañosas de los valles dominados por los grandes terratenientes, se ven obligados a sembrar cultivos limpios para poder subsistir, originando las más graves situaciones en cuanto a la erosión del suelo (9). En la práctica, esto equivale a un exceso de población, pues los terrenos en pendiente son los que vienen a soportar la mayor presión de uso hasta llegar en algún país latinoamericano al caso paradójico, denunciado por el profesor Smith, de que la mayoría de los terrenos en él existentes y que ahora se usan para cultivos limpios, se adaptan mejor para potreros y bosques en tanto que las principales

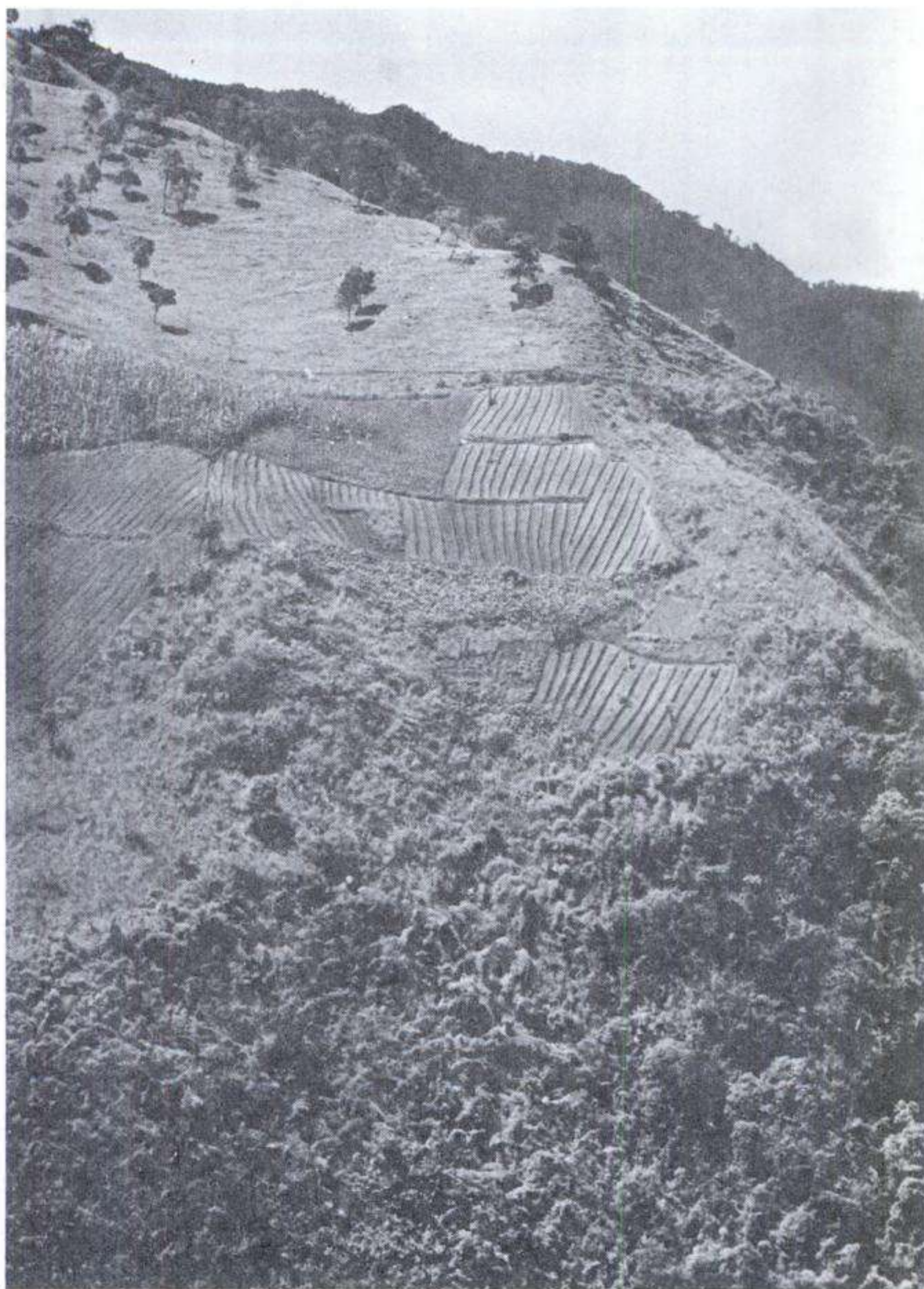


Fig. 26. En muchos países latinoamericanos, la mala distribución de la propiedad es factor economicosocial preponderante de erosión. Los grandes terratenientes monopolizan los valles, en tanto que los campesinos pobres se ven obligados a localizarse en terrenos empinados en donde tienen que sembrar cultivos limpios para poder subsistir.

porciones de los ocupados con pastos o en rastrojo son precisamente los más apropiados para el cultivo (7).

LA TENENCIA DE LA TIERRA

En ocasiones esta situación deriva hacia el predominio del ausentismo de los propietarios y el desarrollo de sistemas de arriendo de la tierra. Las gentes ansiosas de trabajar llegan a acuerdos o contratos con los propietarios y se comprometen a pagar determinada renta por el uso de la tierra. Si ambas partes, deseosas de derivar una ganancia de la agricultura, estuvieran animadas por el mismo interés en mantener la productividad de los terrenos, no habría perjuicio en este sistema. Pero con frecuencia, el arriendo o alquiler desarrolla, tanto en el arrendatario como en el propietario, un interés en la obtención de las mayores ganancias inmediatas sin preocupación por la productividad futura. Los contratos de arrendamiento en las zonas rurales de América Latina son el producto de la tradición y de la costumbre. En general, los plazos en ellos estipulados son siempre muy cortos en razón del interés de ambas partes de mantener una relativa libertad de acción para aprovechar mejores oportunidades que pueden presentarse. Así, el arrendatario no siente ningún interés por tomar a su cargo empresas de largo alcance que no produzcan ganancias inmediatas ni ejecutar labores que aseguren el mantenimiento por un plazo largo de la productividad, pero que agreguen costos a la producción de la cosecha inmediata. Es más: en muchas regiones el arrendatario ha llegado al convencimiento de que los trabajos ejecutados por él y que representan mejoras permanentes en la finca, no sólo no le benefician sino que se traducen en su propio perjuicio, pues luego le es más fácil al propietario exigir condiciones más rígidas en el nuevo contrato en virtud de la mayor posibilidad que existe de lograr con facilidad un nuevo arrendatario. El propietario ausente, en general, tampoco tiene conciencia de la forma como le afectan las reducciones permanentes en productividad de los terrenos que arrienda, pues en muchas ocasiones esas rebajas en el valor real de éstos se ocultan tras la valorización que ocurre con relativa rapidez en zonas en pleno desarrollo. En tales condiciones ambas partes están interesadas en obtener las mayores ganancias inmediatas y se prefiere, por lo tanto, la explotación de cultivos anuales que por exigir escardas periódicas someten los terrenos a los mayores riesgos de erosión. Debe anotarse aquí que en diversas encuestas verificadas en varias regiones de los Estados Unidos, se ha comprobado que las fincas llevadas por el sistema de arriendo tienen mayores porcentajes de su área dedicados a cultivos limpios y menores a la producción de forrajes, que las fincas manejadas por los propios dueños. Es decir, en aquéllas se someten los terrenos a mayores riesgos de erosión (2).

Como puede comprenderse, la raíz del mal en el sistema de agricultura por arriendo reside en la falta de un interés vital en el mantenimiento de la productividad de los terrenos. Por una parte, los dueños, ausentistas y no campesinos en su mayoría, que recurren a esa forma de manejo de sus fincas, no consideran las tierras que poseen sino como un elemento más de renta inmediata, en tanto que los arrendatarios no se aprovechan sino de lo que extraen en el corto tiempo estipulado en el contrato y, por lo tanto, no pueden interesarse sino en la explotación de su fertilidad.

PRECIOS EN LOS MERCADOS

Los malos precios en los mercados de los productos agrícolas son otra circunstancia que incide directamente sobre la explotación excesiva de los terrenos. Con mucha frecuencia, en zonas con malas vías de comunicación y población rural individualista e ignorante, se establece una larga cadena de intermediarios entre la finca y el mercado urbano, los cuales someten a los campesinos a los precios que quieran ellos pagar por los productos, máxime si dichos productos no son susceptibles de almacenarse sin mayores cuidados por un tiempo largo. En tales circunstancias las fluctuaciones de los precios son grandes. En la época de la cosecha se envilecen hasta llegar a niveles no remuneradores para el cultivador, para luego subir a medida que los acaparadores comienzan a monopolizar las existencias, con el resultado de que al sembrar el campesino siempre se encuentra halagado por los buenos precios y al cosechar se enfrenta con las más bajas cotizaciones. En otras ocasiones se debe a sobreproducción, la rebaja de los precios de los productos; pero cualquiera que sea la circunstancia, el resultado final es que las finanzas del agricultor se resienten y él se ve impedido de invertir dinero en el cuidado de los suelos.

El sistema que comienza entonces a imperar es el de una explotación en la cual se hacen los menores gastos posibles, aunque ese ahorro en dinero signifique desperdicio de fertilidad de los suelos (1).

Un caso típico de esa clase lo tuvieron los países latinoamericanos que dependen del café, durante los años de 1930 a 1940. Los precios del grano en esa década llegaron a niveles ruinosos y los ingresos de los cafeteros apenas les alcanzaban para subsistir ellos y sus familias, a niveles de hambre. Entonces se suspendió por completo la aplicación de prácticas de conservación de suelos. A duras penas el sufrido agricultor podía hacer cosa diferente que cosechar los escasos granos que espontáneamente y sin ningún cuidado producía la plantación. Las más graves situaciones de erosión se presentaron entonces en las montañosas laderas cafeteras latinoamericanas, bajo la mirada impasible de los dueños de las fincas, los cuales mal podían preocuparse por

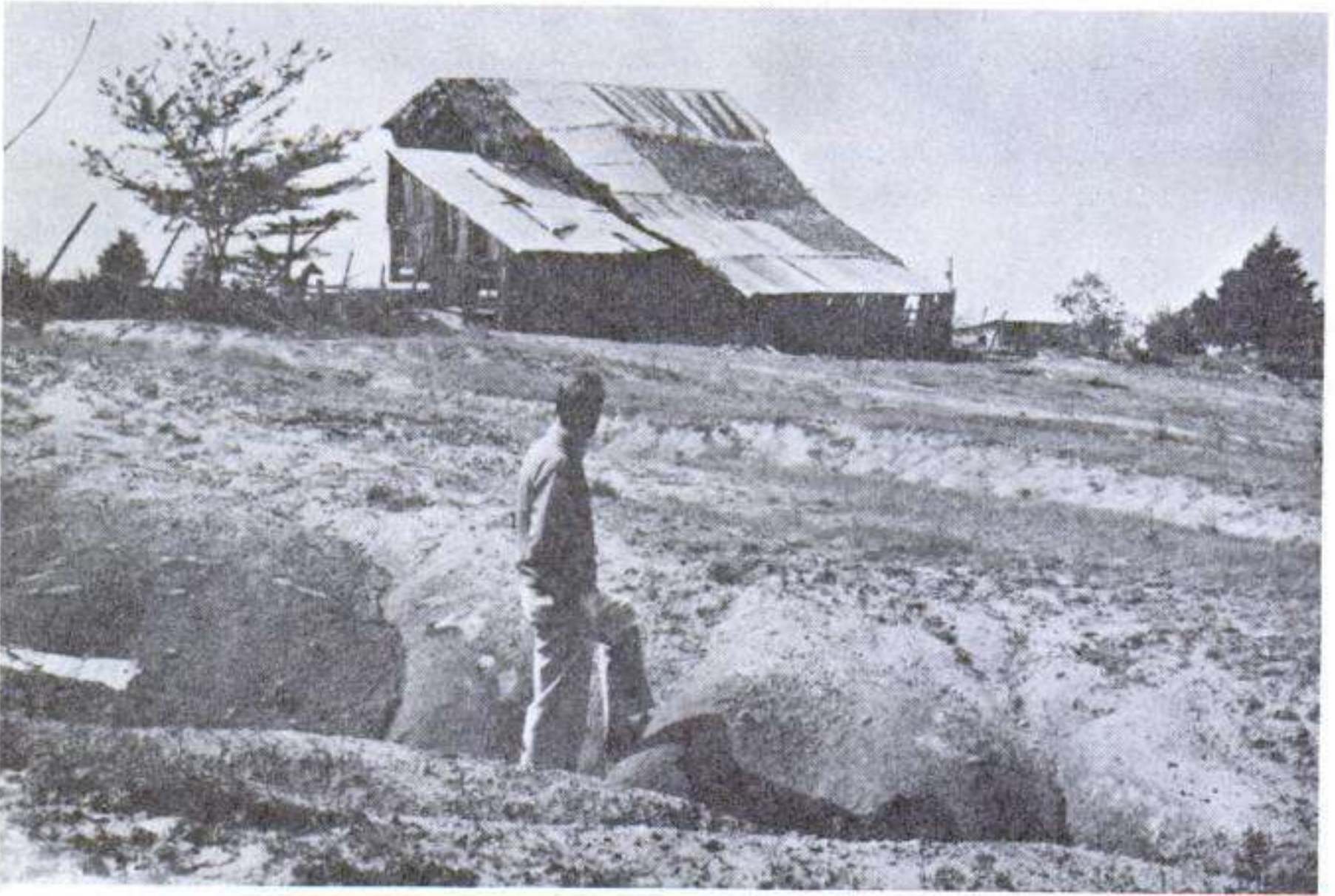


Fig. 27. La erosión de los suelos y la miseria del agricultor siempre van de la mano. Un suelo empobrecido por la erosión no retribuye adecuadamente los esfuerzos del campesino. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

la salud de la tierra cuando ni siquiera ellos mismos disponían de posibilidades económicas para preocuparse por su salud propia y la de sus familiares.

LAS TRADICIONES Y COSTUMBRES

Las tradiciones y costumbres del pueblo son también en muchas circunstancias fuerzas poderosas que los impelen a destruir suelos agrícolas (3). En la América Central, por ejemplo, hay una larga tradición indígena conectada con el cultivo del maíz (5), la cual explica los más graves casos de erosión que pueden contemplarse en México, Guatemala, Honduras, Nicaragua o Colombia. Los primitivos pobladores de esta parte del Nuevo Mundo (aztecas, mayas, chibchas, etc.), mezclaban sus creencias y sus ritos religiosos con la siembra y la cosecha del maíz, y sus descendientes, aunque en muchos casos hayan cambiado su religión bajo el impulso transformador de la conquista por los blancos, aún conservan hondamente arraigados en sus tradiciones y costumbres ancestrales, no solamente el cultivo de ese cereal, sino su consumo en variadas formas (6). La “arepa” y la “mazamorra” de las regiones antioqueñas y santandereanas en Colombia y la “tortilla” centroamericana representan la absoluta depen-

dencia alimenticia del maíz de una gran porción de la población de esos países. No hay forma de convencer a un mestizo o a un indio que no siembre ese grano, aunque las pendientes de los terrenos utilizables sean las más abruptas. Esta situación de dependencia, que somete los terrenos a los mayores riesgos de erosión, ha llevado a Vogt a afirmar que el maíz ha sido para la humanidad una maldición mayor que la sífilis (11). Aun descontando el énfasis que ese autor pone en afirmaciones de esta clase, puede aceptarse que la tradición indígena de cultivar y consumir en proporciones exageradas ese cereal ha conducido a situaciones muy graves de destrucción de los suelos. Podrían citarse otros muchos ejemplos de esta clase (estimación especial o hasta respeto religioso a ciertos animales, temor, repugnancia o fastidio en la ejecución de ciertas prácticas, tradición de acudir a sistemas determinados de trabajar la tierra, etc.) los cuales son de diaria ocurrencia y se presentan aún en zonas que están consideradas como altamente civilizadas dentro de los actuales patrones.

LA IGNORANCIA

La ignorancia de las gentes es un factor preponderante de erosión. La ignorancia puede presentarse en varios niveles: en muchos casos los agricultores no se dan cuenta ni de los daños que la erosión les causa ni de los sistemas para defenderse de ellos. No es raro el caso de que los agricultores atribuyan a misteriosas razones, a las cuales tienen necesariamente que someterse, las permanentes declinaciones en productividad de sus terrenos. No alcanzan a ver la relación de causa y efecto entre la turbidez de las corrientes de agua o los montones de sedimento que se depositan en las partes bajas de la finca por una parte, y la constante disminución en el rendimiento de las cosechas por la otra. A veces, a pesar de tener el campesino conciencia de esa relación, la considera tan natural, tan fuera de su control que se resigna a abandonar periódicamente partes de la finca hasta lograr una precaria restauración de fertilidad que vuelva a permitir la producción, aunque sea moderada, de cosechas.

Pero la ignorancia impera y perjudica no sólo a ese nivel. En muchos países la falta de grupos profesionales, con clara conciencia de los peligros de la erosión y de los caminos que pueden tomarse para combatirla, es el factor más sobresaliente para el mantenimiento de las más inconvenientes situaciones. Esto es cierto en países nuevos sin muchas tradiciones científicas y técnicas, en los cuales la parte más brillante de la juventud no se ve atraída hacia ocupaciones que se relacionan con el suelo o la planta. Como resultado, falta la dirección y las guías necesarias para iniciar estudios que aclaren las condiciones y las modalidades típicas del problema erosivo en cada zona y para emprender acciones adecuadas de ayuda y asesoría a los agricultores.

Generalmente donde esta crisis profesional existe, ocurre también otra crisis más grave, que es la de dirigentes administrativos. Los políticos y hombres de estado no se dan cuenta de la trascendencia que para su país tiene el mantenimiento de un suelo rico, o ignoran la clase de acción administrativa que sería necesaria emprender en la esfera de sus actividades para enfocar debidamente el problema de la erosión de los suelos.

Todos estos factores combinados explican las complejidades que ofrece la solución del problema de la erosión en diferentes regiones.

BIBLIOGRAFIA

1. CIRIACY-WANTRUP, S. V. Conservación de los recursos: economía y política. México, D.F., Fondo de Cultura Económica, 1957. 397 p.
2. COOPER, M. R., et al. The causes: defects in farming systems and farm tenancy. In U. S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture 1938, Soil and Men. Washington, D.C., 1938. pp. 137-158.
3. GRAY, L. C., et al. The causes: traditional attitudes and institutions. In U.S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture 1938, Soil and Men. Washington, D. C., 1938. pp. 111-136.
4. KELLOGG, C. E. Alimento, suelo y población. Trad. de Víctor Arizábal. Buenos Aires, Sudamericana, 1951. 121 p. (UNESCO. Los hombres y su alimentación, no. 10).
5. LLOSA BELAUNDE, C., ARMERO, L. O. de, y GONZALEZ TAFUR, O. The indigenous American race in its relation to the soil. In Inter-American Conference on Conservation of Renewable Natural Resources, Denver, Colorado, 1948. Proceedings. Washington, D.C., U.S. Department of State, 1949, pp. 271-272.
6. RIVERA ARIZA, R. Influence of land use by the most important sectors of population of Guatemala on development of economic, political and social life. In Inter-American Conference on Conservation of Renewable Natural Resources, Denver, Colorado, 1948. Proceedings. Washington, D. C., U. S. Department of State, 1949. pp. 273-277.
7. SMITH, T. L. Land tenure an soil erosion in Colombia. In Inter-American Conference on Conservation of Renewable Natural Resources, Denver, Colorado, 1948. Proceedings. Washington, D. C., U. S. Department of State, 1949. pp. 155-160.
8. SUAREZ DE CASTRO, F. Algunos aspectos sociales y económicos de la conservación de los suelos. Agricultura Tropical (Colombia) 3(4):47-53. 1947.
9. ————. El uso de los terrenos agrícolas y su influencia sobre la erosión de los suelos. Boletín Informativo del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, (Colombia) 3(27):24-30, 1952.
10. UTZ, E. J., et al. The problem: the nation as a whole. In U.S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture 1938, Soil and Men. Washington, D. C., 1938. pp. 84-110.

11. VOGT, W. Road to survival. New York, W. Sloane Associates, 1948. 335 p.
12. WELLS, O. V. Economies and conservation. **In** Inter-American Conference on Conservation of Renewable Natural Resources, Denver, Colorado, 1948. Proceedings. Washington, D. C., U. S. Department of State, 1949. pp. 305-309.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. COHEE, M. H. Economic evaluation of soil and water management measures. *Agricultural Engineering* 40(12):740-745. 1959.
2. COUTU, A. J. et al. Methods for an economic evaluation of soil conservation practices. Raleigh, North Carolina Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin no. 137. 1959. 48 p.
3. FIREY, W. Man, mind and land. Illinois, Glencoe, 1960. 256 p.
4. HARRISON, P. O. Soil and water conservation in many countries. Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture. Miscellaneous Publication no. 908. 1962. 32 p.
5. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La tenencia de la tierra; estructura agrícola mundial. Roma. Estudio no. 2. 1961. 37 p.
6. SCHICKELE, R. Tratado de política agrícola. México, D.F., Fondo de Cultura Económica, 1962. 564 p.

SEGUNDA PARTE

COMO SE DEFIENDEN LOS SUELOS

CAPITULO 4

RECONOCIMIENTO Y MAPIFICACION DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS TERRENOS DE LA FINCA

INTRODUCCION

Todo programa de conservación de suelos debe basarse en el uso de cada terreno de acuerdo con sus posibilidades y en el tratamiento de acuerdo con sus necesidades. El uso se refiere a la distribución de los cultivos en la finca. El tratamiento, a la aplicación de diversos sistemas culturales, agronómicos o mecánicos que compensen el debilitamiento de la protección natural ocasionado por la acción del hombre.

Tanto el uso como el tratamiento de los terrenos dependen de sus características físicas. Además, como se vio en el capítulo anterior, existen condiciones económicas y sociales que influyen sobre la forma como se utilizan las zonas agrícolas. Pero para proceder correctamente en la selección de alternativas, o sea para formular un plan sano de conservación de suelos, se tiene que partir del conocimiento detallado de las condiciones físicas de los terrenos, las cuales les confieren diferentes capacidades de uso y variadas exigencias de manejo.

Las capacidades de uso que aquí se mencionan, se refieren a la amplitud que cada porción de la finca permite en la selección de alternativas de utilización que ofrezcan, básicamente, adecuada protección contra la erosión. En otras palabras, las capacidades de uso indican el grado de intensidad de cultivos que puede aplicarse en el terreno sin que el suelo sufra mengua en su productividad por razón de la erosión.

Por lo tanto, es necesario, para desarrollar un plan adecuado de conservación de suelos, clasificar los terrenos en clases con capacidades de uso similares; así se agrupan terrenos con diferencias pequeñas en bloques que se consideran uniformes en cuanto a sus capacidades de uso y necesidades de manejo. Estas son las llamadas clases agrológicas, las cuales permiten sistematizar la selección de alternativas de uso y de manejo para cada sector de la finca.

DIVISION DE LOS CULTIVOS

Los cultivos pueden dividirse en varias clases, de acuerdo con la protección relativa que ofrezcan a los terrenos.

Los **cultivos limpios** anuales, que exigen escardas periódicas, como el maíz, el tabaco, la papa o patata, el algodón, etc., exponen al terreno sobre el cual crecen a los mayores riesgos de erosión, pues a través de las sistemáticas labores de destrucción de las malezas que compiten con la planta de cultivo, se mantiene el suelo desnudo y en condiciones de ser desprendido y arrastrado con facilidad por las aguas de lluvia.

Los **cultivos densos**, como el trigo, la cebada, la avena y el centeno, protegen mejor el suelo, pues su crecimiento más tupido y la ausencia de escarda mantienen una mejor cubierta protectora.

Los **cultivos de larga duración**, que exigen labores culturales moderadas en cuanto remueven poco el suelo, como la alfalfa, el trébol, las gramíneas para heno o forraje, son aún mejores defensas contra la erosión.



Fig. 28. Los cultivos limpios anuales, como el algodón, exigen que el suelo se mantenga libre de toda vegetación extraña mediante periódicas labores de escarda. Por lo tanto, ofrecen muy poca protección a los terrenos. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).



Fig. 29. Las gramíneas forrajeras, que crecen en forma densa y exigen tan sólo moderadas labores culturales, protegen mejor el suelo que los cultivos limpios o densos.

Los potreros, los cultivos de semibosques (café, cacao), y los bosques, en los cuales la cubierta vegetal es densa y su destrucción por la acción del hombre mínima, son cultivos más protectores y que menos riesgos ofrecen para los terrenos.

DISTRIBUCION DE LOS CULTIVOS

Los cultivos se deben efectuar de manera que su distribución en la finca sea adecuada: en los terrenos más susceptibles a la erosión deben sembrarse bosques y potreros; en los más protegidos por razón de sus características físicas, los cultivos limpios, y en los intermedios, las otras clases de cultivos mencionados.

La clasificación agrológica persigue la determinación sistemática de la susceptibilidad a la erosión de cada terreno.

CLASES AGROLOGICAS

En la forma como se definieron las clases agrológicas se refieren únicamente a la capacidad de uso y necesidades de manejo de los terrenos, con miras al establecimiento de una agricultura permanente,

en la cual el suelo, que es la base, no sufra daños. Estas clases no tienen relación muy cercana con la fertilidad. Es decir, terrenos de diferente fertilidad, pero que ofrezcan las mismas posibilidades de uso y exijan grados similares de defensa contra la erosión, quedan incluidos en la misma clase agrológica. Teniendo claro este concepto se comprende que son variables las características físicas de las mismas clases agrológicas en distintas regiones. En una zona de lluvias intensas, por ejemplo, la textura y la permeabilidad del suelo pueden ejercer una mayor influencia que en las regiones de escasa precipitación; en los suelos arenosos el grado de la pendiente deberá tenerse más en cuenta que en los suelos de textura intermedia.

Las clases así definidas se determinan con base en las características presentes o actuales del suelo y del medio climático en el cual se encuentran. Se considera por una parte la susceptibilidad del suelo a la erosión y por otra la presencia de obstáculos que puedan interferir las labores normales de cultivo.

Generalmente se aceptan ocho clases agrológicas, numeradas de I a VIII, en las cuales pueden incluirse todos los terrenos de cualquier finca. Las clases I, II, III y IV presentan grados progresivos de dificultades para su utilización segura y permanente con cultivos que exigen escardas periódicas (cultivos limpios); las clases V, VI y VII presentan una graduación similar en relación con cultivos de pastos o bosques. La clase VIII se reserva para los terrenos inapropiados para la agricultura y la ganadería.



Fig. 30. La alfalfa y demás leguminosas forrajeras mantienen el suelo bastante protegido con una buena cobertura. Son en general mejor defensa contra la erosión que los cultivos limpios o los cultivos densos. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

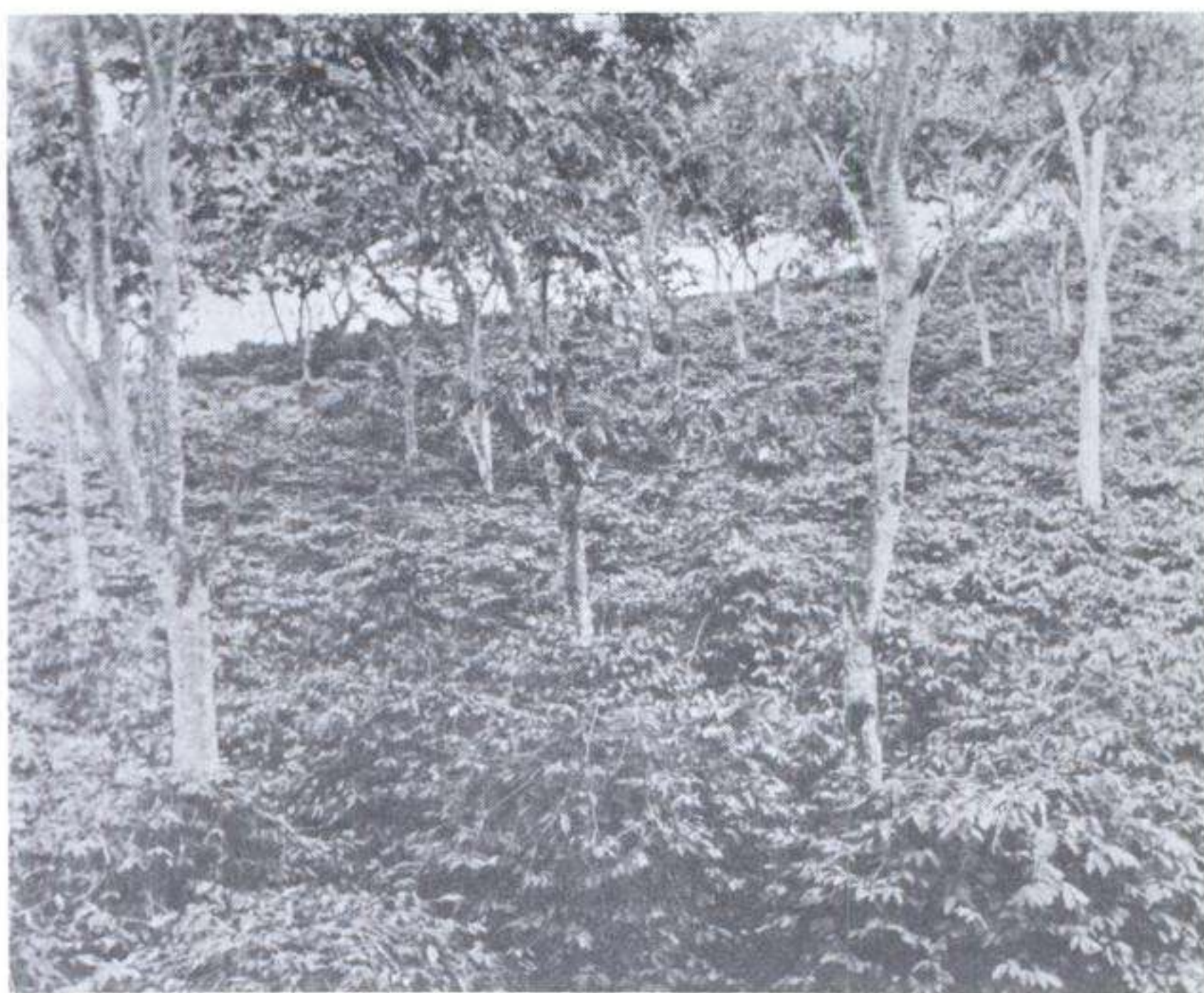


Fig. 31. Los cultivos de semibosque, como el café y el cacao, y los bosques suministran una buena protección a los suelos. (Foto Federacafé. Campaña de Suelos. Colombia).

Debe tenerse en cuenta, que la división entre dos clases consecutivas es arbitraria y que ella siempre guarda relación, tanto con las condiciones existentes en el momento de hacer la clasificación como con los métodos agrícolas utilizados normalmente en la región (3).

CARACTERISTICAS CONSIDERADAS EN LA CLASIFICACION DE LOS TERRENOS

La conservación de los suelos exige mucho más que el establecimiento de una serie de prácticas o la construcción de estructuras. Ella se conecta con el manejo integral de la finca y tiene que desarrollarse sobre un plan que permita fijar una distribución adecuada de los cultivos y un desarrollo económico de las labores de defensa, buscando siempre el establecimiento de una empresa agropecuaria próspera y estable.

Para que tal criterio pueda llevarse a la práctica, es indispensable poseer un conocimiento amplio y sistemático de las principales características físicas de los terrenos y de las condiciones de los suelos de la finca, lo cual exige ante todo el levantamiento de un plano o mapa

base de la propiedad y luego el reconocimiento y anotación en dicho mapa, de las características importantes de los suelos de cada lote.

LEVANTAMIENTO DEL PLANO O MAPA DE LA FINCA

Hay diversos procedimientos que aseguran la obtención de un dibujo aproximado de los límites de la finca y la localización de los principales accidentes físicos (corrientes de agua, zanjones, etc.) y culturales (casas, cercas, caminos, etc.) que en ella se encuentran.

En algunas regiones existen fotografías aéreas ejecutadas por institutos gubernamentales, las cuales pueden usarse con ventaja para elaborar sobre ellas los mapas de las fincas de la zona. Estas fotografías, en las cuales se presentan en escala convencional todos los detalles existentes sobre la tierra en el momento de tomarlas, permiten la rápida obtención de un buen mapa base mediante la confrontación de algunos puntos que sirven de referencia. La principal dificultad en su uso reside en la falta de relieve del mapa y en el exceso de detalles que pueden, en algunos casos, dificultar su interpretación por agricultores con poca experiencia.

Para ayudar en esa interpretación se anota aquí la forma como aparecen algunas de las principales características terrestres en las aerofotografías (Fig. 32): las corrientes de agua (ríos, quebradas, arroyos, etc.) se distinguen por su anchura y dirección variables, las cuales generalmente hacen destacar aún más las masas arbóreas que crecen a lo largo de sus orillas. En regiones cubiertas de bosques es, en ocasiones, imposible distinguir una corriente pequeña de agua en una aerofotografía. Los lagos aparecen de un color más claro o más obscuro que las zonas adyacentes; además, sus orillas aparecen definidas en forma irregular. Los bosques se distinguen como masas oscuras de contorno irregular. Las áreas cultivadas se presentan claramente diferenciadas por sus tonalidades diversas y sus límites, y se notan fácilmente las estructuras (terrazas) o fajas en contorno que en ellas se hayan establecido. Los huertos se destacan por la distancia regular; por las tonalidades de siembra y crecimiento de cada cultivo es fácil distinguir muchos de ellos. Las carreteras aparecen como líneas de color claro, de anchura uniforme y curvas bien trazadas, lo mismo que los ferrocarriles, los cuales sólo se diferencian de aquéllas por su menor anchura. Los edificios se identifican con gran facilidad y hasta puede formarse alguna idea de su tamaño consultando la escala (8).

En la Fig. 32 se presenta la sección de una fotografía aérea de una región colombiana, en la cual se pueden identificar los accidentes principales.

La brújula y la plancheta también se utilizan en forma amplia para elaborar los mapas bases de las fincas.

La brújula es un instrumento para medir ángulos. Su funcionamiento está basado en la propiedad que tiene una aguja imantada de colocarse siempre en la dirección N-S magnético; en esa forma, es posible medir el ángulo que con la aguja forman diferentes visuales lanzadas a través de un dispositivo visor (pínula o anteojo). Anotando estos ángulos y midiendo las distancias entre los puntos visados, es posible determinar la posición relativa de estaciones desde las cuales se localizan los sitios importantes de la finca (linderos, quebradas,



Fig. 32. Fotografía aérea de una región. Pueden distinguirse los siguientes detalles: 1) bosque; 2) cultivos bajo riego; 3) huertos frutales; 4) carretera; 5) ferrocarril; 6) edificios; 7) río. (Foto Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia).

casas, cercas, etc.). Para esta localización se utiliza el principio geométrico de que cualquier punto queda determinado por la intersección de dos líneas. Por ejemplo: si un objeto se mira desde dos estaciones diferentes y se dibujan las líneas correspondientes, el punto en donde esas dos líneas se encuentran indica la localización del objeto.

Cómo se levanta un plano con la plancheta o con la brújula

Antes de comenzar a levantar el plano debe decidirse el grado de exactitud que se desea. Para mapas cuyo uso principal es el de servir de base para formular un plan de conservación de suelos no es necesaria una precisión extrema. Basta medir la distancia "a pasos", para lo cual debe calibrar su paso normal la persona que va a hacer el levantamiento. Para ello puede usarse el siguiente procedimiento: se mide con un decámetro una distancia de 100 metros marcando con estacas la línea; se recorre esta distancia 10 veces, caminando en forma normal y anotando el número de pasos dados en cada ocasión se computa con esa base la longitud promedio del paso. Luego se recorre varias veces una línea de longitud desconocida, anotando el número de



Fig. 33. Brújula. Los puntos se localizan mirando en el espejo de manera que la línea de lectura (en el centro del espejo), pase por la ranura de la pínula.

pasos; se mide la longitud de la línea y nuevamente se computa la longitud del paso normal. Repitiendo estas operaciones varias veces es posible obtener una medida muy aproximada que sirva para reemplazar el uso del decámetro.

Uso de la plancheta

Las partes esenciales de la plancheta (Fig. 34) son las siguientes: una tabla de dibujo sostenida por un trípode y que puede rotar sobre su eje vertical; un dispositivo para lanzar visuales (alidada) el cual descansa sobre una regla cuya dirección es la misma de la del anteojo, y una brújula. En esta forma es posible dirigir visuales a puntos seleccionados, dibujar en un papel colocado sobre la tabla líneas que representen la dirección de esas visuales y marcar sobre esas líneas a determinada escala la distancia que hay al punto visado.

Por medio de este instrumento se pueden localizar sobre el papel todos los puntos que sea posible divisar desde el sitio en donde se coloca la plancheta. Su funcionamiento es similar al de la brújula de agrimensor, diferenciándose básicamente tan sólo en el hecho de que no se anotan ángulos y distancias en forma numérica sino que ellos se van dibujando directamente en el campo sobre un papel. A continuación se describe más en detalle la forma de elaborar un plano con la plancheta, para que el lector se forme una idea clara del sistema (5).

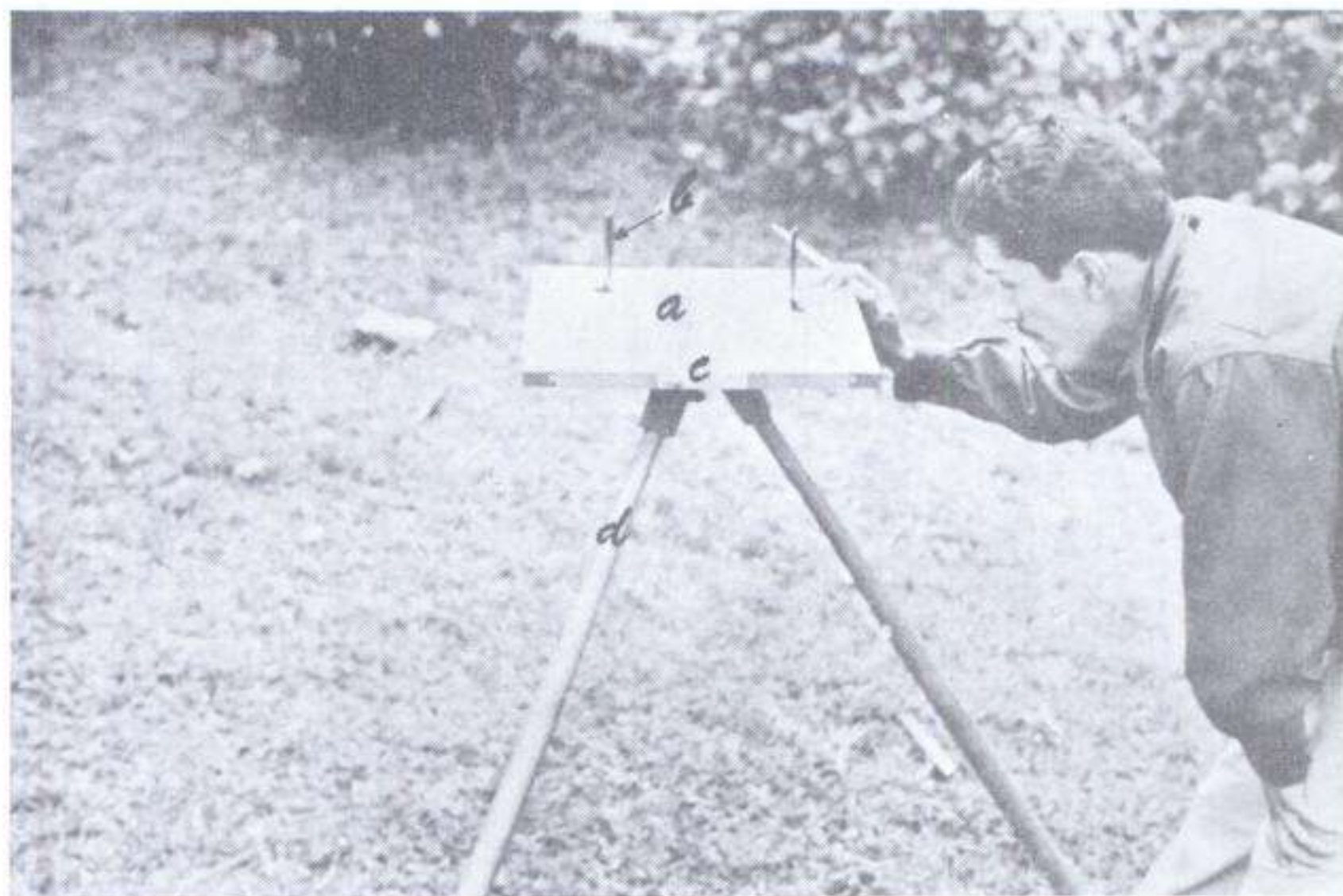


Fig. 34. Plancheta: a) tabla de dibujo; b) alidada (dispositivo para lanzar visuales); c) brújula; d) trípode.

El levantamiento con plancheta se verifica así:

- a. Se recorre el área que va a mapearse tratando de darse cuenta de la forma general de los terrenos y de los principales objetos que deben ser localizados.
- b. Se selecciona un vértice del lindero de la finca desde el cual se dominen varios puntos de orientación y desde el mismo pueda verse otro de los vértices del lindero. Este punto se denomina "estación No. 1". Sobre este punto se arma el aparato extendiendo y colocando firmemente las patas del trípode, de manera que la tabla de dibujo quede a la altura de la cintura y más o menos nivelada. Sobre esa tabla se colocará un papel de dibujo, asegurado de manera que no se mueva durante el tiempo que dure el levantamiento.
- c. Se orienta el aparato con ayuda de la brújula de manera que un lado de la tabla quede exactamente en posición Sur Norte, se fija allí firmemente la tabla de dibujo y no se mueve hasta que se hayan terminado las localizaciones en la primera estación.
- d. Se coloca la alidada cerca de un borde del papel y mirando a través de ella se mueve hasta que quede paralela a una línea de lindero de la finca; se traza una línea muy delgada sobre el papel para representarla.
- e. Se coloca un alfiler sobre esta línea en un punto que represente la localización de la estación No. 1.
- f. Se coloca el borde de la alidada contra el alfiler de manera que quede más o menos paralela a la otra línea del lindero de la finca y mirando a través de la alidada se corrige su dirección hasta que quede exactamente paralela a la línea del lindero.
- g. Se traza una línea a lo largo del borde de la alidada, a partir del alfiler que marca la estación No. 1, para representar dicho lindero.
- h. De manera similar se lanzan visuales, y se localizan por medio de líneas en el papel dos o tres objetos prominentes y separados considerablemente unos de otros, dentro de la finca, los cuales puedan usarse luego como puntos de orientación.
- i. Se mide, por medio de pasos, la distancia entre la estación No. 1 y otro vértice del lindero, aprovechando el recorrido para localizar cualquier objeto intermedio del cual se pase cerca. Se dibuja a escala la distancia así medida.

- j. Se mueve la plancheta al vértice recién localizado y desde el cual se divide tanto la estación No. 1 como otros objetos prominentes: ésta será la "estación No. 2".
- k. Se vuelve a armar la plancheta en la forma como se indicó, confrontando la orientación por medio de una visual a la estación No. 1.
- l. Se coloca un alfiler en el mapa para indicar la localización de la estación No. 2. Se lanzan visuales con ayuda de la alidada a todos los objetos prominentes visibles desde allí, incluyendo aquellos a los cuales se lanzó la visual desde la estación No. 1; en el sitio en donde se interceptan las líneas trazadas desde la estación No. 1 y las trazadas desde la estación No. 2 queda localizado el objeto respectivo sobre el mapa. Al localizar definitivamente un objeto se designa por medio de un símbolo apropiado y se borran las líneas que señalan las visuales.
- m. Se selecciona un punto conveniente para la estación No. 3 y se coloca allí el instrumento procediéndose a señalar puntos como en la estación No. 2. El sitio para la estación No. 3 debe ser un punto ya localizado sobre el mapa por la intersección de líneas trazadas desde las otras estaciones o un punto visible desde la estación anterior y al cual se haya lanzado la visual y se haya medido la distancia.
- n. Así se continúa el levantamiento a lo largo de los linderos o en puntos distribuidos en toda la extensión de la finca, localizando los detalles que se consideran importantes a medida que avanza

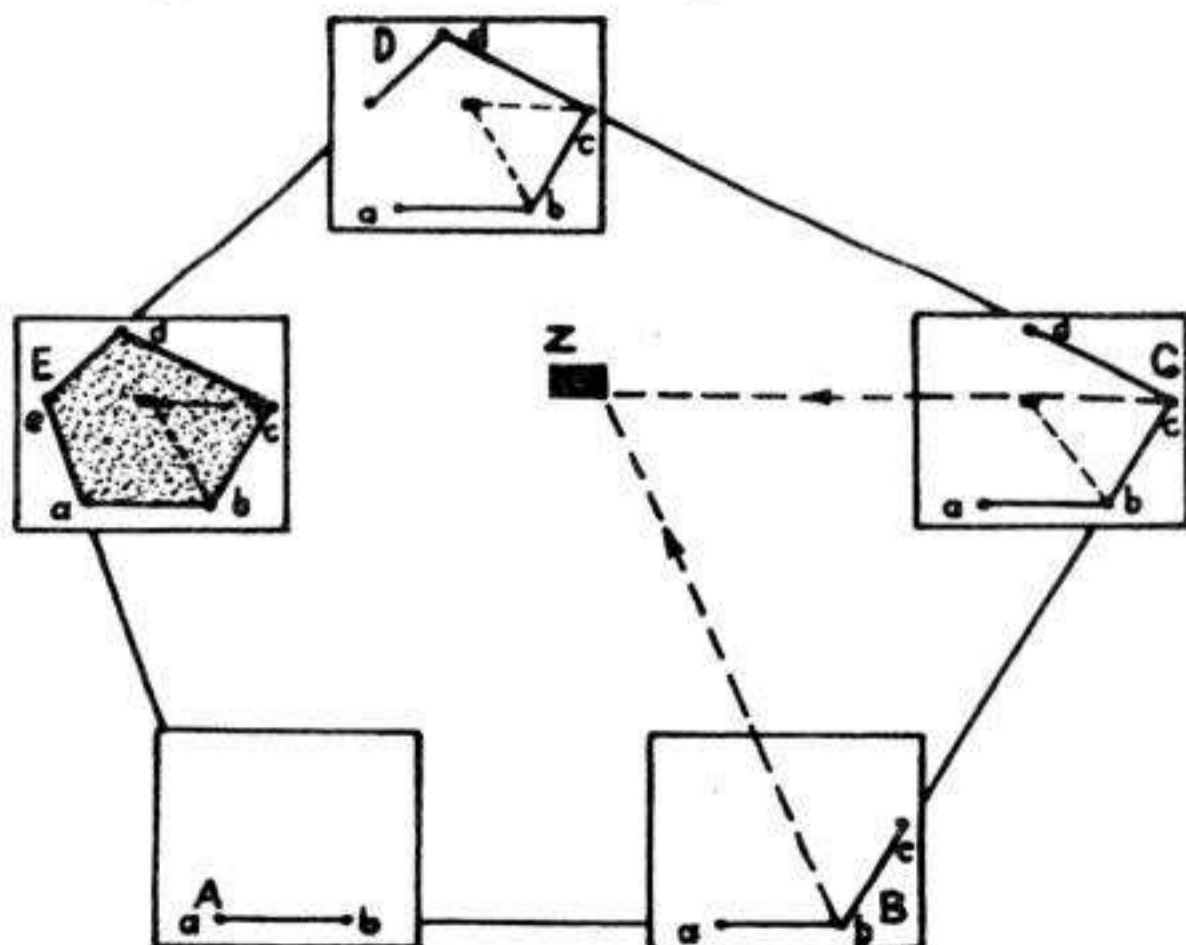


Fig. 35. Levantamiento de un mapa base con plancheta.

el trabajo. Los edificios, las cercas, las vías de drenaje, los límites de la propiedad, etc., deben marcarse en el mapa por medio de signos convencionales.

Al terminar el recorrido, se tendrá un mapa a lápiz de la finca, el cual puede repasarse con tinta.

RECONOCIMIENTO Y ANOTACION DE LAS CARACTERISTICAS IMPORTANTES DE LOS SUELOS DE LA FINCA

La identificación y el señalamiento en el mapa de las condiciones de los suelos se hace con el propósito específico de suministrar a la persona que va a ejecutar la planificación de la finca, la información necesaria sobre el suelo y su capacidad para poder fijar el uso que debe dársele a cada terreno y el tratamiento que ha de aplicársele.

Por lo tanto, tan sólo se tienen en cuenta y se anotan las variaciones en características que afecten el uso, manejo y tratamiento de cada porción del fundo. Tales variaciones se refieren principalmente a los factores internos del suelo (profundidad efectiva, textura de la capa superficial, permeabilidad, drenaje y contenido de materia orgánica) y a aquellos externos o complementarios (pendiente del terreno, grado de erosión y uso actual) que influyen en la mayor o menor susceptibilidad a la erosión.

En general se considera como información mínima que debe obtenerse la siguiente:

- a. profundidad efectiva del suelo;
- b. textura del suelo superficial;
- c. permeabilidad del suelo y del subsuelo;
- d. reacción del suelo (acidez o alcalinidad medidas en unidades de pH);
- e. contenido de materia orgánica;
- f. pendiente del terreno;
- g. grado de erosión que ha ocurrido;
- h. usos del terreno en el momento del reconocimiento.

a. Profundidad efectiva del suelo

Se refiere al espesor de las capas del suelo en donde las raíces de las plantas pueden penetrar fácilmente en busca de agua y de nutrientes. Es la capa más favorable para el crecimiento de las raíces y para el almacenamiento de agua utilizable, y está limitada por la parte inferior por una capa de características físicas y químicas capaces de impedir o de retardar en forma considerable el crecimiento de las raíces. Ejemplos de esta capa limitante de la profundidad efectiva son: arcillas de gran dureza (**clay pan**), capas de material consolidado

proveniente de sedimentaciones químicas (**hard pan**) o formadas por el uso inadecuado de instrumentos de labranza (**plow sole**), gravas o rocas. Como puede apreciarse, la profundidad efectiva es diferente a los espesores de los distintos horizontes del suelo de que se habló en el Capítulo 1. Envuelve un significado utilitario, pues se conecta directamente con el drenaje, la facilidad de cultivo, la capacidad de almacenar agua, la resistencia a la erosión y el ambiente apropiado para el fácil desarrollo de las raíces.

Su interés se comprende fácilmente: un terreno con poca profundidad efectiva tiene escasa capacidad de saturación de agua y nutrientes y reducido espacio en la zona donde crecen las raíces. En tales circunstancias es más fácil que ellas sufran por falta de esos elementos. Al mismo tiempo la profundidad efectiva determina en muchos casos la posibilidad de construir obras de defensa de suelos. Las terrazas, por ejemplo, pueden ser inconvenientes en un terreno demasiado superficial.

En general, se aceptan cuatro grados de **profundidad efectiva**, los cuales se describen con los términos de:

- 1) terreno profundo, con más de 90 cm de espesor efectivo;
- 2) terreno medianamente profundo, con 50 a 90 cm de espesor efectivo;
- 3) terreno superficial, con 25 a 50 cm de espesor efectivo;
- 4) terreno muy superficial, con menos de 25 cm de espesor efectivo.

La profundidad efectiva se determina cavando con una pala y observando las características del suelo a diferentes profundidades. La presencia de capas que manifiestamente impiden o pueden impedir el crecimiento de las raíces de las plantas, es el único criterio para fijar la profundidad efectiva. En pocos casos es necesario prolongar la investigación a profundidades mayores de 1 m. En ocasiones, en cambio, es necesario hacer subdivisiones de los cuatro grados enumerados cuando se considera que ello está justificado por la clase de cultivo que piensa establecerse o las prácticas que van a ejecutarse (1, 2).

b. Textura del suelo superficial

Se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla que existe en el horizonte A. Esta característica se relaciona estrechamente con la facilidad de trabajar los terrenos y con su resistencia a la erosión (véase Capítulo 1). En el laboratorio se determina la textura por medio de análisis mecánicos, que separan los distintos tamaños de las partículas del suelo y cuya descripción se sale de los límites de este trabajo. En el campo se usan procedimientos aproximados, que permiten separar grupos texturales con aceptable exactitud. El sistema

más utilizado es el siguiente: se humedece un pedazo de suelo y se amasa entre los dedos hasta que forme una bola blanda. Luego se comprime entre el pulgar y el índice, resbalando el primero sobre el segundo. La sensación que se experimenta, la lisura o arenosidad, la facilidad para formar una bola y la firmeza de ésta, lo mismo que la formación de una cinta al resbalar el pedazo de suelo entre el pulgar y el índice, o su desmenuzamiento o rizamiento, indican aproximadamente la clase de textura.

Las texturas que se separan son las siguientes:

- 1) **Arenoso franco:** el suelo es áspero al tacto; cuando está húmedo forma bolas que se desmenuzan fácilmente; mancha ligeramente los dedos.
- 2) **Franco arenoso:** el suelo es medianamente áspero. Si se comprime cuando está seco forma un terrón que se desmenuza fácilmente; cuando el terrón está húmedo es un poco más difícil de desintegrar. Mancha los dedos.
- 3) **Franco:** suelo ni muy áspero ni muy suave; ligeramente plástico. Con humedad adecuada forma bolas regularmente resistentes. Mancha los dedos y no forma cinta. Los terrenos secos se desmenuzan con facilidad.
- 4) **Franco limoso:** cuando está seco pueden notarse terrones en el suelo, pero se desmenuzan fácilmente. Pulverizado entre los dedos, se nota suave y harinoso. Cuando se amasa húmedo produce una sensación suave y lisa como de mantequilla y forma bolas que se pueden manipular sin que se rompan. Tiene una ligera tendencia a formar cinta con superficie rizada.
- 5) **Franco arcilloso:** cuando está seco forma terrones de regular dureza y estando húmedo es pegajoso. Humedecido y amasado es plástico y forma bloques o bolas bastante resistentes al manipulado. Al comprimirlo forma cinta que se rompe fácilmente.
- 6) **Arcilloso:** cuando está seco forma terrones duros difíciles de romper con los dedos. Cuando se halla húmedo es muy pegajoso. Al frotarlo entre los dedos forma cinta delgada y resistente de varios centímetros de longitud (2).

Estas clases texturales así determinadas en el campo, pueden agruparse con el objeto de simplificar su evaluación, en la forma como se describe en el Cuadro 16.

Cuando la textura está afectada por la presencia de fragmentos de rocas o gravas, hay necesidad de tener en cuenta esta condición, la cual puede interferir las labores culturales.

CUADRO No. 16. Grupos texturales.

Grupo	Texturas que incluye
Suelo muy pesado	Arcillosos (con más del 40% de arcilla)
Suelo pesado	Arcillo-limosos y arcillo-arenosos
Suelo moderadamente pesado	Franco arcillo-limoso, franco arcilloso y franco arcillo arenoso
Mediano	Francolimoso, franco, franco arenoso fino
Moderadamente liviano	Franco arenoso
Liviano	Arenoso franco
Muy liviano	Arenoso, arenoso grueso

c. Permeabilidad del suelo y del subsuelo

Es la capacidad del suelo para transmitir agua y aire. Se refiere al drenaje interno del terreno y puede expresarse en forma cuantitativa en unidades de agua que pasan a través de una sección transversal del suelo saturado, de diámetro convencional y en un tiempo tomado también como unidad. Expresa, por lo tanto, la facilidad que existe dentro del perfil para el movimiento del agua.

Lo más importante es determinar la permeabilidad de la capa menos permeable en la parte del perfil incluido en la profundidad efectiva.

La parte superficial del suelo sufre con frecuencia disminuciones grandes en su permeabilidad ocasionadas por el fenómeno de desprendimiento y deposición de partículas coloidales que las lluvias originan en terrenos desnudos. En muchos casos la condición de los dos o tres primeros centímetros de suelo fija la situación del perfil en relación con la penetración del agua. Si en ellos existe una costra compacta, no tiene importancia que las capas subyacentes sean muy permeables, pues la costra obrará como una membrana impermeable que obligará al agua a correr sobre la superficie del terreno.

Sin embargo, como ésta es una condición fácilmente corregible a través del buen manejo, se debe prestar más atención en el estudio de los terrenos de la finca a la permeabilidad del subsuelo y del substrato, pues ellas no son fácilmente remediabiles.

En general, pueden distinguirse los siguientes grados de permeabilidad:

- 1) **Permeabilidad muy lenta:** es propia de suelos con horizontes endurecidos de arcilla (clay pan), de arena o de arena y grava. Estos suelos se rompen y agrietan cuando están secos y estando húmedos son pegajosos; poseen una estructura masiva y presentan moteamientos de colores rojizos y amarillos. Cuando la capa

indurada está constituida por arena, es difícil romperla con un instrumento metálico, pero al desprender un terrón puede luego desmenuzarse sin mayor esfuerzo.

- 2) **Permeabilidad lenta:** se presenta en suelos que también poseen capas induradas, pero de material un tanto diferente con buena proporción de limos, lo cual disminuye su dureza. También se presentan moteamientos o coloraciones grisáceas en el perfil.
- 3) **Permeabilidad mediana:** es característica de suelos francos con contenido por lo menos mediano de materia orgánica. El color es generalmente claro y no presenta moteamiento, lo cual indica que hay buena circulación de aire y de agua.
- 4) **Permeabilidad rápida:** está asociada con texturas ligeras. Se nota siempre una gran cantidad de espacios porosos y color claro, aun en suelos en los cuales el nivel freático sea alto. Debe tenerse en cuenta que la textura que se menciona en estos casos se refiere a la capa del perfil cuya permeabilidad se esté determinando y no a la del suelo superficial.

d. Reacción del suelo (acidez o alcalinidad medidas en unidades de pH)

Se refiere al grado de alcalinidad o acidez de los horizontes del suelo. Se mide en unidades de pH y pueden distinguirse por lo menos tres condiciones:

- 1) acida, con pH menor de 6,5;
- 2) neutra, con pH entre 6,6 y 7,2;
- 3) alcalina, con pH mayor de 7,3.

La acidez del terreno determina en muchos casos las plantas que en él se pueden cultivar o el tratamiento que es necesario aplicar. Las leguminosas, por ejemplo, son poco resistentes a condiciones de acidez, en tanto que el cafeto es, por el contrario, muy poco resistente a condiciones de alcalinidad.

La acidez del suelo tiene también una relación muy importante con la facilidad de absorción, por parte de las plantas, de los diversos nutrimentos como puede verse en la Fig. 36, en la cual se expresa la reacción en unidades de pH.

El punto central del gráfico, o sea pH 7, representa la neutralidad, mientras que hacia la izquierda aumenta progresivamente la acidez y hacia la derecha la alcalinidad.

La influencia de la acidez sobre la disponibilidad de cada nutrimento se expresa por el ancho de la banda correspondiente a cada

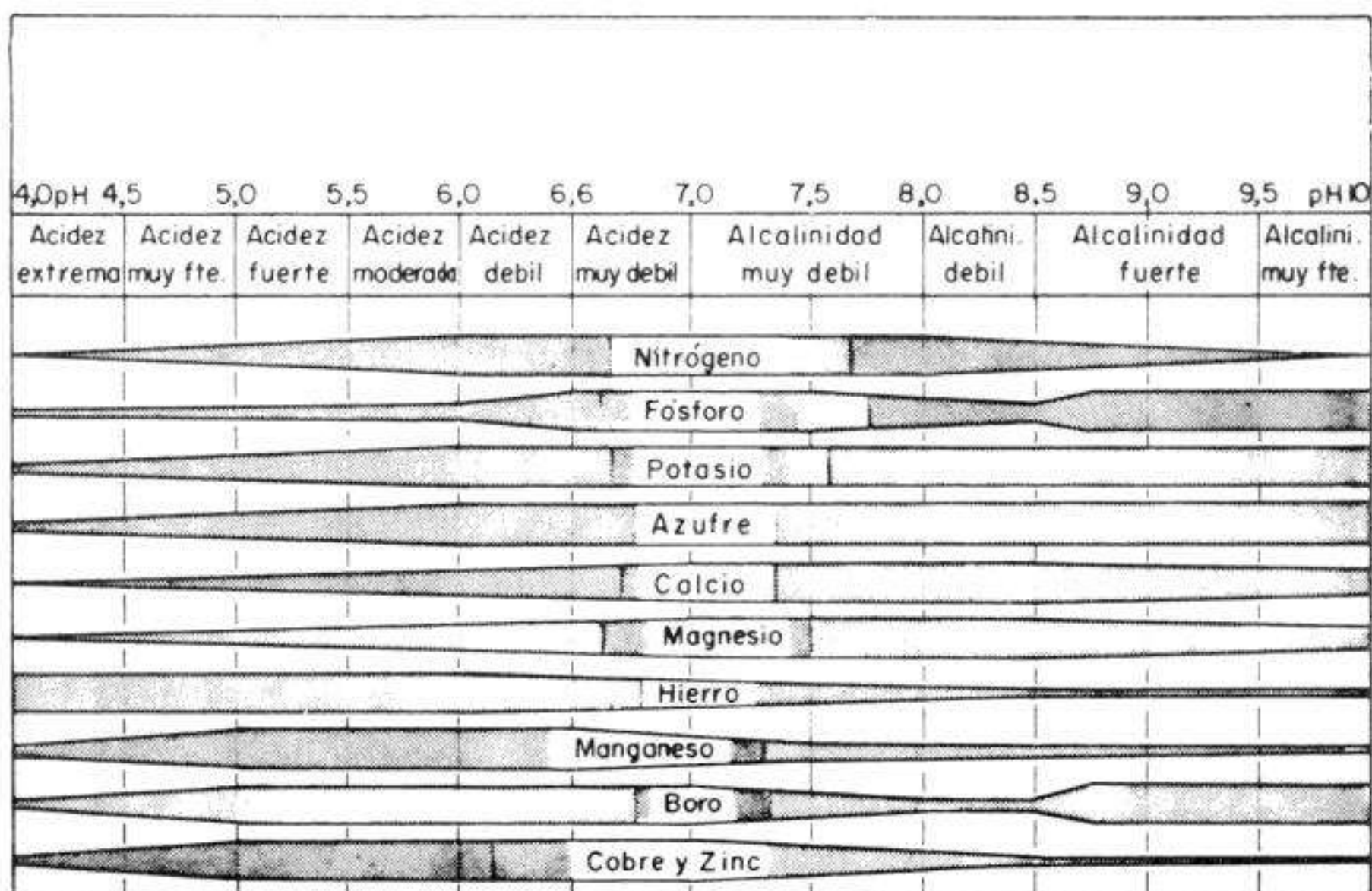


Fig. 36. Influencia de la reacción del suelo sobre la disponibilidad de los elementos nutritivos de las plantas. (Según Truog (7)).

elemento. A medida que esta banda es más ancha mayor es la disponibilidad del elemento a ese pH. Por consiguiente, para la disponibilidad del nitrógeno, la reacción más favorable fluctúa entre 6 y 8. Esto tan sólo quiere decir que entre esos límites de pH del suelo se encuentran las condiciones más propicias para el aprovechamiento de ese elemento por las plantas.

En el caso del fósforo se ve en el gráfico que el pH más favorable varía entre 6,5 y 7,5. Cuando la alcalinidad sobrepasa el pH de 8,5 se presenta una tendencia a la formación de fosfato de sodio, el cual es muy soluble y muy fácil de utilizar por las plantas.

Para el aprovechamiento del potasio, el calcio y el magnesio son desfavorables las condiciones de acidez pronunciada. En el caso del manganeso, con un pH menor de 7 se presenta en forma manganesosa (es decir manganeso divalente) siendo fácilmente utilizable, pues reacciona con el ácido carbónico formando bicarbonato soluble; cuando la condición en el suelo es alcalina, se oxida fácilmente el manganeso hasta formas tetravalentes, especialmente MnO_2 , insolubles en ácido carbónico y, por lo tanto, muy poco aprovechables por las plantas. Como el oxígeno participa en la reacción es de esperar que una aireación excesiva del suelo favorezca esa reacción de manera que con un pH alto y una aireación excesiva ocurren las mayores deficiencias de manganeso aprovechable. En tales condiciones, es en

los suelos ligeros, de textura liviana, en los que con mayor frecuencia ocurren deficiencias de ese elemento.

La influencia de la reacción sobre la disponibilidad del hierro es similar a la del manganeso. El hierro en el estado ferroso, que ocurre en suelos con pH menor de 6,5, es fácilmente soluble en ácido carbónico; no así en el estado férrico que se presenta en condiciones alcalinas.

El boro, elemento que necesitan las plantas en muy pequeñas cantidades, puede llegar a ser poco aprovechable a un pH mayor de 7.

El cobre y el zinc, que también se requieren en cantidades reducidas, pueden llegar a ser inaprovechables bajo condiciones alcalinas o fuertemente ácidas (7).

Existen en el mercado equipos colorimétricos para la determinación del pH, cuyo uso sencillo capacita al agricultor o al agrónomo para formarse rápidamente una idea bastante aceptable de las condiciones de acidez de los terrenos.

e. Contenido de materia orgánica

La materia orgánica influye en la resistencia de los suelos a la erosión. Es, por lo tanto, necesario tener una idea siquiera aproximada del nivel de ese importante material en el suelo. Bajo condiciones de campo es imposible hacer una determinación directa de materia orgánica y sólo pueden observarse indicios tales como el color y la esponjosidad del suelo que sirven como índice de su contenido. Por la imposibilidad de hacer divisiones muy precisas se aceptan tan sólo tres grados, los cuales se clasifican como contenido alto, mediano y bajo.

f. Pendiente del terreno

Ya se trató sobre la influencia de esta característica física sobre la erosión.

Es de importancia tenerla en cuenta separando áreas con pendientes diferentes. En cada región es variable la amplitud que puede dársele a los grados de pendiente que se toman como significativos. En la zona tropical, por ejemplo, dedicada al cultivo del café y con suelos muy quebrados, ricos en materia orgánica y resistentes a la erosión, se ha comprobado que la división que se presenta en el Cuadro 17 es adecuada.

Esta clasificación de pendiente es inapropiada para terrenos en regiones onduladas o poco pendientes, en zonas irrigables o en climas templados con suelos de poco contenido de materia orgánica y escasa resistencia a la erosión.

Norton propone que se utilicen las unidades fisiográficas de significación como base para la separación de los grupos mayores de pendiente. Así, se usarían límites diferentes para suelos planos aluviales,

CUADRO No. 17. Grupos de pendiente.

Grupo	Límites de pendiente	Términos descriptivos
1	de 0 a 6%	Terreno plano o casi plano
2	de 6 a 20%	Terreno de pendiente suave
3	de 20 a 35%	Terreno de pendiente mediana
4	de 35 a 50%	Terreno de pendiente fuerte
5	de 50 a 75%	Terreno escarpado
6	de 75% en adelante	Terreno muy escarpado

terrenos ondulados y terrenos montañosos. Además, podrían necesitarse varias divisiones en cada unidad fisiográfica si en ellas existieran diversos tipos de suelo (6).

Por ejemplo, para suelos con "clay pan" podrían usarse los siguientes grupos:

CUADRO No. 18. Grupos de pendiente para terrenos con "Clay pan".

Grupo	Límites de pendiente
1	menor del 1%
2	entre 1 y 4%
3	entre 4 y 7%
4	entre 7 y 12%
5	mayor del 12%

En terrenos permeables, con subsuelo poroso, podrían ser así los grupos de pendiente:

CUADRO No. 19. Grupos de pendiente para terrenos con buen drenaje.

Grupo	Límites de pendiente
1	menor del 5%
2	entre 5 y 10%
3	entre 10 y 15%
4	entre 15 y 20%
5	mayor del 20%

El método más exacto de reconocer pendientes sería el de hacer un mapa topográfico con intervalos de pocos centímetros. Este sistema es, sin embargo, poco práctico en conexión con la planificación de fincas y, por lo tanto, lo mejor es recurrir a grupos de pendiente como los que se han delineado.

El porcentaje de pendiente no es otra cosa que el número de metros de caída en 100 m horizontales. De manera que si se utiliza una vara colocada horizontalmente (con ayuda de un nivel) en dirección de la pendiente, basta medir la distancia en centímetros del extremo de la vara al suelo y dividir esta cifra por la longitud de la vara en metros para tener el porcentaje de pendiente.

Se logra una medida más exacta usando el nivel Abney que más adelante se describirá.

g. Grado de erosión

Se refiere al daño visible causado a los terrenos por la erosión acelerada. El propósito perseguido al tener en cuenta este factor es el de disponer por una parte de un cálculo cuantitativo de los cambios que han ocurrido y por otra, un indicio de los daños sufridos y de los que pueden esperarse en el futuro. Se muestra, además, lo que aún queda del suelo productivo.

La erosión laminar, o sea, el arrastre de suelo en capas uniformes, es menos notoria en sus primeros estados que la erosión en cárcavas y canales. Es, sin embargo, la más frecuente. Para calcular el grado de erosión hay que apelar a indicios tales como la aparición de "manchas raspadas" sobre la superficie de los terrenos en las cuales aflora el subsuelo, la acumulación en el pie de las pendientes de material recientemente removido, la presencia de sedimentos en las vías de desagüe y el propio adelgazamiento del suelo superficial. El grado de erosión se clasifica en la siguiente forma:

- 1) ninguna erosión o erosión muy leve: cuando se ha perdido menos del 25% del horizonte A;
- 2) erosión moderada: cuando se ha perdido entre el 25 y el 75% del horizonte A;
- 3) erosión severa: cuando ya se ha destruido más del 75% del horizonte A y hasta el 25% del horizonte B;
- 4) erosión muy severa: cuando se ha perdido todo el horizonte A y entre el 25 y el 75% del horizonte B.

Además, deben tenerse en cuenta las cárcavas o canalones del tamaño y profundidad tales que impiden el paso de maquinaria agrícola,

delimitando separadamente aquellas áreas en donde se encuentre suficiente número de cárcavas para exigir un tratamiento especial (9).

h. Uso actual de los terrenos

Como base para verificar una racional distribución de los cultivos en la finca, es necesario anotar la ocupación de cada lote en el momento del reconocimiento. Bastará separar: a) aquellas secciones sembradas con cultivos anuales que exigen labores culturales intensivas tales como el maíz, la patata, el tabaco, el algodón o el frijol; b) las ocupadas con cultivos densos, como el trigo, la cebada o el centeno, los cuales exigen una preparación anual del terreno pero a la vez forman una buena cubierta durante su período vegetativo; c) aquellas otras con cultivos de larga duración que sólo necesitan preparación del terreno con intervalos de muchos años y labores culturales moderadas, en cuanto remueven poco el suelo, tales como la caña de azúcar, los pastos de corte o forrajes; d) las ocupadas con cultivos perennes, como huertos frutales, plataneras, cafetales, cacaoales, etc.; e) los potreros o tierras de pastoreo; f) las destinadas a fines no agropecuarios (vida silvestre, rastrojo, etc.), y por último, g) los bosques.

COMO DEBEN ANOTARSE Y ORDENARSE LAS OBSERVACIONES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS TERRENOS DE LA FINCA

Todos los datos mencionados anteriormente deben quedar claramente anotados en el plano de la finca.

El agricultor o el reconocedor recorre cuidadosamente toda el área provisto de un barreno o de una pala, para hacer excavaciones cada vez que juzgue necesario examinar en detalle las características internas del suelo, y de un nivel Abney o de una vara de longitud conocida y un nivel de carpintero, que le permita hacer las determinaciones de pendiente. Cada vez que encuentre que una de las características importantes varía en grado significativo hará la anotación sobre el mapa, tratando en todos los casos de indicar los límites del área que exhibe cada conjunto de condiciones.

Para facilitar la anotación, es prudente recurrir a símbolos para los diferentes factores del reconocimiento. Un sistema de notación utilizado en algunos países latinoamericanos, es el numérico; en él, cada grado de cada una de las características se distingue por un número, conservando siempre la misma posición relativa en un quebrado, de manera que es muy fácil, con un poco de práctica, visualizar rápidamente las condiciones de un terreno con sólo leer los números del numerador y el denominador.

El el Cuadro 20 se presenta un ejemplo de una notación de esta clase.

CUADRO No. 20. Sistema de símbolos numéricos para los factores del reconocimiento.

Símbolo	Profundidad efectiva	Textura	Permeabilidad	Contenido de materia orgánica	Pendiente del terreno	Grado de erosión
1	Profundo	Muy pesada	Muy lenta	Alto	Terreno plano o casi plano	Muy leve
2	Medianamente profundo	Pesada	Lenta	Regular	Suave	Moderado
3	Superficial	Moderadamente pesada	Mediana	Bajo	Mediana	Severo
4	Muy superficial	Mediana	Rápida		Fuerte	Muy severo
5		Moderadamente liviana			Terreno escarpado	
6		Liviana			Muy escarpado	
7		Muy liviana				
		NUMERADOR DEL QUEBRADO			DENOMINADOR DEL QUEBRADO	

Por ejemplo: el quebrado $\frac{2441}{32}$ indica que el terreno es medianamente profundo (2) (de 50 a 90 cm de espesor efectivo), de textura mediana (4) (franco limoso o franco arenoso fino), permeabilidad rápida (4), contenido alto de materia orgánica (1), pendiente mediana (3), que ha sufrido una erosión moderada (2). El quebrado $\frac{1643}{43}$ indica que el terreno es **profundo** (1) (es decir, con más de 90 cm de profundidad efectiva), de textura liviana (6) (o sea arenoso franco), de permeabilidad rápida (4) con bajo contenido de materia orgánica (3), de pendiente fuerte (4) y que ha sufrido erosión severa (3) (que ya se ha destruido más del 75% del horizonte A).

El pH del suelo y el uso del terreno se acostumbran anotar en forma independiente del quebrado. El primero, anotando las letras pH seguidas por el valor que se haya determinado, y el segundo mediante símbolos convencionales.

En la Fig. 37 se representa el mapa de una finca, levantado con plancheta, en el cual ya se han anotado por medio de símbolos las características de los terrenos.

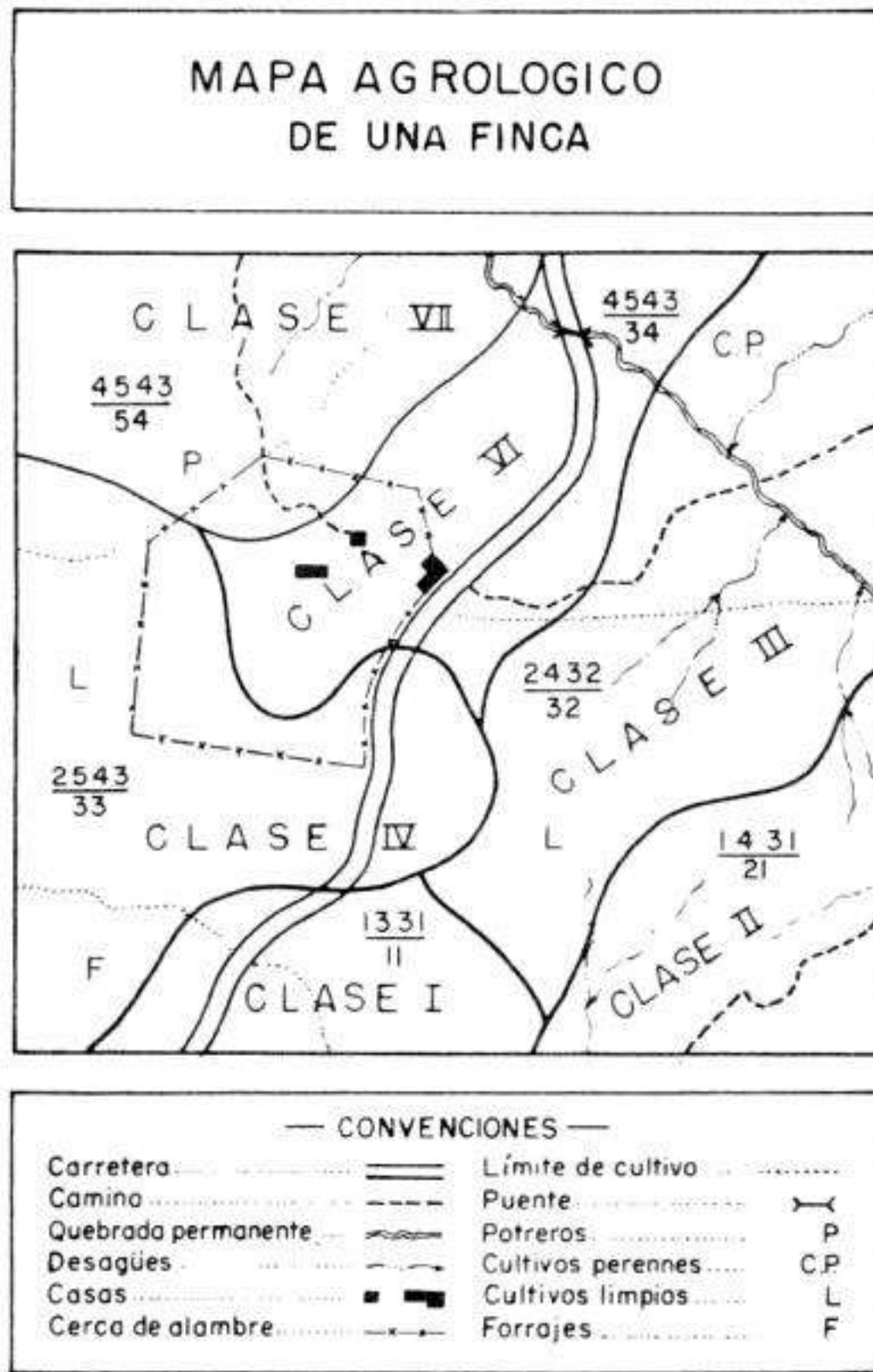


Fig. 37. Mapa agrológico de una finca.

CLASIFICACION AGROLOGICA

Toda esta información es útil en cuanto sirve para aclarar la capacidad de uso que tiene cada terreno y sus necesidades de manejo. Por tal motivo es necesario, basándose en tales datos, hacer una agrupación de los terrenos de la finca en clases con capacidades de uso similares; éstas son las llamadas **clases agrológicas**, las cuales sirven para ordenar la selección de alternativas de uso y de manejo que mejor se adapten a las características de cada porción de la finca.

Los terrenos de cualquier finca pueden dividirse en tres grupos:

- 1) terrenos apropiados para establecer en ellos cultivos anuales que exigen escardas periódicas (cultivos limpios);
- 2) terrenos apropiados para establecer en ellos vegetación permanente (potreros, cafetales, bosques, etc.);

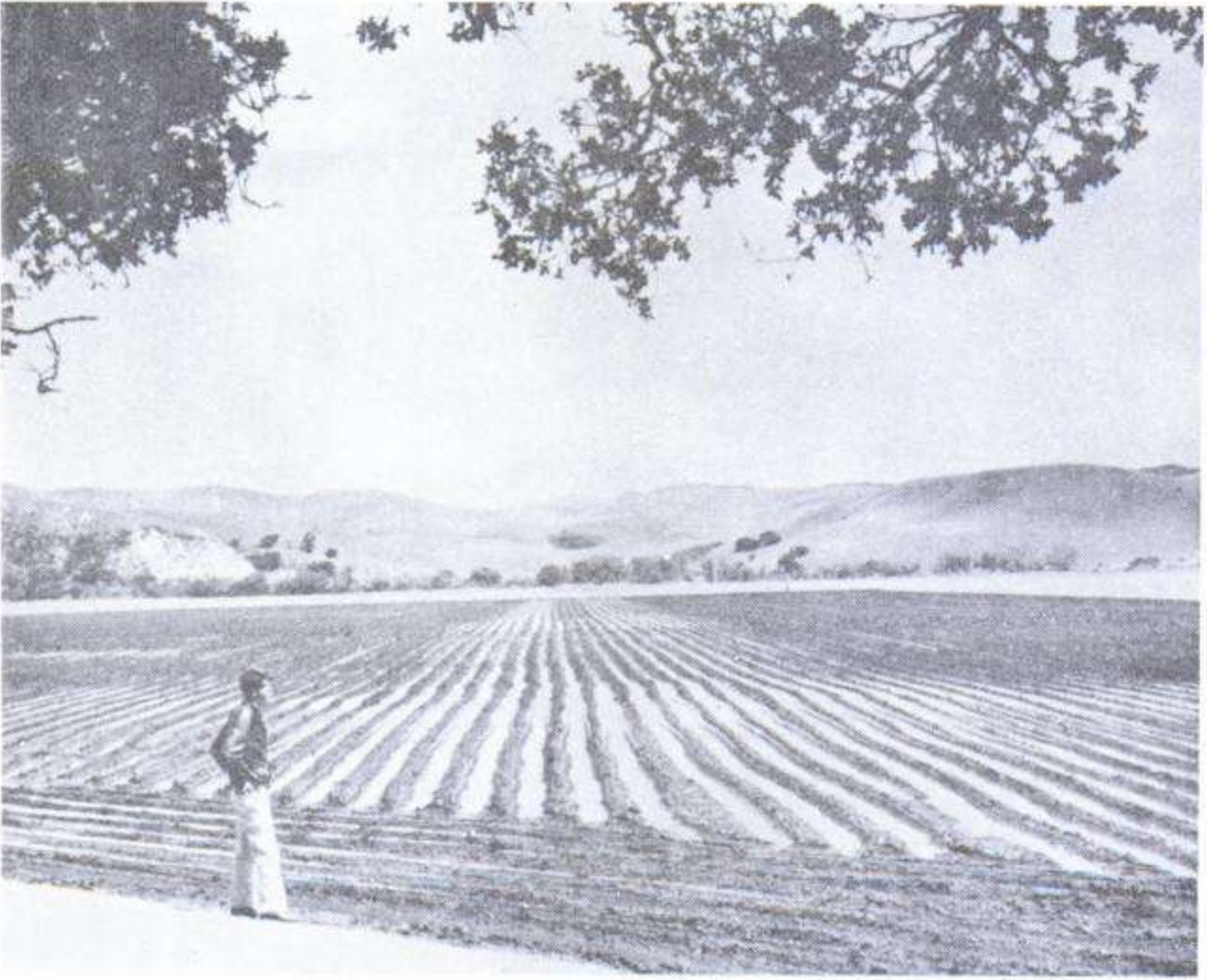


Fig. 38. Terrenos de la clase I bajo irrigación. Por sus características pueden utilizarse para la siembra continua de cultivos que exigen escardas periódicas, sin necesidad de aplicar prácticas especiales de conservación de suelos. Las prácticas de buen manejo necesarias, incluyen la adecuada y cuidadosa aplicación del riego. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

3) terrenos inapropiados para cualquier utilización agropecuaria.

Primer grupo: terrenos apropiados para establecer en ellos cultivos anuales que exigen escardas periódicas (cultivos limpios); comprende aquellos terrenos trabajables con maquinaria de tracción mecánica o animal, poco pendientes y de suficiente fertilidad para permitir el crecimiento por lo menos moderado de vegetación. Incluye cuatro clases, las cuales se distinguen con los números I, II, III y IV, según sea la intensidad de prácticas que exijan para su defensa (3).

Clase I. Terrenos apropiados para cultivos limpios continuos, mediante el uso de métodos comunes de buen manejo. No necesitan prácticas especiales de conservación de suelos.

En general son terrenos de pendiente muy suave, fáciles de trabajar y con suelo profundo. Su productividad es por lo menos moderada, es decir, suficiente para permitir el crecimiento de la vegetación nece-

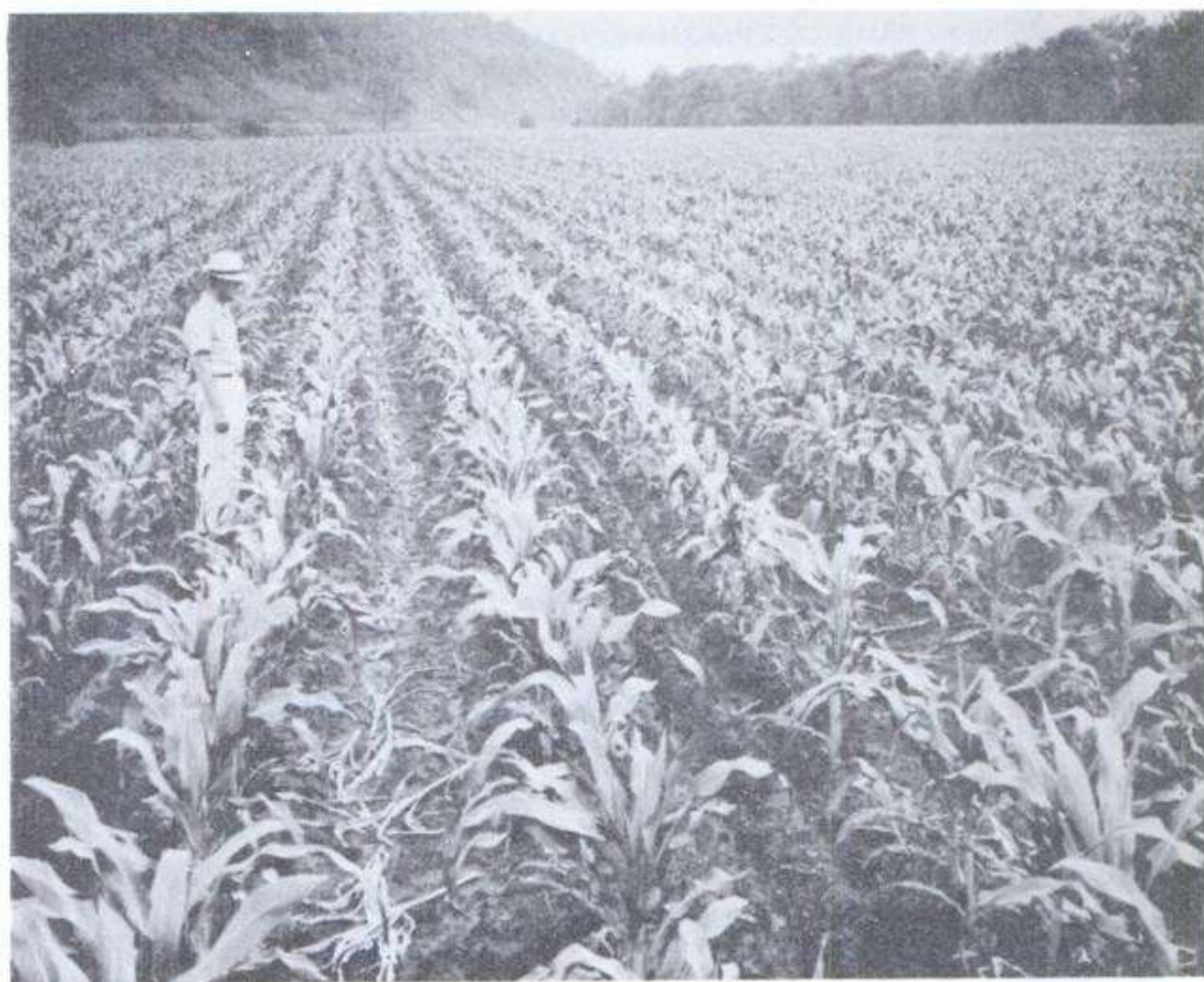


Fig. 39. Terrenos de la clase I sembrados de maíz. Las prácticas de buen manejo necesarias en este caso incluyen la aplicación de fertilizantes y el uso de rotaciones. No exigen prácticas especiales de conservación de suelo. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

saría para estar protegidos del agua o del viento; están por lo tanto expuestos a muy poca erosión. Gozan además de buen drenaje y no están sujetos a inundaciones.

En aquellas regiones en las cuales prevalece la erosión eólica, o sea la erosión causada por el viento, la clase I es de ocurrencia muy limitada.

Cuando estos terrenos se mantienen en cultivo continuo, necesitan prácticas que conserven su fertilidad y mantengan su estructura, tales como la aplicación de fertilizantes, abonos orgánicos y cal, y el establecimiento de rotaciones de cosechas con la inclusión de plantas usadas como abonos verdes.

Clase II. Terrenos apropiados para cultivos limpios continuos mediante el uso de prácticas sencillas de conservación de suelos.

De pendiente moderada, mediana profundidad del horizonte A, productividad por lo menos moderada, expuestos a una moderada erosión por el agua o por el viento. Estos terrenos pueden cultivarse permanentemente sin sufrir daño alguno mediante el uso de las prác-



Fig. 40. Terrenos de la clase II. Para su utilización segura con cultivos de escardas (cultivos limpios) tan sólo exigen la aplicación de prácticas sencillas de conservación de suelos, tales como la siembra en contorno y el desvío de aguas. Por el centro del terreno se ve un desagüe protegido con vegetación. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

ticas anotadas en la clase anterior y algunas adicionales, tales como cultivo en contorno, cultivo en fajas, fajas amortiguadoras, barreras vivas y desvíos de agua.

Si las prácticas de manejo anotadas en la clase I no son de utilización normal en la zona, los terrenos que las exigen quedarán también incluidos en la clase II.

Clase III. Terrenos apropiados para cultivos limpios continuos, mediante el uso de prácticas intensas de conservación de suelos.

De mediana pendiente, mediana o poca profundidad, productividad por lo menos moderada y gran susceptibilidad a erosión severa. Las prácticas que se aplican en las clases anteriormente descritas, se utilizan también en estos terrenos, pero en forma más intensa. Por ejemplo: las rotaciones deberán incluir períodos largos de plantas de crecimiento denso y de plantas de cobertura; las fajas en contorno tendrán que establecerse con menos anchura y las barreras vivas menos distanciadas. Además, en muchos casos será necesario combinar

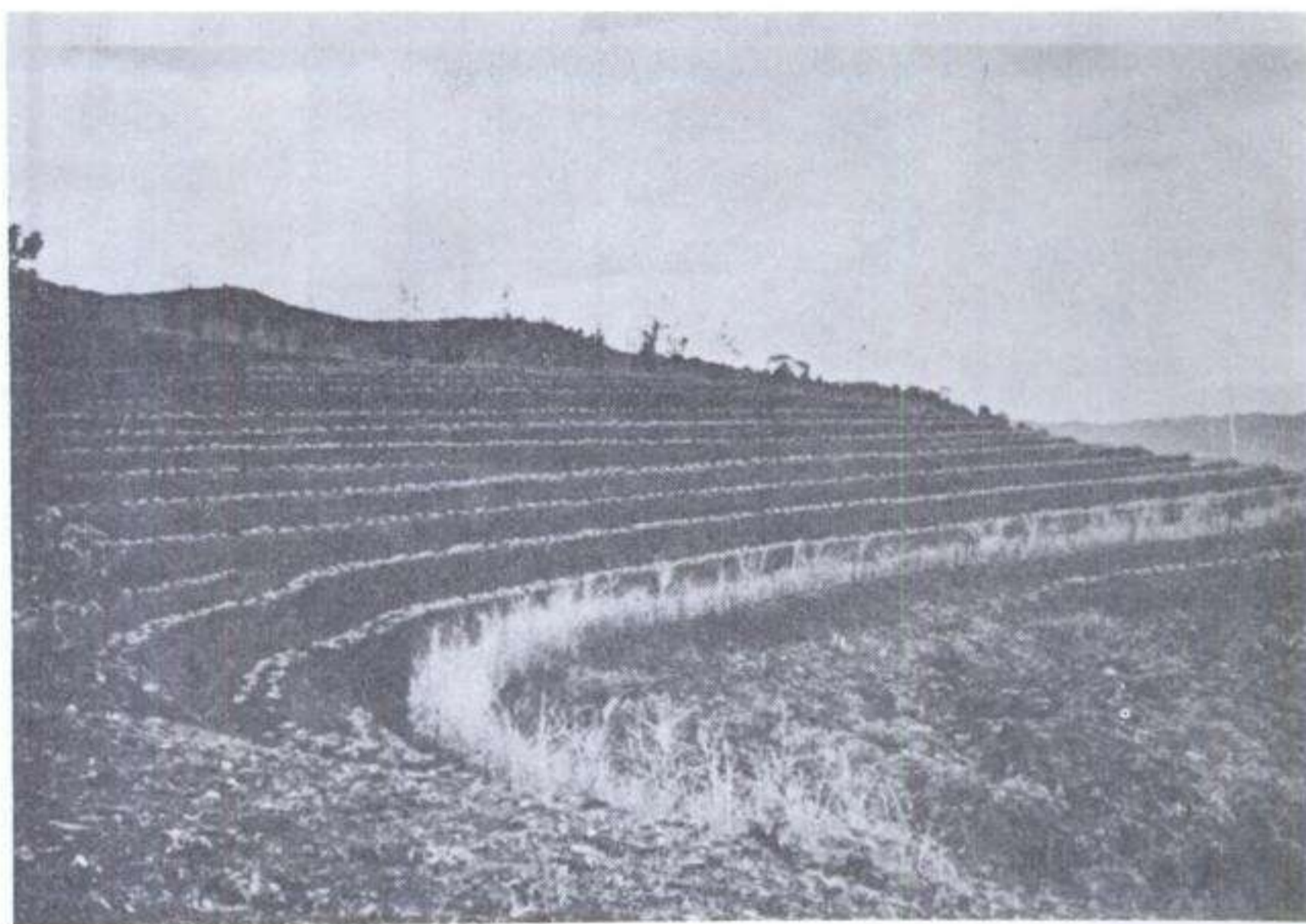


Fig. 41. Terrenos de clase III. Su utilización continua con cultivos limpios exige la aplicación de prácticas intensivas de conservación de suelos tales como terrazas, bancales, etc.

varias prácticas e incluso utilizar algunas más complejas, como las terrazas, los bancales, etc.

Clase IV. Terrenos apropiados para cultivos limpios ocasionales mediante el uso de prácticas intensivas de conservación de suelos.

Su pendiente varía entre mediana y fuerte con horizonte A delgado o medianamente profundo, condiciones físicas desfavorables para la retención de humedad, productividad por lo menos moderada, y tan alta susceptibilidad a la erosión severa que sólo pueden defenderse económicamente manteniéndolos con vegetación de carácter permanente, excepto por cortos períodos en los cuales pueden sembrarse cultivos limpios, acudiendo al uso de prácticas intensivas de conservación de suelos.

Esta es una clase de transición entre las apropiadas para cultivo limpio y las apropiadas para vegetación permanente.

Segundo grupo: terrenos apropiados para establecer en ellos vegetación permanente (potreros, cafetales, bosques, etc.); comprende tres clases que se distinguen con los números V, VI y VII.

Clase V. Terrenos impropios para cultivos limpios pero utilizables para vegetación permanente (potrero, bosque o plantación de semi-bosque) con muy pocas limitaciones para este uso y sin prácticas especiales de conservación.



Fig. 42. Terrenos de la clase IV. Por sus características (pendiente, grado de erosión, etc.) no permiten sino la siembra ocasional de cultivos limpios combinándola con prácticas muy intensas de conservación. En general, para defenderlos económicamente deben mantenerse con vegetación permanente y sólo roturarlos con intervalos de varios años. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

Tiene poca pendiente y no están sujetos a erosión apreciable. Los cultivos de escarda o cultivos limpios no son factibles de establecer por razón de ciertos factores, como la excesiva humedad o pedregosidad. Los potreros que en ellos se establezcan no exigen la aplicación de prácticas de conservación de suelos. Tan sólo es necesario recurrir a los sistemas usuales de buen manejo, tales como la regulación del pastoreo. Los bosques no exigen cuidados diferentes a los considerados normales en la zona.

Clase VI. Terrenos impropios para cultivos limpios, pero utilizables para la vegetación permanente con ligeras limitaciones y mediante el uso de prácticas moderadas de conservación.

Su pendiente en general es fuerte o el suelo, que es poco profundo, ofrece muy escasa resistencia a la acción desprendedora y transportadora del agua. Los potreros que en ellos se establecen, además de cercarse y rotarse cuidadosamente, deben tener distribuidos los bebederos, sesteaderos y saladeros en forma cuidadosa para evitar daños por la excesiva concentración de ganado. En muchos casos, especialmente en zonas con épocas secas muy largas, las zanjillas o caballones en contorno pueden ser apropiados. En los bosques debe evitarse toda clase de pastoreo.

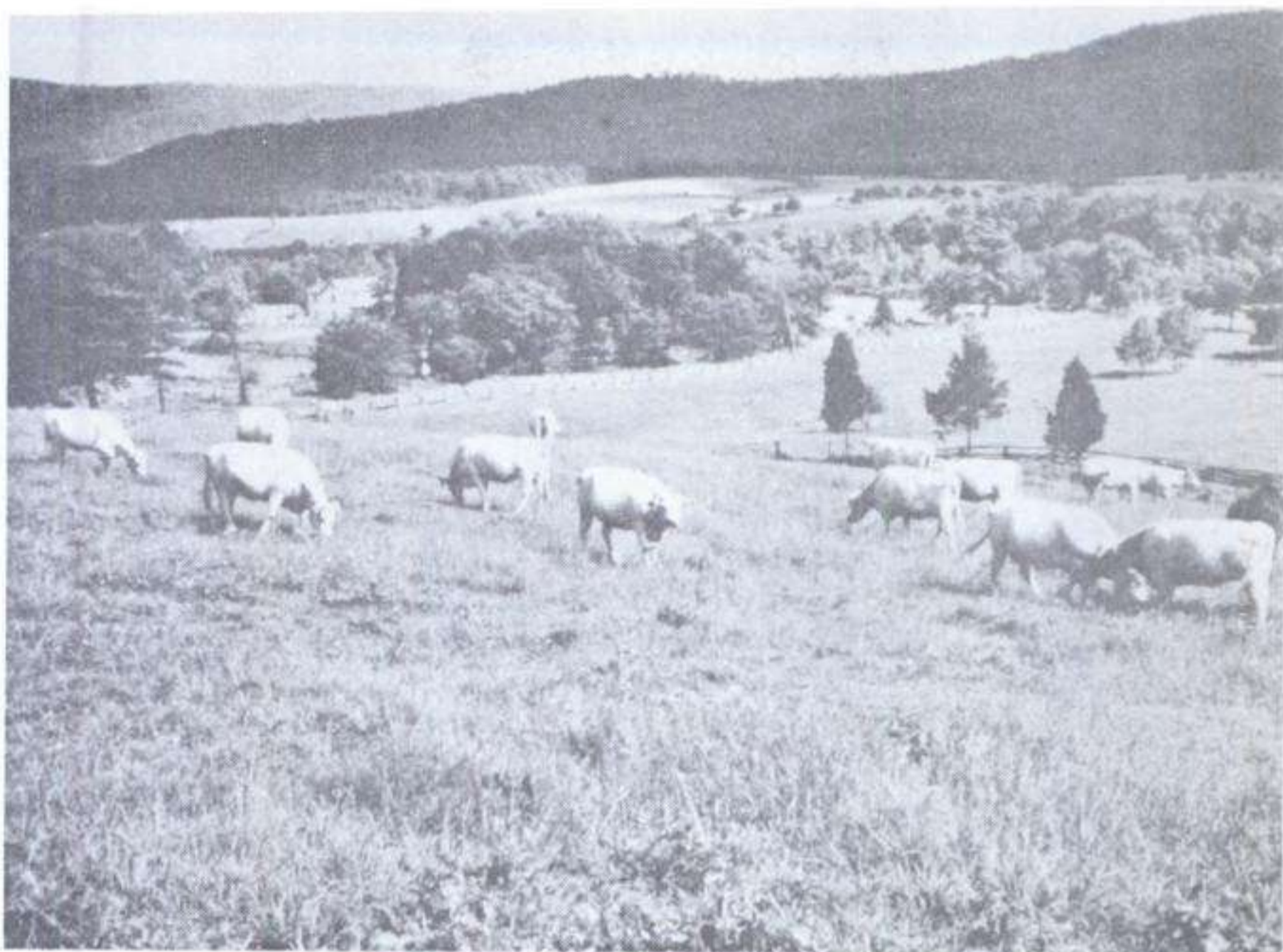


Fig. 43. Terrenos de la clase VI. Para asegurar su conservación deben mantenerse con vegetación permanente. Las prácticas de conservación necesarias son muy moderadas. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

Con vegetación permanente, las restricciones en el uso de los terrenos de esta clase son moderadas. Sin embargo, cuando la vegetación se agota debido al manejo descuidado es necesario establecer severas restricciones, a veces por largos períodos, para permitir su recuperación.

Clase VII. Terrenos impropios para cultivos limpios pero utilizables para vegetación permanente, con fuertes limitaciones y mediante el uso de prácticas intensivas de conservación.

Su pendiente en general es muy fuerte, o su suelo, de escasa profundidad, es muy poco resistente a la acción erosiva del agua de lluvia. Los potreros y bosques que en estos terrenos se establezcan exigen prácticas similares a las de la clase anterior, pero aplicadas en forma más intensa. En los bosques, además, hay que prestar la mayor atención a los sistemas de corte y arrastre de los árboles. Los terrenos de esta clase que ya han sufrido graves daños por la erosión, deben reforestarse, excluyendo el pastoreo.

Clase VIII. Terrenos inapropiados para la agricultura o la ganadería. Quedan en ella incluidos los pantanos, los playones de arena,

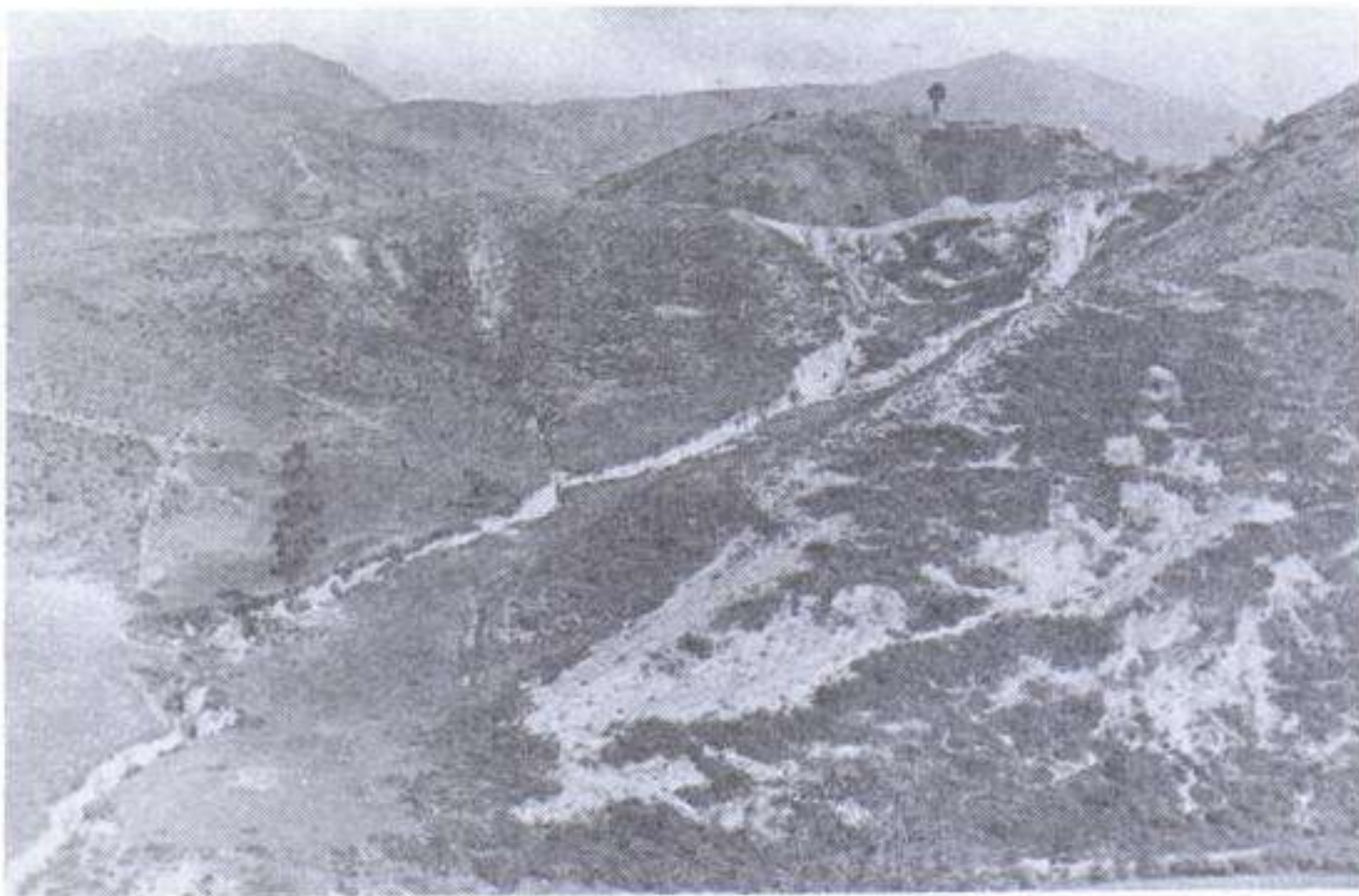


Fig. 44. Terrenos de la clase VII. No pueden ya utilizarse sino con vegetación permanente y mediante el uso de prácticas intensivas de conservación. (Foto H. Betancourt).

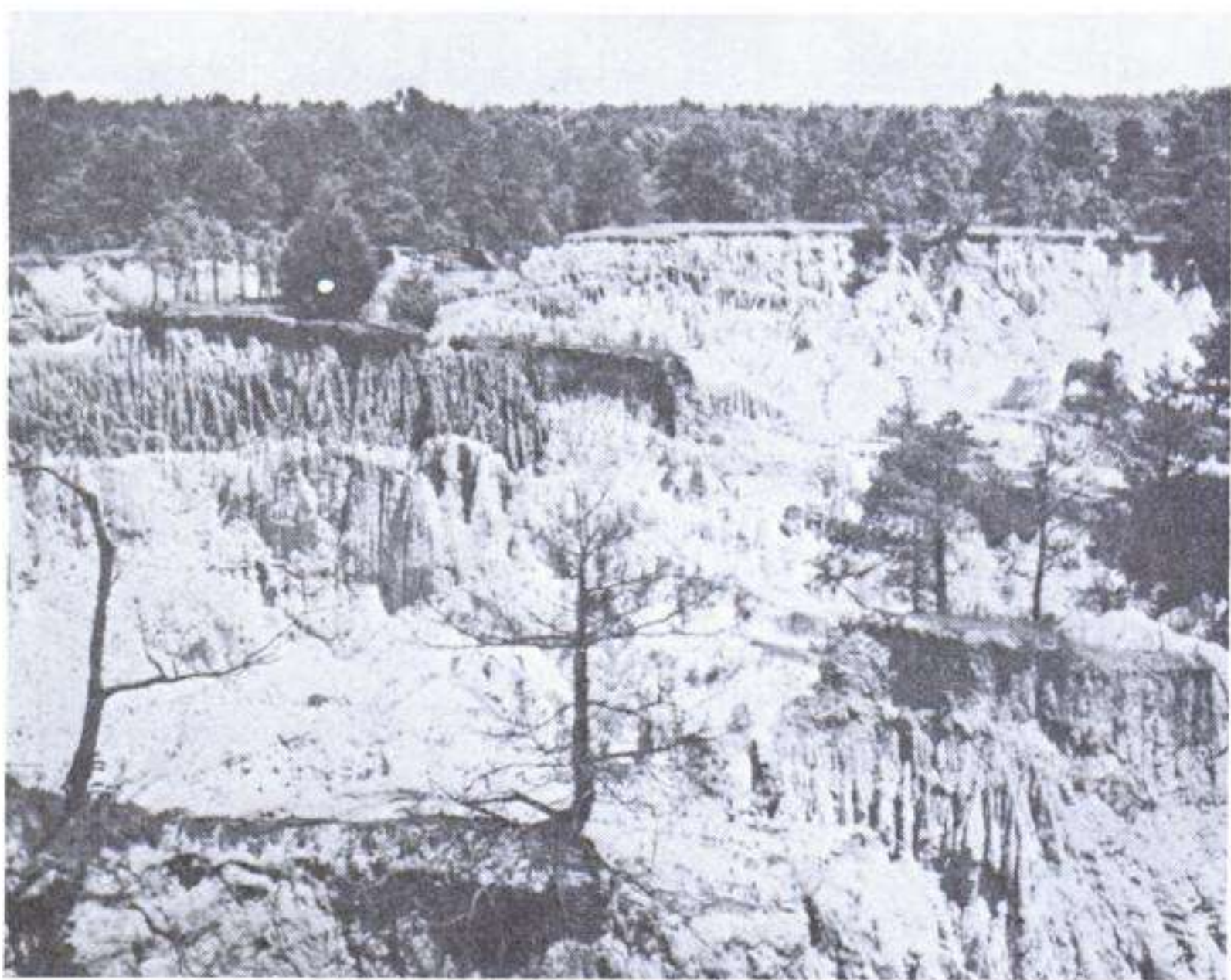


Fig. 45. Terrenos de la clase VIII. Por la profundidad y naturaleza de las cárcavas que los atraviesan no es posible establecer en ellos cultivos o pastos anuales o perennes. La vida silvestre es la única que cabe esperarse que prospere en estos terrenos. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

las zonas atravesadas por numerosas cárcavas profundas, las áreas muy escarpadas, abruptas, rocosas, los derrumbes que exigen protección especial, y en fin, todas aquellas porciones de la finca en las cuales no es posible establecer económicamente un cultivo, un potrero o un bosque, ni aun apelando a las prácticas más intensas de manejo y defensa de los suelos.

SISTEMAS DE CONSERVACION DE SUELOS

Con los terrenos clasificados en esta forma es posible escoger los diversos sistemas de manejo que deben aplicarse en cada porción de la finca, para asegurar la correcta conservación del suelo y la producción máxima de cosechas.

Todas las prácticas encaminadas a aumentar las resistencias o disminuir las fuerzas que intervienen en la erosión, se denominan prácticas de conservación de suelos.

Pueden dividirse en **culturales, agronómicas y mecánicas**, según se trate de modificaciones a los sistemas de cultivo, se utilice la propia vegetación o se recurra a estructuras artificiales construidas mediante la remoción y disposición adecuada de porciones de suelo.

Prácticas culturales y agronómicas

Las principales prácticas de esta clase, que se describen en detalle en el Capítulo 5, son las siguientes:

- a. la distribución adecuada de los cultivos en la finca;
- b. la siembra en contorno;
- c. la siembra en fajas;
- d. las rotaciones;
- e. las plantas de coberturas y los abonos verdes;
- f. las barreras vivas.

Prácticas mecánicas

Las principales prácticas de esta clase que se describen en detalle en el Capítulo 6, son las siguientes:

- a. los canales de desviación;
- b. las terrazas de absorción y de desagüe;
- c. las acequias de ladera;
- d. los bancales;
- e. las terrazas individuales;
- f. las represas para el control de cárcavas.

Sistemas de conservación

Las prácticas culturales y agronómicas son las más sencillas de ejecutar y de mantener. Siempre debe procurarse recurrir a ellas, utilizando las prácticas mecánicas como complementarias, en aquellos casos en que la combinación de las otras no alcance a ofrecer suficiente protección a los terrenos.

En el capítulo anterior se hizo hincapié sobre la idea de que la conservación de los suelos no se reduce a la simple aplicación de un número determinado de prácticas. La conservación de los suelos es todo un sistema de manejar la tierra que asegura la obtención de las mayores ganancias posibles sin menguar la productividad de los terrenos de la finca.

Por lo tanto, presupone una cuidadosa consideración de todos los factores económicos y sociales envueltos en el negocio agropecuario.

En el Capítulo 9, se tratará con mayor amplitud este punto.

BIBLIOGRAFIA

1. BETANCOURT, H. Los planes de conservación de suelos en las fincas cafeteras. Chinchiná, Colombia, Campaña de Defensa y Restauración de Suelos, Federacafé. Circular Técnica no. 3. 1950.
2. ————. Normas sobre reconocimiento de suelos con fines de conservación. Chinchiná, Colombia, Campaña de Defensa y Restauración de Suelos, Federacafé. Circular Técnica no. 1. 1950.
3. CAMPAÑA DE DEFENSA Y RESTAURACION DE SUELOS. Clasificación agrológica. Chinchiná, Colombia. Circular Técnica no. 2. 1954.
4. DALE, T., y ROSS, W. A. Conserving farm lands; planning for soil-erosion control, water conservation and efficient land use. U. S. Department of the Interior. Agricultural Series no. 53. 1939. 104 p.
5. DAVIS, R. E. Topografía elemental. México, D. F., Continental, 1963. 621 p.
6. NORTON, E. A. Soil conservation survey handbook. Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture. Miscellaneous Publication no. 352. 1939. 40 p.
7. TRUOG, E. Soil reaction influence on availability of plant nutrients. Soil Science Society of America. Proceedings 2:305-308. 1947.
8. U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Guide for conservation survey. Washington, D. C., Soil Conservation Service, 1948.
9. ————. Soil survey manual. Washington, D. C., Agriculture Handbook no. 18. 1951. 503 p.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. BRAKENSIEK, D. L., y AMERMAN, C. R. Evaluating effect of land use on stream flow. *Agricultural Engineering* 41:158-161, 167. 1960.
2. HOLDRIDGE, L. R. Determinación de las formaciones vegetales del mundo a base de datos climáticos simples. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Materiales de Enseñanza de Café y Cacao no. 17E. 1959. 4 p.
3. HUNTER, J. R. Una nueva guía para el planeamiento del uso de la tierra en los trópicos. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Materiales de Enseñanza de Café y Cacao no. 15. 1959. 33 p.
4. INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFIA E HISTORIA. Los reconocimientos de suelos como una ayuda en el desarrollo económico. Buenos Aires, Argentina, Talleres Gráficos del Instituto Geográfico Militar, 1962.
5. KLINGEBIEL, A. A., y MONTGOMERY, P. H. Land-capablity classification. Washington, D.C. U.S. Department of Agriculture. *Agricultural Handbook* no. 210. 1961. 21 p.

CAPITULO 5

PRACTICAS CULTURALES Y AGRONOMICAS

DISTRIBUCION DE LOS CULTIVOS

INTRODUCCION

La distribución adecuada de los cultivos en la finca es la base de todo programa de conservación.

Como se ha recalcado, los pastos y los bosques son coberturas muy eficaces en la protección del suelo contra la erosión. En el Capítulo 2 se presentan algunos datos comparativos sobre pérdidas de suelo y agua que demuestran esto con claridad. La capa de restos vegetales que se acumula sobre el suelo en un terreno ocupado por bosques es el principal agente de defensa, pues no solamente absorbe el impacto de las gotas de lluvia, sino que aumenta la porosidad del suelo y contribuye a elevar el contenido de humus.

En el control de la erosión causada por el viento, los árboles y los pastos también ejercen una acción preponderante. Por una parte, su porción aérea reduce la velocidad del viento, y por otra, sus raíces ayudan a estabilizar las partículas del suelo.

Al tratar de la clasificación agrológica se dijo que en los terrenos de las clases V, VI y VII debe mantenerse vegetación permanente como única forma de asegurar su adecuada conservación. Este es el límite máximo de intensidad de uso que los mismos permiten. Los cultivos deben ocupar los terrenos de la finca menos sujetos a erosión, o sea los comprendidos en las tres primeras clases agrológicas.

En muchos lugares no se ha respetado ese imperativo natural y se han destruido los bosques y praderas existentes en terrenos sujetos a graves riesgos de erosión, para sembrarlos de cultivos anuales. En estos terrenos es donde se han originado los casos más graves de destrucción del suelo.

En tales circunstancias es necesario restablecer la cobertura mediante la siembra y el cultivo de pastos o de árboles que aseguren el establecimiento en un plazo breve de una vegetación adecuada, tanto desde el punto de vista de la conservación como desde el punto de vista económico.

PASTOS

Muchos de los terrenos que se mantienen con cultivo limpio, sufriendo daños graves por causa de la erosión y produciendo ganancias muy pequeñas, podrían utilizarse provechosamente como potreros. La combinación agricultura-ganadería, bien administrada, provee la condición ideal para el mantenimiento de la fertilidad de los suelos. Por una parte asegura protección de vegetación densa, durante períodos largos, a todas las porciones de la finca que la necesitan; por la otra, suministra abono orgánico.

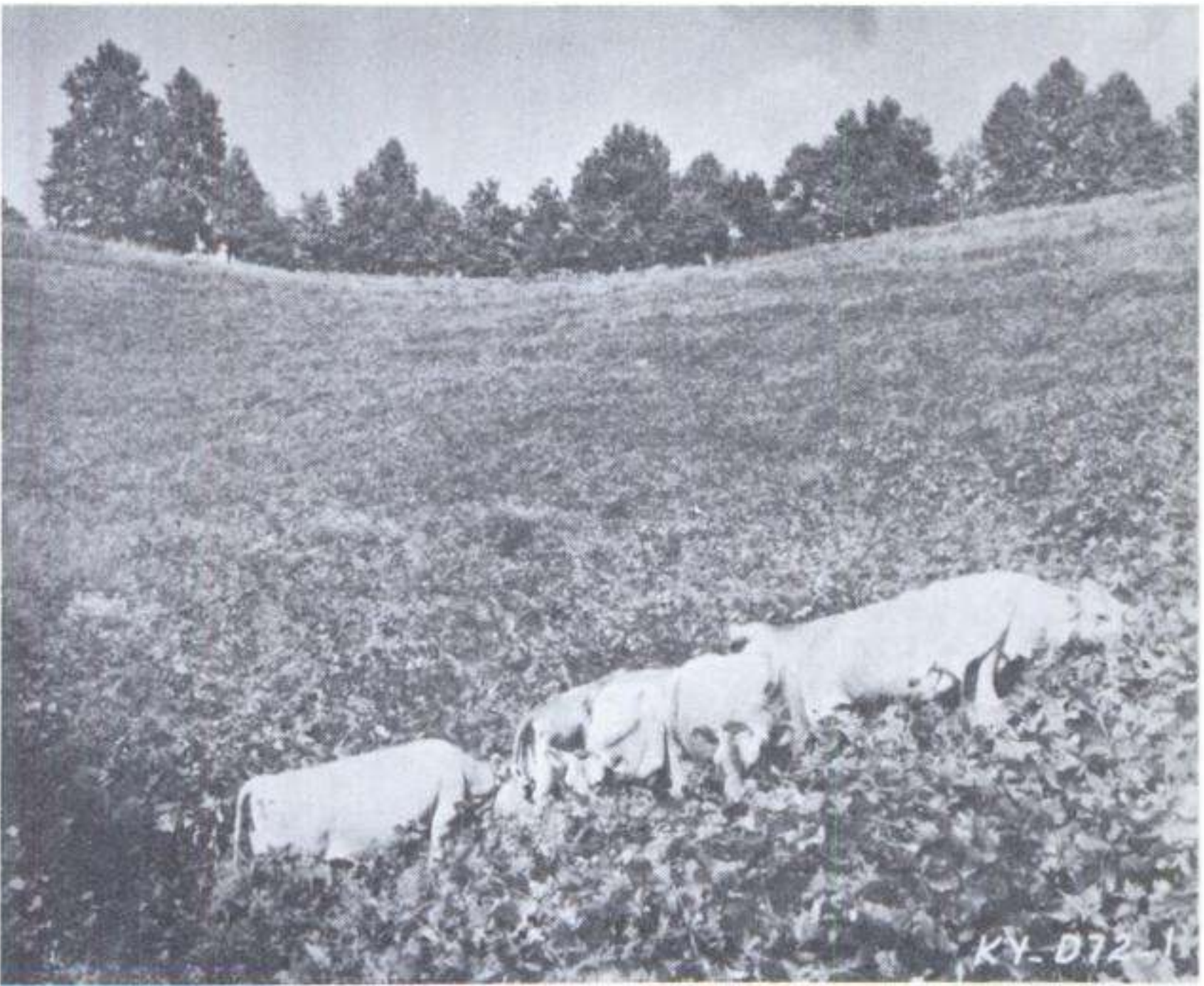


Fig. 46. Terreno muy erosionable, el cual sufrió graves daños al sembrarlo con cultivos limpios. Se restableció el potrero, y ahora constituye una porción altamente productiva de la finca. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

Los terrenos que van a sembrarse de pastos deben prepararse con cuidado, arándolos y rastrillándolos hasta conseguir una buena pulverización del suelo que permita la germinación fácil de semillas de tamaño pequeño, las cuales generalmente constituyen el material de propagación de los pastos. Después de distribuidas las semillas sobre el terreno se pasa un rodillo para asegurar un estrecho contacto entre ellas y las partículas del suelo. En algunas zonas se acostumbra sembrar primero un cultivo denso (trigo o avena) para que sirva de nodriza a las semillas de pasto que luego se distribuyen.

Resulta difícil dar indicaciones muy precisas sobre manejo de potreros, pues de un lugar a otro varían mucho las condiciones y las especies que se utilizan. Sin embargo, los siguientes puntos generales pueden servir de guía en esa labor:

- a. El potrero debe mantenerse tan libre de malas hierbas como sea económicamente posible. En los últimos años ha tomado mucho auge el uso de matamalezas selectivas, pero, no obstante, no debe descuidarse la conveniencia de mantener mezclas de leguminosas y gramíneas en el potrero.
- b. Cuando la fertilidad del terreno ha decaído es conveniente aplicarle un fertilizante químico completo.
- c. Cuando la acidez es muy alta debe corregirse mediante la aplicación de cal para propiciar el crecimiento de leguminosas.
- d. Los potreros recién establecidos no deben pastorearse hasta que las plantas hayan desarrollado un sistema radicular fuerte que les permita soportar el pisoteo.
- e. Los abrigos y árboles de sombra para el ganado deben localizarse en la parte más alta del campo. Nunca cerca de arroyos o



Fig. 47. El sobrepastoreo es propiciatorio a la formación de surcos de erosión por las sendas que transita el ganado. (Foto F. Iruzta).

quebradas. Procediendo en esta forma se asegura el mejor aprovechamiento del estiércol.

- f. Los potreros no deben nunca sobrepastorearse. Es decir, debe sacarse de ellos el ganado inmediatamente que se vea cortado el pasto casi a ras del suelo.
- g. El pastoreo mixto (o sea de varias especies de animales) asegura siempre una mejor utilización del pasto.
- h. La construcción de surcos en contornos es beneficiosa especialmente en suelos pesados y en regiones de poca lluvia. Se construyen a nivel y con sus extremos cerrados. Los más comunes son los de 15 cm de ancho y 10 cm de profundidad y el espaciamiento varía entre 3 y 15 m. Al tratar de la siembra en contorno se describirán sistemas de trazado que pueden utilizarse.



Fig. 48. El sobrepastoreo continuo da origen a los más graves casos de erosión. (Foto Federacafé, Campaña de Suelos).

BOSQUES

Selección de especies

La parte fundamental en el restablecimiento de un bosque es la adecuada selección de las especies, de manera que se adapten a las condiciones del lugar y, por consiguiente, puedan obtenerse los resultados perseguidos. En general, los terrenos de una finca que se dedican a este uso ya han sufrido daños severos, tanto en composición química como en condiciones físicas, por razón de su manejo anterior.

La capacidad natural de estos terrenos se ha reducido, por lo tanto, en proporciones muchas veces considerables y no puede esperarse establecer en ellos inmediatamente las especies arbóreas que constituían su cubierta original. Es necesario descender en la selección hasta especies ecológicamente más primitivas, para luego, a través de una sucesión natural, ir permitiendo lentamente el predominio de especies más exigentes hasta llegar a la condición del bosque original. Así, el beneficio económico que se obtenga de tales plantaciones podrá ser muy reducido durante los primeros años, sin que pueda tomarse como medida aproximada de la capacidad de producción del bosque, pues en ese período se está invirtiendo dinero en la restauración de terrenos deteriorados por el mal uso.

Siempre resulta prudente no sembrar una sola especie sino tratar de establecer mezclas. En esa forma hay menos peligro de que se presenten plagas o enfermedades que afecten gravemente la plantación. Al seleccionar las mezclas lo más acertado es buscar especies que sean compatibles, es decir, que por sus hábitos de crecimiento no se interfieran o perjudiquen.

Las guías que deben tomarse para seleccionar las especies son las asociaciones naturales que se hayan desarrollado en zonas aledañas, con condiciones similares al lugar que se desea reforestar. En cada región existen una o varias especies utilizables en la formación de una cubierta temporal en los suelos más pobres; generalmente se trata de arbustos o plantas herbáceas que pueden tener muy poco o ningún valor comercial, los cuales son luego reemplazados paulatinamente por especies más valiosas.

Cuando se persigue la formación de rompevientos, o sean barreras que reducen la velocidad del viento cerca de la superficie del suelo, se utilizan varias especies de diferente porte, de manera que en las hileras exteriores queden aquéllas de menor altura y en las hileras centrales las de mayor desarrollo. En esa forma se logra desviar hacia arriba las corrientes de aire (9).

Material de propagación

Las semillas que se utilicen deben provenir de árboles robustos y que hayan crecido en condiciones de clima comparables a las del lugar en donde van a sembrarse.

En todos los casos es preferible sembrarlas en almácigas para luego pasar las plantas más vigorosas al lugar definitivo.

El sembrar las semillas directamente en el campo es poco aconsejable, porque por una parte la mortalidad es muy alta y por otra resulta costoso y difícil prodigar los cuidados necesarios a las plántulas en los primeros meses de vida.

Actualmente se está utilizando en los Estados Unidos una nueva técnica de siembra directa, la cual consiste en la distribución de las semillas por medio de aviones, con la esperanza de poder incrementar en esta forma la reforestación de extensas áreas (14).

Cuando se emplea material criado en almácigas, el trasplante se verifica al adquirir las plántulas altura y diámetro suficientes para resistir el proceso de adaptación a un ambiente más desfavorable. Sin embargo no sólo debe atenderse al tamaño, pues se ha demostrado que los arbolitos desarrollados a base de aplicaciones fuertes de fertilizantes sufren una mayor mortalidad en el trasplante que los de igual tamaño que han crecido sin ese estímulo; aquellos con un gran número de raíces fibrosas son más resistentes que los que poseen una raíz pivotante grande y raíces laterales alargadas; asimismo, en las coníferas se ha observado que cuando la relación entre el peso del follaje y el de las raíces es mayor de 3 a 1, no resisten bien el trasplante, excepto en lugares y años muy favorables (6).

Como el transporte encarece el trasplante, las almácigas deben localizarse tan cerca como sea posible del lugar en donde va a hacerse la siembra definitiva.

Preparación del lugar para la siembra

Para que los árboles dispongan de condiciones adecuadas para su crecimiento, es necesario efectuar algunas labores culturales en el lugar de la siembra. En todos los casos es oportuno enterrar un abono verde.

En regiones de poca lluvia conviene surcar en contorno el terreno con el objeto de favorecer la retención de humedad. Los surcos se distancian 1,80 a 2 m y los arbolitos se siembran contra la pared inferior de aquéllos. En aquellas regiones donde la erosión ha causado daños severos puede ser necesaria la aplicación de algunos fertilizantes, los cuales se mezclan con la tierra en que se siembra el árbol, o se esparcen a su alrededor. Si la obtención de abono orgánico o de material que pueda usarse como cobertura muerta (*mulch*) es fácil, su aplicación también mejora las condiciones de humedad y fertilidad del lugar de siembra (9).

Cuando se trata de reforestar zanjones o cárcavas se suavizan los taludes, se desvían las aguas que circulan por ellos y se construyen represas y estructuras, las cuales se describen en el Capítulo 7.

Cuando no es posible efectuar labores muy completas de preparación de los terrenos, puede recurrirse a la remoción del suelo alrededor de los sitios de siembra, en círculos de 1 m de diámetro, de manera que los árboles encuentren material mullido por el cual puedan extender sus raicillas.

Cuidados necesarios

Los dos grandes enemigos de los bosques son el fuego y el ganado.

Los incendios forestales ocurren especialmente por el descuido de las gentes y causan daños enormes. En Estados Unidos, por ejemplo, calculan que anualmente el fuego consume bosques por valor de más de 50 millones de dólares (3). Es necesario adoptar precauciones en los sitios en donde haya peligros de incendios, limitando las plantaciones con fajas de 2 a 3 metros de ancho de suelo removido por un arado.

Como protección adicional es indispensable el servicio de patrullaje en las épocas de mayor peligro y el desarrollo de una campaña educativa que despierte la conciencia de las gentes sobre el peligro y los daños de los incendios forestales y las precauciones que deben tomarse para evitarlos.

No debe, sin embargo, perderse de vista que las quemas prescritas son en muchas zonas práctica usual y conveniente en el manejo de bosques (18) y de áreas silvestres (2).

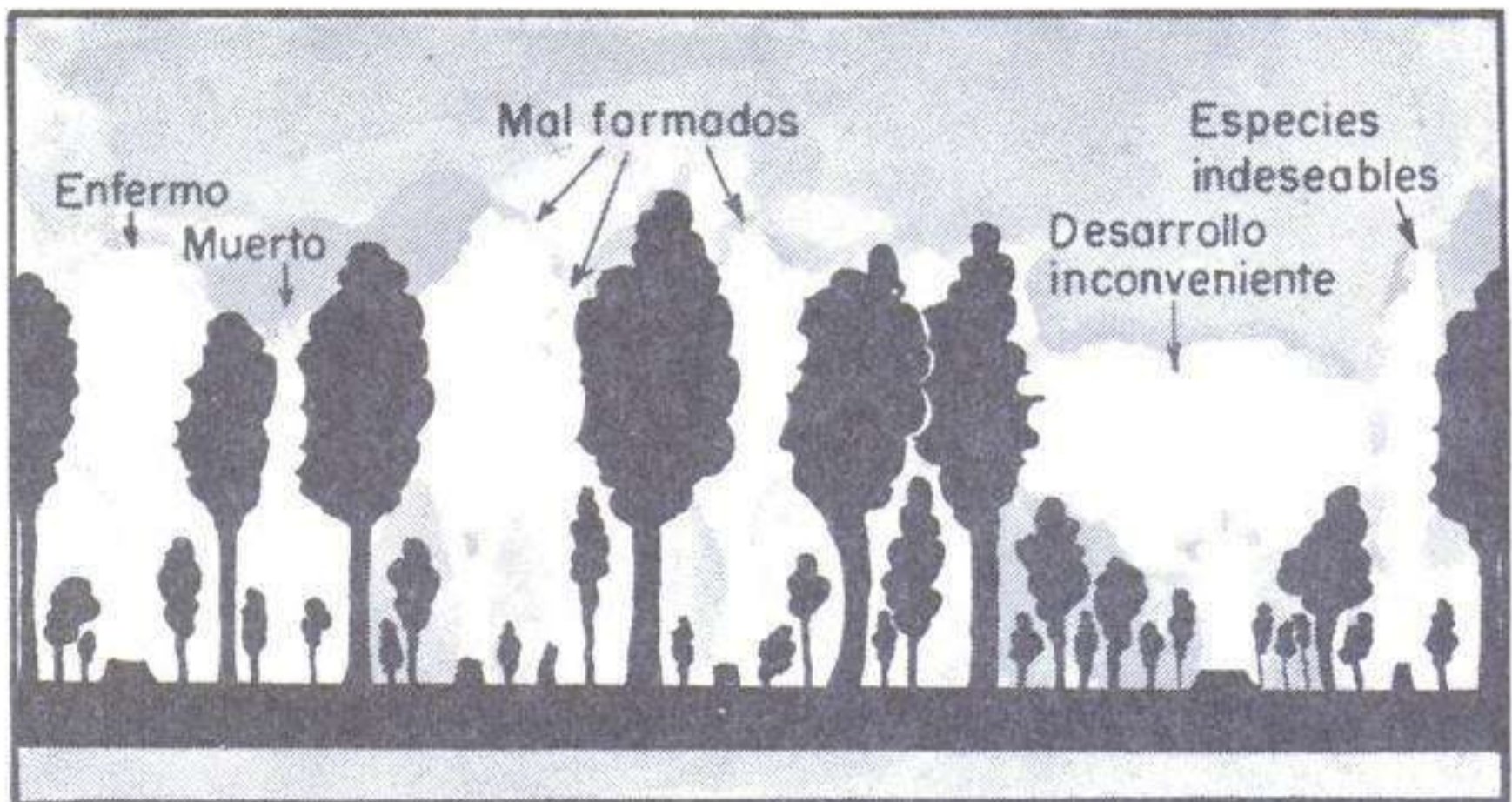


Fig. 49. Entresaque racional de un bosque. Periódicamente se suprimen los árboles mal formados o que están compitiendo con los promisorios. Así se logra mantener condiciones apropiadas para la obtención del mayor volumen de madera de la mejor calidad.

El pastoreo de animales perjudica tanto la acción del bosque en la defensa de los suelos, como sus rendimientos económicos. El pisoteo del ganado disminuye la acción defensiva de la cubierta de restos vegetales que se deposita sobre el suelo y compacta el horizonte superior disminuyendo la capacidad de infiltración del terreno. El ganado además daña los arbolitos jóvenes, dificultando la reproducción natural, y así la vegetación va transformándose en una cobertura herbácea que luego impide la germinación de las semillas que caen al suelo. En esa forma comienzan a aparecer especies vegetales de inferior calidad, más rústicas y mejor adaptadas a condiciones desfavorables. Por todas estas circunstancias los bosques deben cercarse convenientemente para mantenerlos protegidos del acceso de animales.

Los cuidados culturales que exigen los bosques no son muy complejos. Consisten, básicamente, en la supresión de los individuos jóvenes mal formados, enfermos o que por cualquier otra circunstancia no prometan rendimientos altos en madera de buena clase; en el entresaque de especies indeseables o de árboles sobrantes, de manera que todos los que se conserven cuenten con espacio suficiente para su desarrollo y en la poda de ramas bajas.

El número de árboles que crece en una hectárea de bosque siempre es excesivo en relación con el número de árboles adultos que pueden vivir en ella. En condiciones naturales ocurre una selección que lleva a la supervivencia de los más fuertes. Por ello es necesario, en bosques con buen manejo, verificar periódicamente entresagues que eviten que ocurran competencias por luz y alimentos que perjudiquen el desarrollo de aquellos individuos mejor condicionados para la producción de madera de buena calidad. En los primeros años una competencia de esta clase puede resultar benéfica al propiciar la poda natural de ramas laterales, pero luego resulta dañina en cuanto atrasa a los árboles que van a aprovecharse. En general, la venta de la madera que resulta del entresaque debe pagar los gastos de la operación.

La poda de los árboles forestales persigue la supresión de ramas bajas que por formar nudos en el tronco desmerecen la calidad de la madera. Se verifica cuando los árboles tienen un diámetro de 10 a 25 cm, seleccionando cuidadosamente los individuos que se calcula que vale la pena cuidar hasta el estado adulto. Las ramas bajas se cortan a ras del tronco dejando libre en una o varias operaciones hasta la mitad de la altura de éste (30).

Aprovechamiento racional de los bosques

La manera como se beneficia la madera influye tanto en los beneficios económicos como en la protección que ofrece el bosque.

El sistema más aconsejable es el "corte selectivo", que consiste en tumbar con intervalos frecuentes los árboles que han llegado a su madurez económica. Así se aprovecha al máximo la madera produci-

da y se obtiene un ingreso periódico que transforma la actividad forestal en una fase más de la empresa agrícola. Desde el punto de vista de la conservación de los suelos, el "corte selectivo" asegura el mantenimiento permanente de la protección arbórea sobre el terreno.

El otro sistema que se utiliza con frecuencia es el "corte total", en el momento en que se considera que el bosque en conjunto ha obtenido su máximo crecimiento económico. Tiene las desventajas de que se benefician árboles en distinto estado de crecimiento, ocurriendo por lo tanto desperdicio de potencial productivo; además, los ingresos se acumulan en un plazo corto después de 30 ó 40 años de la inversión principal, y desde el punto de vista de la conservación de los suelos, deja insuficientemente protegido el terreno por un período más o menos largo.

Este sistema no se justifica sino en plantaciones de especies cuya reproducción no se verifica satisfactoriamente sino a plena exposición y aun en esos casos se debe recurrir al corte en fajas al contorno o en parches aislados, de manera que siempre se mantenga bien protegido el terreno (25).

Cuando se utiliza el sistema de corte selectivo, es necesario regular los intervalos entre cosechas y el volumen de ellas, de manera que no se sobrepase la capacidad productiva del bosque. Teóricamente, debe cortarse un volumen de madera igual al volumen que haya crecido en el intervalo entre dos cortes sucesivos. El ciclo de cortes rara vez es inferior a tres años para asegurar la obtención de una cantidad de madera que resulte económico manejar. Dividiendo el bosque en varios lotes puede mantenerse un ritmo de cortes anuales rotando la cosecha, de manera que cada porción se entresaque cada tres, cuatro o cinco años.

Entre las más urgentes labores en relación con la defensa de los suelos, se cuenta la de restablecer el bosque en extensas zonas desnudas y mantenerlo en donde aún no ha sido destruido, incorporándolo a la economía de la nación como productor de renta.

De la forma como se lleve a cabo esta tarea depende el futuro de muchas regiones. Ya comienza a crearse conciencia en todos los países sobre los inmensos beneficios del árbol y en naciones en donde miles de hectáreas de bosques se destruyeron en el pasado, ya hay en marcha vigorosas campañas de reforestación que permiten augurar el restablecimiento del equilibrio ecológico en extensas zonas que pueden transformarse en prósperas productoras de riqueza.

LA SIEMBRA EN CONTORNO

INTRODUCCION

La siembra en contorno consiste en disponer las hileras de siembra y verificar todas las labores de cultivo en forma transversal a la pendiente, en curvas de nivel o líneas de contorno.

Una curva de nivel es aquella cuyos puntos están todos a la misma altura. Se comprende que al sembrar y cultivar sobre estas curvas, cada hilera de plantas constituye un obstáculo que se opone al paso del agua de escorrentía, y el cual disminuye su velocidad y su capacidad de arrastrar suelo.



Fig. 50. La siembra en hileras en dirección de la pendiente, facilita el flujo del agua de escorrentía, la cual encuentra pocos obstáculos y aumenta enormemente su velocidad, arrastrando a su paso grandes cantidades de suelo.

EFFECTIVIDAD DEL SISTEMA

La efectividad de la siembra en contorno se ha medido en diversos lugares.

En el Cuadro 21 se resumen los resultados obtenidos en siete estaciones experimentales de los Estados Unidos y de América Latina, con los cuales se comprueba la defensa que la siembra en contorno ofrece a los terrenos (5, 10, 13, 21, 26).

APARATOS DE CAMPO PARA TRAZAR LINEAS DE CONTORNO

Para sembrar en contorno es necesario, disponer de un instrumento con el cual trazar líneas con todos sus puntos al mismo nivel. Hay

CUADRO No. 21. Siembra en contorno. Datos experimentales sobre pérdidas de suelo y de agua.

Lugar	Condiciones del terreno			Dirección de los surcos	Erosión Ton/Ha	Escorrentía por 100 de la lluvia	Número de años del experimento	Referencia bibliográfica
	Pend. %	Textura	Cultivo					
Clarinda Iowa EE. UU.	8	Franco limoso	Maíz	Contorno	18,25	1,8	5	Tower (26)
				Dirección de la Pendiente	69,25	10,2		
Guthrie Oklahoma EE. UU.	6,8	Franco arenoso fino	Algodón	Contorno	61,50	9,9	4	Tower (26)
				Dirección de la Pendiente	138,00	11,1		
Hays Kansas EE. UU.	4,5	Franco limoso	Trigo	Contorno	3,75	9,8	5	Tower (26)
				Dirección de la Pendiente	5,25	13,0		
Temple Texas EE. UU.	3,5	Arcilloso	Algodón	Contorno	14,75	4,6	10	Tower (26)
				Dirección de la Pendiente	39,25	13,6		
Zanesville Ohio EE. UU.	12	Franco limoso	Maíz	Contorno	38,50	4,1	2	Tower (26)
				Dirección de la Pendiente	143,25	6,8		
Campinas (São Paulo) Brasil	6,3 a 10,8	Arenoso franco a franco limoso	Algodón y milo	Contorno	13,6	4,0	2	Marques y Col, (13)
				Dirección de la Pendiente	25,7	6,6		
Chinchiná (Colombia)	21	Franco limoso	Pasto Imperial	Contorno	6,8	10,0	4	Suárez de Castro (21)
				Dirección de la Pendiente	15,0	30,0		
Coshocton (Ohio) EE. UU.	5,8 a 6,0	-	Maíz	Contorno	7,0	-	Un aguacero	Harold y Edwards (10)
				Dirección de la Pendiente	50,0	-		

muchos dispositivos sencillos y de bajo costo que dan suficiente precisión para un trazado de esta clase.

Los de más amplia aceptación y manejo más sencillo son los siguientes:

- a. Niveladores de lectura directa: caballete y nivel con tubo de caucho.

- b. Niveladores de lectura indirecta: nivel de mano, nivel Abney y nivel de precisión.

El **caballete** consiste en un listón o vara horizontal sostenida en sus extremos por dos patas de igual altura; el listón lleva en la parte media una caja en la cual se coloca un nivel (23).

Cuando la burbuja del nivel está quieta en el centro, los puntos sobre los cuales se apoyan las patas del caballete están a la misma altura. Colocando señales en estos puntos y desplazando el caballete, es posible trazar una línea con todos sus puntos a la misma altura. Para ampliar los usos del caballete se acostumbra construirlo con una de sus patas alargable, de manera que es posible trazar con él líneas con un desnivel uniforme.

Después de construir este instrumento de nivelación, es necesario probarlo hasta estar seguro de que su condición básica se cumple (es decir, que al estar la burbuja en el centro, los puntos sobre los cuales se apoyan las patas estén a la misma altura). Para ello se apoya el instrumento sobre dos puntos que el caballete indique que están a nivel; luego se invierten los extremos del instrumento de manera que cada pata quede sobre el punto que ocupaba la otra; si la burbuja de nivel permanece en el centro, el aparato está correcto. Si la burbuja se desplaza, se corrige la mitad del error colocando un pedazo de cartón debajo del nivel y la otra mitad lijando o raspando una de las patas. Se repite el procedimiento tantas veces como sea necesario hasta lograr un buen ajuste (22, 23).

El **nivel de manguera** consiste en una manguera de 1 cm de diámetro y 20 m de longitud, la cual lleva en sus extremos dos tubos de vidrio asegurados por medio de alambres. Se llena la manguera con agua limpia hasta que ésta pueda verse a través de los tubos de vidrio,

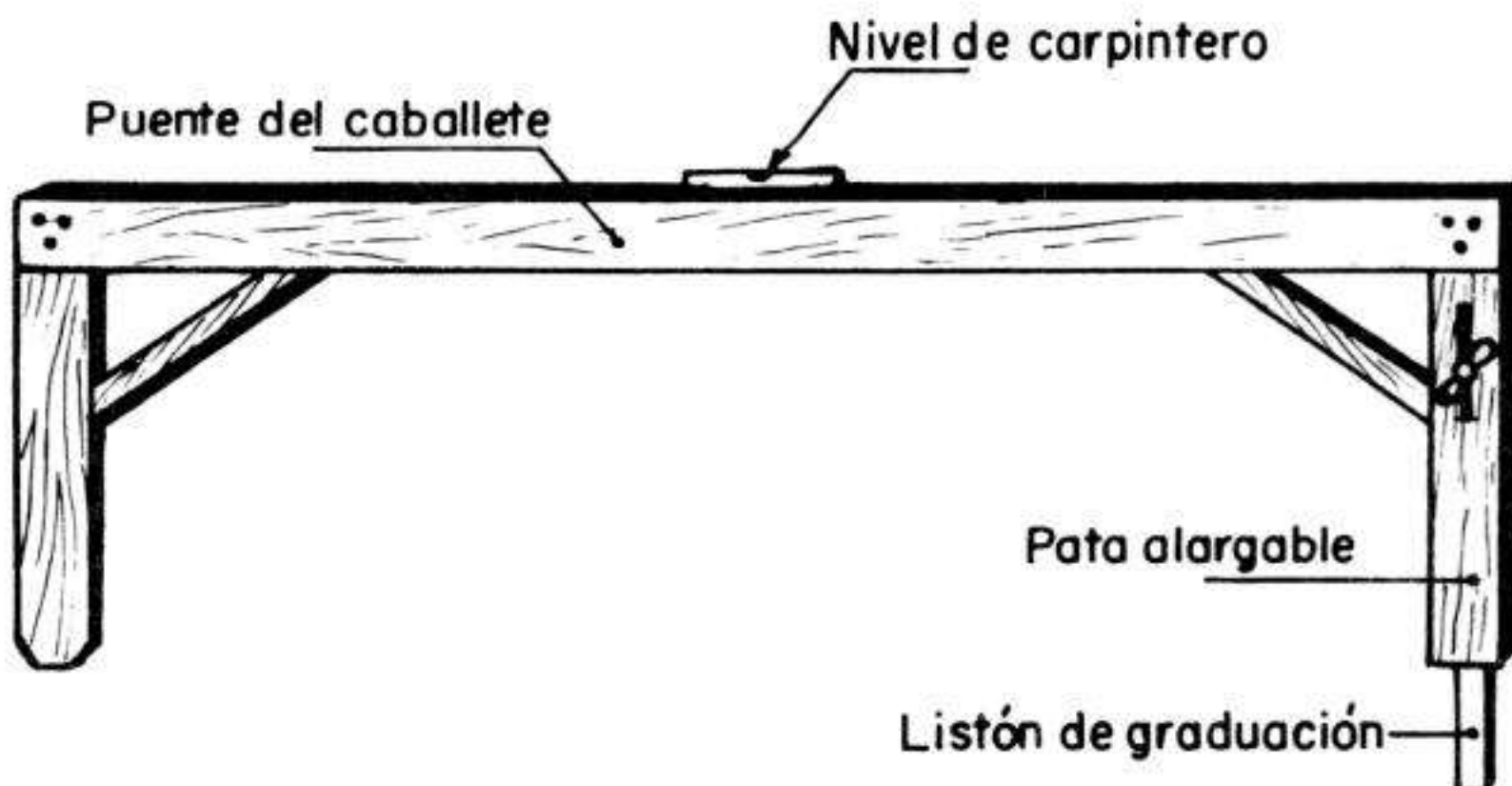


Fig. 51. Caballete.

teniendo cuidado de que no quede aire dentro de la manguera. Para marcar líneas de nivel, se sujetan los extremos a sendos soportes de igual altura. Los puntos sobre los cuales se apoyan éstos estarán al mismo nivel cuando los meniscos del agua están coincidiendo con su altura inicial (13).

Este instrumento permite el trazo rápido de líneas de contorno con puntos marcados a mayor o menor distancia.

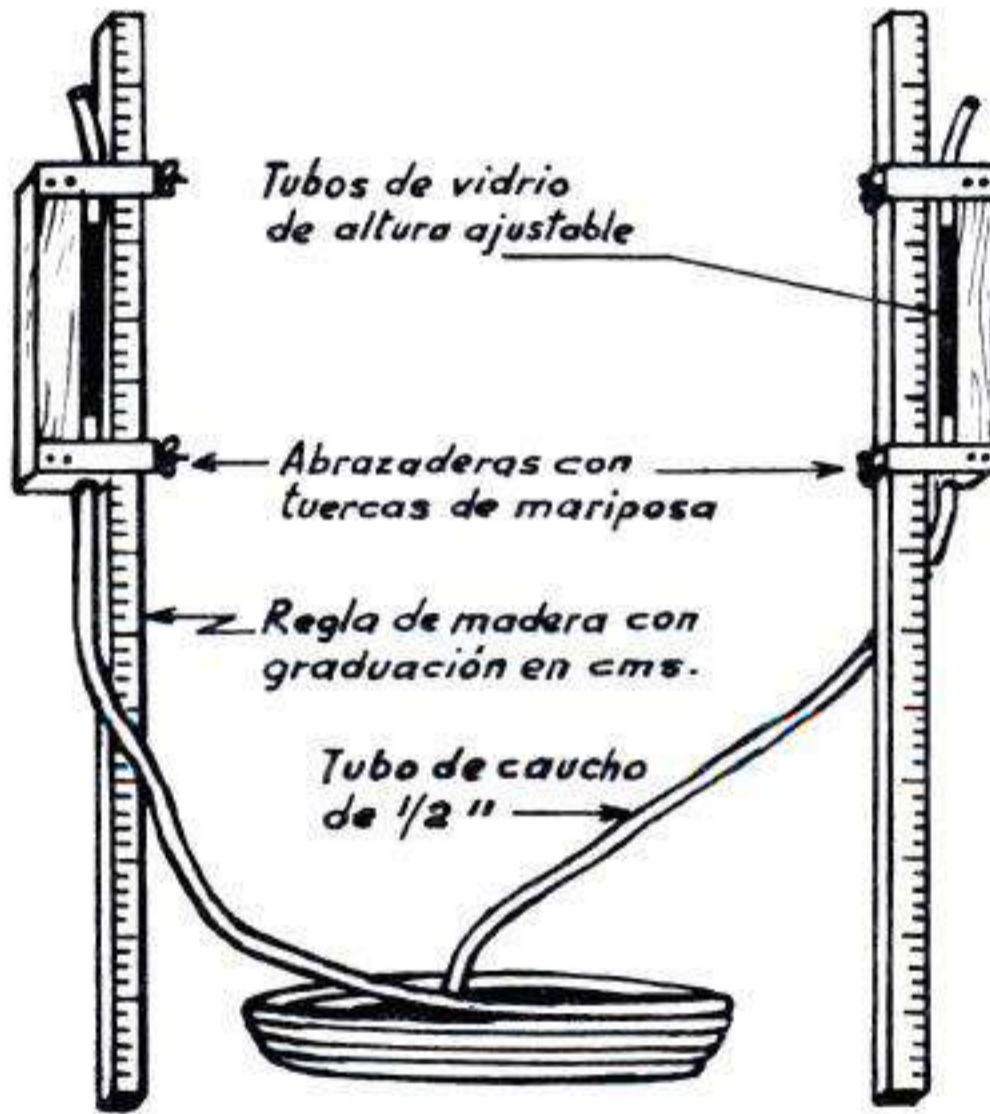


Fig. 52. Nivel de manguera.

El **nivel de mano** consiste en un pequeño tubo con burbuja, montado sobre un telescopio que se sostiene con la mano. Al mirar por el telescopio se ve en la mitad del campo el reflejo de la burbuja de nivel y en la otra mitad la mira o vara que lleva marcadas las diferentes alturas.

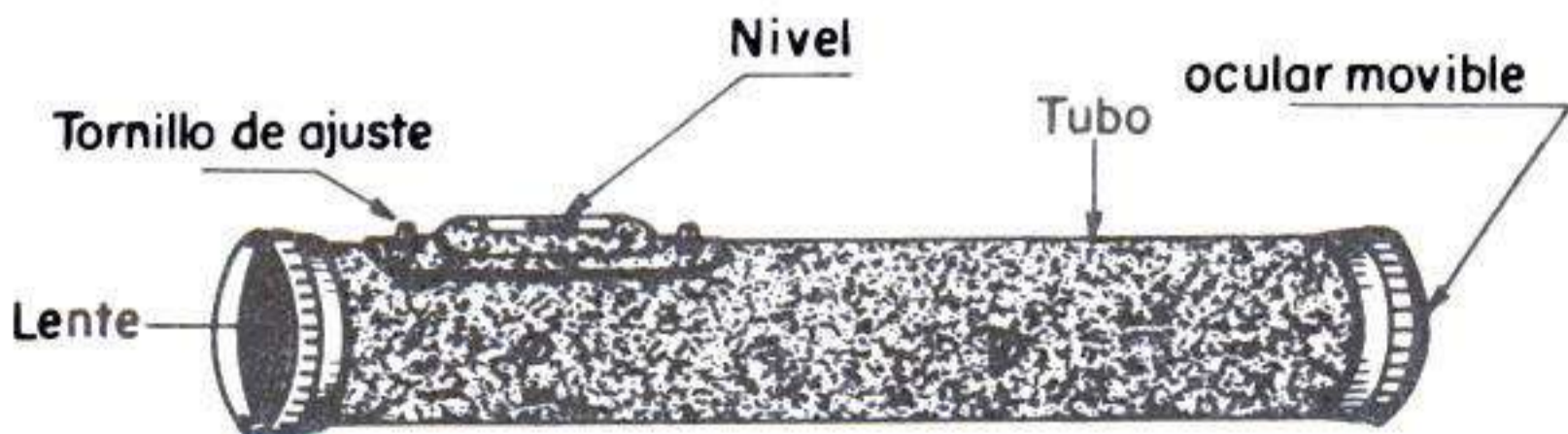


Fig. 53. Nivel de mano.

Si se desea trazar una línea a nivel, el operador hace desplazar la mira hasta que lea sobre ella, estando la burbuja en el centro, la misma altura que hay del suelo al nivel de sus ojos. Esa altura puede marcarse en la vara o mira por medio de una raya roja muy visible que facilite las lecturas. Este instrumento tiene una limitada utilización en las fincas.

El nivel Abney sirve para nivelación directa y para la medida de ángulos y pendientes. Cuando se emplea como nivel se fija en cero el índice del vernier y se maneja como un nivel común de mano. Cuando se usa como clinómetro (o sea para medir el desnivel entre dos puntos), se lanza la visual al objeto deseado y el tubo de la burbuja se mueve por medio del tornillo de control, hasta que mirando a través del instrumento la burbuja quede colocada en el centro de la visual.

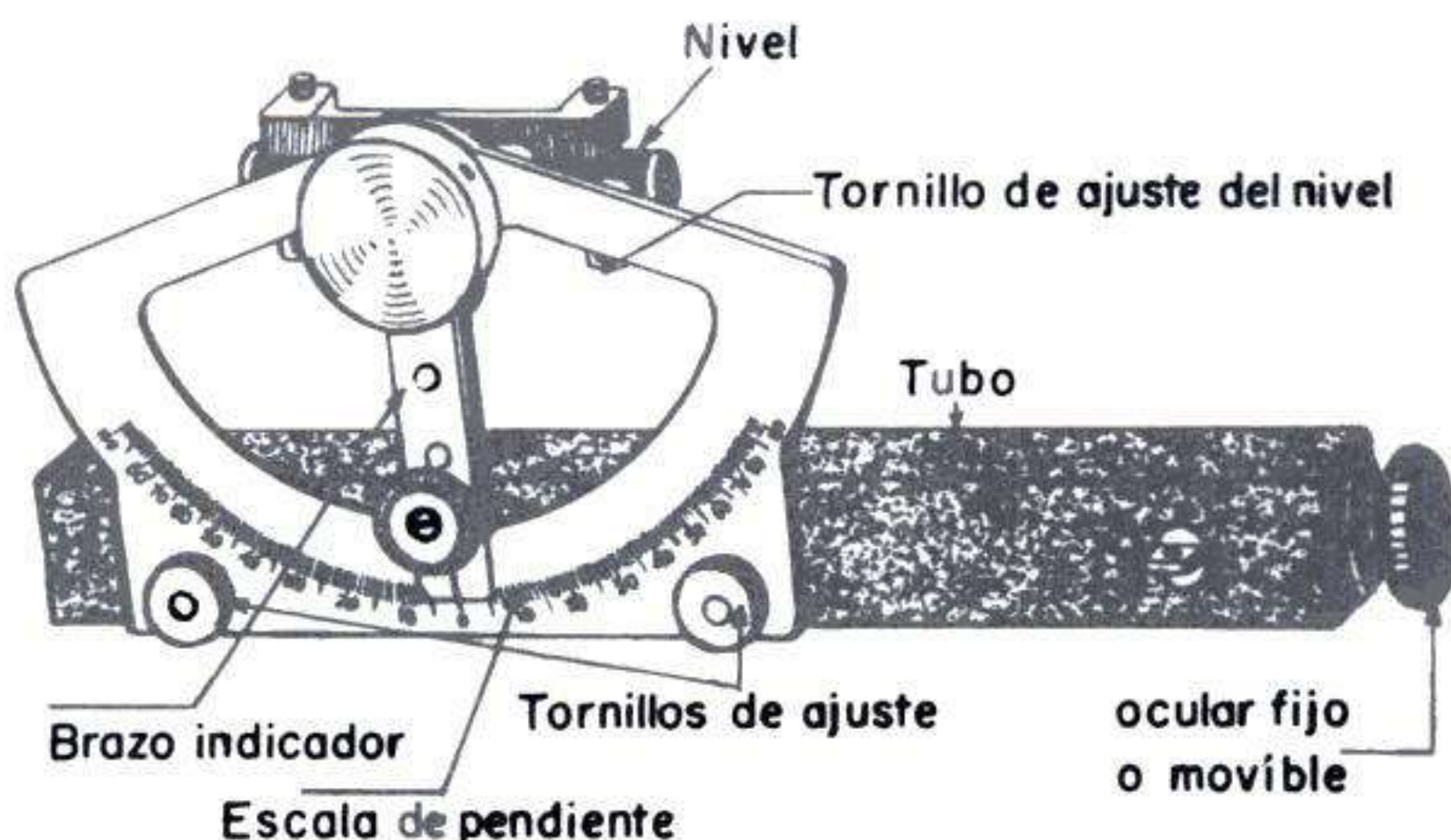


Fig. 54. Nivel Abney.

El **nivel del agricultor** es un instrumento de precio bajo que utilizan mucho los agricultores de los Estados Unidos. Consiste en un telescopio con burbuja, fijado rígidamente a un círculo horizontal graduado; se hacen lecturas de nivel en la forma como se explicó para el nivel de mano y además se pueden medir ángulos horizontales.

El **nivel de precisión** es un aparato más caro que el anterior, que se utiliza en la ejecución de nivelaciones que exigen gran exactitud. Consiste esquemáticamente en un telescopio montado sobre un soporte fijo unido rígidamente a un eje vertical. Adherido al telescopio y paralelo a él va un tubo con burbuja de nivel. El aparato gira sobre el eje vertical y descansa sobre un trípode de madera. En el tubo del telescopio se encuentra además una retícula de hilos que sirve de guía

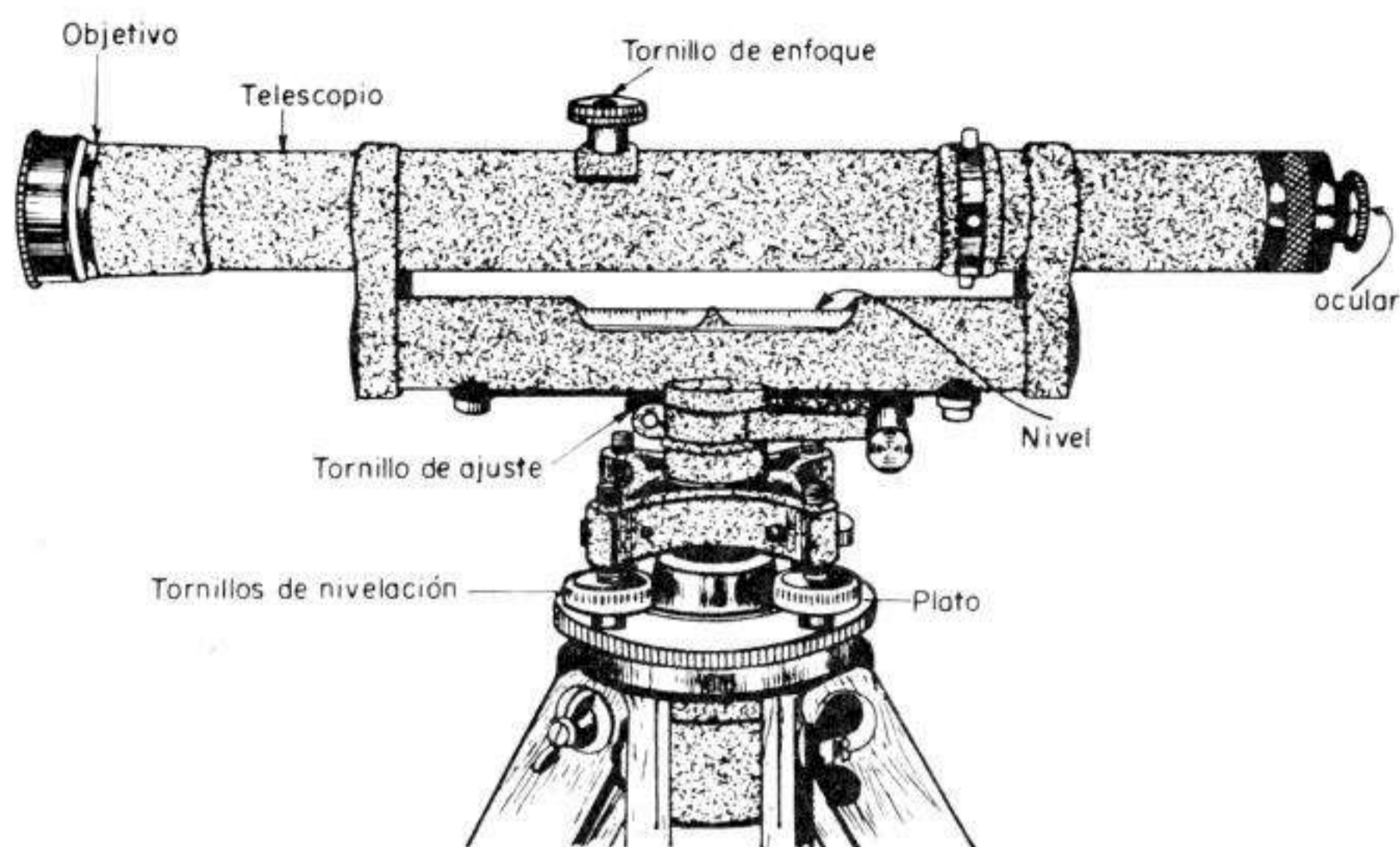


Fig. 55. Nivel de precisión.

para las lecturas. El telescopio se nivela por medio de tornillos especiales.

Hay dos tipos de niveles de precisión: el llamado "dumpy", en el cual el telescopio forma un cuerpo rígido con el soporte, y el nivel Y, en el cual el telescopio es removible y descansa sobre soportes en forma de Y.

TRAZO DE UNA PLANTACION EN CONTORNO

Cuando quiere sembrarse y cultivarse en contorno un terreno se procede así: en la parte más fuerte o pronunciada de la pendiente del lote se traza, hacia abajo, una línea recta, que en la Fig. 58 se distingue con el nombre de "línea en dirección de la pendiente", en la cual se marcan con estacas puntos más o menos distanciados según el grado y uniformidad de la pendiente del terreno.

Estos puntos son los iniciales de líneas de contorno que se trazan para que luego sirvan como guías en la siembra y cultivo del lote en forma paralela a ellas.

Cuando se utiliza el caballete, las líneas guías se trazan en la siguiente forma: se coloca la parte trasera del caballete al pie de la estaca que marca la iniciación de la línea guía y se mueve la pata delantera hasta encontrar un punto en el cual, al colocar ésta, la burbuja ocupe el centro del nivel; se marca ese punto con una estaca, se levanta el caballete y se coloca la pata de atrás en el punto que



Fig. 56. Con los surcos de siembra en dirección de la pendiente se van formando canalones por la acción del agua de escorrentía. Más tarde se desarrollan las cárcavas que inutilizan el terreno.



Fig. 57. Con la siembra en contorno, cada hilera de plantas es un obstáculo que se opone al flujo del agua de escorrentía. Así se logra disminuir la velocidad del flujo y se reduce, por lo tanto, el arrastre de suelo.

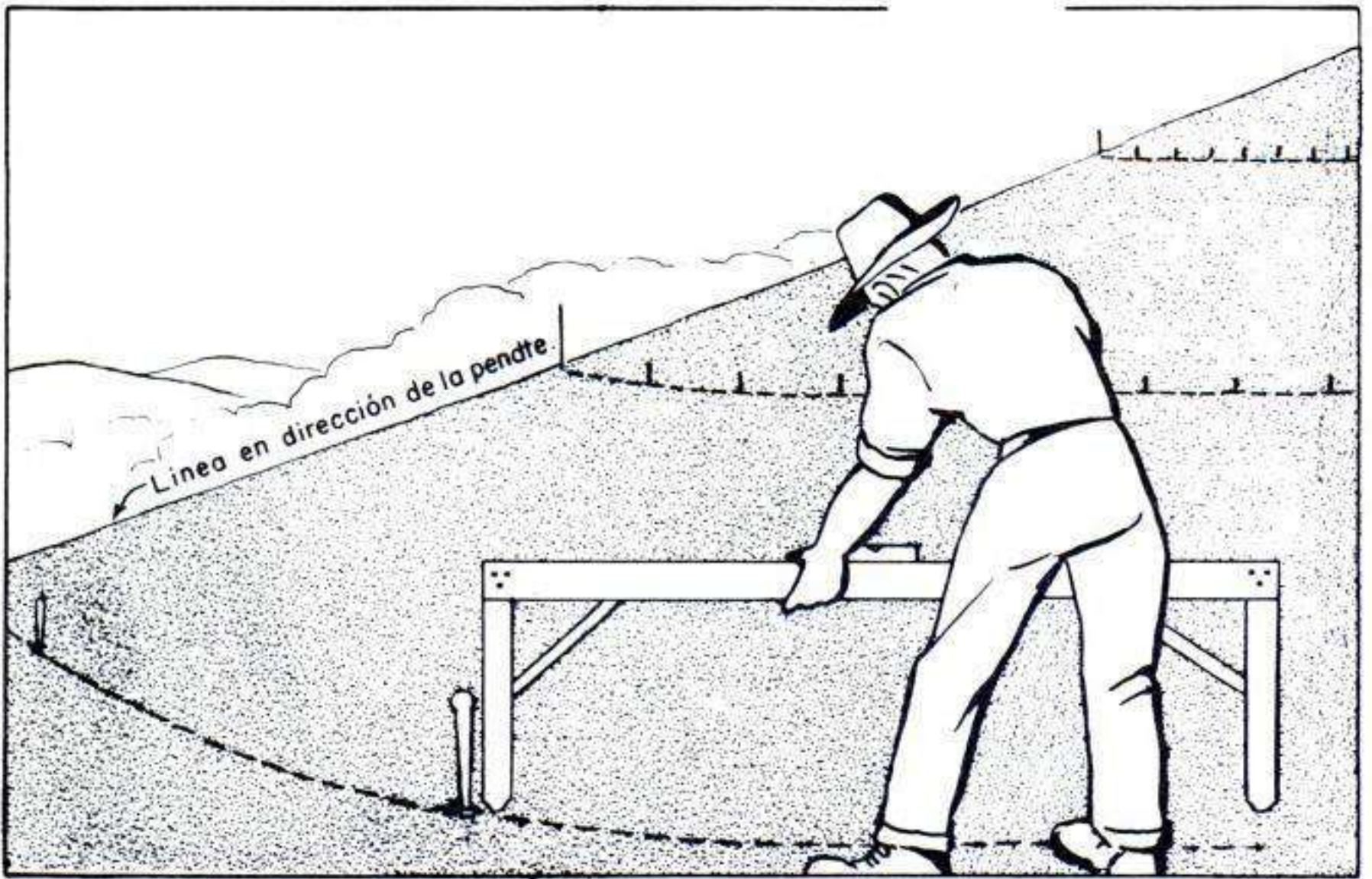


Fig. 58. Trazo de una plantación en contorno, con ayuda del caballete.

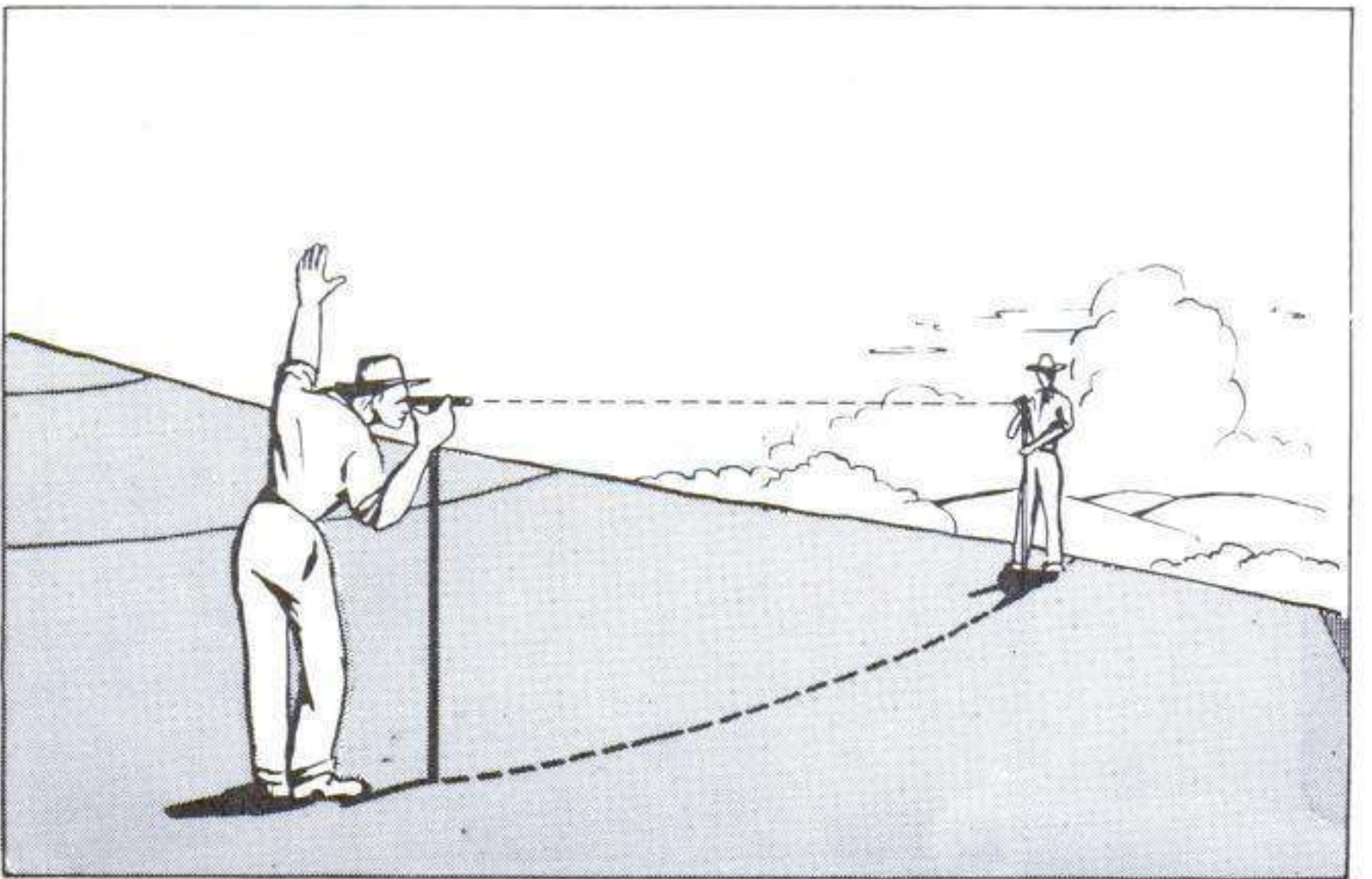


Fig. 59. Trazo de una plantación en contorno con ayuda de un nivelador de lectura indirecta.

ocupaba la de delante; se repite la operación anterior hasta que la burbuja del nivel vuelva a ocupar el centro, y se marca este punto con otra estaca. Se continúa en la misma forma hasta llegar al límite del campo; las estacas enterradas marcan la curva de contorno, la cual se corrige ligeramente para suprimirle curvas y ángulos muy forzados. Luego se traza otra línea guía procediendo en la misma forma, pero partiendo de la segunda estaca colocada sobre la línea en dirección de la pendiente. El distanciamiento o separación entre líneas guías depende del grado y la uniformidad de la pendiente del terreno. En pendientes uniformes y con menos del 15% de inclinación, pueden separarse hasta 30 m; en pendientes más pronunciadas se acorta el intervalo con el criterio de que siempre sea fácil llevar a cabo todas las operaciones culturales en forma paralela a esas líneas (27).

Al terminar el trazado se puede pasar dos veces un arado a lo largo de las líneas guías de manera que se forme un caballón o lomo que las marque en forma permanente.

TRAZO CON UN NIVELADOR DE LECTURA INDIRECTA

Cuando se usa un nivelador de lectura indirecta se coloca el instrumento en el sitio marcado por la primera estaca que se ha clavado sobre la línea en dirección de la pendiente y se dirige la visual hacia la dirección que se supone puede llevar la línea de contorno, centrando

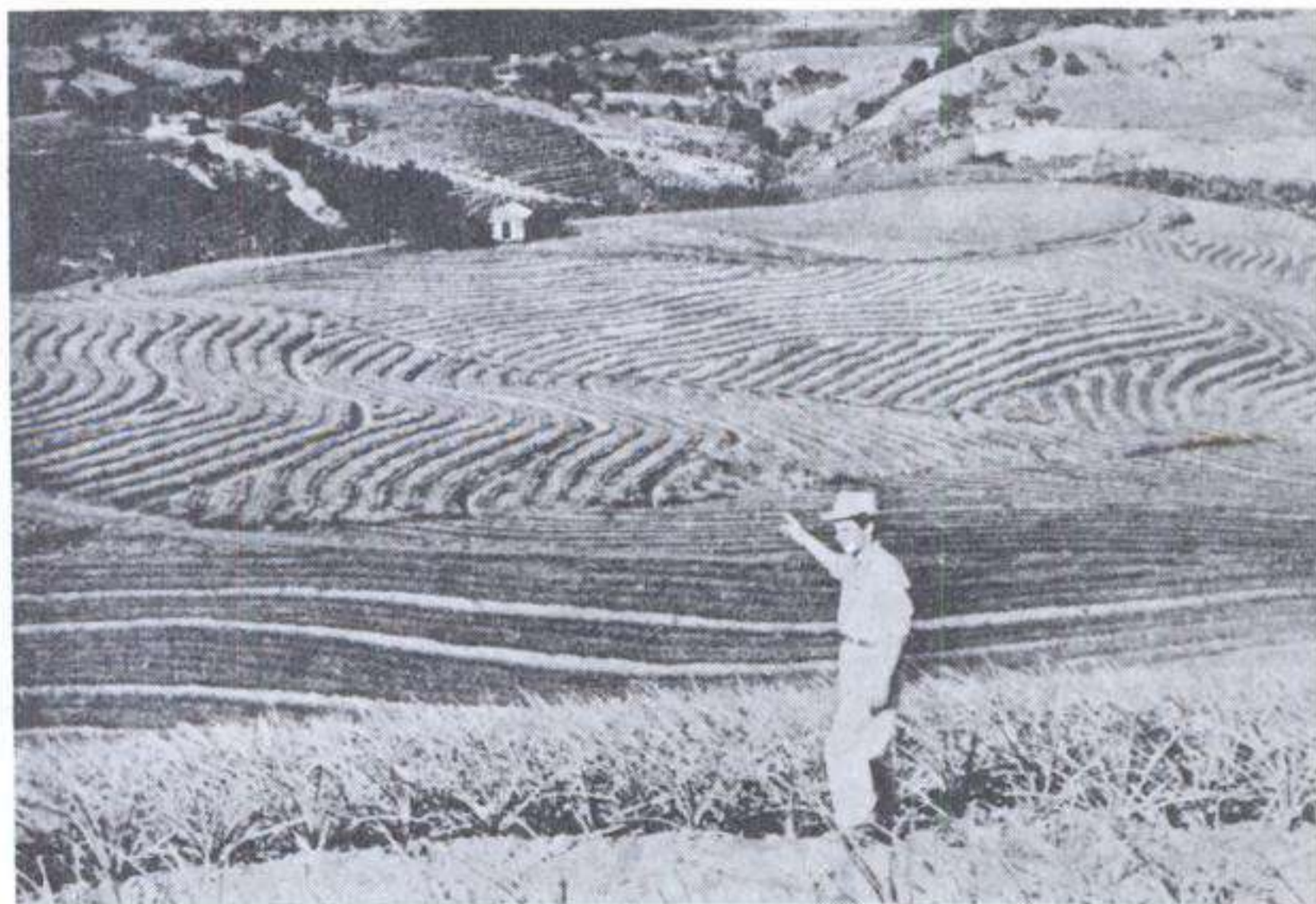


Fig. 60. Siembra en contorno en diferentes pendientes. El sistema es tan sencillo de aplicar y tan útil, que debería utilizarse en toda plantación anual o perenne.

la burbuja del nivel. Un ayudante provisto de una regla en donde se ha marcado una altura igual a la de los ojos del operador, avanza unos 10 a 15 m y apoya sobre el suelo la regla, moviéndola según las indicaciones que reciba hasta que la visual lanzada a través del aparato nivelador caiga exactamente a la altura marcada en la regla. Seguidamente se coloca una estaca en este punto y se traslada de nivel 10 ó 15 m adelante de la regla o mira, desplazándolo sobre el terreno hasta que nuevamente caiga la visual sobre la señal marcada en la regla. Se coloca una estaca en este otro punto y se mueve la regla 10 ó 15 m adelante del nivel, repitiéndose el procedimiento original. Es decir, una vez se mantiene quieto el nivel y se mueve la mira hasta encontrar un punto que esté a igual altura del señalado anteriormente, y a la vez siguiente, teniendo quieta la mira, se mueve el aparato nivelador.

Después que se haya trazado la primera línea guía, se corrige y se procede a trazar en la misma forma las demás líneas de contorno.

LABRANZA EN CURVAS DE NIVEL

Para arar el terreno en contorno se procede en la forma siguiente: se conduce la máquina paralela a dos curvas consecutivas hasta que los surcos se encuentren en el centro de la parte más angosta de la faja. Luego se aran las porciones irregulares que quedan intercaladas.



Fig. 61. Plantación de maní sembrada en contorno. Obsérvese que la pendiente del terreno es suave. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

Siguiendo este sistema el surco muerto queda equidistante de dos líneas de contorno.

También puede ararse a lado y lado de una línea guía hasta que los surcos se extiendan hasta la mitad de la distancia (en la parte más angosta) entre dos curvas sucesivas. Se pasa a la curva siguiente y se procede en igual forma; por último, se ara la porción comprendida entre las fajas ya preparadas (1).

SIEMBRA EN CURVAS DE NIVEL

Para sembrar en esta forma se comienza en la línea guía más alta y se echan las semillas en hileras paralelas a esa línea y a ambos lados hasta que las de arriba lleguen al extremo superior del campo y hasta que las de abajo lleguen a la mitad, en su parte más angosta, de la faja limitada por las dos primeras curvas. Se pasa a la segunda curva y se procede en igual forma ascendiendo en un sentido hasta encontrar las hileras ya sembradas y en el otro hasta la mitad de la distancia a la tercera curva. Luego se siembran las hileras discontinuas hasta llenar todo el espacio vacío entre las dos curvas, y así sucesivamente.

En esta forma las hileras interrumpidas quedan localizadas en el centro del área comprendida entre dos líneas guías.

En el curso del desarrollo del cultivo, todas las labores culturales (desyerbas, aporques, etc.) se verifican en forma similar, de manera que siempre se siga la línea de contorno (1).

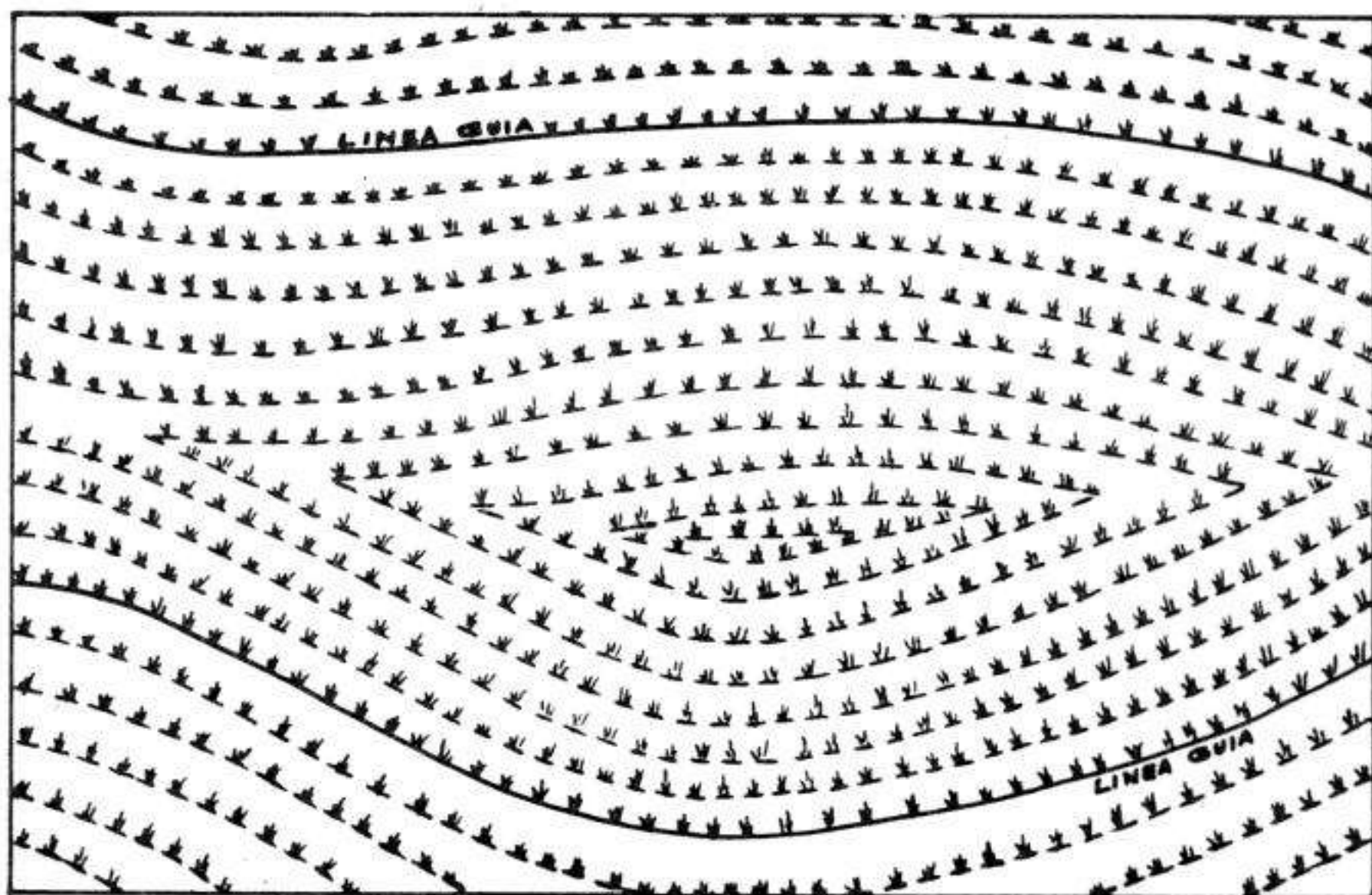


Fig. 62. Siembra en curvas de nivel. Las hileras interrumpidas quedan en el centro.

CULTIVO EN FAJAS

INTRODUCCION

Consiste en la disposición de los cultivos de la finca en fajas de anchura variable, en tal forma que cada año se alternen plantas que ofrecen poca protección al suelo con otras de crecimiento denso. Puede considerarse como una práctica compleja, en la cual se combinan las siembras en contorno con rotaciones, plantas de cobertura y en muchos casos con terrazas.

El cultivo en fajas, apropiadamente establecido, mantiene y aun aumenta la fertilidad de los terrenos, suministra buena cubierta vegetal a una proporción substancial de los terrenos de la finca, y asegura la presencia permanente de bandas de cultivo denso que obran como barreras vivas.

Hay dos tipos de cultivos en fajas: 1) cultivo en fajas al contorno; y 2) cultivo en fajas transversales al viento. En el primero, los cultivos se disponen en bandas o fajas que siguen las líneas de nivel, formando ángulo recto con la dirección de la pendiente natural del terreno. Es el sistema más ampliamente utilizado y que ofrece las mayores ventajas en regiones en donde el agua de lluvia es el agente causal de la



Fig. 63. Cultivo en fajas. Las fajas están trazadas en contorno y sirven para contrarrestar la acción erosiva del agua de escorrentía; las fajas rectas se trazaron con objeto de controlar la erosión causada por el viento. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

erosión. En el segundo, las fajas se establecen de anchura uniforme y en forma que corten la dirección de los vientos predominantes. Tiene aplicación en zonas planas o de muy poca pendiente en donde el viento es el principal agente de erosión.

EFECTOS DEL CULTIVO EN FAJAS AL CONTORNO

Este sistema participa de todas las ventajas del cultivo en contorno y del cultivo en rotación; además, ofrece protección adicional al terreno por la acción de las fajas de cultivo denso que disminuyen la velocidad y el volumen de la escorrentía que llega a las zonas ocupadas con cultivo de escarda. Existen muchos datos experimentales, casi todos obtenidos en los Estados Unidos, que demuestran esto con claridad.

En el Cuadro 22 se presentan algunas cifras que pueden servir de ejemplo:

CUADRO No. 22. Cultivo en fajas: datos experimentales sobre pérdidas de suelo y agua (26).

Lugar	Pendiente del terreno por 100	Rotación	Sistema de cultivo	Erosión Ton/Ha	Escorrentía por 100 de la lluvia	Número de años del experimento	Referencia bibliográfica
Temple Texas EE. UU.	3	Algodón, avena y maíz	Contorno Fajas en contorno	13,25 4,00	10,1 7,3	2	Tower, (26)
State College Pensilvania EE. UU.	9,4	Maíz, trigo, timoty y trébol	Contorno Fajas en contorno	30,25 1,25	9,9 2,8	3	Tower, (26)
Arnot Nueva York EE. UU.	8,2	Patata, avena, trébol y trébol	Dirección de la pendiente Contorno Fajas en contorno	13,00 1,00 0,13	5,3 1,8 0,6	3	Tower, (26)

CLASES DE TERRENOS EN LOS CUALES DEBE USARSE EL SISTEMA

El cultivo en fajas es apropiado para terrenos clasificados en las clases II, III y IV. En la clase II puede proteger suficientemente el

suelo para que sea innecesaria la utilización de otras prácticas especiales; en las clases III y IV generalmente debe combinarse la siembra en fajas, con terrazas o acequias de ladera y la anchura de las fajas puede reducirse de manera que sea menor la separación existente entre las porciones sembradas con cultivos de crecimiento denso.

Como regla general, se acepta que en las condiciones menos críticas de erosión, la anchura de toda faja puede ampliarse hasta 60 m, en tanto que en las más desfavorables circunstancias puede reducirse hasta la mínima con la cual resulta práctico para el agricultor ejecutar las labores de escarda y la recolección; cuando se usa maquinaria agrícola este límite inferior puede fijarse en 15 m.

De todos modos, es la experiencia la que debe ir fijando el tamaño más conveniente de las fajas, siempre dentro del criterio de que se reduzca hasta límites seguros la velocidad y la concentración de la esorrentía.

TRAZADO

El método más sencillo de trazado consiste en marcar líneas en contorno con un distanciamiento igual a la anchura que se le quiere dar a las fajas, las cuales quedarán limitadas por dos líneas guías consecutivas.

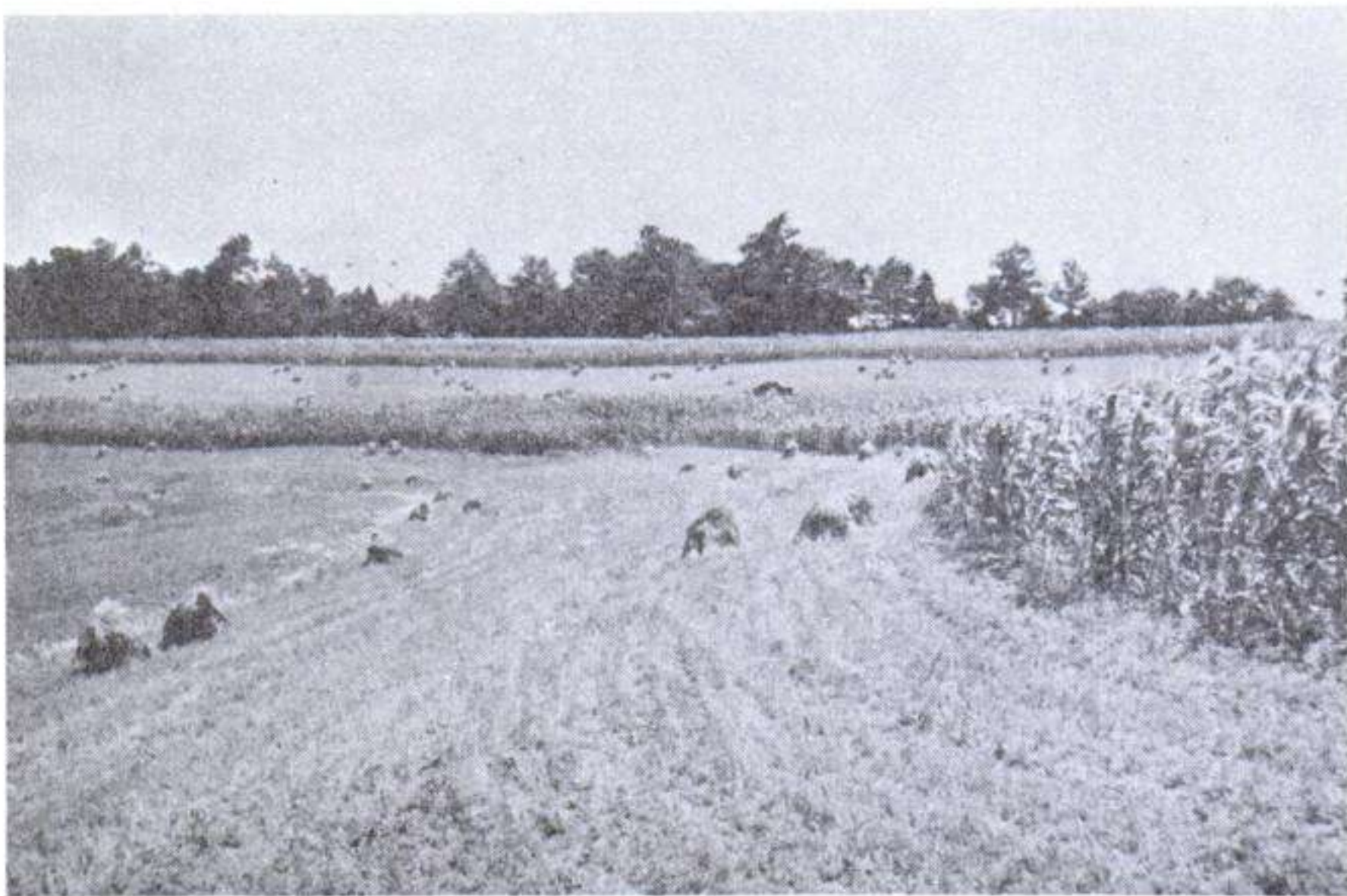


Fig. 64. Cultivo en fajas en terrenos de la clase III. Se utiliza a la vez una rotación de tres años de maíz, forraje (heno) y cereales pequeños (cultivo denso). (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

En esta forma las fajas quedan tan irregulares como desuniforme es la pendiente del terreno, pero se conserva muy aproximadamente la curva de nivel. Su anchura se amplía en las porciones de menor pendiente y se reduce en las partes más empinadas, lo cual puede ofrecer inconvenientes cuando las fajas son muy estrechas. En tales casos el agricultor puede preferir fajas con anchura menos variable, para lo cual traza una línea guía por el centro del terreno y luego marca a distancias iguales la anchura deseada, dos líneas paralelas hacia arriba y dos hacia abajo de la línea guía. Traza nuevas líneas guías para marcar las fajas siguientes y repite la operación. Con este sistema las fajas pueden desviarse un poco del contorno pero las únicas fajas de anchura irregular son las que quedan en el terreno aledaño a las líneas guías.

EL MANEJO DE LOS TERRENOS CULTIVADOS EN FAJAS

Si se planea con cuidado el sistema y se trazan adecuadamente las fajas, es fácil mantenerlo permanentemente en buenas condiciones. Las operaciones agrícolas se ejecutan en forma similar a la explicada cuando se trató de la siembra en contorno; deben, sin embargo, tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- a. La siembra en fajas requiere el establecimiento de una rotación. Como el sistema se basa en la alternativa dentro del mismo campo y en la misma estación de cultivos densos y limpios, es indispensable que en años consecutivos las fajas se roten de manera que se conserve un buen balance de protección en todo el terreno.
En esta forma una faja cualquiera estará, por ejemplo, un año ocupada con cultivo de escardas, otro con cultivo denso, luego con forrajes, y si la rotación es de tres años, al cabo de este tiempo volverá a iniciarse el ciclo.
- b. Al arar los terrenos debe evitarse la formación de caballones y surcos muertos*. Es preferible utilizar un arado reversible, de manera que pueda voltearse la melga siempre hacia arriba de la pendiente.
- c. Al sembrar, si las fajas son de anchura irregular, ordénese la operación de manera que la siembra progrese desde las líneas de contorno hacia el centro de las fajas, para en esa forma tener en contorno el mayor número de hileras de plantas y todas las hileras interrumpidas en la parte central de las fajas.
- d. Al cosechar con maquinaria, se ahorra tiempo recolectando primero las hileras más largas y dejando para el final las hileras interrumpidas.

(*) Véase glosario al final del libro.

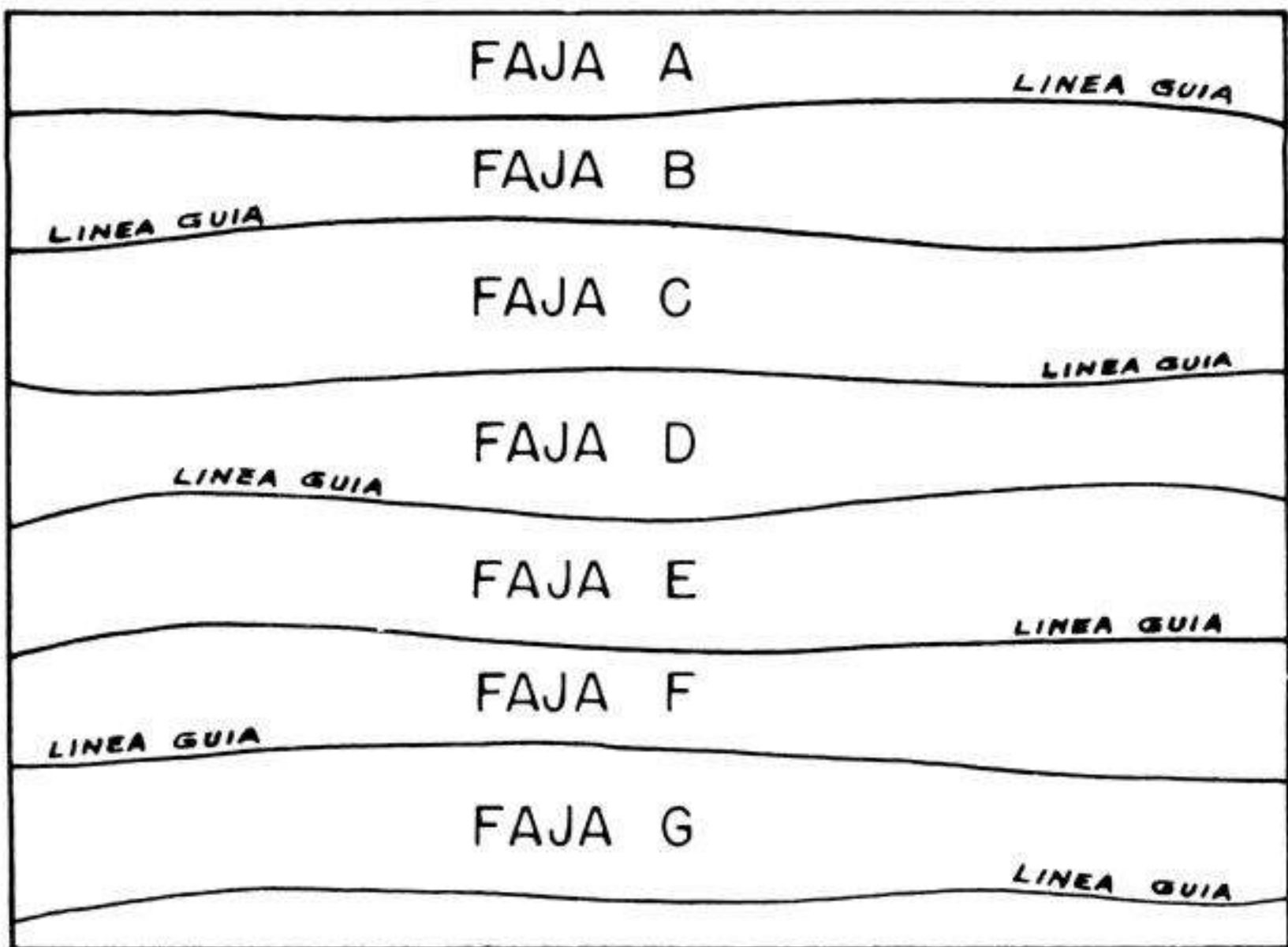


Fig. 65. Sistema sencillo de trazar fajas en contorno. Cada una de ellas queda limitada por dos líneas en contorno y, por lo tanto, su anchura es irregular.

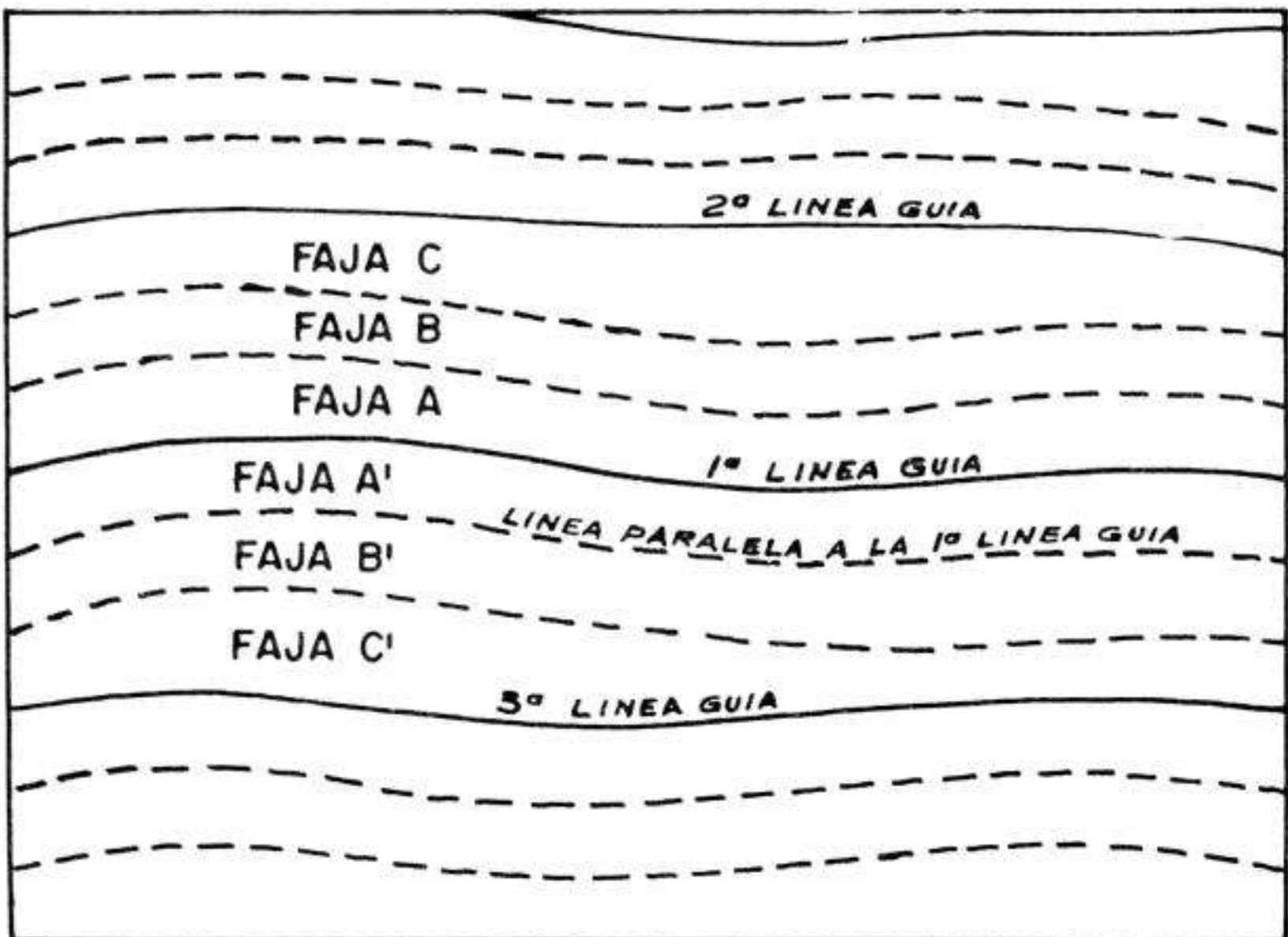


Fig. 66. Otro sistema para trazar fajas en contorno. Dos de cada tres fajas son paralelas con cada línea guía. En esta forma son pocas las fajas irregulares.

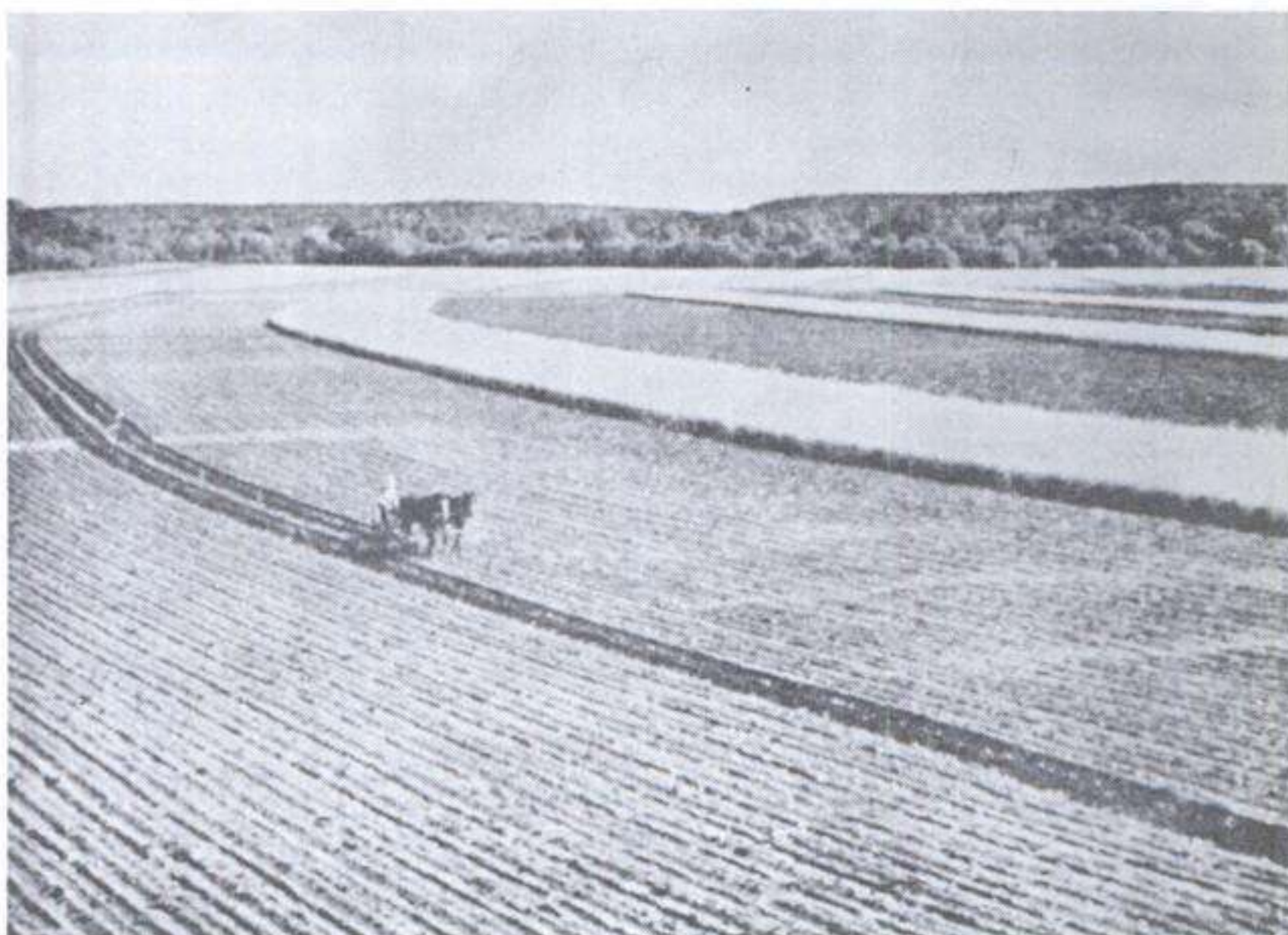


Fig. 67. Sistema de fajas en contorno. Obsérvese cómo se efectúan las labores culturales. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

- e. Siempre deben dejarse vías de drenaje perfectamente protegidas con vegetación. Estas vías facilitan también el tránsito de maquinaria para ejecutar labores en las fajas que lo exigen, sin dañar plantas en aquellas ocupadas con otro cultivo.

LAS BARRERAS VIVAS

INTRODUCCION

Las barreras vivas son hileras de plantas perennes y de crecimiento denso dispuestas con determinado distanciamiento horizontal y sembradas a través de la pendiente, casi siempre en contorno o en curvas de nivel.

El objeto principal de estas barreras es el de reducir la velocidad del agua que corre sobre la superficie del terreno y retener el suelo. Para cumplir con esta finalidad deben utilizarse plantas perennes de crecimiento denso, sembradas en hileras continuas o casi continuas, que en el tiempo más corto posible formen un obstáculo efectivo al paso del suelo.

Las barreras vivas pueden emplearse tanto en cultivos limpios como en cultivos densos o de semibosque. A medida que se verifican

las desyerbas en las fajas de terreno comprendidas entre las barreras, el suelo que se deposita contra aquéllas va formando bancales, los cuales pueden quedar completos en un período de cuatro o cinco años. Este es el método más sencillo y económico de formar terrazas de banco o bancales.

La barrera viva tiene además la ventaja de constituir una guía permanente para la siembra en contorno o en curvas de nivel (24).

CUADRO No. 23. Distanciamiento de barreras vivas en cultivos limpios.

Pendiente del terreno por 100	Distancia horizontal metros
5	20,00
10	15,00
15	10,00
20	9,00
25	8,00
30	6,50
35	6,00
40	6,00

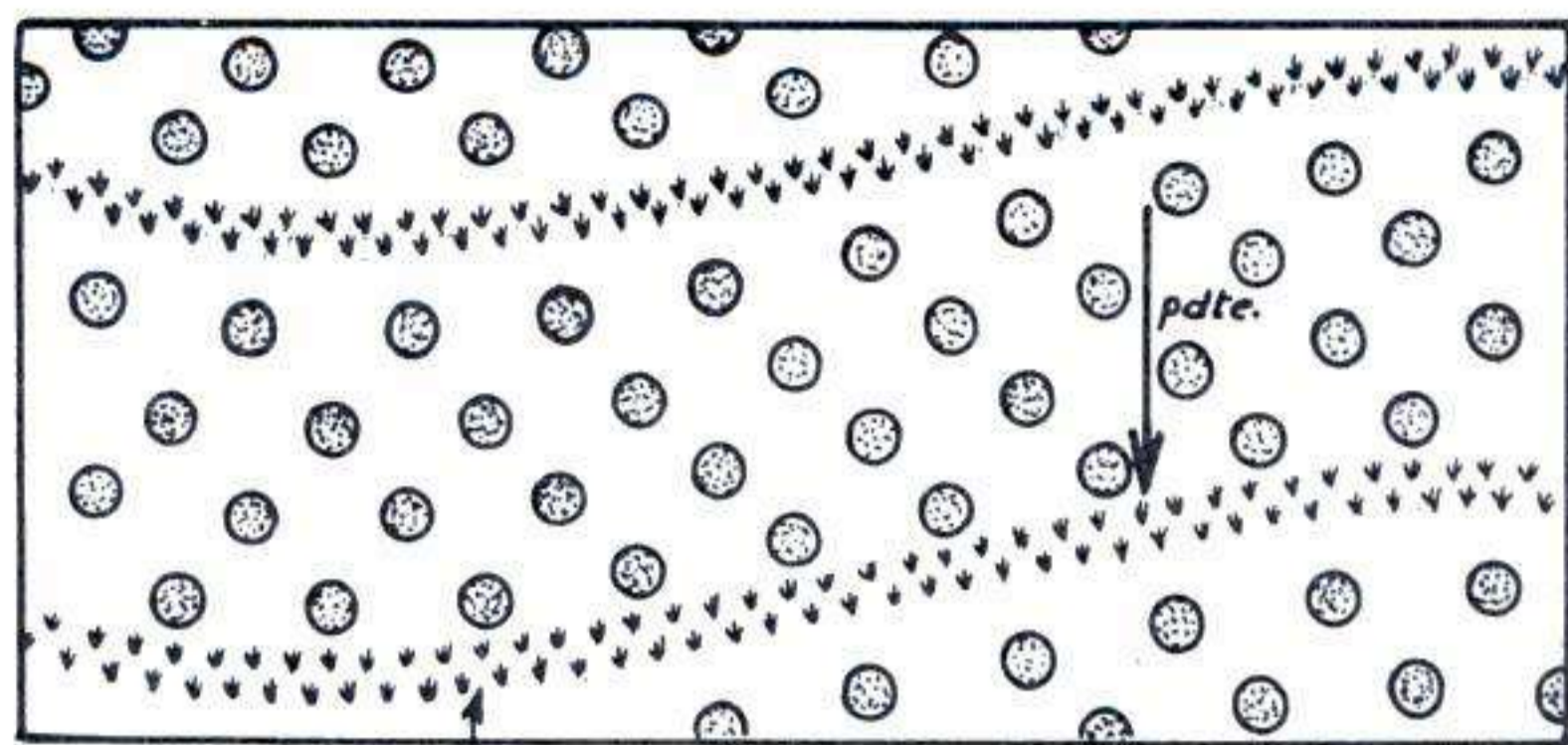
DISTANCIAMIENTO DE LAS BARRERAS

Cuando se usan en cultivos limpios (o sea los que protegen poco el suelo como el maíz, la yuca, la papa o patata, el algodón, etc.), hay que establecerlas con una separación (intervalo) menor que cuando se utilizan en cultivos densos o de semibosque, porque como el agua de lluvia que el terreno no retiene corre muy rápidamente por la superficie del suelo desnudo, es necesario establecer obstáculos a distancias cortas. Lo mismo sucede con los terrenos pendientes: a medida que son más empinados es mayor el número de barreras que hay que establecer.

En el caso de cultivos limpios las separaciones o distancias entre barreras serán las que se señalan en el Cuadro 23.

Es evidente que en terrenos de excesiva pendiente el ideal es no sembrar cultivos limpios (maíz, yuca, tabaco, etc.), pero como en muchos casos es imposible lograr esto en regiones muy quebradas y con gran densidad de población, la siembra de barreras aminora el daño de la erosión.

Al verificar la siembra de la plantación, las barreras vivas deben tomarse como líneas guías y sembrar las hileras paralelamente a ellas. Luego todas las desyerbas se ejecutarán también en contorno.



Barreras vivas sembradas al tres-bolillo

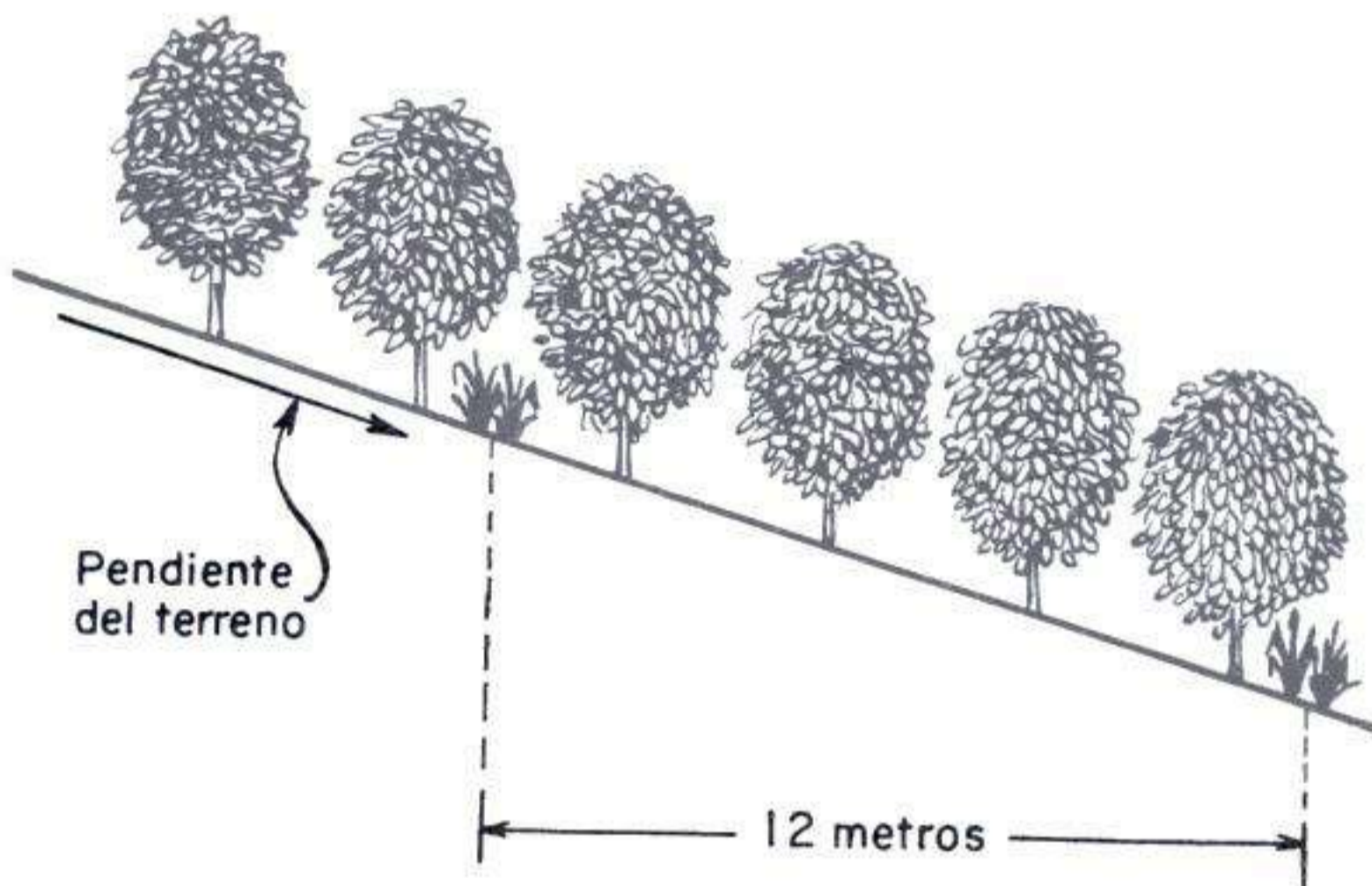


Fig. 68. Barreras vivas en plantaciones perennes.

En regiones de mucha lluvia, en donde caen aguaceros muy fuertes, y con suelos arcillosos o poco permeables, es conveniente darles a las barreras una inclinación o pendiente del 0,5 al 1% hacia un desagüe lateral protegido, con el fin de evitar encharcamiento o la formación de chorros. Esto es especialmente importante en cultivos como la patata y el tabaco, los cuales son muy susceptibles al exceso de humedad.

En los cultivos densos o de semibosque deben separarse más las barreras vivas. En ese caso pueden utilizarse las distancias que se dan en el Cuadro 24.

En plantaciones perennes las barreras deben quedar entre las calles, sin acercarse mucho a los árboles o arbustos.

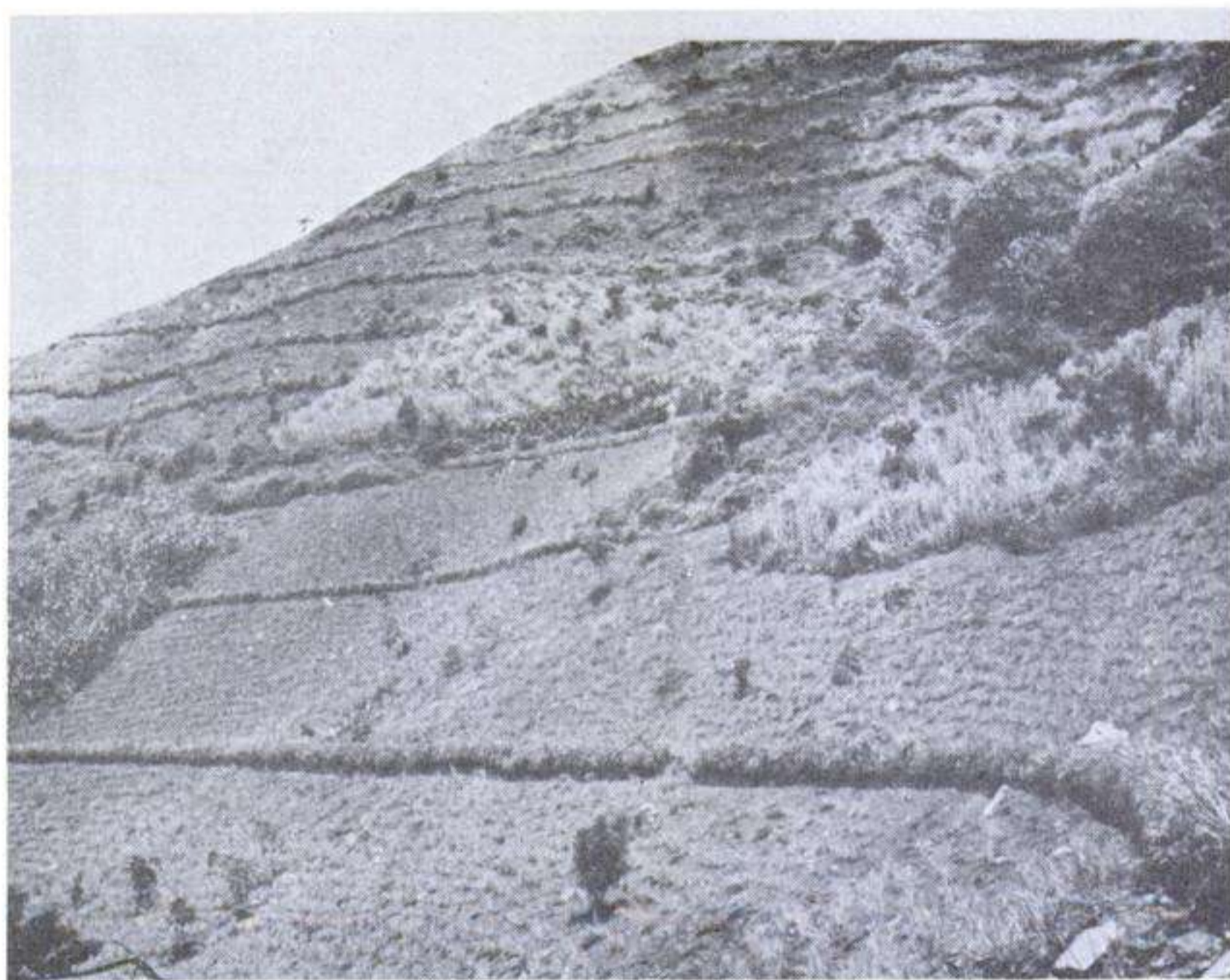


Fig. 69. Barreras vivas de limoncillo (*Andropogum*), ampliamente utilizadas en las regiones montañosas de Colombia y de Centroamérica. (Foto O. Londoño).

CUADRO No. 24. Distanciamiento de barreras vivas en cultivos densos o de semibosque.

Pendiente del terreno por 100	Distancia horizontal metros
5	25
10	20
15	18
20	15
25	15
30	12
35	12
40	9
45	9
50	9
55	9
Más del 60	6

En huertos o plantaciones nuevas las barreras vivas deben sembrarse en el momento de trazar la plantación y usarse como líneas guías, en la forma como se explicó al hablar de la siembra en contorno. En plantaciones viejas es necesario desviar en algunos sitios la línea de la barrera por encontrarse con plantas mal colocadas (24).

PLANTAS QUE PUEDEN UTILIZARSE PARA BARRERAS VIVAS

Como se dijo al principio no deben usarse con este fin sino plantas perennes (es decir de vida muy larga) y de crecimiento denso. Las más aconsejables en las regiones tropicales de la América Latina son el vetiver (*Andropogum muricatus*), el limoncillo (*Andropogum citratus*) y el pasto imperial (*Paspalum founnerianum*). Cuando se usa un pasto se puede aprovechar el material de la barrera como pasto de corte.

En algunas zonas se han utilizado con éxito la piña (*Ananasa sativa*), la iraca (*Carludovica palmata*), el bihao (*Heliconia bihai*), la piñuelá (*Bromelia karattas*), etc. En cada región existen plantas que si reúnen las condiciones de crecer densamente, vivir por largo tiempo y no extenderse demasiado, pueden utilizarse con éxito.

Las leguminosas, como la crotalaria, el guandul (*Cajanus indicus*) y la mermelada de caballo, no son aconsejables como barreras vivas.

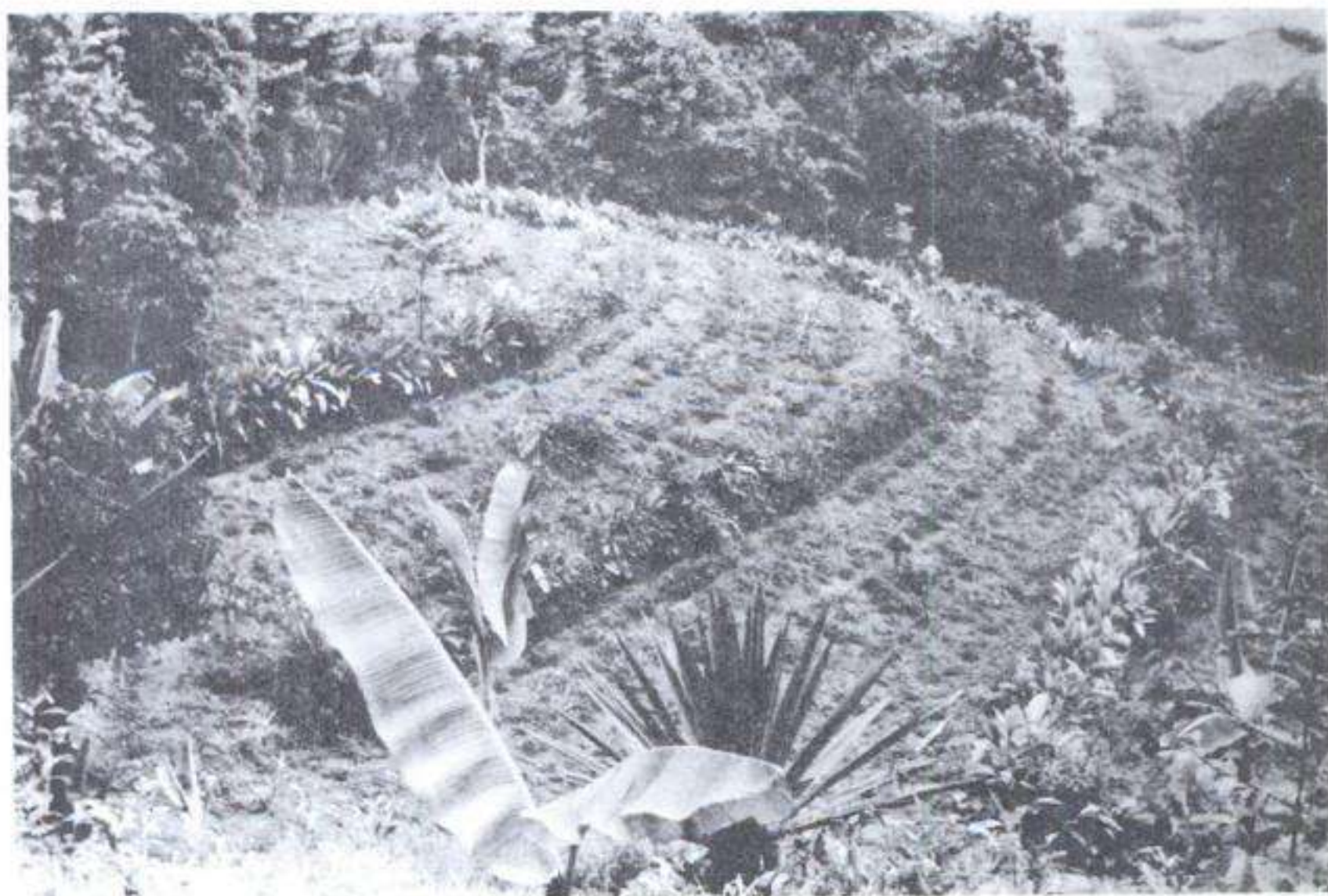


Fig. 70. Barreras vivas de bihao, bien establecidas.

Estas plantas son magníficas como abono verde, sombrío transitorio en plantaciones de semibosque, etc., pero no forman un buen obstáculo al arrastre del suelo. En todos los casos las plantas que se usen como barreras deben sembrarse al tresbolillo o en triángulo, distanciadas entre sí de 15 a 20 cm (24).

Se ha discutido mucho sobre la competencia que las barreras hacen a los árboles o arbustos bajo cultivo. Sin embargo, si se reflexiona un poco se ve la poca consistencia de esas afirmaciones. Cuando no se extrae del terreno ninguna parte del vegetal la planta devuelve a él todas las sustancias que toma de las capas profundas del suelo, en forma de material orgánico muy útil en el mejoramiento del suelo. Por otra parte, de acuerdo a las distancias aconsejadas, es tan pequeña la proporción del área total ocupada por la barrera que no es posible que llegue a agotar los nutrimentos del terreno. Es necesario, eso sí, que la barrera no quede muy cerca de las plantas bajo cultivo.

COMO SE ESTABLECEN LAS BARRERAS VIVAS

- a. Ante todo se debe determinar la pendiente promedio o típica del terreno.
- b. Con este valor de la pendiente se busca en los Cuadros 23 ó 24 (según se trate de cultivo limpio o de cultivo denso o de semibosque) la distancia a que deben establecerse las barreras.
- c. Con cualquier aparato de nivelación se trazan sobre el terreno y se marcan con estacas las líneas correspondientes, en la forma como se explicó al hablar de siembra en contorno.
- d. Se remueve una faja de terreno de 50 cm a ambos lados de las líneas de estacas y se siembran las plantas que vayan a usarse. En todos los casos estas plantas deben sembrarse en hileras dobles, al tresbolillo o triángulo, y distanciadas de 15 a 20 cm.

MANTENIMIENTO DE LAS BARRERAS VIVAS

Tan importante como sembrar una buena barrera es conservarla adecuadamente. No debe permitirse que se extienda mucho hasta amenazar invadir el terreno. Deben recortarse periódicamente y evitar su excesivo macollamiento. Al verificar las desyerbas es aconsejable acumular los residuos contra las barreras de manera que se vayan formando bancales.

FAJAS DE CONTENCION

Una modalidad de las barreras vivas son las llamadas fajas de contención, que consisten en fajas generalmente de pasto, distanciadas

en forma similar a las barreras y de 1 m de ancho, que se establecen en el terreno cuando se siembran cultivos limpios.

Cuando se abre un potrero, basta marcar con el caballete líneas de contorno distanciadas como si fueran a establecerse barreras vivas, señalar líneas paralelas a 1 m de distancia de cada línea guía y mantener en esas porciones así marcadas la vegetación original. Este sistema es especialmente útil en terrenos muy pendientes.

LA ROTACION DE CULTIVOS

INTRODUCCION

Se define como la sucesión recurrente y más o menos regular de diferentes cultivos en el mismo terreno. Es una práctica muy antigua, la cual, utilizada apropiadamente, contribuye de modo eficaz a controlar la erosión y a mantener la productividad de los terrenos. El efecto benéfico de la práctica depende de la selección que se haga de las plantas que van a rotarse y de la secuencia que se siga en su siembra. Una buena rotación siempre debe incluir leguminosas y praderas artificiales por un tiempo más o menos largo, según la susceptibilidad del terreno a la erosión.

Este principio hace resaltar la importancia de combinar en la finca la agricultura y la ganadería, para lograr un buen equilibrio en el uso de los terrenos.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SELECCION DE UNA ROTACION DE CULTIVOS

Todos los factores que se analizaron al tratar de la planificación de las fincas deben tenerse en cuenta para seleccionar una rotación que se adapte a las condiciones físicas y económicas de la finca y a las habilidades y preferencias del agricultor.

La rotación, por otra parte, debe siempre basarse en un plan a largo plazo que resulte de los conocimientos acumulados por los agricultores y de los obtenidos por las estaciones experimentales, el cual no puede ser muy rígido ni inflexible, pues los detalles pueden variarse en el transcurso de los años, según lo vaya aconsejando la observación de los encargados de realizarlo o las variaciones en las condiciones económicas. Sin embargo, nunca deben introducirse cambios que alteren los principios básicos de una buena rotación.

Esta práctica tiene aplicación únicamente en terrenos de las clases agrológicas I, II, III y IV.

En lo posible, los cultivos que se suceden en la rotación deben tener exigencias alimenticias diferentes, no ser susceptibles a las mismas plagas y enfermedades y ofrecer grados diferentes de protección al suelo.

Para explicar con mayor claridad la forma de planear una rotación debe recordarse que los cultivos pueden dividirse en: 1) cultivos limpios anuales que exigen escardas periódicas (maíz, tabaco, algodón, patatas, hortalizas, etc.); 2) cultivos densos (trigo, cebada, avena, centeno, etc.); 3) cultivos de larga duración que exigen labores culturales moderadas en cuanto remueven poco el suelo (alfalfa, trébol, gramíneas para heno o forrajes, etc.); 4) potreros; 5) bosques.

La protección que esos cultivos ofrecen a los terrenos es progresiva, es decir, en igualdad de condiciones un lote sembrado de trigo está más defendido de la erosión que sembrado de maíz y menos que sembrado de alfalfa.

Con esta clasificación, resulta fácil determinar la rotación más adecuada, desde el punto de vista de la conservación de los suelos, para cada clase de terreno. En un plazo de varios años, la proporción de cultivos del tipo 3) debe ser mayor para un terreno de la clase III, que para un terreno de la clase I, etc.

Es decir, en un lote de suelo profundo, con buen drenaje y de pendiente muy suave (clase I), pueden sembrarse en un lapso de cinco años, dos cosechas de maíz, dos de trigo y una de abonos verdes (tal vez aplicando algunos fertilizantes o abonos) sin que su fertilidad sufra mengua; si el terreno es en cambio de mediana profundidad y de pendiente más pronunciada que el considerado en primer término (clase II), sería prudente no sembrar más de una cosecha de maíz, una o dos de trigo, una de abonos verdes y una de plantas forrajeras; si el terreno presenta mayor susceptibilidad a la erosión, la rotación deberá incluir a lo sumo una cosecha de maíz y otra de trigo distanciadas por tres cosechas intermedias de abonos verdes y plantas forrajeras. En esa forma la rotación permite graduar la protección de los terrenos contra la erosión.

VENTAJAS DE UNA BUENA ROTACION DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CONSERVACION DE LOS SUELOS

La siembra continua de un terreno con un mismo cultivo limpio es causa de grandes reducciones en el contenido de materia orgánica y de nutrimentos minerales y, en consecuencia, origina condiciones desfavorables para la obtención de abundantes cosechas.

Con una buena rotación ese peligro se reduce. Como se cultivan plantas con diferentes exigencias alimenticias y se alternan aquellas cuyas raíces penetran profundamente con otras de raíces superficiales, se explotan más homogéneamente las reservas del suelo aplazando la ocurrencia de deficiencias críticas. Por otra parte, con un cultivo de plantas de raíces profundas se mejora la condición física del suelo y del subsuelo, facilitándose la circulación de agua y de aire a través de los canales que se forman al descomponerse esas raíces, y se asegura un medio más apropiado para el crecimiento del cultivo subsiguiente (4).

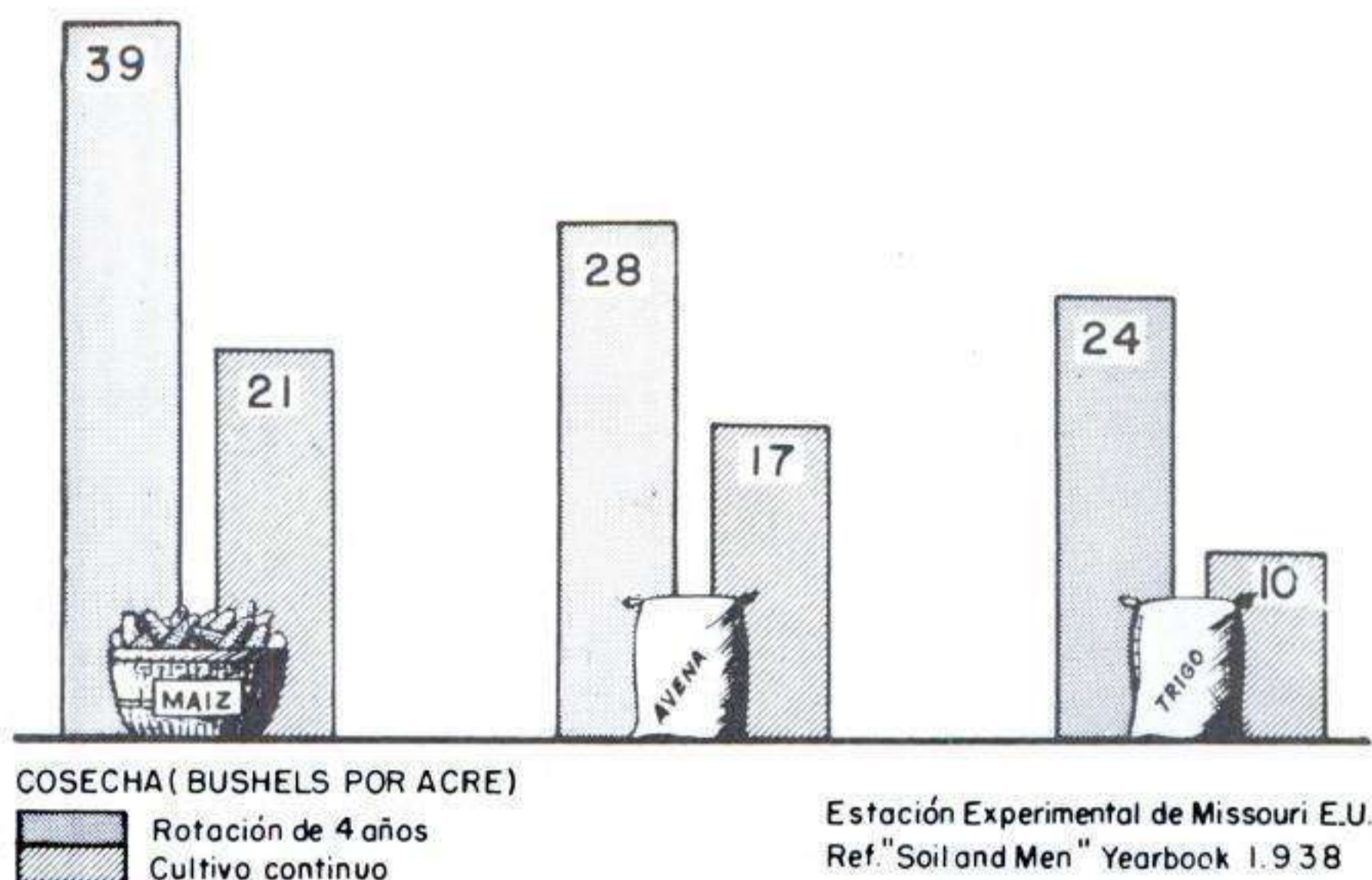


Fig. 71. Producción promedio de maíz, avena y trigo en cultivo continuo y en rotación de cuatro años en un experimento efectuado durante treinta años.

La rotación de cosechas permite, asimismo, que se haga una mejor utilización de los abonos y fertilizantes; estando el terreno ocupado la mayor parte del año con plantas de distintas exigencias alimenticias se evita que se pierda por lavado y percolación parte de las sales que se apliquen. En la Fig. 71 se resumen los resultados de un experimento conducido durante 30 años en la estación experimental del Missouri (Estados Unidos), en el cual se comparan las cosechas de maíz, avena y trigo en una rotación de 4 años (con trébol) y en cultivo continuo.

Como puede apreciarse, se obtuvo, debido a la rotación, un aumento de producción del 80,9% en maíz, del 64,6% en avena y del 140% en trigo, en comparación con los rendimientos obtenidos en cultivo continuo (12).

Las mejoras logradas en las condiciones del suelo, se reflejan asimismo en reducciones grandes en las pérdidas de suelo y agua. La variación periódica en prácticas culturales y su reducción en número, el mantenimiento de un buen contenido de materia orgánica, el mejoramiento de las condiciones de permeabilidad del suelo, el mantenimiento de una cubierta vegetal durante una mayor proporción de tiempo, son todos factores que se traducen en menor erosión cuando se utiliza una rotación adecuada (28).

En el Cuadro 25 se resumen los datos obtenidos en varias estaciones experimentales de los Estados Unidos sobre pérdidas de suelo y agua en cultivo continuo y en rotación (8, 15).

CUADRO No. 25. Rotaciones: datos experimentales sobre pérdidas de suelo y agua.

Lugar	Sistema de cultivo	Pendiente del terreno por 100	Textura del suelo	Lluvia mm (promedio)	Escorrentía por 100 de la lluvia (promedio)	Erosión Ton/Ha (promedio)	Número de años del experimento
Bethany (Missouri)	Maíz continuo	8	Franco	883,7	28,3	172	6
	Rotación: maíz, trigo y trébol	8	Franco	883,7	15,2	28,4	6
Clarinda (Iowa)	Maíz continuo	9,6	Franco limoso	681,2	8,64	47,1	3
	Rotación: maíz, avena y trébol	9,6	Franco limoso	681,2	4,95	13,5	3
Guthrie (Oklahoma)	Algodón continuo	7,7	Franco arenoso fino	841,2	14,31	60,7	6
	Rotación: algodón, trigo y trébol dulce	7,7	Franco arenoso fino	841,2	11,60	13,9	6
La Crosse (Wisconsin)	Maíz continuo	16,0	Franco limoso	866,6	20,58	220,9	3
	Rotación: maíz, trébol y cebada	16,0	Franco limoso	866,6	12,07	63,3	3

CUADRO No. 25. Cont.

Lugar	Sistema de cultivo	Pendiente del terreno por 100	Textura del suelo	Lluvia mm (promedio)	Escorrentía por 100 de la lluvia (promedio)	Erosión Ton/Ha (promedio)	Número de años del experimento
Temple (Texas)	Maíz continuo	3,75	Franco arcilloso	796,0	13,72	52,2	6
	Rotación: maíz, avena y algodón	3,75	Franco arcilloso	796,0	7,71	26,0	6
Zanesville (Ohio)	Maíz continuo	12,0	Franco limoso	876,0	35,18	149,1	2
	Rotación: maíz, trigo y dos años de pastos	12,0	Franco limoso	876,0	18,45	19,9	2

CUADRO No. 26. Diferentes tipos de rotaciones.

Rotación núm.	AÑOS DE LA ROTACION						Por 100 del tiempo total de la rotación, en que el terreno está ocupado con				
	1	2	3	4	5	6	Cultivos limpios	Cultivos densos	Forrajés	Abonos verdes	
	ROTACIONES DE UN AÑO										
1	L(ab)						100	0	0	0	100
2	D(ab)						0	100	0	0	100
	ROTACIONES DE DOS AÑOS										
3	L	D(ab)					50	50	0	0	50
4	D	F					0	50	50	0	0
5	D	D(ab)					0	100	0	0	50
	ROTACIONES DE TRES AÑOS										
6	L	D	F				$33\frac{1}{3}$	$33\frac{1}{3}$	$33\frac{1}{3}$	0	0
7	L	D	D(ab)				$66\frac{2}{3}$	$33\frac{1}{3}$	0	0	$33\frac{1}{3}$
8	L	D	D(ab)				$33\frac{1}{3}$	$66\frac{2}{3}$	0	0	$33\frac{1}{3}$
9	D	D	F				0	$66\frac{2}{3}$	$33\frac{1}{3}$	0	0
10	D	F	F				0	$66\frac{2}{3}$	$66\frac{2}{3}$	0	0
	ROTACIONES DE CUATRO AÑOS										
11	L	D	F	F			25	25	50	0	0
12	L	L	D	F			50	25	25	0	0
13	L	L	L	D(ab)			75	25	0	25	25
14	L	D	D	F			25	50	25	0	25
15	L	D	F	D(ab)			25	50	25	25	25
16	D	D	F	F			0	50	50	0	0
17	D	F	F	F			0	25	75	0	0

AÑOS DE LA ROTACION							Por 100 del tiempo total de la rotación, en que el terreno está ocupado con			
Rotación núm.	1	2	3	4	5	6	Cultivos limpios	Cultivos densos	Forrajes	Abonos verdes
ROTACIONES DE CINCO AÑOS										
18	L	D	F	F	F	F	20	20	60	0
19	L	L	D	F	F	F	40	20	40	0
20	L	L	L	D	F	F	60	20	20	0
21	L	D(ab)	L	D	F	F	40	40	20	20
22	L	D(ab)	L	L	D(ab)	D(ab)	60	40	0	40
23	L	L	D	F	D(ab)	D(ab)	40	40	20	20
24	D	F	F	F	F	F	0	20	80	0
25	D	F	D	F	F	F	0	40	60	0
26	D(ab)	D	F	F	F	F	0	40	60	20
ROTACIONES DE SEIS AÑOS										
27	L	D	F	F	F	F	16 ^{2/3}	16 ^{2/3}	66 ^{2/3}	0
28	L	L	D	F	F	F	33 ^{1/2}	16 ^{2/3}	50	0
29	L	L	L	D	F	F	50	16 ^{2/3}	33 ^{1/3}	0
30	L	D(ab)	L	D	F	F	33 ^{1/3}	33 ^{1/3}	33 ^{1/3}	16 ^{2/3}
31	L	L	D(ab)	L	D	F	50	33 ^{1/3}	16 ^{2/3}	16 ^{2/3}
32	L	D	D	F	F	F	16 ^{2/3}	33 ^{1/3}	50	0
33	L	D	F	F	F	D(ab)	16 ^{2/3}	33 ^{1/3}	50	16 ^{2/3}
34	L	D	F	D	F	F	16 ^{2/3}	33 ^{1/3}	50	0
35	D	F	F	F	F	F	0	16 ^{2/3}	83 ^{1/3}	0
36	D	D	F	F	F	F	0	33 ^{1/3}	66 ^{2/3}	0
37	D	D	F	D	F	F	0	50	50	0

L = Cultivos limpios, D = Cultivos densos, F = Forrajes, (ab) = Abonos verdes.

DIFERENTES TIPOS DE ROTACION

De acuerdo con los principios explicados anteriormente, es fácil diseñar sistemas de rotación que se acomoden a cada finca.

En el Cuadro 26 se presentan algunos tipos básicos que pueden servir de guía para todas las ocasiones, haciendo los ajustes que sean del caso (29).

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ROTACIONES

Las 37 rotaciones básicas que se dan en el Cuadro 26 permiten seleccionar la más adecuada para cada lote de la finca.

Nótese que en las columnas de la derecha (en las cuales se da el lapso, en porcentaje, en que el terreno está ocupado con cada tipo de cultivo, durante el tiempo de la rotación) el período de los abonos verdes figura como suplementario que eleva el porcentaje a más de cien. Esto se debe a que el abono verde se cultiva en el corto período muerto que queda entre la recolección del cultivo denso (cereal) y la siembra del cultivo siguiente.

Obsérvese también que el abono verde no se utiliza sino cuando después del cultivo denso (cereal) viene un cultivo limpio. Esto se debe a que con las plantas de escarda se consigue un mejor aprovechamiento del nitrógeno que agregan los abonos verdes. El trigo y la cebada, con frecuencia sufren volcamientos que reducen mucho los rendimientos cuando se siembran después de la incorporación al suelo de cantidades grandes de materia orgánica.

Desde el punto de vista de la conservación de los suelos las rotaciones más adecuadas son aquellas en las cuales el porcentaje de plantas forrajeras es mayor (rotaciones números 17, 18, 24, 25, 26, 27, 35 y 36 en el Cuadro). Deben, por lo tanto, utilizarse en los lotes con condiciones más críticas (clases agrológicas III y IV) reservando las rotaciones con porcentajes altos de cultivos de escarda para porciones de la finca sometidas a menores riesgos de erosión (clases agrológicas I y II). Combinando rotaciones diversas es posible lograr la distribución que se desee de las diferentes cosechas, suponiendo que los terrenos de las fincas permiten su producción sin graves riesgos de erosión. Asimismo, combinando rotaciones de las incluidas en el Cuadro, se pueden diseñar sistemas que cubran un mayor número de años.

EJEMPLO DE UN SISTEMA DE ROTACIONES

Un ejemplo sencillo permitirá comprender claramente la utilización de la tabla de rotaciones básicas.

Supóngase que una finca cuente con 90 hectáreas de terrenos labo-
rables, de las cuales 40 pertenecen a la clase I y II, 30 a la clase III, y
20 a la clase IV.

El agricultor desea dedicar anualmente extensiones iguales a la
producción de forrajes, de trigo y de maíz. ¿Qué rotaciones debería
utilizar suponiendo que todos los terrenos producen cosechas acepta-
bles de las tres clases de cultivos?

La solución podría ser la siguiente:

- En los terrenos de la clase I y II debería producirse la mayor
proporción de maíz; en los de la clase III la mayor proporción
de trigo y en los de la clase IV la mayor proporción de forrajes.
- Las 40 hectáreas de las clases I y II se dividirían en cuatro lotes,
cada uno de 10 Has, para establecer la rotación L, L, L, D (*ab*)
(rotación número 13). Se tendría entonces todos los años, en
los terrenos de la clase I y II, 30 hectáreas de maíz y 10 de trigo
y abonos verdes.
- Las 30 hectáreas de la clase III se podrían dividir en tres lotes de
10 hectáreas para aplicar la rotación D, D, F (rotación número 9
en el Cuadro). Se tendrían entonces en estos terrenos todos los
años, 20 hectáreas de trigo y 10 de forrajes.
- Las 20 hectáreas de la clase IV se dedicarían por completo a la
producción de forrajes.

Es decir, en forma esquemática la distribución de los cultivos en la
finca quedaría según se presenta en el Cuadro 27.

CUADRO No. 27. Distribución esquemática de los cultivos de la
finca.

Terrenos clase II		Terrenos clase III	Terrenos clase IV
Lote A 10 Ha	Lote B 10 Ha	Lote E 10 Ha	Lote H 20 Ha
Lote C 10 Ha	Lote D 10 Ha	Lote F 10 Ha	
		Lote G 10 Ha	

CUADRO No. 28. Distribución de los cultivos en la finca del ejemplo.

Lote	Area del lote	Cultivo 1. ^{er} año	Cultivo 2. ^o año	Cultivo 3. ^{er} año	Cultivo 4. ^o año	Clase agrológica
A	10 hectáreas	Maíz	Trigo, abono verde	Maíz	Maíz	
B	10 hectáreas	Maíz	Maíz	Trigo, abono verde	Maíz	
C	10 hectáreas	Maíz	Maíz	Maíz	Trigo, abono verde	I y II
D	10 hectáreas	Trigo, abono verde	Maíz	Maíz	Maíz	
E	10 hectáreas	Trigo	Forraje	Trigo	Trigo	
F	10 hectáreas	Trigo	Trigo	Forraje	Trigo	III
G	10 hectáreas	Forraje	Trigo	Trigo	Forraje	
H	20 hectáreas	Forraje	Forraje	Forraje	Forraje	IV

SECUENCIA DE LAS ROTACIONES

En este ejemplo se ve claramente el sistema de planear las rotaciones de una finca, que puede resumirse en los siguientes pasos:

- sin tener en cuenta las divisiones artificiales que existen en la finca y con base en la capacidad de uso de los terrenos (clasificación agrológica) y las necesidades económicas del agricultor, se determinan las rotaciones más convenientes;
- se calculan las hectáreas que van a dedicarse a cada rotación y esa área se divide por el número de años de la rotación;
- se forman bloques de terreno de extensión igual al resultado de la operación anterior. Cada uno de ellos se ocupa con uno de los cultivos de la rotación;
- anualmente se hace en cada bloque el cambio de cultivo que indica la rotación.

PLANTAS DE COBERTURA Y ABONOS VERDES

INTRODUCCION

Las plantas de cobertura se utilizan para proteger el suelo contra la acción directa de las lluvias y de mejorar sus condiciones físicas y químicas para el crecimiento del cultivo posterior. Cuando esas plantas se entierran se denominan abonos verdes; su acción se verifica

entonces a través del aumento en el contenido de materia orgánica del suelo.

Es necesario explicar el papel que desempeña la materia orgánica en el mejoramiento de las condiciones físicas de los suelos y en el estímulo de diversos procesos químicos y biológicos, para comprender la importancia de su mantenimiento, en relación con la productividad de los terrenos.

COMO SE ACUMULA LA MATERIA ORGANICA EN LOS SUELOS

La materia orgánica está formada por los cuerpos de organismos muertos y los residuos de organismos vivos depositados sobre y dentro del suelo; de ella también forman parte los microorganismos encargados de descomponer esos residuos. Los primeros depósitos de materia orgánica se formaron por los cuerpos de las formas primitivas de vida microbiana que existieron sobre el planeta. Luego crecieron las plantas, cuyas raíces, hojas, tallos, flores y frutos ingresan en el suelo en un plazo más o menos amplio, penetrando a alguna profundidad gracias a la acción de diversos agentes y contribuyendo a aumentar la materia orgánica. De todos estos residuos, las raíces son la fuente más importante de materia orgánica con la ventaja de que por su crecimiento subterráneo hacen posible la acumulación de materia orgánica a profundidades variables. Los residuos de animales superiores, lo mismo que las bacterias, hongos, protozoos, etc., vivos y muertos, y todos sus productos de descomposición, forman parte no despreciable de ese gran volumen de material orgánico que ingresa en los terrenos.

La materia orgánica, desde el punto de vista químico, representa una mezcla de sustancias que pueden clasificarse en tres grupos: 1) carbohidratos, 2) proteínas, y 3) grasas, resinas y compuestos similares. Cuando ingresan materiales vegetales en el suelo y se presentan condiciones favorables de temperatura y humedad se comienzan a desarrollar los procesos de descomposición y los microorganismos transforman paulatinamente las sustancias originales. Usan el carbono y el nitrógeno en su alimentación y descomponen las moléculas de carbohidratos y proteínas, dando origen a nuevos compuestos orgánicos y permitiendo la pérdida en el proceso de algunas sustancias como el anhídrido carbónico.

FORMACION DEL HUMUS

El final de ese proceso es la completa mineralización de los residuos, pero como fase intermedia se encuentra el humus que es materia orgánica en estado avanzado de descomposición, la cual ya ha adquirido la consistencia de una masa amorfa, homogénea y de color

oscuro. El contenido de humus es estable en un suelo maduro. Resulta esa estabilidad del equilibrio entre la cantidad de humus que se mineraliza por completo y la cantidad de material orgánico que se transforma en humus. En los suelos jóvenes lo normal es la acumulación o enriquecimiento paulatino en esa substancia. En un suelo que se pone bajo cultivo y en el cual se siembran plantas que exigen escardas periódicas, ocurre generalmente una reducción en el contenido de humus, atribuible principalmente al estímulo en la actividad de los microorganismos por una mejor aireación, al menor ingreso de material por efecto de las continuas labores de cultivo y al arrastre de suelo por las aguas de escorrentía.

La distribución del humus dentro del perfil depende casi por completo de la distribución del material original. Normalmente su contenido es mayor en la capa superficial del suelo y se reduce progresivamente a medida que se va profundizando, hasta desaparecer por completo.

Esto se debe a que la mayor proporción de residuos orgánicos se deposita sobre la superficie del suelo y como la solubilidad en agua del humus es muy baja (menos del 1% de su masa está formada por compuestos solubles en agua) no hay movimiento apreciable de esa substancia con la solución del suelo.

El contenido de humus puede ser menor que la mitad de la materia orgánica total en el suelo. En los horizontes superiores de los suelos **chernozem** (suelos muy ricos y de gran productividad), lo mismo que en algunos suelos tropicales, el porcentaje de humus puede variar entre el 5 y el 10%. A pesar de esta proporción relativamente baja en la masa total, la influencia del humus y de la materia orgánica es enorme.

IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGANICA

Muchos autores consideran que, en general, el contenido de materia orgánica determina el poder nutritivo del suelo. La materia orgánica obra como un depósito o lugar de almacenamiento de los nutrientes que luego suministra en forma lenta y regular a las plantas en crecimiento. Un suelo pobre en materia orgánica puede producir normalmente durante algún tiempo, pero está sometido a perder su productividad en un plazo breve.

La materia orgánica afecta asimismo la estructura y la capacidad de retención de agua del terreno. A los suelos arcillosos, plásticos, les imparte una mejor consistencia, la cual no sólo facilita las labores de labranza y el crecimiento de las plantas, sino que mejora las condiciones de aireación. Los suelos arenosos, en contraste, al agregarles materia orgánica se tornan más retentivos de humedad, lo cual puede reflejarse en el crecimiento de las plantas de cultivo durante épocas muy secas.

MATERIA ORGANICA Y NITROGENO

Otra acción muy importante de la materia orgánica se relaciona con el suministro de nitrógeno a las plantas, a través de la actividad de los microorganismos (bacterias y actinomicetos, hongos y protozoos, principalmente) que descomponen los residuos orgánicos.

Al descomponerse la materia orgánica, la mayor parte del anhídrido carbónico escapa a la atmósfera, en tanto que el suelo absorbe el amonio, resultante de la desintegración de las sustancias proteínicas. Este proceso se denomina amonificación y los organismos responsables (especialmente bacterias) se distinguen con el nombre de amonificadores. Luego el amonio se transforma en nitritos y éstos a su vez en nitratos, debido a la acción de algunas pocas especies bacterianas tales como las de los géneros *Nitrosomonas* o *Nitrosococcus*, que transforman amonio en nitritos, y el *Nitrobacter*, que convierte nitritos en nitratos. En suelos adecuados todos los organismos están presentes y su acción se correlaciona en forma tan perfecta que, con gran rapidez, se sucede la evolución de los compuestos nitrogenados.

NITROGENO ORGANICO Y NITRICO

La mayor proporción de nitrógeno en el suelo se halla en forma orgánica y está asociada, como ya se explicó, con la materia orgánica.

Su cantidad total varía con las características del suelo, con el tratamiento que éste haya recibido y con las cantidades de materia orgánica en forma de abonos, abonos verdes y residuos vegetales que se le hayan incorporado. La forma más soluble del nitrógeno es la nítrica, la cual es, a su vez, la más ampliamente utilizada por las plantas. De aquí la importancia de incorporar la materia orgánica al suelo en época adecuada para que los procesos de formación de nitratos ocurran en la época en que las plantas de cultivo están iniciando su crecimiento más vigoroso.

NITROGENO AMONIACAL

El amonio es un subproducto de la actividad vital de los microorganismos del suelo y la cantidad que se acumula al descomponerse la materia orgánica representa tan sólo una fracción de la cantidad total producida, pues los microorganismos consumen una parte apreciable. Cuando el material que se agrega al suelo es pobre en nitrógeno y rico en carbohidratos, los microorganismos usan el nitrógeno del suelo, especialmente si encuentran nitratos disponibles, y hay una escasa producción de amonio. En esa forma puede ocurrir un empobrecimiento en nitrógeno que afecta las cosechas siguientes. De aquí la importancia de enterrar materiales ricos en ese elemento.

Además de este efecto sobre el nitrógeno del suelo, los abonos verdes ejercen otro muy importante que consiste en la fijación en el

suelo de algunas cantidades de nitrógeno, proveniente de la atmósfera. A pesar de que las cuatro quintas partes de la atmósfera están formadas por nitrógeno, los vegetales no pueden aprovechar este elemento sin antes fijarlo en el suelo y combinarlo con otros elementos. Este proceso se lleva a cabo a través de la acción de bacterias libres o asociadas con algunas plantas (especialmente plantas de la familia leguminosa). Las bacterias simbióticas de las leguminosas, las cuales desempeñan tan importante papel, viven en las raíces, en donde forman nódulos de diferentes tamaños. La cantidad de nitrógeno de la atmósfera fijado de esa manera varía ampliamente, resultando difícil dar un valor siquiera aproximado. Se sabe que en suelos bien provistos de nitrógeno la cantidad es menor que en suelos pobres, pues en aquéllos las plantas utilizan las propias reservas del suelo para subvenir a sus necesidades. Cuando esas plantas leguminosas se entierran ocurre un positivo enriquecimiento del suelo en nitrógeno. Por este motivo se prefieren las leguminosas como abonos verdes, aunque debe recalcarse sobre la exagerada importancia que se le puede estar dando a ese punto en regiones con suelos bien provistos de nitrógeno.

También debe tenerse en cuenta que el contenido de materia orgánica y nitrógeno de las plantas varía con la edad de éstas y con su estado de crecimiento; en general se ha comprobado que en los primeros meses del período vegetativo existe el más alto porcentaje de nitrógeno en los tejidos de las leguminosas, en tanto que la mayor cantidad total se encuentra en el momento de la floración. Este es, el momento más oportuno para enterrar los abonos verdes; las hojas y tallos tiernos, que constituyen la parte más fácilmente descomponible de los vegetales, son atacados inmediatamente por los microorganismos y se comienzan a formar amonio y nitratos utilizables por las plantas, en tanto que los tallos duros se descomponen más lentamente y, por lo tanto, suministran materia prima para la nitrificación en un período más avanzado del crecimiento del cultivo. En el caso de material muy succulento, se producen las mayores cantidades de nitratos en los primeros dos meses, época en la cual, debe calcularse que las plantas que desean abonarse estén en condiciones de hacer el mejor uso de ellos. Aparte de la misma calidad del material que se entierra hay condiciones de humedad, temperatura, aireación, textura del suelo, contenido de minerales, etc., que influyen sobre la rapidez y grado de descomposición del abono verde.

El material vegetal rico en nitrógeno se descompone con mayor facilidad que el pobre en ese elemento y rico en carbono; lo mismo ocurre con los vegetales de bajo contenido de fibra. Cuando la humedad del suelo es escasa retarda el proceso, en tanto que cuando es excesiva da origen a putrefacciones. La elevación de la temperatura del suelo aumenta la velocidad del proceso, lo mismo que la aireación del terreno, ya que las bacterias nitrificantes no actúan sino en presencia de buenas cantidades de oxígeno. En forma similar actúa la fertilidad del suelo.

OTROS EFECTOS IMPORTANTES DE LAS COBERTURAS Y DE LOS ABONOS VERDES

Vale la pena recalcar sobre otros efectos de los abonos verdes diferentes al suministro de nitrógeno, que permiten tener una visión más completa de los beneficios que pueden esperarse del enterramiento de plantas verdes, aun en el caso de que estas plantas no sean leguminosas.

El primero es el mejoramiento de las condiciones físicas del suelo. Las partículas minerales más pequeñas, o sean las de arcilla, tienden a unirse en forma íntima en el suelo de manera que impiden la penetración de aire lo mismo que la absorción y retención de humedad. Los suelos arcillosos se endurecen cuando están secos y al mojarse se tornan pegajosos y poco permeables. Esta condición física puede llegar a afectar gravemente los cultivos.

Al enterrarse un abono verde el voluminoso material que se mezcla con el suelo mejora las condiciones de aireación. A medida que avanzan los procesos de descomposición, el enriquecimiento en humus que resulta de la incorporación de material vegetal al suelo, modifica aún más las condiciones desfavorables físicas, pues los abundantes coloides que el abono contiene, de gran poder absorbente, rodean las partículas minerales en forma de película fina que retiene la humedad y es capaz también de absorber y retener nutrimentos.

Este es un efecto producido tanto por las plantas leguminosas como por las que pertenecen a otras familias.

El segundo es la solubilidad de muchas substancias minerales del suelo. Los alimentos minerales para las plantas provienen de la descomposición de las rocas y el material parental del suelo en el cual crecen. A través de la meteorización que se describe en el Capítulo 7 se hacen estos materiales lentamente aprovechables; el aumento en actividad de los microorganismos originado en la incorporación de material orgánico acelera mucho este proceso y así las cosechas pueden luego disponer de las cantidades de nutrimentos que necesitan. Esta acción es también independiente, en cierta forma, de que el abono verde sea leguminoso o no; depende más bien de la succulencia y volumen del follaje enterrado.

El tercero es el sombreado del suelo. En regiones tropicales se ha comprobado que el suelo desnudo, sometido a la acción directa del sol y del agua-lluvia sufre graves y rápidos daños en su productividad. Con el abono verde se logra el establecimiento de una buena cobertura viva sobre el terreno que atempera este efecto perjudicial de los factores meteorológicos. Esta acción también es independiente de la familia a la cual pertenece la planta utilizada.

LAS LEGUMINOSAS COMO ABONOS VERDES

Cuando la planta que se utiliza como abono es una leguminosa, es necesario inocular la bacteria apropiada para que se verifique la fijación del nitrógeno atmosférico de que atrás se habló. Como resultado de la inoculación se forman nódulos en las raíces, producidos por bacterias del género *Rhizobium* dentro de la cual existen varias razas fisiológicas. Se han determinado grupos de inoculación cruzada en los cuales se reúnen todas las especies leguminosas que pueden ser inoculadas con la misma raza del *Rhizobium*. En el Cuadro 29 se presentan los siete grupos determinados hasta el presente.

CUADRO No. 29. Grupos de inoculación cruzada (16, 17).

GRUPO DE LA ALFALFA

Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>
Alfalfa de flor amarilla	<i>Medicago falcata</i>
Trébol amargo	<i>Melilotus indica</i>
Trébol de California	<i>Medicago denticulata</i>
Trébol blanco dulce	<i>Melilotus alba</i>
Trébol amarillo dulce	<i>Melilotus officinalis</i>
Fenogreco (Alholva)	<i>Trigonella foenum-graecum</i>
Trébol amarillo (Lupulita)	<i>Medicago lupulina</i>

GRUPO DEL TREBOL ROJO

Trébol alsike	<i>Trifolium hybridum</i>
Trébol encarnado	<i>Trifolium incarnatum</i>
Trébol pata de conejo	<i>Trifolium arvense</i>
Trébol rojo	<i>Trifolium pratense</i>
Trébol rojo gigante	<i>Trifolium pratense perenne</i>
Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i>

GRUPO DEL FRIJOL DE VACA (COW PEA)

Frijol lima	<i>Phaseolus lunatus</i>
Frijol terciopelo	<i>Stizolobium deeringianum</i>
Maní o cacahuete	<i>Arachis hypogea</i>
Kudzu	<i>Pueraria thumbergiana</i>
Kudzu tropical	<i>Pueraria javanica</i>
Frijol de vaca (Cow pea)	<i>Vigna sinensis</i>
Guandul o guandú	<i>Cajanus indicus</i>
Frijol arroz	<i>Phaseolus calcaratus</i>
Lespedeza	<i>Lespedeza cerisea</i>
Crotalaria	<i>Crotalaria anagyroides</i>

CUADRO No. 29, Cont.

GRUPO DE LA VEZA (ARVEJA)

Lenteja	<i>Lens esculenta</i>
Haba	<i>Vicia faba</i>
Doncenón	<i>Latyrus odoratus</i>
Veza (arveja)	<i>Vicia sativa</i>
Guisante	<i>Pisum sativum</i>

GRUPO DE LA SOYA

Soya	<i>Soja max</i>
------	-----------------

GRUPO DEL FRIJOL

Habichuela	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Frijol	<i>Phaseolus compressus</i>

GRUPO DEL LUPINO

Lupino	<i>Lupinus perennis</i>
Serradella	<i>Ornithopus sativus</i>
Lupino azul	<i>Lupinus angustifolius</i>
Lupino amarillo	<i>Lupinus luteus</i>
Lupino blanco	<i>Lupinus albus</i>

La necesidad de la inoculación ha sido sentida desde tiempos muy antiguos, excepto en aquellas zonas en donde ya crece la leguminosa que desea sembrarse u otra del mismo grupo, pues ella influye no sólo en las cantidades de nitrógeno atmosférico que fija la planta, sino también en el propio crecimiento de ésta.

La inoculación se verifica de varios modos: el más sencillo, pero también el más costoso en la mayoría de los casos, consiste en regar suelo tomado de un lote en el cual haya crecido y nodulado bien la leguminosa que desea propagarse. Se aconsejan unos 300 a 500 kilogramos de suelo por hectárea distribuidos uniformemente, operación en muchos casos costosa aunque de gran efectividad. También se pueden mojar las semillas con una solución pegajosa (por ejemplo, agua azucarada) y regar sobre ellas suelo tomado de un campo en donde la leguminosa haya crecido y nodulado muy bien; en esta forma quedan adheridas a las semillas partículas de suelo portadoras de la bacteria radícolica. Por último, se recurre en muchos casos, especialmente durante los últimos años, a los cultivos puros de los organismos, los cuales preparan y distribuyen en varios países diferentes casas comerciales y laboratorios oficiales.

Desde hace muchos años se sabe que la aplicación de pequeñas cantidades de abono de establo al abono verde, unos días antes de enterrarlo, es una práctica magnífica. Algunos atribuyen esto al efecto de la cantidad de microorganismos que en esta forma se agrega. También se sabe que es diferente la respuesta de diversas especies a distintos abonos verdes. A este respecto merece mencionarse el hecho de que algunos investigadores sostienen que el tabaco sufre daños al sembrarse después de enterrar soya como abono verde. Aunque esta acción de algunas plantas sobre las cosechas sucesivas no se ha explicado aún en forma muy clara ni se ha probado para ninguna planta de las generalmente utilizadas como abono verde, es aconsejable verificar una rotación que asegure un cambio bienal o trienal de las especies utilizadas para ese fin. En esta forma se cuenta con la ventaja adicional de reducirse los daños causados por plagas y enfermedades de efecto acumulativo.

ALGUNOS FACTORES QUE LIMITAN EL USO DE LAS PLANTAS DE COBERTURA Y DE LOS ABONOS VERDES

Como todas las prácticas agrícolas, las coberturas y los abonos verdes deben encajar muy bien en la economía de la finca y del agricultor. Si por razón del costo de la semilla o cualquier otro motivo resulta demasiado costosa la práctica, puede no ser aconsejable su utilización.

También deben adoptarse precauciones en la diseminación de plagas o enfermedades o en el establecimiento de plantas hospedadoras de hongos o insectos que luego pueden atacar el cultivo principal. Algunas leguminosas son especialmente susceptibles a los nematodos radiculares, los cuales también atacan muchas plantas de cultivo.

En regiones secas los abonos verdes tienen muy escasa utilización debido a las cantidades de agua que remueven del suelo y a la que necesitan luego para descomponerse. Bajo tales condiciones puede crearse una inconveniente competencia por agua que se reflejará en perjuicios para el cultivo principal.

ESPECIES QUE SE USAN COMO COBERTURAS Y COMO ABONOS VERDES

Son muchas las especies que pueden utilizarse con este objeto y su selección en cada ocasión depende de las condiciones climáticas, organización de la finca, valor de la semilla, facilidades de su cultivo, etc.

Se prefieren generalmente las plantas leguminosas por las razones expuestas anteriormente.

Las que con más frecuencia se utilizan en la zona templada y en las regiones altas (de más de 2.000 m sobre el nivel del mar) de Co-

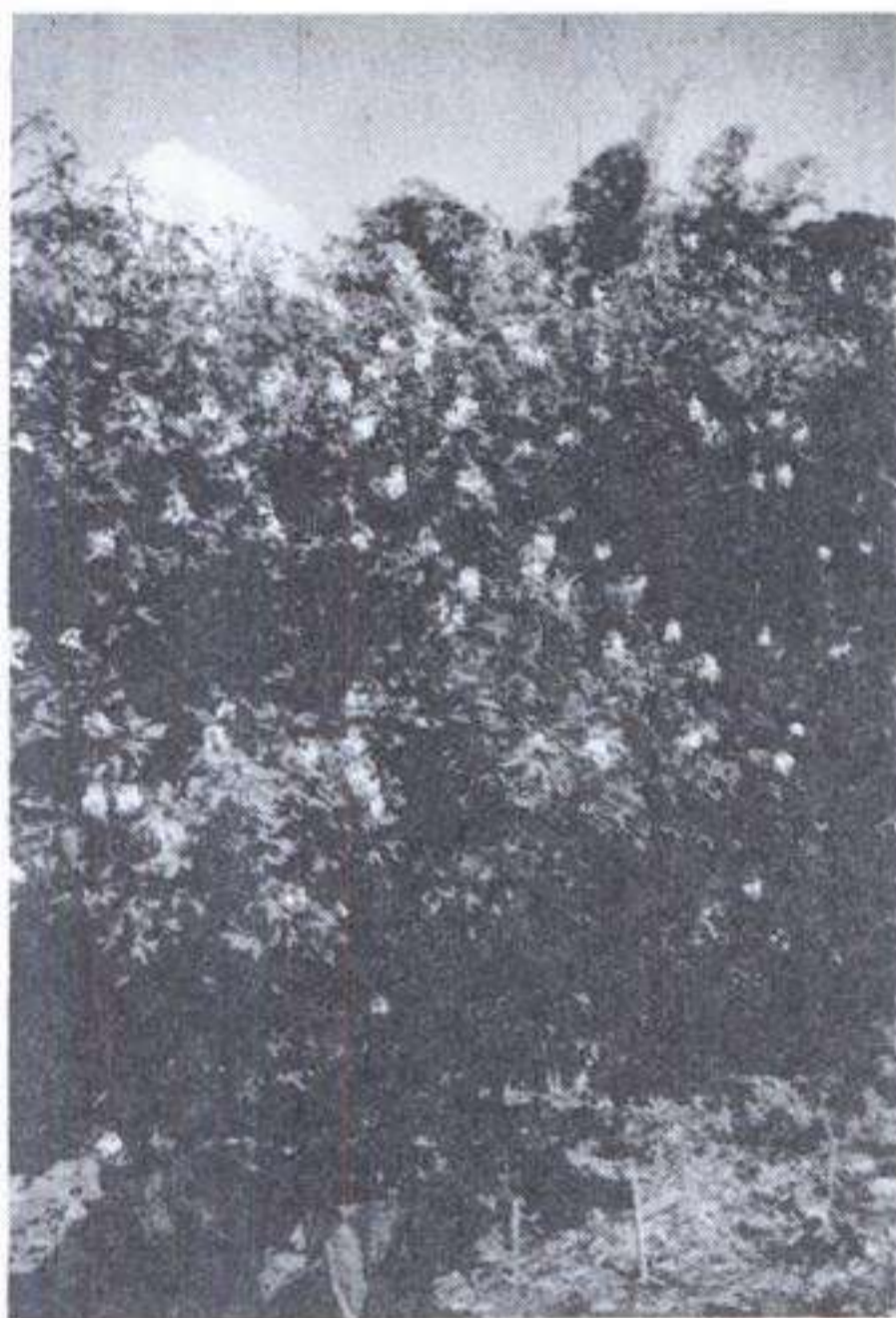


Fig. 72. Diversas especies de crotalaria se emplean como sombrío transitorio en plantaciones de semibosque y como abono verde.

lombia, Ecuador, Bolivia y Perú son la alfalfa (*Medicago sativa*), el trébol rojo (*Trifolium pratense*) y los tréboles dulces (*Melilotus Sp.*); en las zonas tropicales bajas y cálidas (a menos de 2.000 m de altura) se utilizan el frijol de vaca (*Vigna sinensis*), el frijol terciopelo (*Stizobolium deeringianum*), varias especies de crotalarias, el kudzu tropical (*Pueraria javanica*), el añil rastrero (*Indigophera endescaphilla*) y el lupino (*Lupinus Sp.*).

Entre las especies no leguminosas las más utilizadas como abonos verdes son el centeno (*Secale cereale*), el trigo sarraceno (*Fagopirum esculentum*), la avena (*Avena sativa*), el trigo (*Triticum sativum*), la cebada (*Hordeum sativum*), el sorgo (*Andropogum*), el pasto gordura (*Melinis minutiflora*); como coberturas, se utilizan muchas malezas perennes de crecimiento espontáneo.

La alfalfa (*Medicago sativa*) es planta perenne muy valiosa como forraje, por lo cual su uso como simple abono verde no es muy común. Necesita para su crecimiento buenas cantidades de cal en el suelo y condiciones de buen drenaje y alta fertilidad. Es muy poco resistente a la acidez del suelo. La semilla debe sembrarse en un suelo firme y bien arado y rastrillado. La siembra se puede hacer al voleo o con una sembradora en la proporción de 15 a 20 Kg de semilla por hectárea; las plantas jóvenes de alfalfa crecen con mucha lentitud, por lo que es necesario verificar dos o tres desyerbas, especialmente si se siembra en hileras (7).

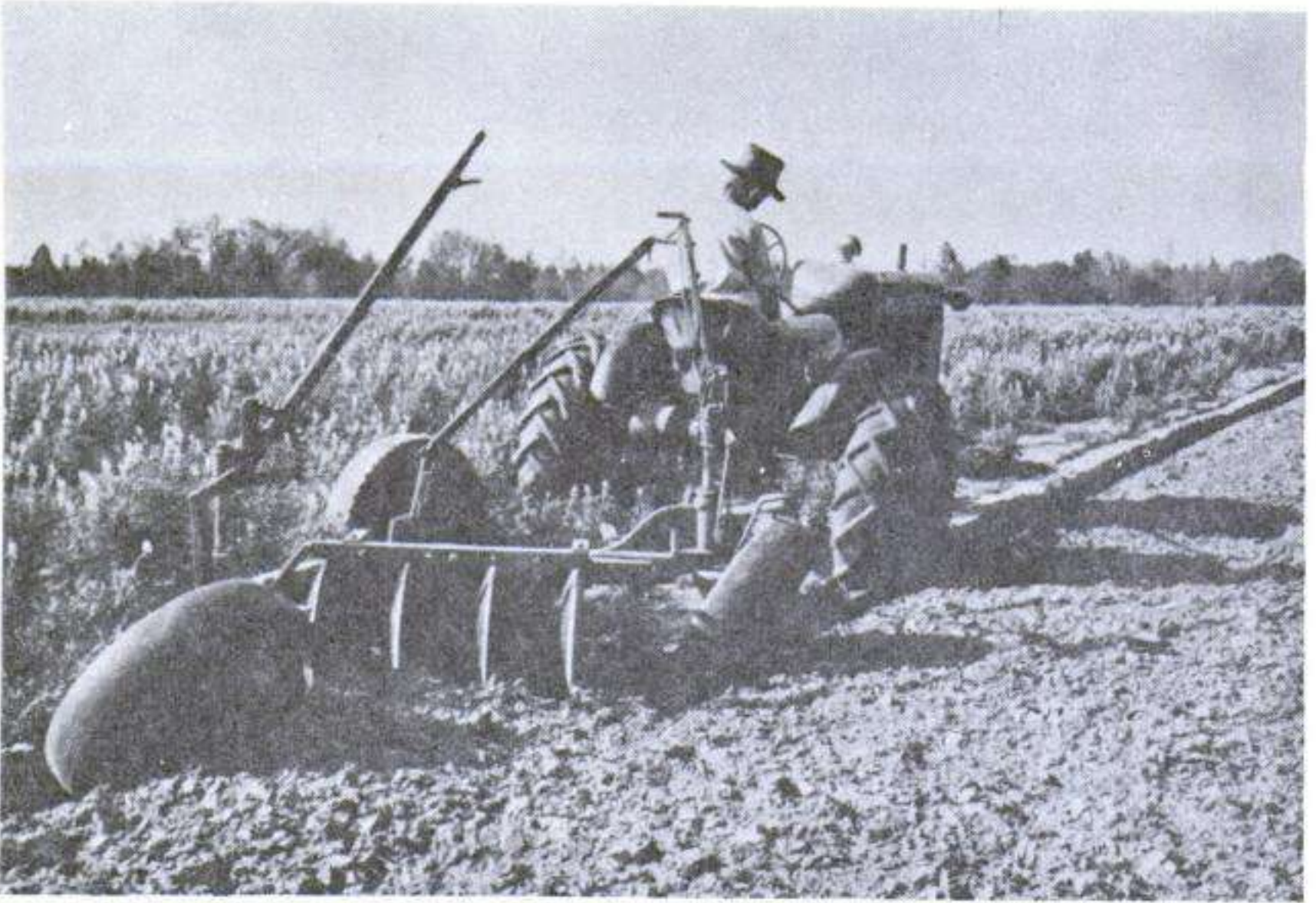


Fig. 73. Enterrando una leguminosa como abono verde. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).



Fig. 74. El kudzu tropical (*Pueraria javanica*) constituye un abono verde y planta de cobertura utilizado en zonas cálidas y lluviosas. Su crecimiento es rápido y denso.

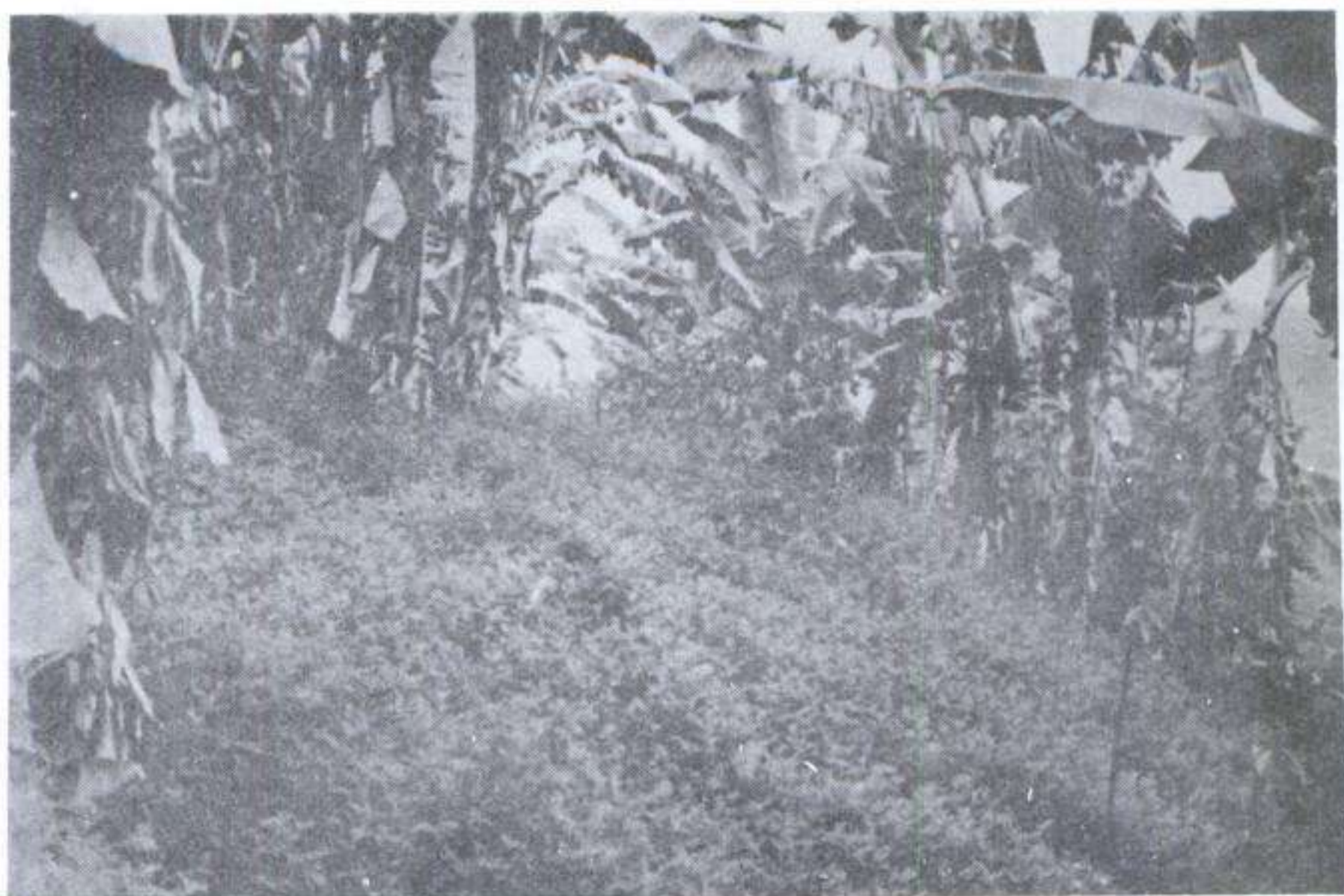


Fig. 75. Plantaciones de café con cobertura de añil rastrero (*Indigophera endecaphylla*). Siempre se verifica una limpieza a mano alrededor de los cafetos. Al comenzar la época seca se corta la cobertura de manera que actúe como "mulch".

El trébol rojo (*Trifolium pratense*) es una planta bienal que se ha mostrado no sólo como excelente forraje sino también como abono verde de magnífica calidad. Crece bajo condiciones similares a la alfalfa.

Los tréboles dulces (*Melilotus* Sp.) son asimismo magníficos abonos verdes que crecen bastante y aun en suelos pobres, siempre y cuando estén bien provistos de cal. Las diferentes especies de *Melilotus* tienen una habilidad especial para utilizar los minerales insolubles del suelo, lo cual les confiere enorme valor como plantas mejoradoras. Son más resistentes que la alfalfa a las condiciones de humedad excesiva. Necesitan ser sembradas, como la alfalfa, en un suelo firme, y debe ponerse especial cuidado en este punto.

El frijol de vaca (*Vigna sinensis*) es planta anual que crece muy bien en climas cálidos y en suelos pobres y ácidos. Se usa extensamente en regiones tropicales poco fértiles.

El frijol terciopelo (*Stizolobium deeringianum*) es asimismo planta anual que vegeta bien en condiciones similares al frijol de vaca. Crece vigorosamente y sus tallos generalmente son enredadores. En la zona de clima medio de Colombia (23°C de temperatura y 2.500 mm de lluvia) se ha observado que produce entre 40 y 50 toneladas de tallos y hojas por hectárea.

Las crotalarias son de rápido crecimiento y de gran desarrollo. Se utilizan en zonas tropicales como abono verde y sombrío transitorio en plantaciones de café y cacao.

El kudzu tropical (*Pueraria javanica*) es una planta perenne de tallos enredadores, la cual se usa extensamente en los trópicos como abono verde y forraje y como cobertura en plantaciones de caucho. Crece exuberantemente en suelos de diferente textura y fertilidad, y en climas húmedos con más de 1.500 mm de lluvia anual.

En Puerto Rico y en Colombia produce de 30 a 50 toneladas de follaje por hectárea. Las hojas son de textura blanda y se descomponen fácilmente. El mayor inconveniente del kudzu para usarlo como abono verde es la lentitud con que crece en las primeras semanas, lo cual obliga a afectar dos o tres desyerbas para evitar que lo dominen las malas hierbas.

El añil rastrero es perenne, de crecimiento rápido, resistente a la acidez del suelo. Se utiliza extensamente como cobertura en huertos frutales y en plantaciones de café.

USO DE LOS ABONOS VERDES

Sólo en los terrenos muy pobres está justificado cultivar durante un año una planta, con el sólo objeto de enterrarla. En general, los abonos verdes deben encajar dentro de la rotación de manera que crezcan en períodos muertos, es decir, en aquellos lapsos, entre la recolección de una cosecha y la siembra de otra, en que normalmente no se utilizaría el terreno. Se exceptúan de esta regla los terrenos que van a sembrarse con plantas perennes (huertos de frutales, etc.) en los cuales puede estar ampliamente justificada la siembra y enterramiento sucesivos de varias cosechas de abonos verdes, antes de comenzar a establecer la plantación.

Después de enterrar el abono verde, especialmente si se trata de una planta de crecimiento denso, deben dejarse transcurrir dos o tres semanas antes de comenzar las siembras de la cosecha principal. Esto se explica porque al ingresar en el suelo grandes cantidades de material orgánico (puede calcularse en 20 a 25 Ton la cantidad suministrada por una leguminosa como la alfalfa o los tréboles y en 30 a 40 Ton la producida por una leguminosa de clima tropical como la crotalaria), se presenta una corta deficiencia transitoria de nitrógeno debida a la proliferación de bacterias que atacan los tejidos vegetales, las cuales utilizan el nitrógeno en su alimentación; además, durante los primeros días de descomposición, el agua de lluvia solubiliza algunos constituyentes de las hojas, los cuales parece que absorben oxígeno del suelo en una proporción tan alta que privan a las semillas de las plantas de la cantidad necesaria para su germinación. Debe, pues, tenerse en cuenta que no conviene sembrar el cultivo principal hasta después de dos a tres semanas de haber enterrado el abono verde.

Esta precaución es aún más necesaria cuando el abono verde es una planta no leguminosa.

Existen también respuestas diferentes de diversos cultivos a los abonos verdes. En general, se considera más conveniente cultivar inmediatamente después de éstos una planta que exija escardas periódicas (maíz, algodón, patata, etc.). Los cereales pequeños, como el trigo y la cebada, se procura distanciarlos del enterramiento del abono verde, pues como no tienen exigencias muy marcadas de nitrógeno, no hacen buen uso de los nitratos altamente solubles que se producen al descomponerse el tejido vegetal fresco.

Existen datos que indican los efectos beneficiosos de los abonos verdes para diversos cultivos, especialmente en suelos pobres en materia orgánica.

En el tabaco, sin embargo, son tan contradictorios los datos y los resultados que diversos agricultores han obtenido, que en el estado actual del asunto es necesario recomendar prudencia en el uso de los abonos verdes con este cultivo; es especialmente importante, en caso de utilizarse, dejar transcurrir más de 8 semanas desde el enterramiento del abono verde hasta la siembra de las plántulas de tabaco.

LOS ABONOS VERDES Y LAS PLANTAS DE COBERTURA EN EL CONTROL DE LA EROSION

La vegetación, es la más poderosa defensa de los suelos contra la erosión. Así, mientras crece la planta utilizada como abono verde y como cobertura, el terreno se halla protegido de la acción destructora de las aguas procedentes de las lluvias. Al enterrar el follaje, la materia orgánica que se incorpora al suelo ayuda también a mejorar las condiciones físicas y químicas de éste y con ellas su resistencia a la erosión.

Como la productividad del terreno aumenta, el crecimiento de los cultivos subsiguientes es más denso y también mayor la protección que ofrecen al suelo. De ahí que las coberturas y los abonos verdes hayan probado ser eficaces herramientas para combatir la erosión (19).

LAS PLANTAS DE COBERTURA EN LA CONSERVACION DEL AGUA

Se han efectuado diversos trabajos experimentales en relación con este punto. Bajo la dirección del autor se llevaron a cabo ensayos en una zona húmeda tropical alta, cuyos resultados indican que ocurren mayores pérdidas de agua por percolación y por escorrentía en un terreno con el suelo desnudo que en otro protegido con una cobertura muerta o viva. La cantidad de agua de lluvia retenida por el suelo fue sensiblemente igual de un año a otro, dentro de este tratamiento, y comparativamente menor, en el mismo año, en el terreno con

cobertura viva que en el desnudo. Esa variación fue más acentuada en las capas superficiales, mientras que las capas profundas del perfil permanecieron a niveles de humedad relativamente constantes.

PLANTAS DE COBERTURA EN PLANTACIONES PERENNES

Los huertos frutales y los cafetales, cuando se hallan localizados en terrenos pendientes, deben mantenerse hasta donde sea posible con alguna cobertura viva entre las calles. En los cafetales de Colombia se han utilizado con éxito algunas plantas rastreras que crecen bien bajo sombra, tales como la coneja (*Pseudochinolaena polystaquia*) y la suelda consuelda o cohitre (*Commelina* Sp.). Se acostumbra limpiar a mano alrededor de los arbustos manteniendo la cobertura entre las calles. En regiones con períodos secos prolongados, tan pronto comienzan éstos se corta con machete la vegetación de manera que actúe como "mulch" o cobertura muerta sobre el suelo, que ayuda en la conservación del agua.

BIBLIOGRAFIA

1. ALLIS, C. Curvas de nivel y terrazas. *Mecanización Agrícola* no. 10, 1946. 22 p.
2. BISWELL, H. H. The use of fire in wildland management in California. In *Natural Resources: quality and quantity*. Berkeley, University of California Press, 1967. pp. 71-86.
3. BROWN, A. A. Fire, friend and enemy. In U. S. Department of Agriculture. *Yearbook of Agriculture 1949, Trees*. Washington, D. C., 1949. pp. 477-479.
4. CARVAJALINO JACOME, L. J. La rotación de cultivos, base de una agricultura productiva y estable. Bogotá, Colombia, Sociedad de Agricultores de Colombia, 1945.
5. CONTOUR FARMING boosts yields. Washington, D. C., U.S. Department of Agriculture, 1943.
6. COSSIT, F. M., RINDT, C. A. y GUNNING, H. A. Production of planting stock. In U.S. Department of Agriculture. *Yearbook of Agriculture 1949, Trees*. Washington, D. C., 1949. pp. 160-169.
7. CULBERTSON, R. E. y CARVAJALINO JACOME, L. J. Plantas forrajeras y su utilización en Colombia. Bogotá, Caja de Crédito Agrario, Industrial y Minero, 1945. 147 p.
8. ENLOW, C. R. Review and discussion of literature pertinent to crop rotation for erodible soils. Washington, D.C., U. S. Department of Agriculture. Circular no. 559. 1939. 50 p.
9. FIVAZ, A. E. Forestry in soil and moisture conservation. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service, 1943.
10. HARROLD, L. L. y EDWARDS, W. M. A severe rainstorm test of no-till corn. *Journal of Soil and Water Conservation* 27(1):30. 1972.

11. HERNANDEZ ROBREDO, L. Alternativas forrajeras. *Ganadería (España)* 6(65): 1948.
12. LEIGHTY, C. E. Crop relation. In U. S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture 1938, Soil and Men. Washington, D. C., 1938. pp. 406-430.
13. MARQUES, J. Q. de AVELLAR. Conservação do solo em cafezal. São Paulo, Brasil, Superintendencia dos Serviços do Café, 1950. 234 p.
14. McQUILKIN, W. E. Direct seeding of trees. In U. S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture 1949, Trees. Washington, D. C., 1949. pp. 136-146.
15. MUSGRAVE, G. W. Summary of soil water losses at several erosion experiment stations. Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1935. (Mimeographed).
16. PIETERS, A. J. Green manuring, principles and practice. New York, Wiley, 1927. 356 p.
17. _____, y McKEE, R. The use of cover and green-manure crops. In U.S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture 1938, Soil and Men. Washington, D.C., 1938. pp. 431-444.
18. REEVES, H. C. Use of prescribed fire in land management. *Journal of Soil and Water Conservation* 32(2):102-104. 1977.
19. STALLINGS, J. M. Summarization of strip cropping data on crop yield, run-off and soil loss. Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. 1945. (Mimeographed).
20. _____. Continuous plant cover the key to soil and water conservation. Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, BCS-TP no. 121. 1953.
21. SUAREZ DE CASTRO, F. Siembras en contorno o en curvas de nivel. *Agricultura Tropical (Colombia)* 3(6):43-47. 1947.
22. _____. Cartilla de conservación de suelos. Bogotá, Colombia, Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1948. 20 p.
23. _____. Trabajemos la tierra en contorno. Chinchiná, Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Boletín de Extensión no. 2. 1950.
24. _____. Las barreras vivas. Chinchiná, Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Boletín de Extensión no. 14. 1951. pp. 1-4.
25. SOWDER, A. M. Harvesting the small forest. In U.S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture 1949, Trees. Washington, D. C., 1949. pp. 237-244.
26. TOWER, H. E. Strip cropping for conservation and production. Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture. Farmers' Bulletin no. 1981. 1953. 46 p.
27. TRAZADO Y SIEMBRA DE CAFETALES. Chinchiná, Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Boletín de Extensión no. 9. 1951. 8 p.
28. UHLAND, R. E. The value of crop rotations for soil and water conservation. Washington, D. C., U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, SCS-TP no. 83. 1949.
29. U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Farm planning and management for soil conservation upper Mississippi Valley, Milwaukee, Wisconsin. Washington, D. C., Soil Conservation Service, 1949.
30. _____. A manual on conservation of soil and water. Washington, D. C., Soil Conservation Service, Handbook no. 61. 1954. 208 p.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. ARANGO, A. A. de. Culturas forrajeras. Rio Grande do Sul (Brasil). Secretaria de Estado dos Negocios da Agricultura, Industria e Comercio. Serie Educativa no. 3. 1954. 135 p.
2. ASSOCIATION OF BRITISH ORGANIC FERTILIZERS, A handbook of organic fertilizers; their properties and uses. London, 1954. 84 p.
3. COMMONWEALTH BUREAU OF SOILS. Bibliography of soil and fertilizers in Latin America and the Caribbean. Harpender, 1957. 124 p. (Mimeografiado).
4. COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION. A review of nitrogen in the tropic with particular reference to pastures; a symposium. Farnham Royal, England. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crop. Bulletin no. 46. 1962. 185 p.
5. ESPAÑA. DIRECCION GENERAL DE AGRICULTURA. La práctica de la conservación del suelo; cómo se defiende el suelo y se aumenta su fertilidad. Madrid, 1957. 127 p.
6. GIFFORD, G. F. y HAWKINS, R. H. Grazing systems and watershed management: a look at the record. Journal of Soil and Water Conservation 31(6):281-283. 1976.
7. GUSTAFSON, A. F. Conservación del suelo. México, D. F., Continental, 1957. 329 p.
8. IRVINS, J. D. ed. The measurement of grassland productivity. New York, Academic Press, 1959. 217 p.
9. MEYER, H. A. et al. Forest management. 2a. ed. New York, Ronald Press, 1961. 282 p.
10. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La influencia de los montes. Roma, Estudios de Silvicultura y Productos Forestales no. 15. 1962. 335 p.
11. PHILLIPS, J. F. V. The development of agriculture and forestry in the tropics: patterns, problems and promise. New York, Praeger, 1961. 212 p.
12. STOREY, H. C. Effects of forest on run-off. Journal of Soil and Water Conservation 14:152-155. 1959.
13. SUAREZ DE CASTRO, F. Conservación de suelos en plantaciones de café. Café de El Salvador, 31(356-357):459-464. 1961.
14. THATCHER, L. E. y WILLARD, C. J. Crop rotations and soil productivity. Wooster, Ohio Agricultural Experiment Station. Research Bulletin no. 907. 1962. 80 p.

CAPITULO 6

PRACTICAS MECANICAS

CALCULO DE LA ESCORRENTIA CRITICA Y SU UTILIZACION EN EL DISEÑO DE OBRAS DE CONSERVACION DE SUELOS

INTRODUCCION

La escorrentía o agua de escurrimiento, es aquella porción de las lluvias que no penetra al perfil del suelo, y fluye hacia los ríos en forma de corriente superficial.

Al discutir los factores que influyen en la erosión de los suelos se llamó la atención sobre los siguientes dos puntos en relación con las lluvias: 1) las que causan las mayores escorrentías y arrastran las mayores cantidades de suelo son aquellas que exhiben las intensidades más altas; 2) unos pocos aguaceros intensos son los causantes de la proporción mayor de arrastre de suelo.

Es necesario, por lo tanto, el diseñar obras de defensa de suelos que impliquen encauzamiento de aguas de escorrentía (canales, terrazas, acequias de ladera, etc.), tener en cuenta que su principal función la desempeñarán en aquellos cortos períodos en que ocurran aguaceros intensos; de que las estructuras sean capaces de hacerse cargo en forma conveniente de las escorrentías máximas que pueden presentarse durante el tiempo en que estén en servicio, depende el grado de protección que ofrezcan al terreno. Por lo tanto, la capacidad de todo canal que vaya a encauzar aguas de escorrentía, tiene que calcularse con base en las máximas cantidades de agua que pueden llegar a verterse en él.

Las cantidades promedias de escorrentía no pueden usarse como base segura para calcular la capacidad de un canal de drenaje o de una terraza, porque la estructura fallaría y el agua se desbordaría durante los aguaceros que produjeran cantidades de escorrentía mayores que el promedio.

Esto significa que durante la mayor parte del tiempo la estructura conduce un volumen menor al que ha servido de base para calcular

sus especificaciones; su capacidad total teóricamente no debe satisfacerse sino una vez durante sus años de vida o sea cuando ocurra la escorrentía crítica, o escorrentía máxima en la zona que sirve el canal. Generalmente estos canales se calculan de manera que sean capaces de transportar la escorrentía de las lluvias de máxima intensidad que pueden ocurrir durante un período de cinco años. Si se calculan para máximas intensidades en períodos más cortos, se presentan frecuentes desbordamientos que se traducen en mal funcionamiento, costosas reparaciones y aun pérdida total del trabajo ejecutado; si se calculan para las máximas intensidades que pueden ocurrir en períodos de veinte o veinticinco años, habrá que darles una capacidad tan amplia que el costo resulta excesivo (1, 11).

COMO SE CALCULA LA ESCORRENTIA CRITICA

La escorrentía crítica depende en primer lugar de la máxima intensidad de los aguaceros que pueden predecirse que ocurran, con base en lo observado durante un número largo de años. En segundo lugar, de las características de la vertiente cuya escorrentía se vierte al canal (pendiente, cubierta vegetal, suelo, etc.), las cuales determinan la proporción de las lluvias que penetra al perfil del suelo y la velocidad con que se desplaza el remanente. En tercer lugar, de la extensión de la vertiente, pues a mayor tamaño es también mayor la cantidad de agua de lluvia que llega al suelo.

Es importante introducir aquí un nuevo concepto, cuya comprensión es necesaria para calcular cualquier canal de drenaje. Se trata del tiempo de concentración que puede definirse como el tiempo que gasta una gota de agua en moverse desde la parte más lejana de la vertiente hasta el desagüe. En este momento ocurre la máxima concentración de agua en el canal, puesto que llegan gotas de agua de todos los puntos de la vertiente, desde los más cercanos al desagüe hasta los más remotos. La lluvia que importa tener en cuenta en el cálculo de la escorrentía crítica es la máxima que puede caer en un tiempo igual al tiempo de concentración.

Ramser (citado por King) basado en estos conceptos y a través de cuidadosas medidas verificadas en vertientes pequeñas, desarrolló la fórmula que lleva su nombre para calcular la escorrentía crítica, la cual se utiliza actualmente en forma universal. Transformada al sistema métrico se expresa así:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

en la cual Q es la escorrentía crítica en metros cúbicos por segundo, C un coeficiente de escorrentía o sea la relación entre las cantidades de escorrentía y la cantidad de lluvia, I la intensidad máxima de las

lluvias expresada en milímetros por hora y A el área de la vertiente en hectáreas (5).

Coeficiente de escorrentía (C)

Depende principalmente de la pendiente del terreno y de la vegetación que en el mismo crezca. Ramser da los valores que se presentan en el Cuadro 30 para diferentes condiciones.

CUADRO No. 30. Coeficiente de escorrentía para diferentes condiciones.

Clase de vertiente	Valor del coeficiente de escorrentía (C)
Ondulada (5 a 10% de pendiente)	
Con cultivo limpio	0,60
Con pastos	0,36
Con bosques	0,18
Montañosa (10 a 30% de pendiente)	
Con cultivo limpio	0,72
Con pastos	0,42
Con bosques	0,21

Frecuentemente una vertiente está ocupada por dos o más clases de cultivos o presenta grados variables de pendiente. En estos casos, es necesario calcular un factor de escorrentía total que combine los factores parciales para cada condición. Esto se logra multiplicando el porcentaje del área total de la vertiente, que queda incluido en cada uno de los grupos enumerados en el Cuadro 30, por su correspondiente coeficiente C y dividiendo la suma de estos valores por 100.

Por ejemplo, si se tiene una vertiente de 200 Ha en la cual 20 Ha (o sea el 10%) son del 30% de pendiente y están sembradas de bosques, 100 Ha (50%) son del 10% de pendiente y están sembradas como potreros y el resto (40%) está dedicado a cultivo limpio y su pendiente es del 5%, se calculará el coeficiente C en la forma indicada en el Cuadro 31.

Intensidad crítica de las lluvias (I)

Es la máxima que puede ocurrir en un tiempo igual al tiempo de concentración y con un intervalo superior al período de vida que se le ha calculado a la estructura.

CUADRO No. 31. Cálculo del coeficiente de escorrentía (C) para una vertiente.

Ha	Condiciones del terreno	Proporción del área total por 100	Coeficiente de escorrentía (C)	Proporción del área total mult. por C	Coeficiente de escorrentía (C) total
20	Bosque, 30% de pendiente	10	0,21	2,1	$\frac{44,1}{100} = 0,44$
100	Potrero, 10% de pendiente	50	0,36	18,0	
80	Cultivo limpio, 5% de pendiente	40	0,60	24,0	
200		100		44,1	

Las máximas intensidades de la lluvia varían de un lugar a otro y hay necesidad de determinarlas con base en registros pluviográficos prolongados por un gran número de años.

Son muy escasos los estudios de esta clase que se han hecho en América Latina. En los Estados Unidos, Yarnell (16) calculó tablas para las diferentes regiones del país, en las cuales resumió las intensidades máximas en 5, 10, etc. minutos que pueden esperarse con intervalos de 5, 10, etc. años. Los valores aumentan de oriente a occidente y de norte a sur, variando, para cinco años de intervalo y 5 minutos de duración, entre 2,4 pulgadas por hora (60 mm/hora) en los Estados de Washington y Oregon y 7,2 pulgadas por hora (180 mm/hora) en los Estados de Louisiana, Mississippi y Georgia, al sur.

Para una duración de 10 min esos valores fluctúan en el mismo país entre 48 mm/hora y 150 mm/hora.

En las Fig. 76 y 77 se presentan los valores máximos y mínimos determinados por Yarnell en los Estados Unidos para intervalos de 5 a 10 años.

En Colombia, en la zona montañosa húmeda con más de 2.000 mm de precipitación, el autor ha determinado las intensidades críticas de las lluvias para cinco años, que se presentan en la Fig. 78 (7). Las intensidades críticas determinadas por Yarnell en San Juan de Puerto Rico durante 35 años, se presentan en la Fig. 79.

Esta serie de gráficos sirven para ilustrar el criterio de quien vaya a calcular un canal en regiones que carecen de datos pluviográficos prolongados. Sin embargo, la información local obtenida a través de registros cuidadosos, es casi irremplazable. Si no puede obtenerse, se aconseja trabajar tratando de utilizar las cifras extremas que se conozcan para regiones similares a la zona en la cual va a servir el canal,

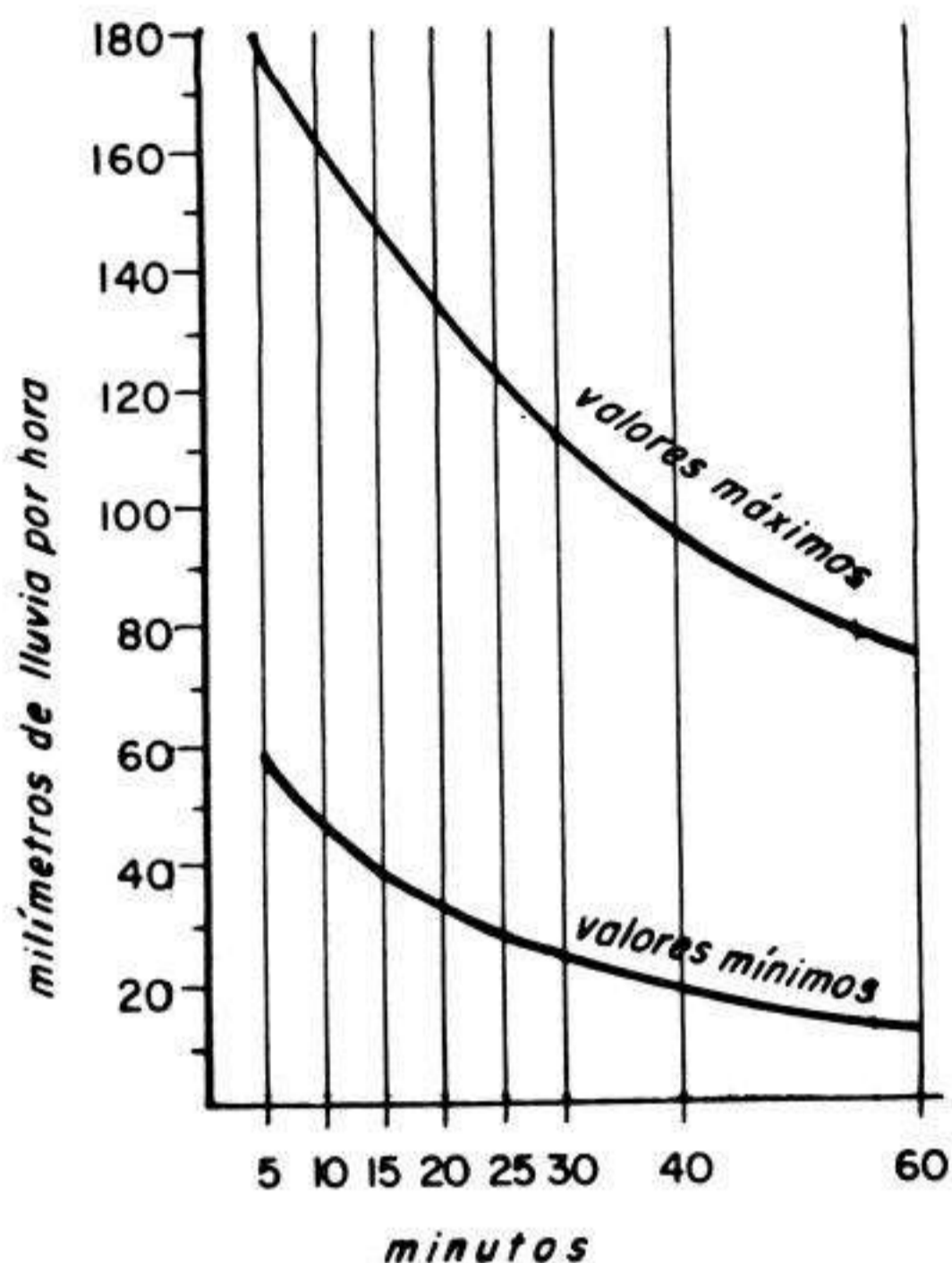
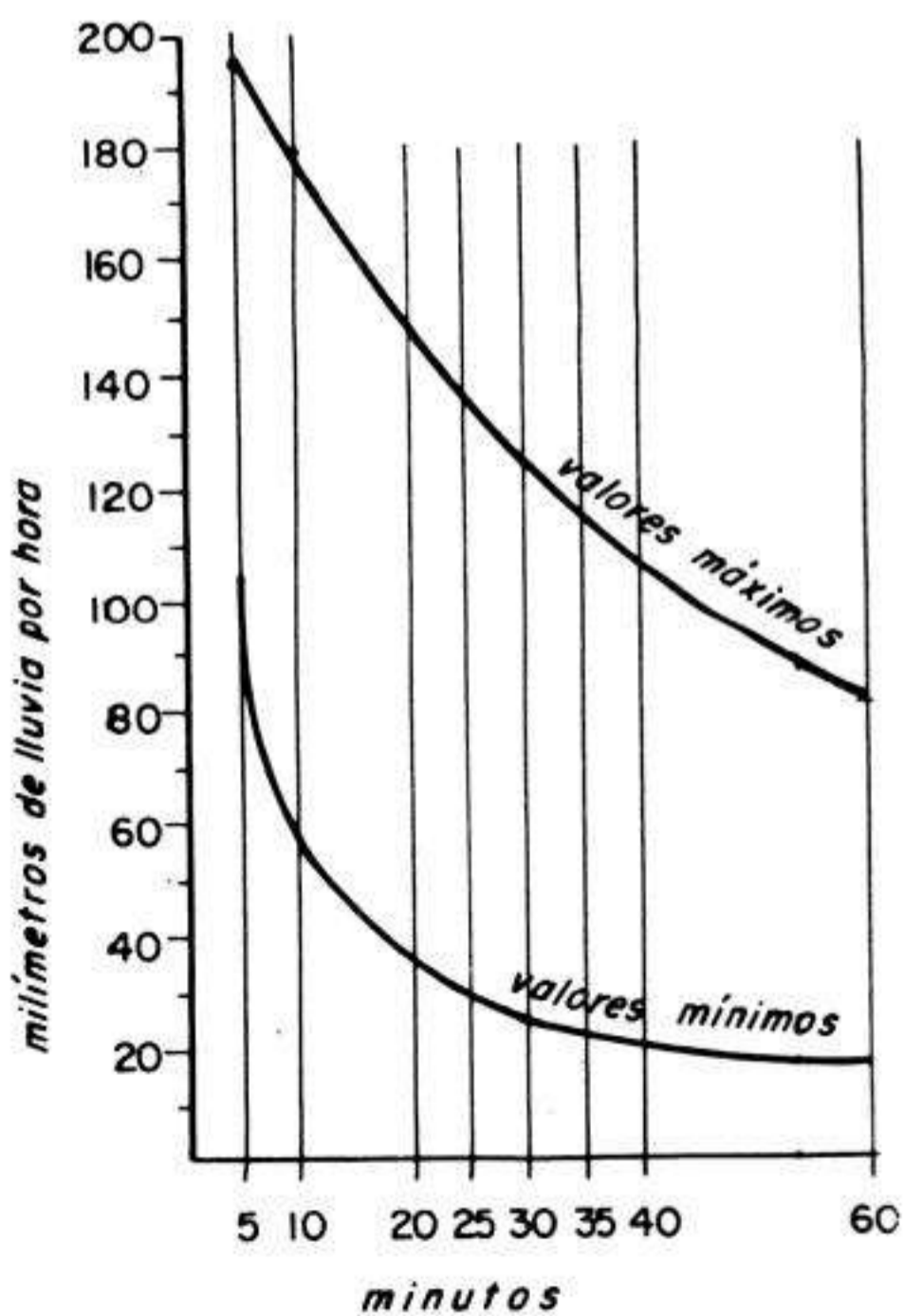


Fig. 76. Intensidades críticas, máximas y mínimas, determinadas por Yarnell en los Estados Unidos (cinco años).

Fig. 77. Intensidades críticas, máximas y mínimas, determinadas por Yarnell en los Estados Unidos (diez años).



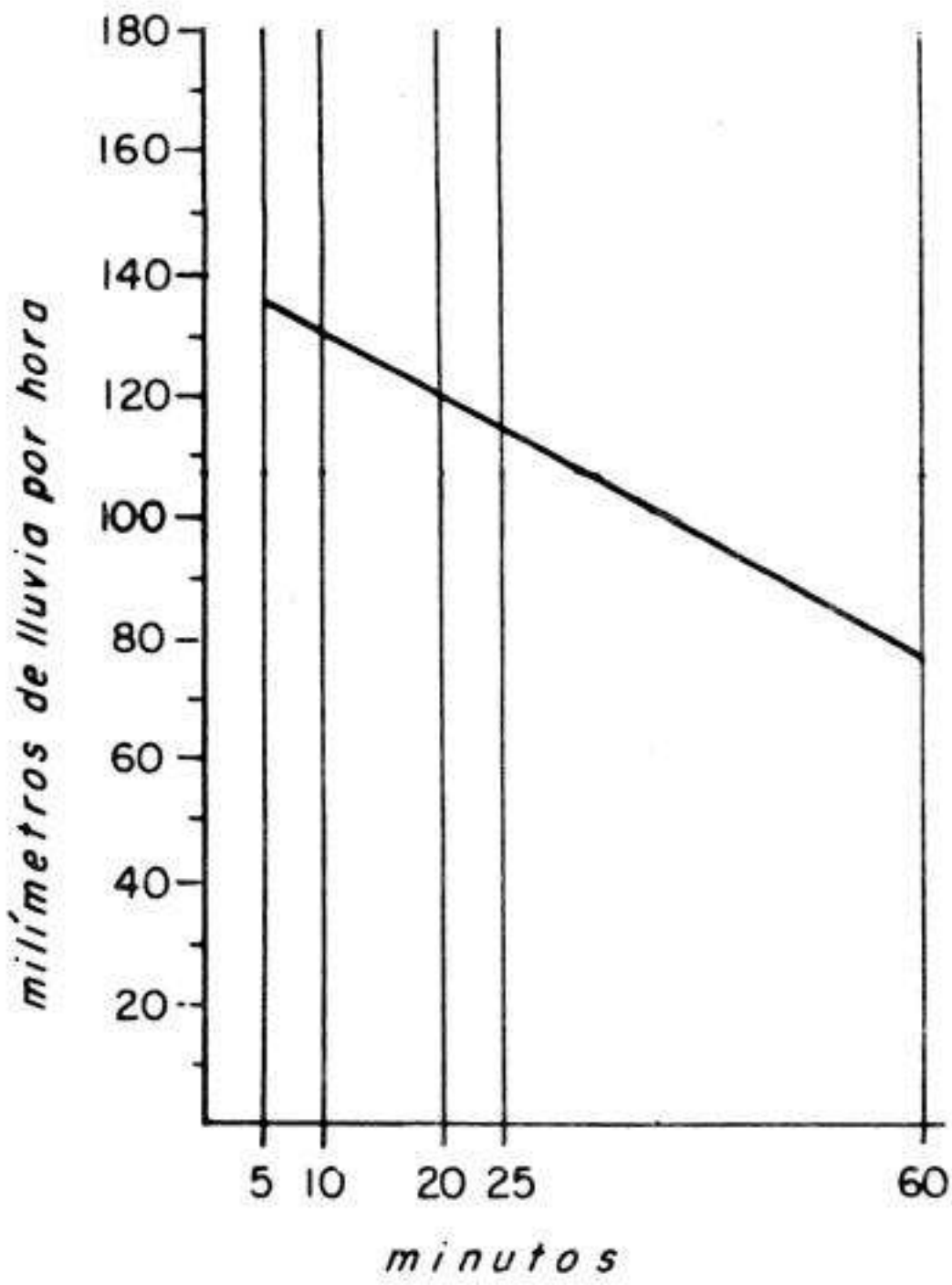
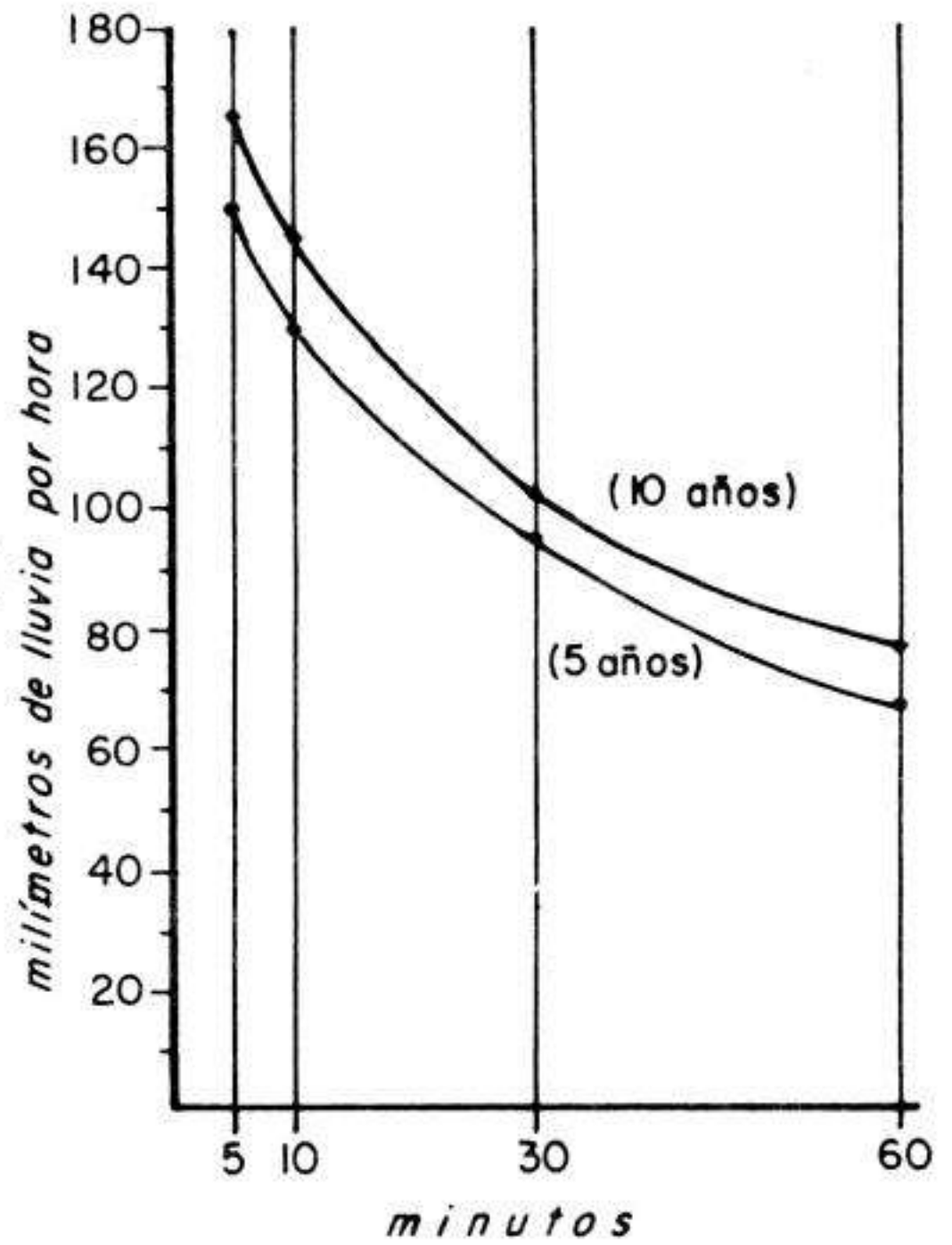


Fig. 78. Intensidades críticas en Chinchiná (Colombia) para cinco años.

Fig. 79. Intensidades críticas determinadas por Yarnell en San Juan de Puerto Rico para 35 años.



ya que si el canal se hace más grande de lo necesario se invierten dinero y trabajo que podrían ahorrarse y si se hace más pequeño la estructura fallará en el momento en que su acción es más necesaria pudiendo causar daños más graves por desbordamiento de las aguas, que si no existiera ninguna obra de defensa en el terreno (9).

Tiempo de concentración

La escorrentía crítica que se utiliza en cada caso debe corresponder a la máxima que ocurre en un tiempo igual al de la concentración. Es, por lo tanto, necesario averiguar primero el tiempo de concentración en el área que va a servir el canal, el cual será igual a la distancia del sitio más remoto de la vertiente al desagüe, dividido por la velocidad con que fluye el agua. El Cuadro 32 basado en los trabajos de Ramser y Horton, permite hacer ese cálculo en forma aproximada.

CUADRO No. 32. Valores aproximados de la velocidad de la escorrentía, los cuales pueden utilizarse para calcular el tiempo de concentración.

Descripción de la vertiente	Pendiente del terreno en porcentaje					
	0 a 4	4 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 25	25 a 30
	Velocidad en metros por segundo					
Con bosque	0,30	0,6	1,0	1,2	1,4	1,5
Con potrero	0,45	0,9	1,2	1,5	1,6	1,8
Con cultivo limpio	0,60	1,2	1,5	1,7	1,8	1,9

Los datos de este cuadro se resumen en la Fig. 80, en la cual se presentan las curvas para distintas distancias y diferentes condiciones de vertiente. Basta buscar en ese gráfico la condición que más se acerque a la de la vertiente que va a drenar el canal y leer en la intersección de la curva correspondiente y la distancia (medida en el terreno) en metros, el tiempo que señale de concentración en segundos (13, 15).

Averiguando este dato se tiene determinado el tiempo de la intensidad crítica de las lluvias que debe utilizarse.

Area de la vertiente (A)

Se mide directamente sobre el terreno o sobre un plano.

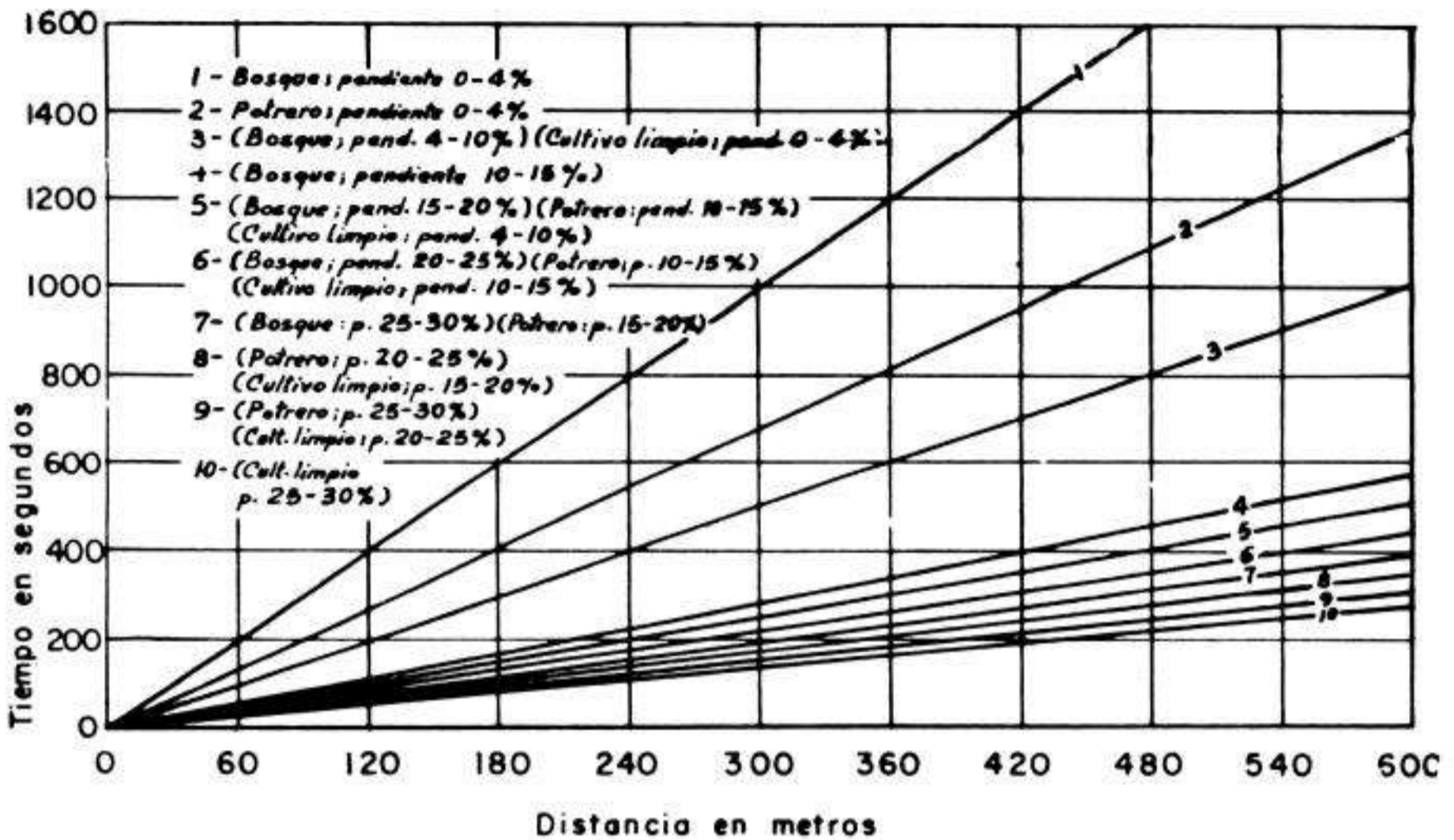


Fig. 80. Tiempo de concentración.

Aplicación de la fórmula de Ramser

Un ejemplo ayudará a explicar la manera de usar la fórmula de Ramser. Supóngase que se desea averiguar la máxima escorrentía que puede ocurrir en cinco años en una extensión de cuatro hectáreas y media, con objeto de construir un canal capaz de conducir esa agua. La mitad del área con pendiente del 20 al 30% está ocupada por potreros, en tanto que la otra mitad, con pendiente del 10 al 20%, se encuentra sembrada de maíz. La forma de la vertiente es rectangular y la distancia existente entre el desagüe y el punto más remoto es de unos 500 metros.

En la Fig. 80, "tiempo de concentración", se encuentra que para esas condiciones el tiempo de concentración es de 5 minutos, aproximadamente. Si se tratara de una región de aguaceros fuertes podría usarse la intensidad crítica (I) determinada en Chinchiná, o sea, en 5 minutos y con intervalo de 5 años, de 140 mm/hora.

Multiplicando la proporción del área total en una condición y en otra por sus correspondientes coeficientes de escorrentía, los cuales se dan en el Cuadro 30, se obtiene un coeficiente total (C) igual a:

$$\frac{(50 \times 0,42) + (50 \times 0,60)}{100} = 0,51$$

Reemplazando en la fórmula general de Ramser ($Q = \frac{CIA}{360}$) cada una de las letras por sus valores se obtiene:

Escorrentía crítica = $\frac{0,51 \times 140 \times 4,5}{360} = 0,89 \text{ m}^3$ por segundo, o sea igual a 890 litros por segundo.

Esta sería la cantidad máxima de agua que llegaría a la estructura, y por lo tanto, habría necesidad de diseñar un canal que fuera capaz de transportar ese volumen de líquido a una velocidad tal que no ocurriera erosión en el lecho y los lados del canal.

CANALES DE DESVIACION

INTRODUCCION

Las prácticas usuales de conservación de suelos, tales como el cultivo en contorno, la siembra en fajas, las rotaciones, las terrazas, etc., no pueden aplicarse con éxito en un terreno bajo cultivo si la escorrentía de áreas colocadas en un nivel más alto está contribuyendo al proceso erosivo en tales terrenos. El problema se reduce mucho si cada terreno soporta tan sólo la acción del agua de lluvia que le cae directamente. Para lograr esto se recurre a la construcción de canales de desviación, los cuales cortan el flujo del agua de escorrentía de predios más altos y llevan esas aguas a un desagüe bien protegido, impidiendo que causen daños en áreas vecinas más bajas. Canales de esta clase también son útiles para desviar el agua de cárcavas que se están defendiendo, para impedir que lleguen corrientes de agua a los edificios de la finca y para evitar, que la escorrentía de zonas altas se concentre y cause daños en zonas más bajas.

A los canales de desviación se les da generalmente una sección trapecial y hay necesidad de calcularlos y diseñarlos individualmente para las condiciones en que van a trabajar.

LOCALIZACION DE LOS CANALES DE DESVIACION

Estas estructuras son más efectivas cuando sirven áreas que estén cubiertas de bosques o de pastos, pues en tales condiciones no ocurren sedimentaciones grandes de suelo en el canal, las cuales son la causa más frecuente de fracaso. Cuando sirven lotes ocupados con cultivos limpios que necesitan escardas periódicas, es necesario dejar una faja amortiguadora de varios metros de ancho sobre el borde superior del canal, la cual se mantiene sembrada de pasto para que filtre el agua de escorrentía. Así se evitan costosos trabajos de mantenimiento y se asegura un buen funcionamiento del canal.

Cuando se desea desviar aguas de una cárcava el canal debe localizarse a una distancia prudencial de la cabeza o extremo superior de la cárcava, de manera que quede construido sobre terreno firme. La

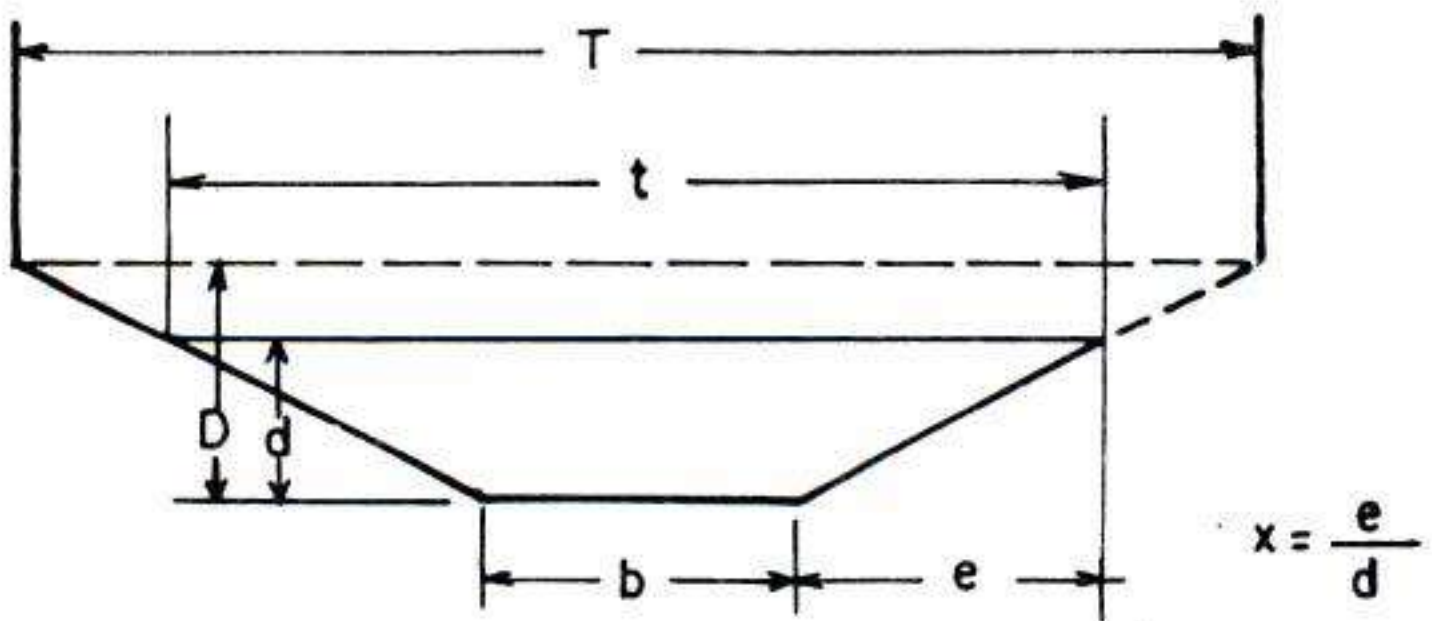


Fig. 81. Canal de desviación de sección trapezoidal.

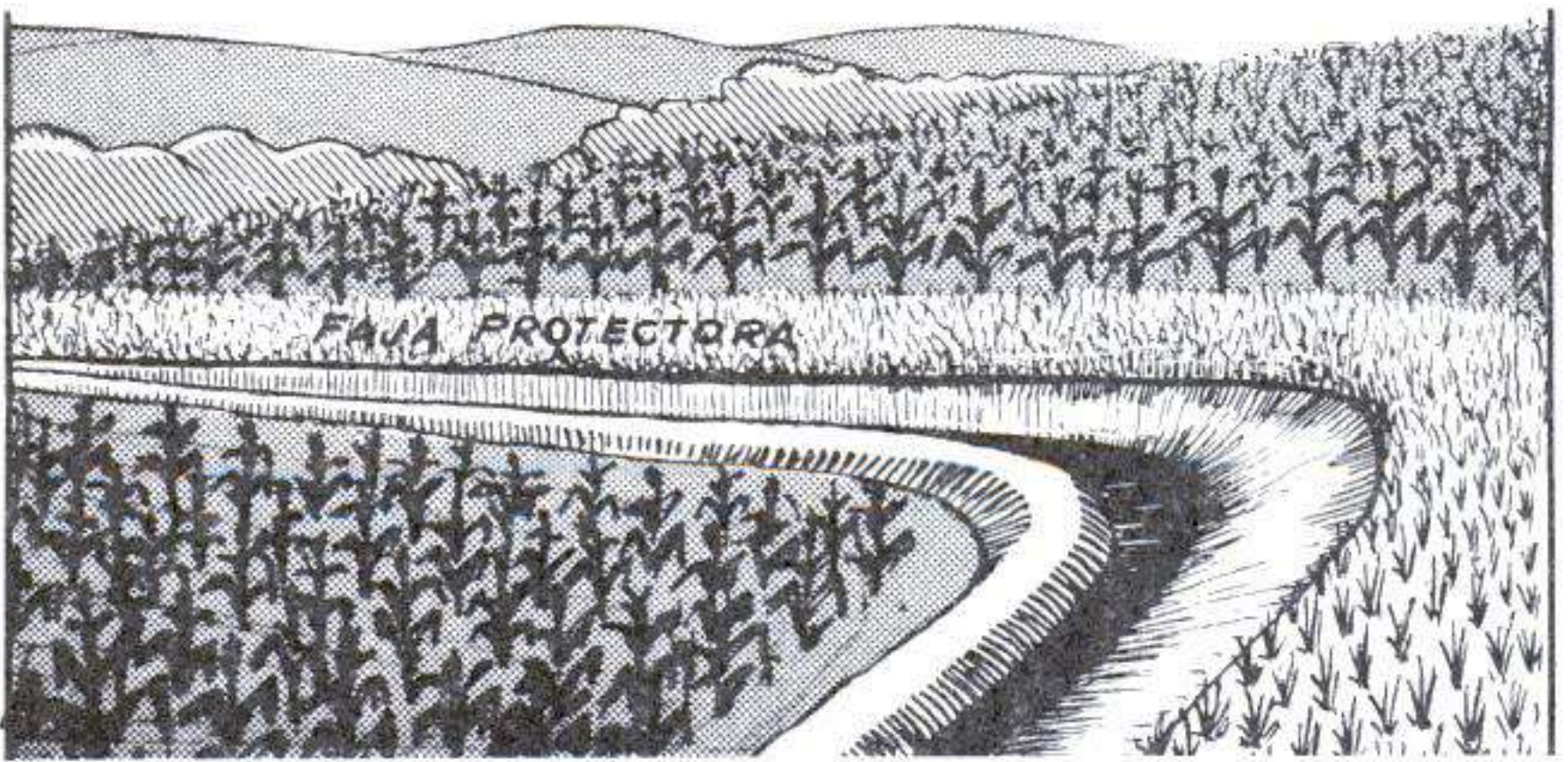


Fig. 82. Canal de desviación en un lote sembrado con un cultivo limpio.

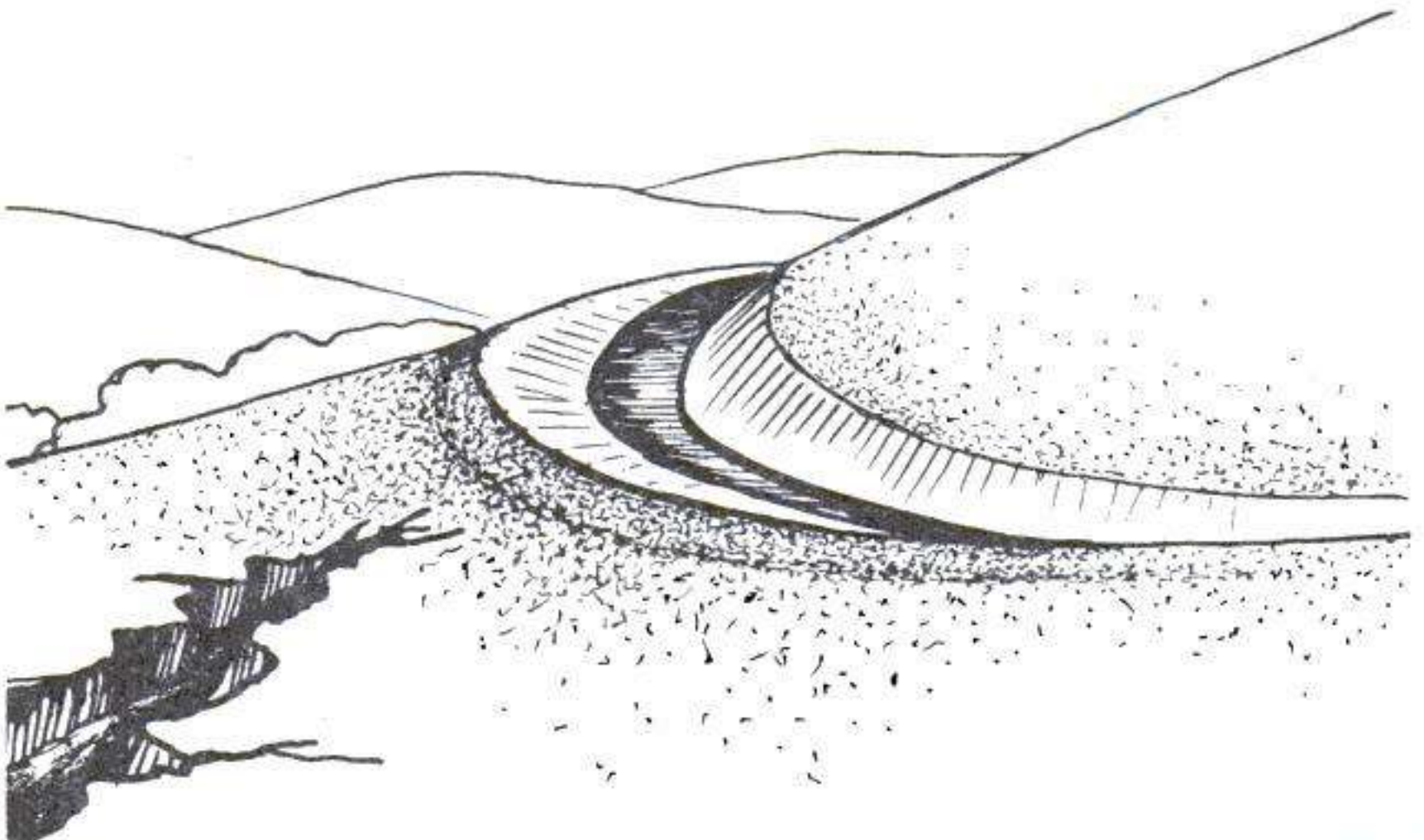


Fig. 83. Canal de desviación construido para evitar que llegue agua de escorrentía a una cárcava.



Fig. 84. Canal de desviación construido para proteger un lote bajo, sembrado con un cultivo limpio, de la escorrentía de un potrero.

estructura debe quedar a una distancia superior a tres veces la profundidad de la cárcava.

Cuando se desea proteger áreas bajas sembradas con cultivos limpios, de la escorrentía de áreas colocadas en la parte alta de la vertiente, el canal se construye a la menor distancia que sea posible de la zona que se quiere proteger.

VELOCIDAD DEL AGUA EN EL CANAL

Obtenido el dato de la escorrentía crítica del área que va a servir el canal en la forma como ya se explicó, se procede a calcular las diversas especificaciones de la estructura, de manera que sea capaz de transportar ese volumen máximo de agua a una velocidad segura, es decir, a una velocidad que no cause erosión de su fondo o de sus paredes.

La velocidad permisible depende de la naturaleza del material en el cual se construye el canal. Un terreno arenoso, suelto, no puede soportar la misma acción del agua que un terreno arcilloso. Debe advertirse que esta calificación se refiere al material dentro del cual quede enclavado el canal y no al suelo superficial.

La velocidad del agua, la cual se mide generalmente en metros por segundo, varía en diferentes sitios del canal. En las proximidades de los lados o del fondo es menor debido al rozamiento, en tanto que a una profundidad de 0,05 a 0,25 de la profundidad total, se encuentra la mayor velocidad. En todas las fórmulas la velocidad se expresa en términos de velocidad media del flujo, que es aquella que multiplicada por el área de la sección transversal, da la descarga total. Varía entre 0,8 y 0,95 de la velocidad del agua en la superficie (5, 11).

Todos los elementos que se incluyen en el diseño de un canal ejercen influencia sobre la velocidad del flujo. Siendo los demás factores iguales, es mayor la velocidad a medida que se aumenta la profundidad del canal. Es mayor también a medida que se aumenta la caída o grado del canal. Asimismo, varía inversamente con la raíz cuadrada del perímetro mojado, entendiéndose por perímetro mojado aquella porción de la sección transversal del canal que queda en contacto con el agua, o en otros términos, la longitud en metros de los dos lados y el fondo del canal. El radio hidráulico es la relación entre el área transversal del canal y su perímetro mojado.

En el Cuadro 33 se dan las velocidades máximas seguras que pueden utilizarse sin que haya peligro de erosión en las paredes y fondo del canal.

CUADRO No. 33. Velocidades máximas seguras para acequias y canales, de acuerdo con la textura del material en el cual se construyen (2).

Material	Velocidad media en metros por segundo
Suelo arenoso muy suelto	0,30 a 0,45
Arena gruesa o suelo arenoso suelto	0,45 a 0,60
Suelo arenoso promedio	0,60 a 0,75
Suelo franco arenoso	0,75 a 0,83
Suelo franco de aluvión o ceniza volcánica	0,83 a 0,90
Suelo franco pesado o francoarcilloso	0,90 a 1,20
Suelo arcilloso o cascajoso	1,20 a 1,50
Conglomerados, cascajo cementado, pizarra blanda, "hard-pan", roca sedimentaria blanda	1,80 a 2,40
Roca dura	3,00 a 4,50
Hormigón	4,50 a 6,00

FORMULAS Y CALCULOS

Para el cálculo del canal se utiliza la fórmula de Manning, que en forma simplificada puede expresarse como sigue:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Siendo:

V la velocidad media del agua en el canal, en metros por segundo.
 n un coeficiente de fricción cuyo valor depende de las condiciones del canal (véase Cuadro 34).

r el radio hidráulico en metros (o sea el área transversal del canal, en metros cuadrados dividida por el perímetro mojado, en metros).

s la caída o desnivel del canal, en metros por metro.

Como anteriormente se había definido la velocidad media del agua como aquella que multiplicada por el área transversal del canal da la descarga, la fórmula de Manning puede también expresarse así:

$$Q = \frac{1}{n} a r^{2/3} s^{1/2}$$

Siendo:

Q la capacidad del canal, en metros cúbicos, y
 a el área de la sección transversal del canal, en metros cuadrados.

CUADRO No. 34. Valores de "n" dados por Horton para ser empleados en la fórmula de Manning.

Canales y zanjas	Condiciones de las paredes		
	Buenas	Regulares	Malas
En tierra, alineados y uniformes	0,020	0,0225	0,025+
En roca, lisos y uniformes	0,030	0,033+	0,035
Sinuosos y de escurrimiento lento	0,025+	0,0275	0,030
Dragados en tierra	0,0275	0,030+	0,033
Con lecho pedregoso y bordes de tierra enhierbados	0,030	0,035+	0,040
Fondo (plantilla) de tierra, taludes ásperos	0,030+	0,033	0,035
Corrientes naturales			
Limpias, bordes rectos	0,0275	0,030+	0,033
Con algo de hierba y piedra	0,033	0,035	0,040
Playas muy enhierbadas	0,100	0,125	0,150

(+) Valores comúnmente empleados al proyectar.

Con objeto de simplificar los cálculos, se dan en este texto algunos cuadros que si se aprenden a usar correctamente convierten el diseño de canales de desviación en un trabajo sencillo.

Para utilizar los cuadros en la resolución de la fórmula se procede así.

- a. Se selecciona en el Cuadro 34 el coeficiente "n" de acuerdo con las condiciones en que se considere que va a quedar el canal.
- b. Se escoge el grado o desnivel (s) que se crea debe dársele al canal.
- c. Se escogen las demás dimensiones (anchura, profundidad y taludes) que se suponga son adecuadas para transportar la escorrentía crítica.
- d. Se calcula el área transversal usando la siguiente fórmula:

$$a = d (b + xd)$$

(la correspondencia de cada letra se da en la Fig. 81). Esta área debe ser igual o ligeramente superior a la escorrentía crítica en metros cúbicos, dividida por la velocidad máxima segura, en metros por segundo.

- e. Se determina el radio hidráulico. Para esto se divide la profundidad del agua en el canal (d) por la anchura del fondo del canal (b). Se busca esta cifra en la primera columna del Cuadro 35 y se busca horizontalmente el valor correspondiente de acuerdo con el talud que se haya seleccionado para el canal. Este valor se multiplica por la profundidad del agua (d) y se obtiene el radio hidráulico.
- f. Se eleva el radio hidráulico así determinado a la potencia 2/3. Para ello se utiliza el Cuadro 36 en la cual se hace la lectura directamente.
- g. Se eleva a la potencia 1/2 (o sea se le extrae la raíz cuadrada) al desnivel (s) que se seleccionó. Para esto se utiliza el Cuadro 37, en el cual se hace la lectura directa (no debe olvidarse que este desnivel se expresa en metros por metro).
- h. Con estos datos se reemplazan todas las letras de la fórmula de Manning.

Debe encontrarse una descarga (Q) igual o ligeramente superior a la escorrentía crítica y una velocidad igual o ligeramente inferior a la

CUADRO No. 35. Para determinar el radio hidráulico, r , de canales trapeciales con pendientes de los lados variables.

Siendo: $\frac{\text{Profundidad del agua}}{\text{Anchura del fondo del canal}} = \frac{d}{b}$ y $c = \text{valor tabulado}$.

$$r = cd$$

Pendientes de los lados (talud) del canal, relación de horizontal a vertical

$\frac{d}{b}$	1 a 1	2 a 1	3 a 1	4 a 1
0,00	1,000	1,000	1,000	1,000
0,01	1,982	1,976	1,969	1,961
0,02	1,965	1,955	1,941	1,927
0,03	1,949	1,935	1,916	1,898
0,04	1,934	1,916	1,894	1,872
0,05	1,920	1,899	1,874	1,850
0,06	1,906	1,883	1,856	1,830
0,07	1,893	1,868	1,839	1,812
0,08	1,881	1,854	1,823	1,795
0,09	1,869	1,841	1,809	1,781
0,10	1,858	1,829	1,797	1,767
0,11	1,847	1,818	1,784	1,755
0,12	1,836	1,807	1,773	1,744
0,13	1,826	1,797	1,763	1,734
0,14	1,817	1,787	1,753	1,724
0,15	1,807	1,778	1,744	1,715
0,16	1,799	1,769	1,736	1,707
0,17	1,790	1,761	1,728	1,700
0,18	1,782	1,753	1,720	1,693
0,19	1,774	1,746	1,713	1,686
0,20	1,766	1,739	1,706	1,679
0,21	1,759	1,732	1,700	1,674
0,22	1,752	1,726	1,694	1,668
0,23	1,745	1,720	1,688	1,663
0,24	1,739	1,714	1,683	1,658
0,25	1,732	1,708	1,678	1,653
0,26	1,726	1,703	1,673	1,649
0,27	1,720	1,698	1,668	1,645
0,28	1,714	1,693	1,664	1,641
0,29	1,709	1,688	1,660	1,637

Continúa en página siguiente

Cuadro No. 35. Cont.

Pendientes de los lados (talud) del canal, relación de horizontal a vertical				
$\frac{d}{b}$	1 a 1	2 a 1	3 a 1	4 a 1
0,30	1,703	1,683	1,656	1,633
0,31	1,698	1,679	1,652	1,630
0,32	1,693	1,675	1,648	1,627
0,33	1,688	1,671	1,645	1,624
0,34	1,683	1,667	1,641	1,621
0,35	1,678	1,663	1,638	1,618
0,36	1,674	1,659	1,635	1,615
0,37	1,669	1,655	1,632	1,612
0,38	1,665	1,652	1,629	1,610
0,39	1,661	1,649	1,626	1,607
0,40	1,657	1,645	1,623	1,605
0,41	1,653	1,642	1,621	1,603
0,42	1,649	1,639	1,618	1,600
0,43	1,645	1,636	1,616	1,598
0,44	1,641	1,633	1,613	1,596
0,45	1,638	1,631	1,611	1,594
0,46	1,635	1,628	1,609	1,592
0,47	1,631	1,625	1,607	1,591
0,48	1,628	1,623	1,605	1,589
0,49	1,625	1,620	1,603	1,587
0,50	1,621	1,618	1,601	1,586
0,51	1,618	1,616	1,599	1,584
0,52	1,615	1,613	1,597	1,583
0,53	1,612	1,611	1,595	1,581
0,54	1,610	1,609	1,594	1,580
0,55	1,607	1,607	1,592	1,578
0,56	1,604	1,605	1,590	1,577
0,57	1,601	1,603	1,589	1,576
0,58	1,598	1,601	1,587	1,574
0,59	1,595	1,599	1,586	1,573
0,60	1,593	1,597	1,584	1,572
0,61	1,591	1,596	1,583	1,571
0,62	1,588	1,594	1,581	1,569
0,63	1,586	1,592	1,580	1,568
0,64	1,584	1,590	1,579	1,567

Cuadro No. 35. Cont.

Pendientes de los lados (talud) del canal, relación de horizontal a vertical

$\frac{d}{b}$	1 a 1	2 a 1	3 a 1	4 a 1
0,65	1,581	1,589	1,577	1,566
0,66	1,579	1,587	1,576	1,565
0,67	1,577	1,586	1,575	1,564
0,68	1,575	1,584	1,574	1,563
0,69	1,573	1,583	1,573	1,562
0,70	1,571	1,581	1,571	1,561
0,71	1,569	1,580	1,570	1,560
0,72	1,567	1,578	1,569	1,559
0,73	1,565	1,577	1,568	1,558
0,74	1,563	1,576	1,567	1,558
0,75	1,561	1,574	1,566	1,557
0,76	1,559	1,573	1,565	1,556
0,77	1,557	1,572	1,564	1,555
0,78	1,555	1,570	1,563	1,554
0,79	1,554	1,569	1,562	1,554
0,80	1,552	1,568	1,561	1,553
0,81	1,550	1,567	1,560	1,552
0,82	1,548	1,566	1,559	1,551
0,83	1,547	1,565	1,558	1,551
0,84	1,545	1,563	1,558	1,550
0,85	1,544	1,562	1,557	1,549
0,86	1,542	1,561	1,556	1,549
0,87	1,540	1,560	1,555	1,548
0,88	1,539	1,559	1,554	1,547
0,89	1,537	1,558	1,554	1,547
0,90	1,536	1,557	1,553	1,546
0,91	1,534	1,556	1,552	1,546
0,92	1,533	1,555	1,551	1,545
0,93	1,532	1,554	1,551	1,544
0,94	1,530	1,553	1,550	1,544
0,95	1,529	1,553	1,549	1,543
0,96	1,528	1,552	1,549	1,543
0,97	1,526	1,551	1,548	1,542
0,98	1,525	1,550	1,547	1,542
0,99	1,524	1,549	1,547	1,541
1,00	1,522	1,548	1,546	1,541

CUADRO No. 36. Potencia dos tercios ($2/3$) de los números.

Número	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,000	0,046	0,074	0,097	0,117	0,136	0,153	0,170	0,186	0,201
0,1	0,215	0,229	0,243	0,256	0,269	0,282	0,295	0,307	0,319	0,331
0,2	0,342	0,353	0,364	0,375	0,386	0,397	0,407	0,418	0,428	0,438
0,3	0,448	0,458	0,468	0,477	0,487	0,497	0,506	0,515	0,525	0,534
0,4	0,543	0,552	0,561	0,570	0,578	0,587	0,596	0,604	0,613	0,622
0,5	0,630	0,638	0,647	0,655	0,663	0,671	0,679	0,687	0,695	0,703
0,6	0,711	0,719	0,727	0,735	0,743	0,750	0,758	0,765	0,773	0,781
0,7	0,788	0,796	0,803	0,811	0,818	0,825	0,832	0,840	0,847	0,855
0,8	0,862	0,869	0,876	0,883	0,890	0,897	0,904	0,911	0,918	0,925
0,9	0,932	0,939	0,946	0,953	0,960	0,966	0,973	0,980	0,987	0,993
1,0	1,000	1,007	1,013	1,020	1,027	1,033	1,040	1,046	1,053	1,059
1,1	1,065	1,072	1,078	1,085	1,091	1,097	1,104	1,110	1,117	1,123
1,2	1,129	1,136	1,142	1,148	1,154	1,160	1,167	1,173	1,179	1,185
1,3	1,191	1,197	1,203	1,209	1,215	1,221	1,227	1,233	1,239	1,245
1,4	1,251	1,257	1,263	1,269	1,275	1,281	1,287	1,293	1,299	1,305
1,5	1,310	1,316	1,322	1,328	1,334	1,339	1,345	1,351	1,357	1,362
1,6	1,368	1,374	1,379	1,385	1,391	1,396	1,402	1,408	1,413	1,419
1,7	1,424	1,430	1,436	1,441	1,447	1,452	1,458	1,463	1,469	1,474
1,8	1,480	1,485	1,491	1,496	1,502	1,507	1,513	1,518	1,523	1,529
1,9	1,534	1,539	1,545	1,550	1,556	1,561	1,566	1,571	1,577	1,582
2,0	1,587	1,593	1,598	1,603	1,608	1,613	1,619	1,624	1,629	1,634
2,1	1,639	1,645	1,650	1,655	1,660	1,665	1,671	1,676	1,681	1,686
2,2	1,691	1,697	1,702	1,707	1,712	1,717	1,722	1,727	1,732	1,737
2,3	1,742	1,747	1,752	1,757	1,762	1,767	1,772	1,777	1,782	1,787
2,4	1,792	1,797	1,802	1,807	1,812	1,817	1,822	1,827	1,832	1,837
2,5	1,842	1,847	1,852	1,857	1,862	1,867	1,871	1,876	1,881	1,886
2,6	1,891	1,896	1,900	1,905	1,910	1,915	1,920	1,925	1,929	1,934
2,7	1,939	1,944	1,949	1,953	1,958	1,963	1,968	1,972	1,977	1,982
2,8	1,987	1,992	1,996	2,001	2,006	2,010	2,015	2,020	2,024	2,029
2,9	2,034	2,038	2,043	2,048	2,052	2,057	2,062	2,066	2,071	2,075
3,0	2,080	2,085	2,089	2,094	2,099	2,103	2,108	2,112	2,117	2,122
3,1	2,126	2,131	2,135	2,140	2,144	2,149	2,153	2,158	2,163	2,167
3,2	2,172	2,176	2,180	2,185	2,190	2,194	2,199	2,203	2,208	2,212
3,3	2,217	2,221	2,226	2,230	2,234	2,239	2,243	2,248	2,252	2,257
3,4	2,261	2,265	2,270	2,274	2,279	2,283	2,288	2,292	2,296	2,301
3,5	2,305	2,310	2,314	2,318	2,323	2,317	2,331	2,336	2,340	2,345
3,6	2,349	2,353	2,358	2,362	2,366	2,371	2,375	2,379	2,384	2,388
3,7	2,392	2,397	2,401	2,405	2,409	2,414	2,418	2,422	2,427	2,431
3,8	2,435	2,439	2,444	2,448	2,452	2,457	2,461	2,465	2,469	2,474
3,9	2,478	2,482	2,486	2,490	2,495	2,499	2,503	2,507	2,511	2,516
4,0	2,520	2,524	2,528	2,532	2,537	2,541	2,545	2,549	2,553	2,558
4,1	2,562	2,566	2,570	2,574	2,579	2,583	2,587	2,591	2,595	2,599
4,2	2,603	2,607	2,611	2,616	2,620	2,624	2,628	2,632	2,636	2,640
4,3	2,644	2,648	2,653	2,657	2,661	2,665	2,669	2,673	2,677	2,681
4,4	2,685	2,689	2,693	2,698	2,702	2,706	2,710	2,714	2,718	2,722
4,5	2,726	2,730	2,734	2,738	2,742	2,746	2,750	2,754	2,758	2,762
4,6	2,766	2,770	2,774	2,778	2,782	2,786	2,790	2,794	2,798	2,802
4,7	2,806	2,810	2,814	2,818	2,822	2,826	2,830	2,834	2,838	2,842
4,8	2,846	2,850	2,854	2,858	2,862	2,865	2,869	2,873	2,877	2,881
4,9	2,885	2,889	2,893	2,897	2,901	2,904	2,908	2,912	2,916	2,920

Continúa en página siguiente

CUADRO No. 36. Cont.

Número	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
5,0	2,924	2,928	2,932	2,936	2,940	2,944	2,947	2,951	2,955	2,959
5,1	2,963	2,967	2,971	2,975	2,979	2,982	2,986	2,990	2,994	2,998
5,2	3,001	3,005	3,009	3,013	3,017	3,021	3,024	3,028	3,032	3,036
5,3	3,040	3,044	3,047	3,051	3,055	3,059	3,063	3,067	3,070	3,074
5,4	3,078	3,082	3,086	3,089	3,093	3,097	3,101	3,105	3,108	3,112
5,5	3,116	3,120	3,123	3,127	3,131	3,135	3,138	3,142	3,146	3,150
5,6	3,154	3,157	3,161	3,165	3,169	3,172	3,176	3,180	3,184	3,187
5,7	3,191	3,195	3,198	3,202	3,206	3,210	3,213	3,217	3,221	3,224
5,8	3,228	3,232	3,236	3,239	3,243	3,247	3,250	3,254	3,258	3,261
5,9	3,265	3,269	3,273	3,276	3,280	3,284	3,287	3,291	3,295	3,298
6,0	3,302	3,306	3,309	3,313	3,317	3,320	3,324	3,328	3,331	3,335
6,1	3,339	3,342	3,346	3,350	3,353	3,357	3,360	3,364	3,368	3,371
6,2	3,375	3,379	3,382	3,386	3,389	3,393	3,397	3,400	3,404	3,408
6,3	3,411	3,415	3,418	3,422	3,426	3,429	3,433	3,436	3,440	3,444
6,4	3,447	3,451	3,454	3,458	3,461	3,465	3,469	3,472	3,476	3,479
6,5	3,483	3,486	3,490	3,494	3,497	3,501	3,504	3,508	3,511	3,515
6,6	3,519	3,522	3,526	3,529	3,533	3,536	3,540	3,543	3,547	3,550
6,7	3,554	3,558	3,561	3,565	3,568	3,572	3,575	3,579	3,582	3,586
6,8	3,589	3,593	3,596	3,600	3,603	3,607	3,610	3,614	3,617	3,621
6,9	3,624	3,628	3,631	3,635	3,638	3,642	3,645	3,649	3,652	3,656
7,0	3,659	3,663	3,666	3,670	3,673	3,677	3,680	3,684	3,687	3,691
7,1	3,694	3,698	3,701	3,705	3,708	3,712	3,715	3,718	3,722	3,725
7,2	3,729	3,732	3,736	3,739	3,742	3,746	3,749	3,753	3,756	3,760
7,3	3,763	3,767	3,770	3,773	3,777	3,780	3,784	3,787	3,791	3,794
7,4	3,797	3,801	3,804	3,808	3,811	3,814	3,818	3,821	3,825	3,828
7,5	3,832	3,835	3,838	3,842	3,845	3,849	3,852	3,855	3,859	3,862
7,6	3,866	3,869	3,872	3,876	3,879	3,883	3,886	3,889	3,893	3,896
7,7	3,899	3,903	3,906	3,910	3,913	3,916	3,920	3,923	3,926	3,930
7,8	3,933	3,937	3,940	3,943	3,947	3,950	3,953	3,957	3,960	3,963
7,9	3,967	3,970	3,973	3,977	3,980	3,983	3,987	3,990	3,993	3,997
8,0	4,000	4,003	4,007	4,010	4,013	4,017	4,020	4,023	4,027	4,030
8,1	4,033	4,037	4,040	4,043	4,047	4,050	4,053	4,057	4,060	4,063
8,2	4,066	4,070	4,073	4,076	4,080	4,083	4,086	4,090	4,093	4,096
8,3	4,099	4,103	4,106	4,109	4,113	4,116	4,119	4,122	4,126	4,129
8,4	4,132	4,136	4,139	4,142	4,145	4,149	4,152	4,155	4,159	4,162
8,5	4,165	4,168	4,172	4,175	4,178	4,181	4,185	4,188	4,191	4,194
8,6	4,198	4,201	4,204	4,207	4,211	4,214	4,217	4,220	4,224	4,227
8,7	4,230	4,233	4,237	4,240	4,243	4,246	4,249	4,253	4,256	4,259
8,8	4,262	4,266	4,269	4,272	4,275	4,279	4,282	4,285	4,288	4,291
8,9	4,295	4,298	4,301	4,304	4,307	4,311	4,314	4,317	4,320	4,324
9,0	4,327	4,330	4,333	4,336	4,340	4,343	4,346	4,349	4,352	4,356
9,1	4,359	4,362	4,365	4,368	4,372	4,375	4,378	4,381	4,384	4,387
9,2	4,391	4,394	4,397	4,400	4,403	4,407	4,410	4,413	4,416	4,419
9,3	4,422	4,426	4,429	4,432	4,435	4,438	4,441	4,445	4,448	4,451
9,4	4,454	4,457	4,460	4,464	4,467	4,470	4,473	4,476	4,479	4,482
9,5	4,486	4,489	4,492	4,495	4,498	4,501	4,504	4,508	4,511	4,514
9,6	4,517	4,520	4,523	4,526	4,530	4,533	4,536	4,539	4,542	4,545
9,7	4,548	4,551	4,555	4,558	4,561	4,564	4,567	4,570	4,573	4,576
9,8	4,580	4,583	4,586	4,589	4,592	4,595	4,598	4,601	4,604	4,608
9,9	4,611	4,614	4,617	4,620	4,623	4,626	4,629	4,632	4,635	4,639
10,0	4,642									

CUADRO No. 37. Raíz cuadrada (potencia 1/2) de números decimales.

Número	, ---0	, ---1	, ---2	, ---3	, ---4	, ---5	, ---6	, ---7	, ---8	, ---9
0,00001	0,003162	0,003317	0,003464	0,003606	0,003742	0,003873	0,004000	0,004123	0,004243	0,004359
0,00002	0,004472	0,004583	0,004690	0,004796	0,004899	0,005000	0,005099	0,005196	0,005292	0,005385
0,00003	0,005477	0,005568	0,005657	0,005745	0,005831	0,005916	0,006000	0,006083	0,006164	0,006245
0,00004	0,006325	0,006403	0,006481	0,006557	0,006633	0,006708	0,006782	0,006856	0,006928	0,007000
0,00005	0,007071	0,007141	0,007211	0,007280	0,007348	0,007416	0,007483	0,007550	0,007616	0,007681
0,00006	0,007746	0,007810	0,007874	0,007937	0,008000	0,008062	0,008124	0,008185	0,008246	0,008307
0,00007	0,008367	0,008426	0,008485	0,008544	0,008602	0,008660	0,008718	0,008775	0,008832	0,008888
0,00008	0,008944	0,009000	0,009055	0,009110	0,009165	0,009220	0,009274	0,009327	0,009381	0,009434
0,00009	0,009487	0,009539	0,009592	0,009644	0,009695	0,009747	0,009798	0,009849	0,009899	0,009950
0,00010	0,010000	0,010050	0,010100	0,010149	0,010198	0,010247	0,010296	0,010344	0,010392	0,010440
0,0001	0,010000	0,01049	0,01095	0,01140	0,01183	0,01225	0,01265	0,01304	0,01342	0,01378
0,0002	0,01414	0,01449	0,01483	0,01517	0,01549	0,01581	0,01612	0,01643	0,01673	0,01703
0,0003	0,01732	0,01761	0,01789	0,01817	0,01844	0,01871	0,01897	0,01924	0,01949	0,01975
0,0004	0,02000	0,02025	0,02049	0,02074	0,02098	0,02121	0,02145	0,02168	0,02191	0,02214
0,0005	0,02236	0,02258	0,02280	0,02302	0,02324	0,02345	0,02366	0,02387	0,02408	0,02429
0,0006	0,02449	0,02470	0,02490	0,02510	0,02530	0,02550	0,02569	0,02588	0,02608	0,02627
0,0007	0,02646	0,02665	0,02683	0,02702	0,02720	0,02739	0,02757	0,02775	0,02793	0,02811
0,0008	0,02828	0,02846	0,02864	0,02881	0,02898	0,02915	0,02933	0,02950	0,02966	0,02983
0,0009	0,03000	0,03017	0,03033	0,03050	0,03066	0,03082	0,03098	0,03114	0,03130	0,03146
0,0010	0,03162	0,03178	0,03194	0,03209	0,03225	0,03240	0,03256	0,03271	0,03286	0,03302
0,001	0,03162	0,03317	0,03464	0,03606	0,03742	0,03873	0,04000	0,04123	0,04243	0,04359
0,002	0,04472	0,04583	0,04690	0,04796	0,04899	0,05000	0,05099	0,05196	0,05292	0,05385
0,003	0,05477	0,05568	0,05657	0,05745	0,05831	0,05916	0,06000	0,06083	0,06164	0,06245
0,004	0,06325	0,06403	0,06481	0,06557	0,06633	0,06708	0,06782	0,06856	0,06928	0,07000
0,005	0,07071	0,07141	0,07211	0,07280	0,07348	0,07416	0,07483	0,07550	0,07616	0,07681

CUADRO No. 37. Cont.

Número	, - - - 0	, - - - 1	, - - - 2	, - - - 3	, - - - 4	, - - - 5	, - - - 6	, - - - 7	, - - - 8	, - - - 9
0,006	0,07746	0,07810	0,07874	0,07937	0,08000	0,08062	0,08124	0,08185	0,08246	0,08307
0,007	0,08367	0,08426	0,08485	0,08544	0,08602	0,08660	0,08718	0,08775	0,08832	0,08888
0,008	0,08944	0,09000	0,09055	0,09110	0,09165	0,09220	0,09274	0,09327	0,09381	0,09434
0,009	0,09487	0,09539	0,09592	0,09644	0,09695	0,09747	0,09798	0,09849	0,09899	0,09950
0,010	0,10000	0,10050	0,10100	0,10149	0,10198	0,10247	0,10296	0,10344	0,10392	0,10440
0,01	0,10000	0,1049	0,1095	0,1140	0,1183	0,1225	0,1265	0,1304	0,1342	0,1378
0,02	0,1414	0,1449	0,1483	0,1517	0,1549	0,1581	0,1612	0,1643	0,1673	0,1703
0,03	0,1732	0,1761	0,1789	0,1817	0,1844	0,1871	0,1897	0,1924	0,1949	0,1975
0,04	0,2000	0,2025	0,2049	0,2074	0,2098	0,2121	0,2145	0,2168	0,2191	0,2214
0,05	0,2236	0,2258	0,2280	0,3202	0,2324	0,2345	0,2366	0,2387	0,2408	0,2429
0,06	0,2449	0,2470	0,2490	0,2510	0,2530	0,2550	0,2569	0,2588	0,2608	0,2627
0,07	0,2646	0,2665	0,2683	0,2702	0,2720	0,2739	0,2757	0,2775	0,2793	0,2811
0,08	0,2828	0,2846	0,2864	0,2881	0,2898	0,2915	0,2933	0,2950	0,2966	0,2983
0,09	0,3000	0,3017	0,3033	0,3050	0,3066	0,3082	0,3098	0,3114	0,3130	0,3146
0,10	0,3162	0,3178	0,3194	0,3209	0,3225	0,3240	0,3256	0,3271	0,3286	0,3302

velocidad máxima segura. Si esto no se ha logrado, se modifican las especificaciones y se repiten los cálculos. No deben necesitarse más de dos o tres tentativas para obtener un canal de diseño adecuado.

EJEMPLO DEL CALCULO DE UN CANAL DE DESVIACION

Supóngase que se desee construir un canal de desviación para hacerse cargo de una esorrentía crítica (calculada según la fórmula

$Q = \frac{CIA}{360}$) de 1.000 litros por segundo. El canal va a escavarse en un terreno franco arcilloso. Se tendrá entonces:

- a. Fórmula de Manning: $Q = \frac{1}{n} a r^{2/3} s^{1/2}$.
- b. "n" según Cuadro 34 = 0,030.
- c. Desnivel (s) escogido = 0,005.
- d. Velocidad máxima segura que debe tener el agua en el canal según Cuadro 33 = 0,9 a 1,2 m por segundo.
- e. El canal debe tener un área transversal aproximada de $\frac{Q}{V}$ o sea de $\frac{0,9}{1,0} = 0,90$ m cuadrados.

Primera tentativa. Dimensiones del canal:

- f. Anchura de fondo (b) = 1 m.
- g. Talud = 2: 1.
- h. Profundidad del agua (d) = 0,60 m.
- i. Desnivel (s) = 0,005.
- j. Area de este canal: $a = d (b + xd)$; $a = 0,6(1,0 + 2 \times 0,6) = 1,32$ metros cuadrados.

El área del canal con las especificaciones anteriores es excesiva para el agua que va a transportar. Es necesario hacer otra tentativa reduciéndola.

Segunda tentativa

- k. Anchura de fondo (b) = 1 m.
- l. Talud = 2: 1.
- m. Profundidad del agua (d) = 0,5 m.
- n. Desnivel (s) = 0,005.
- o. Area de este canal = $0,5(1,0 + 2 \times 0,5) = 1,0$ m².

Esta área está muy cerca de la ideal, de manera que puede continuarse el cálculo.

p. Radio hidráulico:

$$\frac{d}{b} = \frac{0,5}{1,0} = 0,5$$

valor buscado en el Cuadro 35 = 0,618.

$$0,618 \times d = 0,618 \times 0,5 = 0,309$$

$$r = 0,309$$

q. Potencia $2/3$ de 0,309 (Cuadro 36) = 0,458.

r. Potencia $1/2$ (raíz cuadrada) de 0,005 (Cuadro 37) = 0,0707.

s. Fórmula de Manning:

$$Q = \frac{1}{0,003} \times 1,0 \times 0,458 \times 0,0707 = 1,08 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{1,08}{1} = 1,08 \text{ m por segundo}$$

Este canal transportaría la escorrentía crítica del área que va a servir a una velocidad segura. Sus especificaciones serían por lo tanto aceptables.

Para ordenar mejor el diseño de canales de desviación es conveniente utilizar formularios como los que se presentan en el Cuadro 38.

CUADRO No. 38. Hoja de diseño de canales de desviación.

Finca _____ Campo No. _____ Area de drenaje _____ Ha

Area 1	Proporción Area total 2	Uso del terreno 3	Pendiente 4	C 5	Valor total de C (Col. 2xCol. 5) 6
		Bosque o cafetal	0-30%	0,20	
		Bosque o cafetal	30-60%	0,30	
		Potrero	0-10%	0,30	
		Potrero	10-30%	0,60	
		Potrero	30-60%	0,70	
		Cultivo limpio	0-10%	0,60	
		Cultivo limpio	10-30%	0,70	
		Cultivo limpio	más de 30%	0,90	
Totales	1,00				

Sigue en página siguiente

Cuadro 38. Cont.

Tiempo de concentración _____ minutos I = _____ mm/h

$$Q = \frac{CIA}{360} = \text{_____} \times \text{_____} \times \text{_____} = \text{_____} \text{ m}^3/\text{seg}$$

x =

b =

D =

Pendiente del canal (s) =

r =

v =

Q =

Diseñado por _____

Fecha _____ Lugar _____

Nota: para el significado de las letras, véase la Fig. 81.

TERRAZAS

INTRODUCCION

Desde hace varios siglos los agricultores de diferentes regiones han recurrido a la construcción de canales, distribuidos a intervalos en el terreno, para cortar la esorrentía. En esta forma se evita que las aguas adquieran velocidad y volumen suficientes para arrastrar partículas de suelo. Un tipo de canales que cumplen esa finalidad son los llamados terrazas, los cuales se distinguen por tener una sección transversal de gran anchura y poca profundidad, la cual permite que el mismo canal se siembre y cultive en forma similar al resto del terreno. Las terrazas así definidas son estructuras utilizables en terrenos con pendiente inferior al 15%.

TIPOS DE TERRAZAS

Desde el punto de vista de la construcción se distinguen las terrazas de canal y las terrazas de caballón. Las primeras se construyen de manera que se obtenga un canal a un nivel un poco más bajo que el nivel original del terreno; así se logra interceptar y transportar eficientemente el agua de esorrentía. En las segundas se levanta un caballón sobre la superficie original del terreno haciendo el canal tan pequeño como sea posible, de manera que se logra mantener el agua de esorrentía sobre el terreno durante algún tiempo, para así incrementar su absorción por el suelo (4).

Por la forma como actúan se distinguen dos tipos de terrazas: las de absorción y las de desagüe. Las terrazas de absorción se constru-

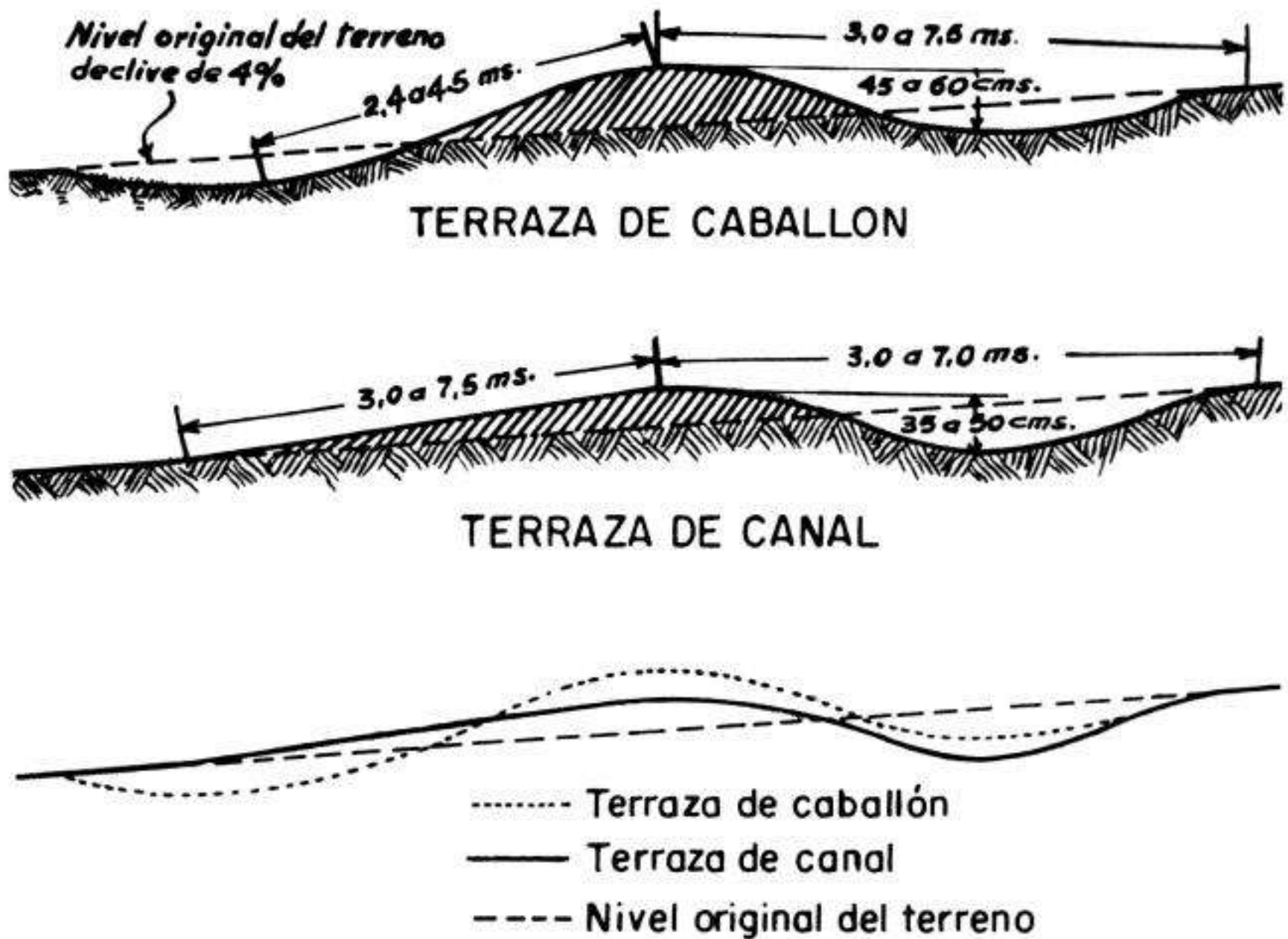


Fig. 85. Diferentes tipos de terrazas.

yen a nivel, de manera que no hay movimiento de agua dentro del canal. Se utilizan en zonas secas, en donde es de primordial importancia conservar la mayor cantidad posible de agua de lluvia para que la utilicen las plantas que se cultivan. Las terrazas de desagüe tienen un desnivel que permite el flujo del agua a una velocidad que no alcanza a causar arrastres del suelo, para verterla en un desagüe bien protegido. Estas últimas tienen su máxima utilidad en regiones húmedas con períodos de lluvias prolongadas.

ESPACIAMIENTO DE LAS TERRAZAS

La distancia entre las terrazas se calcula en todos los casos, de manera que la escorrentía que fluye sobre las porciones limitadas por ellas, no alcance velocidad erosiva. Depende, por lo tanto, de la pendiente del terreno y de las condiciones del suelo y del cultivo que en él se establezca. Cuanto mayor sea la separación menor es el costo de construcción y con tal objeto siempre se trata de acercar el espaciamiento al máximo posible en las condiciones más críticas de uso del terreno. En el caso de practicarse una rotación, esa distancia estará gobernada por las necesidades de defensa en el período en que crece el cultivo que ofrece la menor protección al terreno.

El espaciamiento se expresa en términos de diferencia de nivel, en metros, de dos terrazas sucesivas. Un espaciamiento de 1 m por ejem-

plo, significa que una de las estructuras está localizada 1 m más alta que la siguiente y 1 m más baja que la anterior. La distancia horizontal entre terrazas varía, por lo tanto, para el mismo distanciamiento vertical, según sea la pendiente del terreno. En un terreno con 5% de pendiente, una distancia vertical de 1 m equivale a una separación horizontal de 20 m, en tanto que en una pendiente del 10% será equivalente tan sólo a 10 metros de distancia horizontal.

Cada una de las terrazas debe tener capacidad suficiente para transportar las mayores cantidades de agua que le puedan llegar durante el tiempo de servicio para el cual se ha calculado.

No hay regla fija para determinar el intervalo vertical más conveniente en cada circunstancia. El Cuadro 39, adaptado de las recomendaciones que aconseja Ramser (5) para el sur de los Estados Unidos, puede servir como guía a falta de datos locales que fijen con más precisión los espaciamientos (4).

Los espaciamientos mayores deben usarse en suelos permeables, ricos en materia orgánica, en terrenos en los cuales va a practicarse una rotación con una alta proporción de plantas protectoras y en zonas con lluvias de baja intensidad; los espaciamientos menores se

CUADRO No. 39. Espaciamiento entre terrazas y metros de terraza por hectárea.

Pendiente del terreno por 100	Espaciamiento vertical entre terrazas metros		Distancia horizontal entre terrazas metros		Metros lineales de terraza por hectárea (pendiente uniforme)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1	0,50	0,70	50,0	70,0	200	142
2	0,64	0,86	32,0	43,0	312	232
3	0,70	0,95	23,0	31,0	434	322
4	0,76	1,00	19,0	25,0	526	400
5	0,83	1,12	16,6	22,4	602	446
6	0,89	1,20	14,8	20,0	675	500
7	0,96	1,29	13,7	18,4	730	543
8	1,02	1,38	12,8	17,3	781	578
9	1,08	1,47	12,0	16,3	833	613
10	1,15	1,55	11,5	15,5	870	645
11	1,21	1,64	11,0	14,9	909	671
12	1,28	1,73	10,6	14,4	943	694

aplican en suelos muy compactos, de baja permeabilidad, en terrenos ocupados con rotaciones en las cuales es alta la proporción de cultivo de escarda y en zonas de lluvias intensas. Entre los dos límites extremos se pueden escoger los valores adecuados para utilizar en condiciones que se apartan en proporción variable de una a otra situación típica. Como puede apreciarse en el Cuadro 39, la pendiente del

terreno se toma como criterio de espaciamento; como muy rara vez ella es uniforme, las distancias que se dan no pueden aplicarse con exactitud. Por otra parte, en ocasiones puede resultar aconsejable variar un poco la distancia entre algunas terrazas de un sistema, para lograr así su localización más ventajosa.

Además de los espaciamentos verticales se señalan en dicho cuadro las distancias horizontales entre una y otra estructura y los metros lineales de terraza por hectárea.

DESNIVEL DE LAS TERRAZAS

La caída o desnivel de las terrazas hacia el desagüe varía desde cero (terrazza a nivel) hasta 0,5 por ciento (o sea 50 cm de caída en cada 100 m de canal). Se procura utilizar siempre el menor desnivel que sea posible, de manera que el agua circule por el canal con velocidad apenas suficiente para prevenir su desbordamiento. En esta forma se evita que el propio lecho del canal llegue a sufrir erosión.

La terraza a nivel tan sólo se usa en zonas de lluvias muy escasas; en tales casos la construcción de la estructura exige mayores cuidados para evitar que queden puntos bajos en los cuales habría una excesiva acumulación de agua.

En ocasiones es conveniente darle un desnivel variable a la terraza, comenzando con el mínimo en la parte superior y terminando con el máximo en el desagüe. Este sistema es aconsejable en estructuras de gran longitud, y permite aumentar la capacidad del canal sin variar la sección transversal, lo cual significa economía en construcción. Se acostumbra variar progresivamente el desnivel en tramos de 100 m en la forma como se detalla en el Cuadro 40.

CUADRO No. 40. Desnivel para terrazas de pendiente variable.

Longitud de la terraza metros	Desnivel hacia el desagüe	
	Mínimo por 100	Máximo por 100
0-100	a nivel	0,10
100-200	0,10	0,15
200-300	0,15	0,20
300-400	0,20	0,30
400-500	0,30	0,40

LONGITUD DE LAS TERRAZAS

Las terrazas demasiado largas presentan serias dificultades de construcción y manejo. Exigen secciones transversales demasiado amplias,

especialmente en los tramos cercanos al desagüe para poder recibir la esorrentía acumulada del área que sirven sin recurrir a desniveles exagerados, lo cual significa que la altura de sus lados dificulta la utilización de maquinaria agrícola. No debe excederse la longitud máxima de 500 m bajo ninguna circunstancia.

SECCION TRANSVERSAL DE LAS TERRAZAS

Tres son las condiciones que debe llenar una sección transversal de cualquier terraza: 1) capacidad amplia del canal; 2) lados con pendiente tan moderada que no dificulte la utilización de la maquinaria agrícola; 3) facilidad y economía en su construcción. Teóricamente es posible calcular una terraza en la misma forma como se calcula cualquier canal, es decir, averiguando la esorrentía crítica y acomodando a ella la profundidad, anchura y desnivel de la terraza. Como se persigue que las estructuras no dificulten el uso de maquinaria, la terraza siempre es de poca profundidad y gran anchura. En esta forma se aprovecha también la circunstancia de que un canal con tales especificaciones se hace cargo de un volumen igual de agua al que transporta un canal profundo y angosto, pero a una velocidad más baja. En términos generales se acepta que la profundidad de la terraza debe oscilar entre 30 y 45 cm; el ancho total entre 5 y 12 m y la pendiente de los lados del canal (taludes) no debe ser mayor de 5:1 (es decir, una caída de 1 m en 5 m de distancia horizontal), siendo preferible reducirla hasta 8:1 (12, 15).

En la Fig. 86 se presentan algunas secciones transversales típicas para diferentes pendientes. En cada zona deben determinarse con alguna aproximación las especificaciones más convenientes de las terrazas, procediendo como se explicó al tratar del cálculo de canales de desviación, pero las secciones que se dan en la figura ilustran este criterio.

LOCALIZACION DE LAS TERRAZAS

Todo sistema de terrazas exige un planeamiento cuidadoso. Ante todo se debe estar seguro de que son necesarias; se deben examinar cuidadosamente las posibilidades que existan de defender el terreno mediante la combinación de prácticas de más fácil ejecución y manejo, especialmente de prácticas culturales y agronómicas. Tan sólo cuando se tenga la seguridad de que no es factible controlar la erosión sino mediante la acción de estas estructuras, debe procederse a su diseño y construcción. Nunca se olvidará que las prácticas de ingeniería son complementarias y que exigen mayor habilidad y esfuerzos por parte del agricultor que las prácticas culturales o agronómicas. Por otra parte, su conservación y cuidado agregan una nueva operación a las normales en la finca.

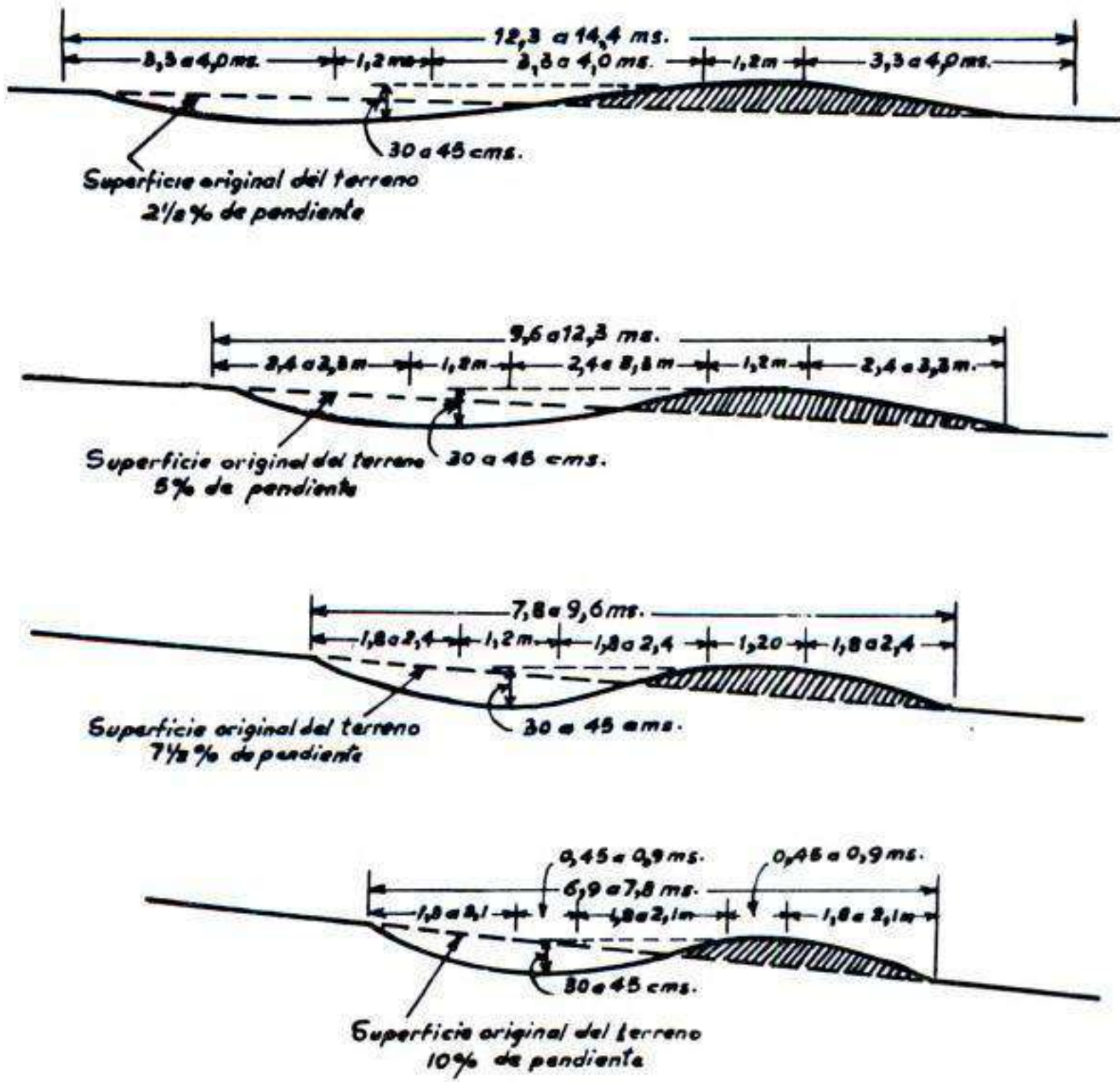


Fig. 86. Terrazas de canal en diversas pendientes.

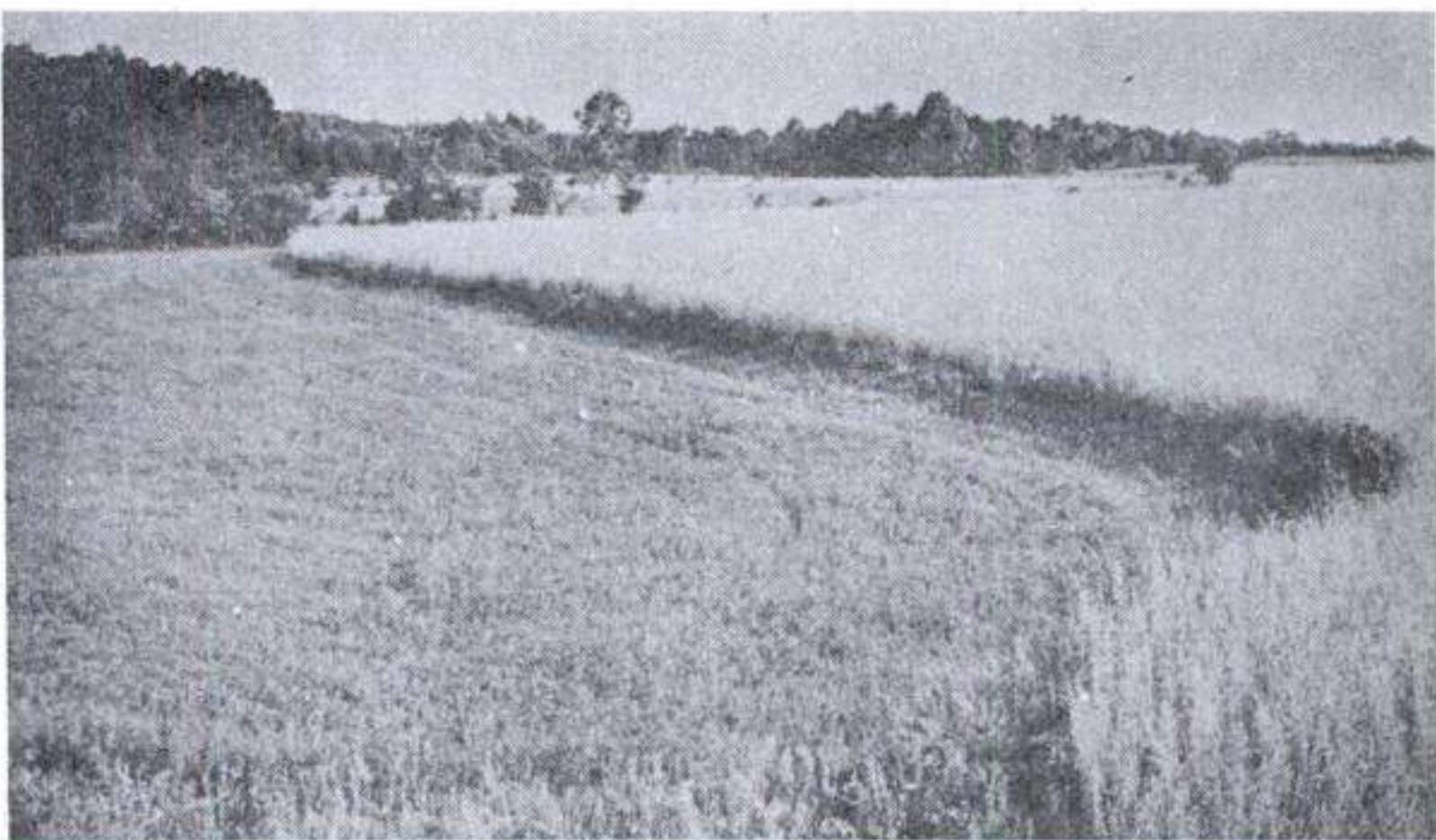


Fig. 87. Avena y alfalfa sembradas en contorno y separadas por terrazas. La avena está en terrenos de la clase III, y la alfalfa en terrenos de la clase IV. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

DESAGUES

Al tratar de establecer un sistema de terrazas el primer paso que debe darse es el de localizar los desagües. En todos los casos tiene que contarse con desagües muy bien protegidos antes de comenzar la construcción de cualquier canal. El desagüe es la parte crítica en un sistema de terrazas, pues si el agua que se concentra en cada estructura no puede descargarse a una corriente regular sin causar erosión, toda la obra estaría condenada al fracaso. Por no tener en cuenta este principio, han tenido que abandonarse miles de kilómetros de terrazas. De preferencia deben escogerse desagües naturales, es decir, zonas con vegetación densa en donde puedan descargarse los volúmenes probables de agua sin causar daños. Un bosque en pendiente moderada, provisto de una capa gruesa de restos vegetales o un potrero protegido del pastoreo, son ejemplos de buenos desagües naturales. Cuando se usan estos últimos debe tenerse el cuidado de evitar una excesiva concentración de agua en una zona muy estrecha, tratando de distribuir el agua de manera que se extienda sobre una área amplia.

En muchos casos no es posible contar con un desagüe natural en condiciones óptimas y hay necesidad de mejorarlo o de construir desagües especiales defendidos mecánicamente o con vegetación. En ocasiones bastará sembrar vegetación permanente en una depresión para contar con un desagüe seguro, en tanto que se protege del pastoreo y pisoteo excesivos. Otras veces será necesario construir un canal especial protegido para que se haga cargo del agua que se concentre en el extremo de las terrazas.

Las condiciones topográficas del terreno dirán cuál es el camino más adecuado que debe seguirse. De todos modos, nunca será excesivo el énfasis que se haga sobre la necesidad de contar con un desagüe bien seguro antes de diseñar y construir cualquier sistema de terrazas. Es preferible demorar el establecimiento de las estructuras uno o dos años, mientras se estabiliza el desagüe, que proceder sin haber tomado todas las precauciones para que la escorrentía concentrada no cause daños.

TRAZO

Después de tener localizado el desagüe se procede a medir la pendiente promedio del terreno y con ese dato se determina el espaciamiento de las terrazas, para trazarlas luego comenzando con la más alta. En algunos casos hay circunstancias, tales como cambios bruscos en la pendiente del terreno o existencia de zanjones, que obligan a localizar una terraza en determinado sitio. Puede entonces variarse el sistema de trazo, tomando esta terraza obligada como base para todas las demás.

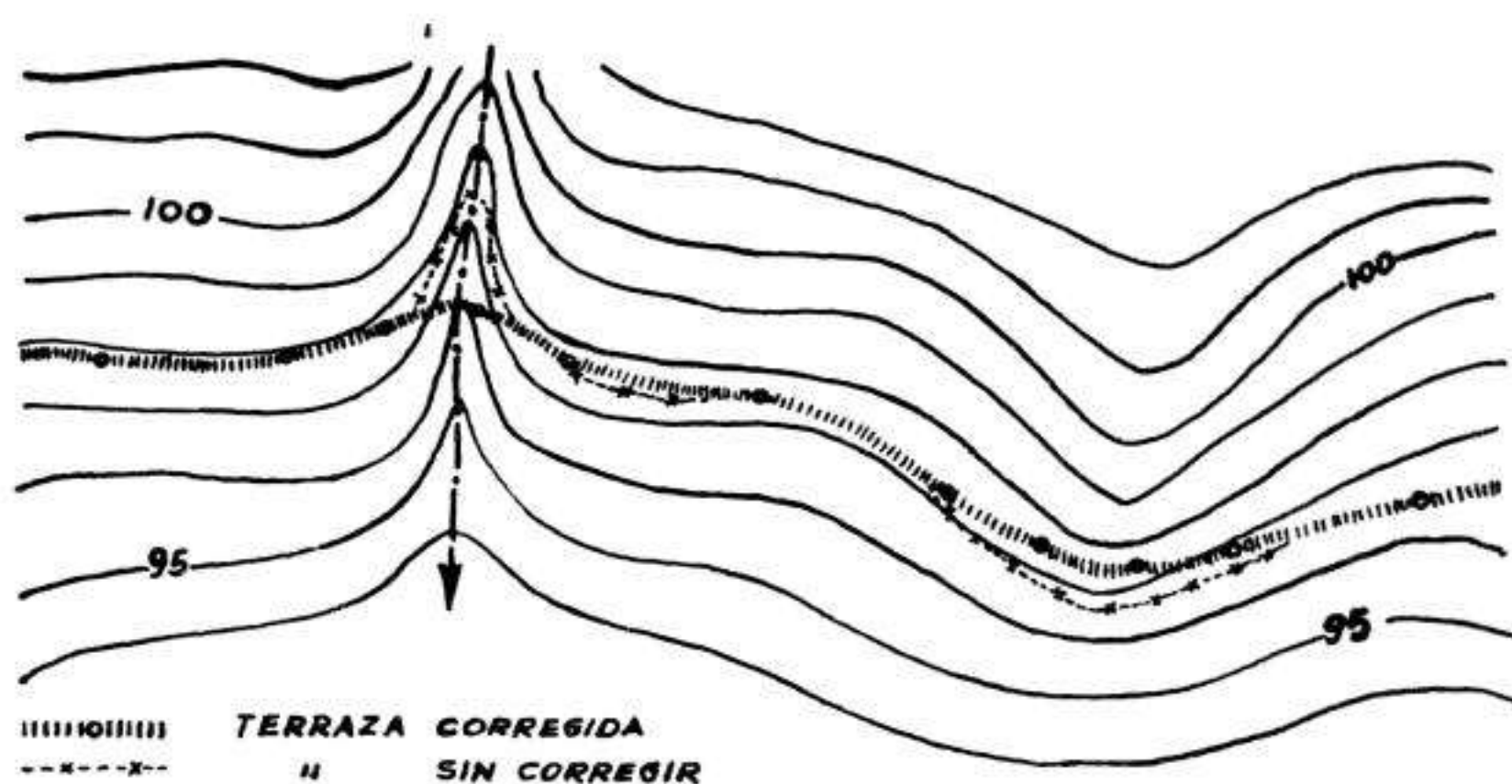


Fig. 88. Al trazar un sistema de terrazas deben corregirse las líneas, de manera que no presenten curvas muy forzadas.

El trazado se comienza por el desagüe. Con un aparato nivelador de los descritos en el Capítulo 5 se procede a localizar la línea que marca la primera terraza dándole el desnivel que se haya seleccionado; luego se corrige la línea de manera que no presente curvas muy forzadas que dificulten la construcción, el manejo o el sostenimiento de la estructura. Estas correcciones deben hacerse prudentemente y dependen en grado sumo del buen criterio del operador, admitiéndose que los desplazamientos de las estacas hacia arriba o hacia abajo de la pendiente no deben significar un aumento mayor de 15 cm en la profundidad de los cortes. En la Fig. 88 se presenta un ejemplo de la corrección de una terraza que da clara idea del criterio que debe guiar esta operación.

Cuando la línea original exige correcciones muy grandes, es preferible desecharla y trazar una nueva línea. No debe dejarse de tener en cuenta que se van a construir estructuras de carácter permanente y que, por lo tanto, vale la pena probar varias veces hasta tener un trazo plenamente satisfactorio.

Al terminar el trazo de la primera terraza se regresa al desagüe y se localiza y traza la segunda estructura en forma similar.

Para marcar en forma clara las líneas se puede pasar inmediatamente un arado, de manera que el surco que se trace evite que al caerse o perderse algunas estacas haya necesidad de repetir el trazado.

EFICIENCIA EN LA CONSTRUCCION DE LAS TERRAZAS

Deben tenerse en cuenta algunos puntos esenciales para lograr economía y eficiencia en la construcción de un sistema de terrazas. Los principales son los siguientes:

- a. Comience siempre la construcción de las terrazas por la más alta en el terreno, continuando en orden hasta la más baja. En esta forma se evita el peligro de que, después de construir algunas terrazas en la parte baja del lote, un aguacero fuerte las destruya o dañe gravemente por no tener capacidad para recibir la esorrentía de toda el área que aún no se ha protegido.
- b. La terraza más alta debe construirse bien pues de ella depende, el buen funcionamiento de todo el sistema.
- c. Remueva en cada vuelta tanta tierra como la potencia de la máquina lo permita. Así se asegura el uso eficiente del equipo.
- d. Procure no remover la tierra de sitios que luego habrá necesidad de rellenar.
- e. En pendientes suaves trate de mover toda la tierra de arriba hacia abajo. Es más económico.
- f. Procure que la máquina trabaje siempre en tierra que no haya sido removida. Esto quiere decir que en cada serie de vueltas de la máquina terracedora (arado, etc.) debe aumentarse algunos centímetros la profundidad del corte. En esa forma la cuchilla remueve más fácilmente la tierra.
- g. Procure no mover más suelo del que es absolutamente indispensable.
- h. Antes de iniciarse la construcción de una nueva terraza debe haberse terminado por completo la anterior. Todo el sistema será tan débil como el punto más débil de él.

Muchos aparatos mecánicos se utilizan en la construcción de terrazas. En los Estados Unidos, en donde existen varios miles de kilómetros de terrazas, se usa desde un arado liviano hasta dragas de gran potencia arrastradas por tractores de 70 u 80 H.P.

En las condiciones de América Latina el equipo más ampliamente utilizable es el liviano, que es el único que se encuentra al alcance del agricultor promedio. Por lo tanto, se describirá solamente la construcción de terrazas con arados, con rastras de construcción doméstica y con terracedor de rotación.

Antes de comenzar la excavación es necesario rellenar todos los zanjones o surcos profundos que haya en el terreno y remover toda la vegetación alta o la grama densa que puede dificultar la labor de la maquinaria.

CONSTRUCCION CON ARADO

Cuando se usa el arado pueden utilizarse dos métodos: el primero consiste en formar el banco del canal con tierra movida de los dos lados (o sea moviendo la tierra parte hacia arriba y parte hacia abajo de la pendiente); en el segundo, toda la tierra se remueve del lado superior.

Moviendo la tierra de ambos lados, se procede así: 1) se ara el primer surco a 1,5 m de distancia hacia abajo, de la línea de estacas que marca el centro del canal; 2) el primer surco de regreso se ara a 4,5 m de distancia hacia abajo de esa misma línea, echando en ambos casos la tierra hacia la isla de 3 m de ancho que queda en el centro; 3) se continúa arando hasta completar cinco vueltas (primera serie), retirándose progresivamente de la isla; 4) se vuelve a pasar la máquina sobre la misma faja preparada en la operación anterior (segunda serie de cinco vueltas), de manera que la reja profundice unos 2 ó 3 cm más que en la primera serie; 6) así se continúan ejecutando seis o siete series de aradas, de manera que en cada una se desplace parte de la tierra removida hacia el centro de la isla que quedó en el centro, **para que vaya formándose allí el lado del canal. Generalmente se necesitan siete series de aradas, o sean unas treinta y cinco vueltas, para completar la terraza.**

En la Fig. 89 se explica con mayor claridad el procedimiento, el cual, por lo demás, es muy sencillo. Deben adoptarse las siguientes precauciones: mantener el arado lo más a nivel que sea posible, marchar a velocidad uniforme, de manera que la tierra se desplace en forma regular y la melga se voltee completamente y profundizar en cada serie 2 ó 3 cm más que en la anterior.

Al terminar, la cresta de los lados del canal debe tener aproximadamente una altura de 40 cm sobre el fondo del canal; en caso de que no se haya alcanzado esta altura será necesario dar algunas vueltas adicionales.

Moviendo toda la tierra hacia abajo de la pendiente se procede así:

- a. se marca con estacas una línea paralela y a 3,3 m de distancia de la línea que marca el fondo del canal;
- b. se comienza a arar por la línea así señalada, echando la tierra hacia ella;
- c. todos los regresos se ejecutan con el arado levantado de manera que tan sólo se are en una dirección;
- d. se rotura hasta 1,8 m más arriba de la línea que marca el fondo del canal;

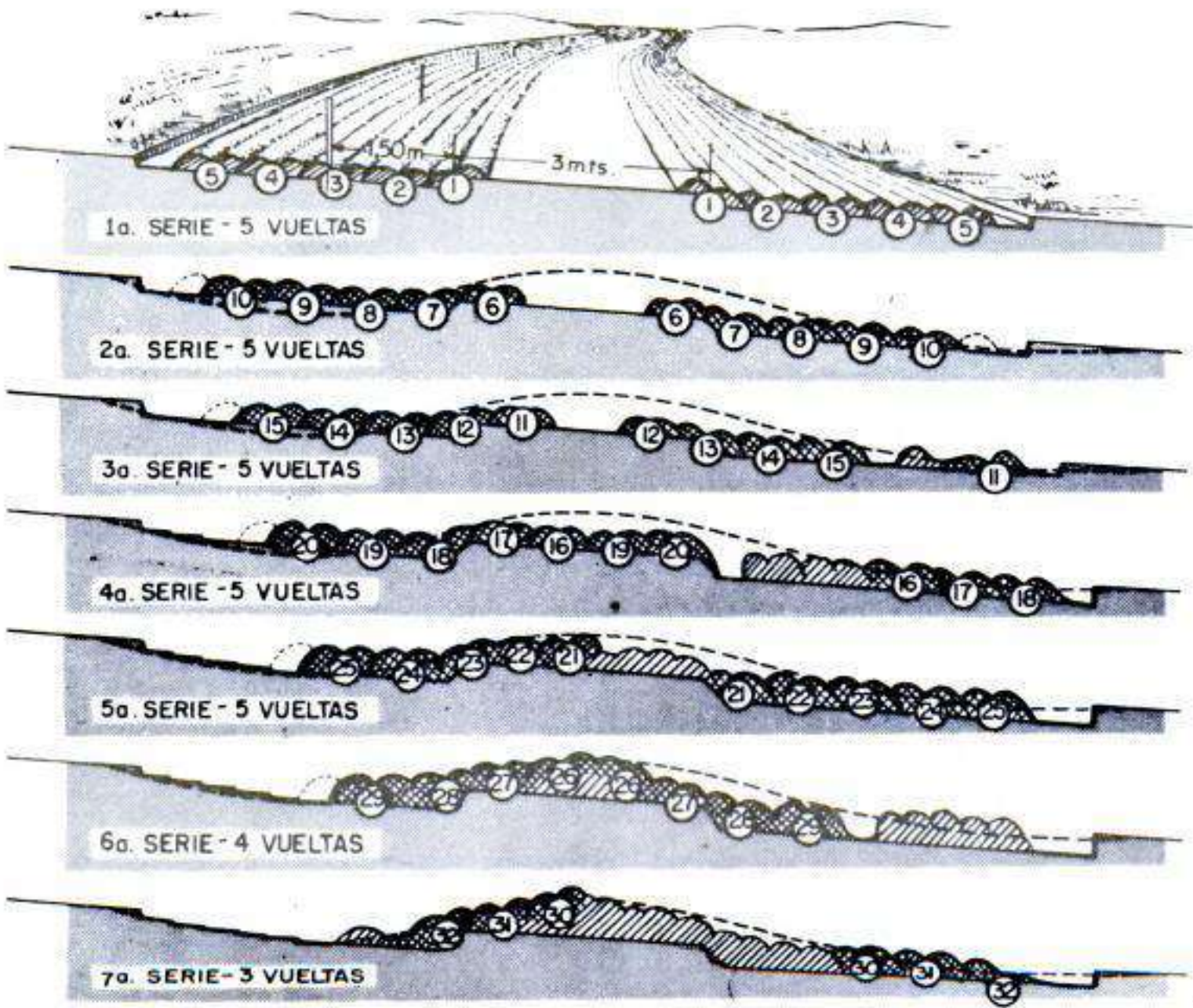


Fig. 89. Construcción de terrazas con arado, moviendo la tierra parte hacia arriba y parte hacia abajo de la pendiente. (15).



Fig. 90. Con frecuencia se adapta un disco a tractores pequeños para construir terrazas.

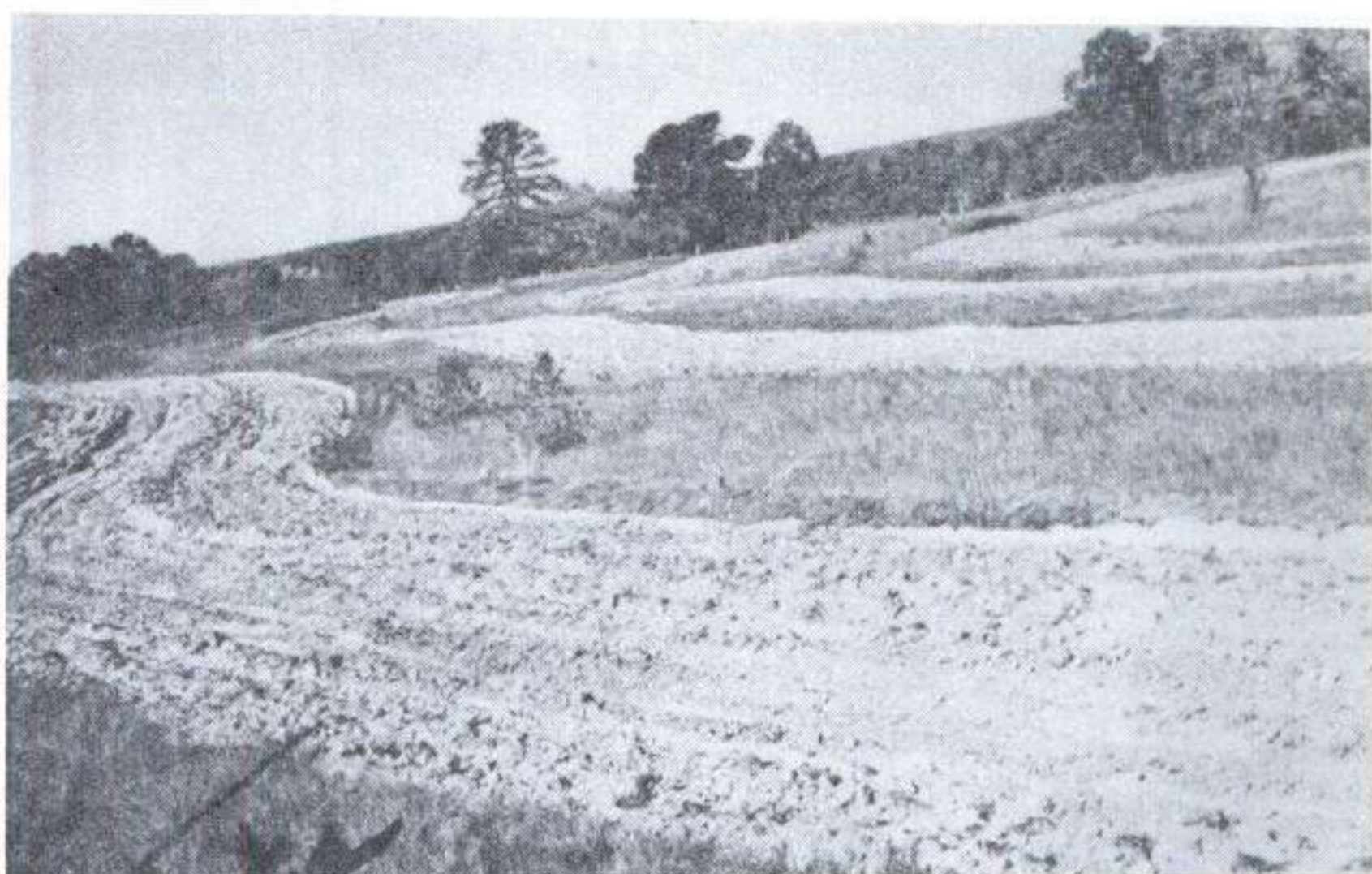


Fig. 91. Terrazas recién construidas con arado.

- e. luego se sigue pasando la máquina sobre esta faja de terreno de 5,10 m, tratando en cada ocasión de ir acercando la tierra hacia la línea de estacas de la parte inferior de la pendiente, de manera que el lado del canal vaya formándose en ese lugar.

En la Fig. 92 se explica gráficamente el procedimiento.

Con este sistema el canal de la terraza se forma profundizando más en el suelo que con el sistema explicado en primer término. Puede, por lo tanto, ofrecer algunas ventajas en terrenos con capas impermeables a poca profundidad, en los cuales sea necesario mejorar el drenaje, pues la terraza así formada alcanza a interceptar el agua que se desplaza sobre esas capas.

En terrenos con pendiente entre 10 y 15% este último sistema también ofrece algunas ventajas.

CONSTRUCCION CON ARADO Y RASTRA

En la Fig. 94 pueden verse las dimensiones y detalles de construcción de una rastra triangular de madera reforzada con hierro, la cual se arrastra con dos caballos o bueyes de tiro y cuya utilización es ventajosa en la construcción de terrazas en terrenos de textura liviana.

La rastra se usa después de haber removido la tierra con un arado, de manera que la movilización de la tierra para formar el banco del

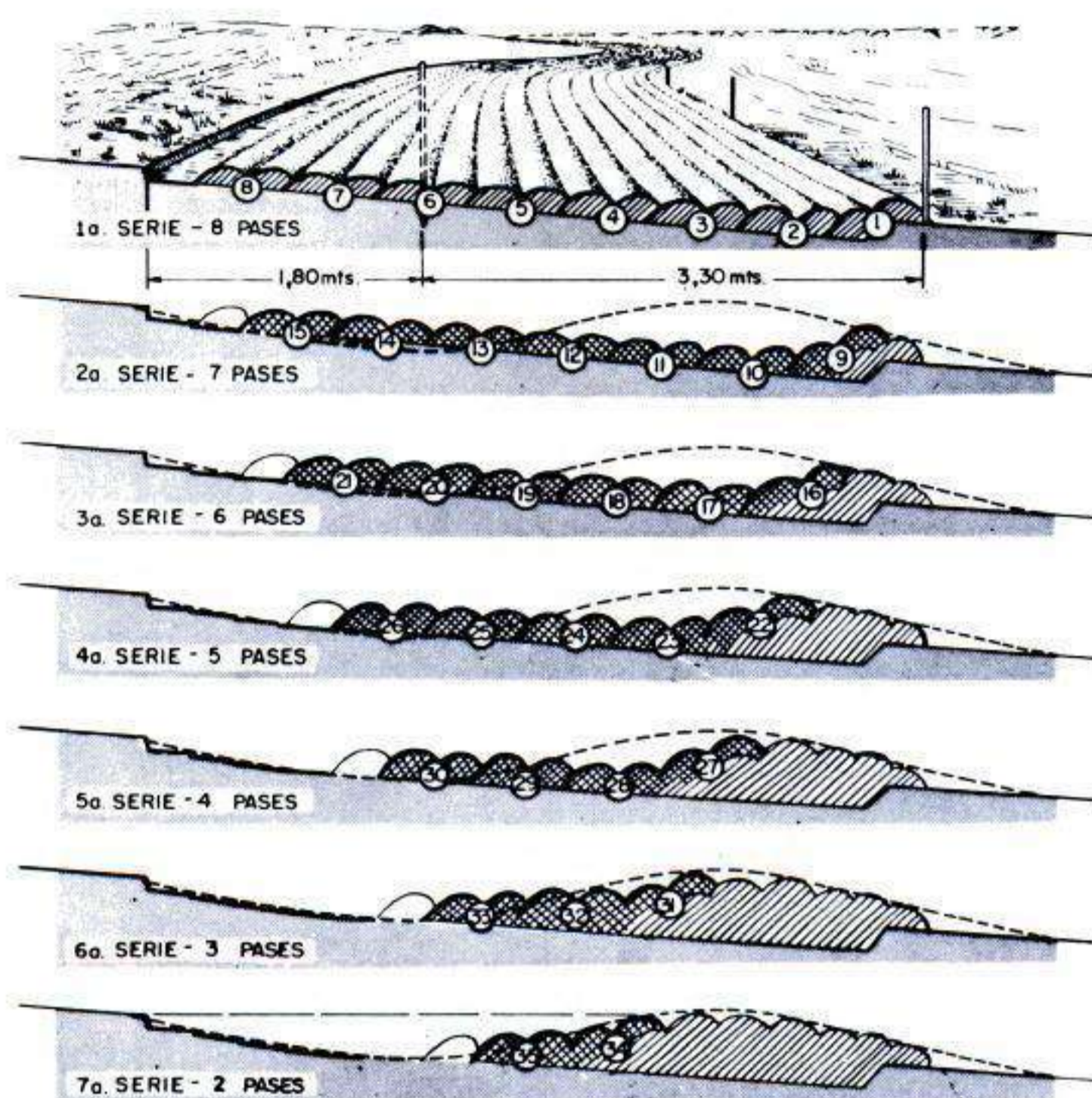


Fig. 92. Construcción de terrazas con arado, moviendo toda la tierra hacia abajo de la pendiente (15).

canal es más rápida, ya que la rastra tiene capacidad para desplazar tierra movida a mayores distancias que el arado.

CONSTRUCCION CON TERRACEADOR VERTICAL ROTATORIO

El terracedor vertical rotatorio es un aparato diseñado especialmente para construir terrazas, el cual consiste en un tornillo sin fin que gira sobre un eje vertical, roturando y desplazando la tierra en forma similar a como lo hace un arado. No puede usarse sino en terrenos de textura liviana y sin piedras y en los cuales se haya removido previamente toda vegetación densa. Para que trabaje de manera eficiente necesita acoplarse a un tractor capaz de arrastrar un arado de tres o cuatro discos. La manera de construir una terraza con este aparato es la siguiente:



Fig. 93. Construcción de una terraza con arado de varios discos. Ya se han verificado tres pases moviendo suelo del centro de la terraza hacia el lado del canal. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

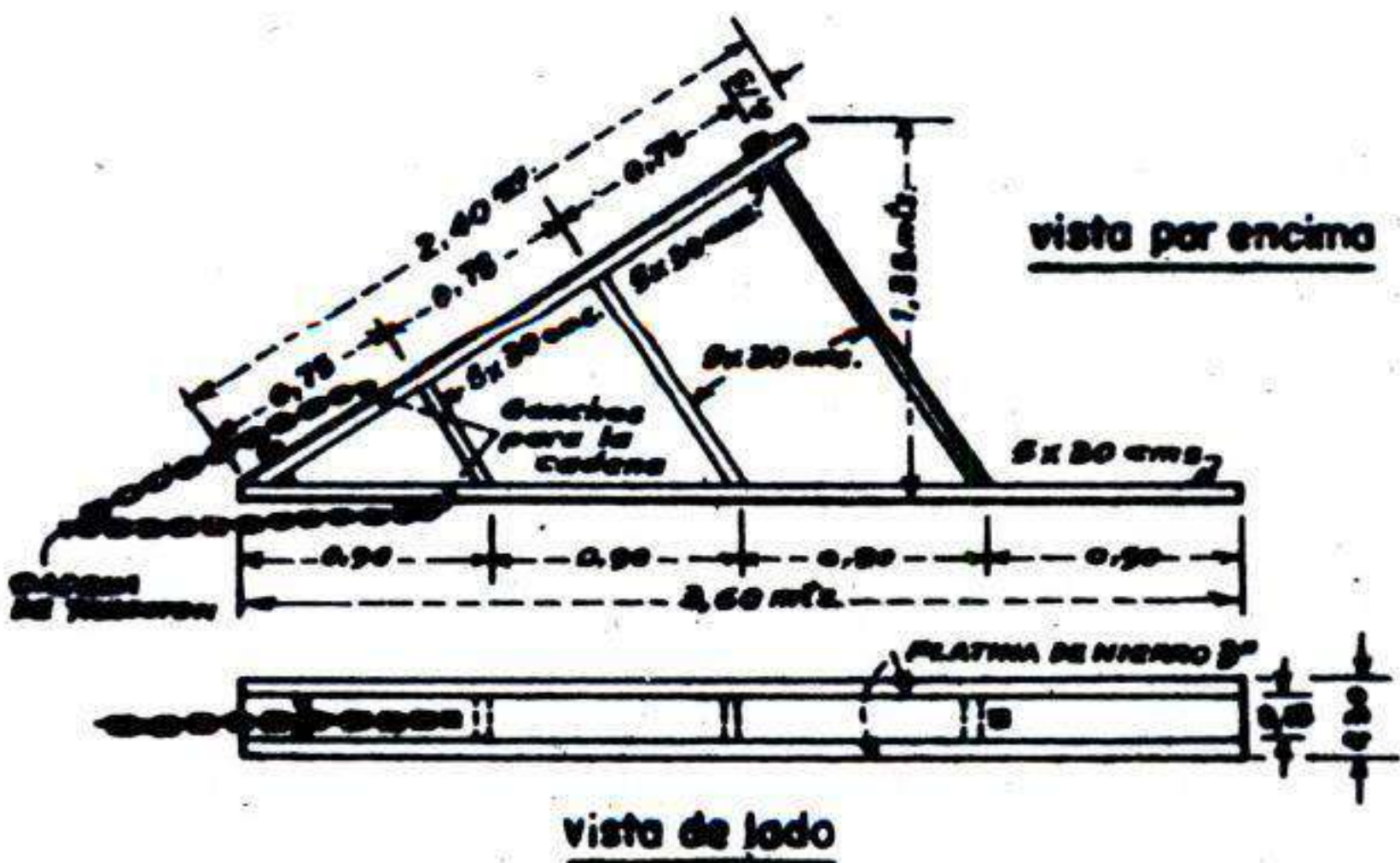


Fig. 94. Rastra triangular de madera para construir terrazas.

- a. se ara el primer surco a 1,50 m, hacia abajo de la pendiente, de la línea de estacas que marca el centro del canal;
- b. el primer surco de regreso se ara a 4,5 m de esa misma línea echando en ambos casos la tierra hacia la isla de 3 m de ancho que queda en el centro;
- c. se continúa arando hasta completar ocho vueltas (primera serie), retirándose progresivamente de la isla;
- d. se vuelve a pasar la máquina sobre la misma faja así preparada, comenzándose un surco más cerca del centro de la isla, hasta completar siete vueltas; el regreso de la séptima vuelta se hace por el límite inferior del último surco de regreso de la primera serie;
- e. se ejecutan otras dos series de arado cada una con cinco o seis vueltas, comenzando la tercera serie inmediatamente debajo de la cresta del caballón que se ha venido formando y buscando en todos los casos desplazar tierra hacia el centro de la isla. En la Fig. 97 se explican todos los detalles de construcción.

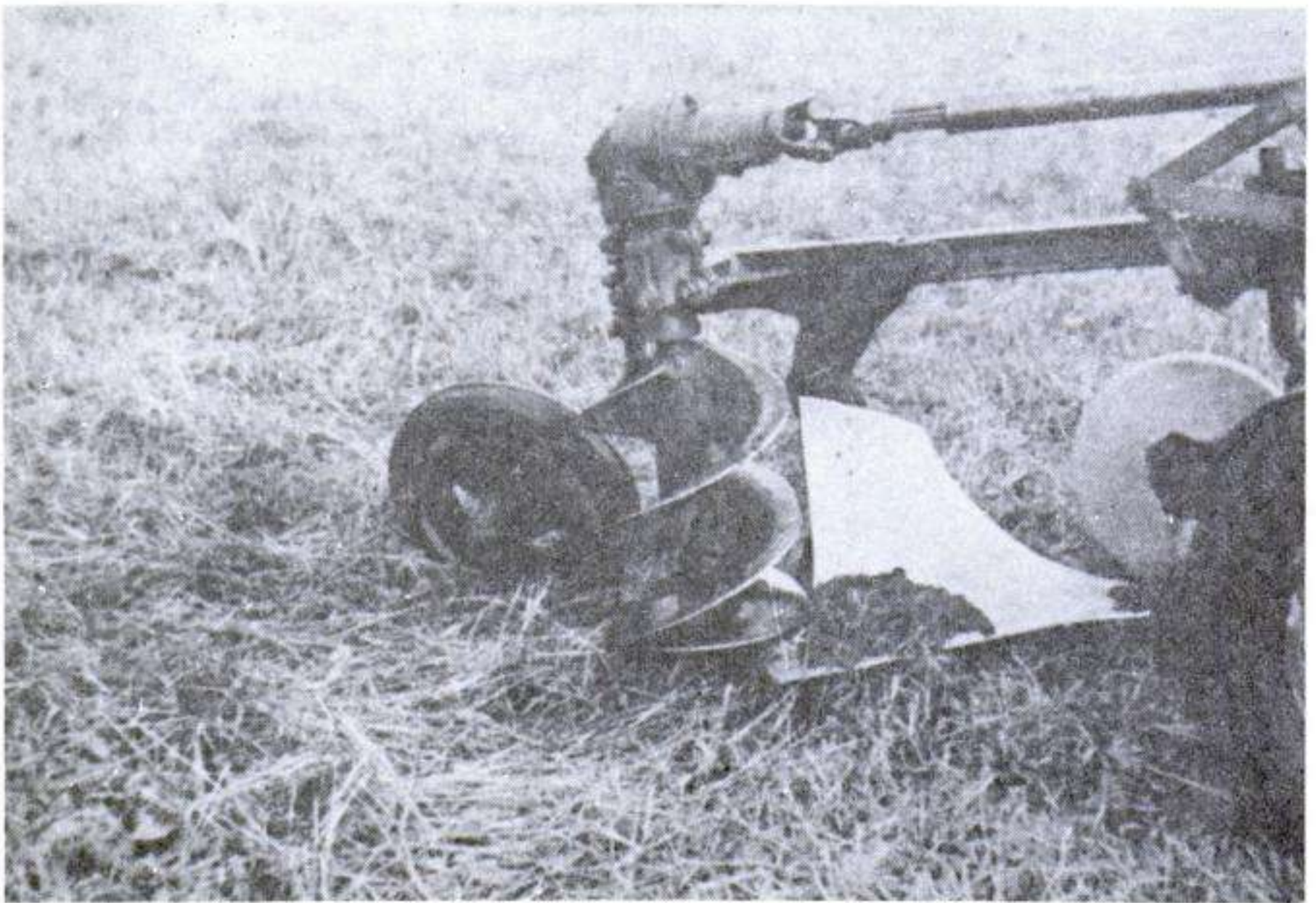


Fig. 95. Terraceador vertical rotatorio. Este aparato se utiliza con ventaja en terrenos sueltos, sin piedras.



Fig. 96. Terracedor vertical en funcionamiento.

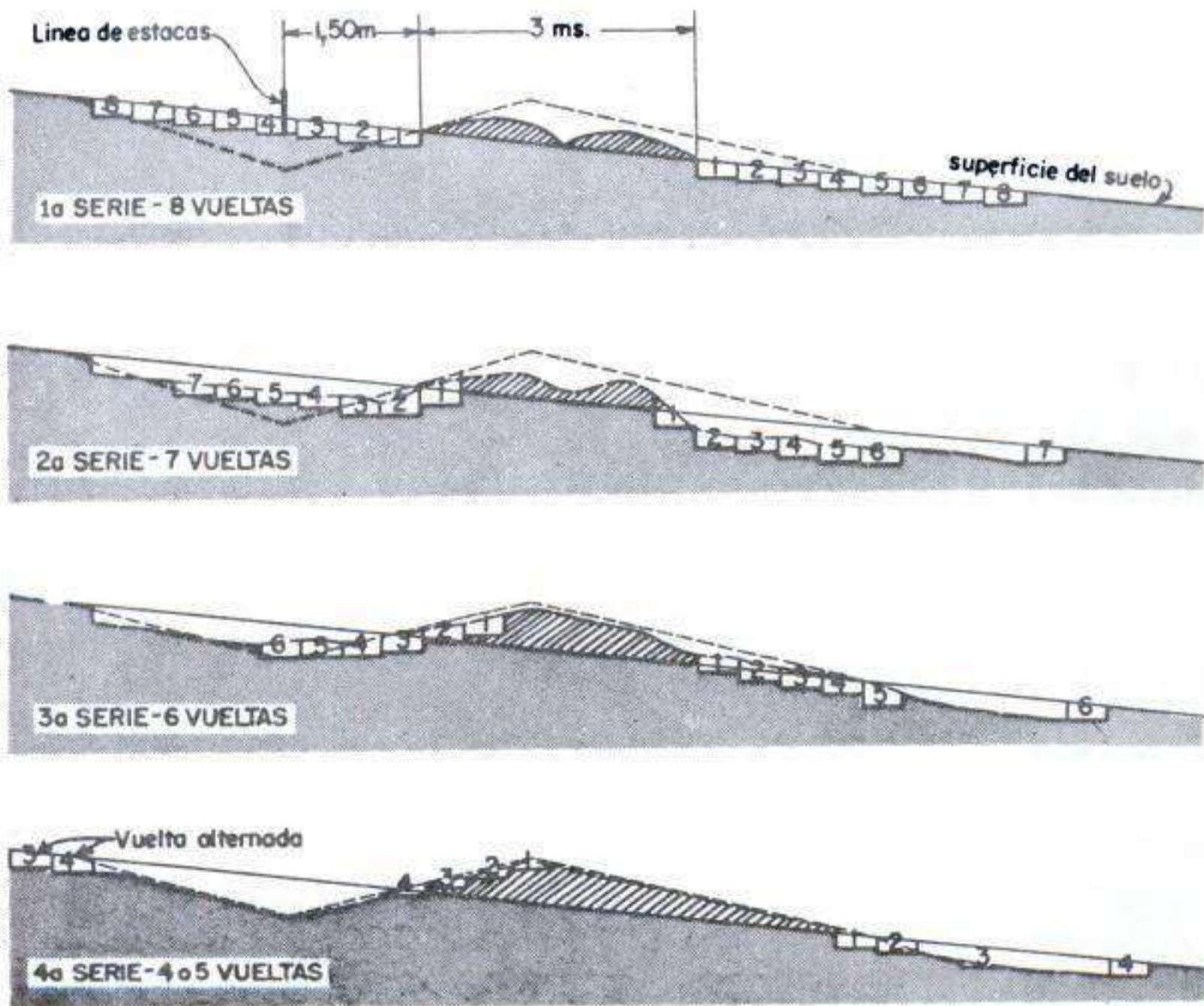


Fig. 97. Sistema de construir terrazas con el terracedor vertical rotatorio (15).

REVISION DE LAS TERRAZAS

Una terraza no puede considerarse terminada hasta no haber comprobado que su altura y su desnivel son correctos. Para ello se usa un nivel y un reglón graduado que se van desplazando por todo el canal. En los sitios en donde el canal haya quedado muy alto se hacen los cortes necesarios de manera que no se produzcan embalsamientos inconvenientes de agua; los lomos también se corrigen para que queden a la altura deseada. Téngase siempre en cuenta que una estructura es tan débil como el punto más débil que existe en la misma. Una terraza de 300 ó 400 m de longitud puede sufrir daños graves durante un aguacero si no se han corregido los defectos que existan, aunque estos defectos ocurran sólo en tramos muy cortos.

MANTENIMIENTO DE LAS TERRAZAS

Después de cada aguacero fuerte, las estructuras deben inspeccionarse para repararlas adecuadamente. Durante el primer año esta inspección no debe omitirse pues como el suelo removido aún está suelto, ocurren desplazamientos que obligan a ejecutar algunas reparaciones y correcciones. Durante este período crítico debe también procurarse que todo el terreno se dedique al cultivo de algún forraje o planta de cobertura y evitar la siembra de cultivos que exigen escardas periódicas.

Después de un año, si las terrazas se construyeron adecuadamente, deben ser mínimos los trabajos de mantenimiento. Tan sólo debe vigilarse que no se produzcan sedimentaciones que reduzcan su capacidad, especialmente cuando se cultivan plantas de escarda, y con herramienta de mano o con una rastra deben retirarse esos sedimentos, restituyéndole al canal su capacidad original.

COMO ARAR LOS TERRENOS CON TERRAZAS

Las terrazas deben servir de guía para todas las labores culturales. Cuando se usan arados no reversibles (o sean arados que no arrojan la tierra sino hacia el lado derecho de la dirección en que marcha la máquina), se profundiza demasiado el canal y las terrazas comienzan a ofrecer dificultades para el tránsito de maquinaria por el terreno. El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos aconseja un sistema para reducir este particular efecto, que consiste en arar el primer año dejando contrasurcos en cada lomo y preparando luego el área entre cada par de terrazas, de manera que el surco muerto quede en un punto equidistante de las terrazas, según se ve en la Fig. 98. El año siguiente se aran los lomos en la misma forma hasta que quede un surco en el fondo del canal; luego se deja un contrasurco en el

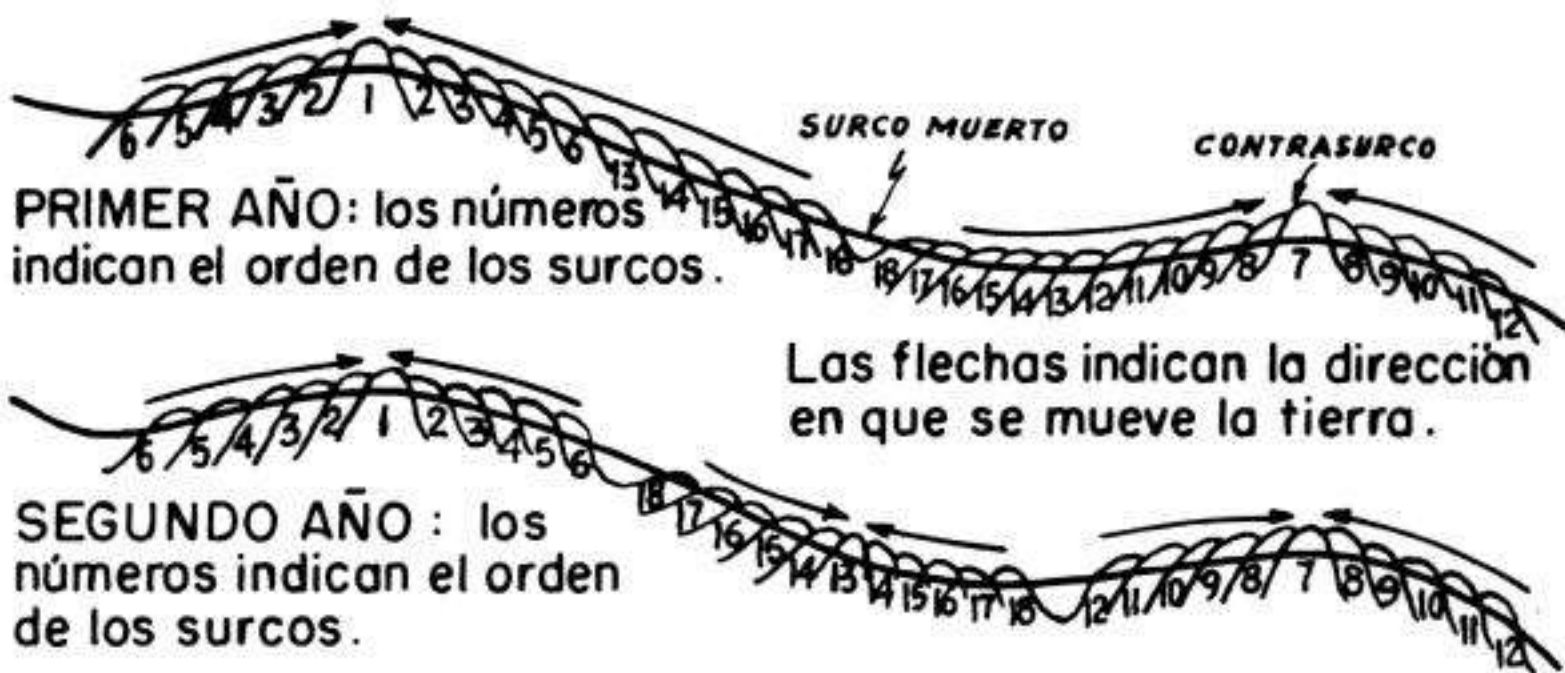


Fig. 98. Método de arar terrazas con un arado no reversible.

sitio en donde el año anterior quedó el surco muerto, en la forma como se explica en la Fig. 98 (12, 15).

En todos los casos es mejor utilizar arados reversibles (es decir, arados en los cuales la tierra puede echarse hacia la derecha o hacia la izquierda de la dirección en que marcha la máquina); con ellos es posible conservar la sección original de la terraza, pues se puede echar siempre la tierra hacia los lomos de la terraza y dejar el surco muerto en el canal, como se indica en la Fig. 99. Además, es posible arar la porción de terreno comprendida entre dos terrazas echando siempre la tierra hacia arriba de la pendiente, para así compensar la tendencia natural de la tierra a desplazarse hacia abajo.

Los diagramas de las Figs. 98 y 99 pueden servir como guía en la conducción de la operación con arados reversibles y no reversibles. Debe tenerse en cuenta que los números indican tan sólo la secuencia de los surcos y no fijan exactamente las veces que hay que pasar la máquina, pues ello depende de las características de las terrazas y especialmente del espaciamiento entre ellas. En la Fig. 98, por ejemplo, se quiere indicar que primero se aran los lomos de dos terrazas consecutivas y luego el espacio comprendido entre ellos dejando el surco muerto en un punto equidistante de aquéllos. No quiere decirse que baste pasar la máquina el número de veces allí indicado para completar la operación.

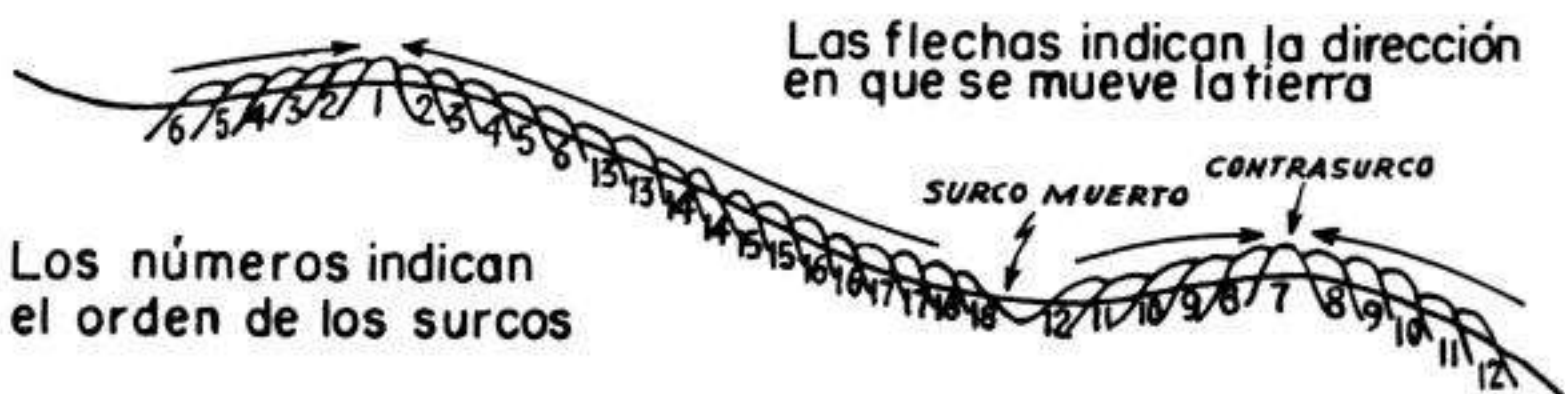


Fig. 99. Método de arar terrazas con arado reversible.

COMO SEMBRAR UN TERRENO CON TERRAZAS

Como ya se dijo, las terrazas deben servir de guía para todas las labores culturales. En el caso de la siembra el método más sencillo es el siguiente:

- se comienza por el lomo de la terraza más alta y se siembran hileras paralelas hasta el límite superior del campo;
- se regresa al punto original y se siembran hileras hasta una tercera parte de la distancia entre la primera y la segunda terraza;
- se pasa a la segunda y se procede como en el numeral a. hasta que quede sin sembrar una faja en la cual, en su parte más angosta, quepan ocho hileras.
- como las terrazas casi nunca son paralelas porque lo impide la poca uniformidad de la pendiente del terreno, se siembran hileras interrumpidas hasta que a lo largo de todo el campo sea uniforme el ancho de la faja sin sembrar;
- luego se siembran las ocho hileras que caben en esa zona. Con este sistema, el cual se explica esquemáticamente en la Fig. 100, se mantiene muy bien el contorno (15).

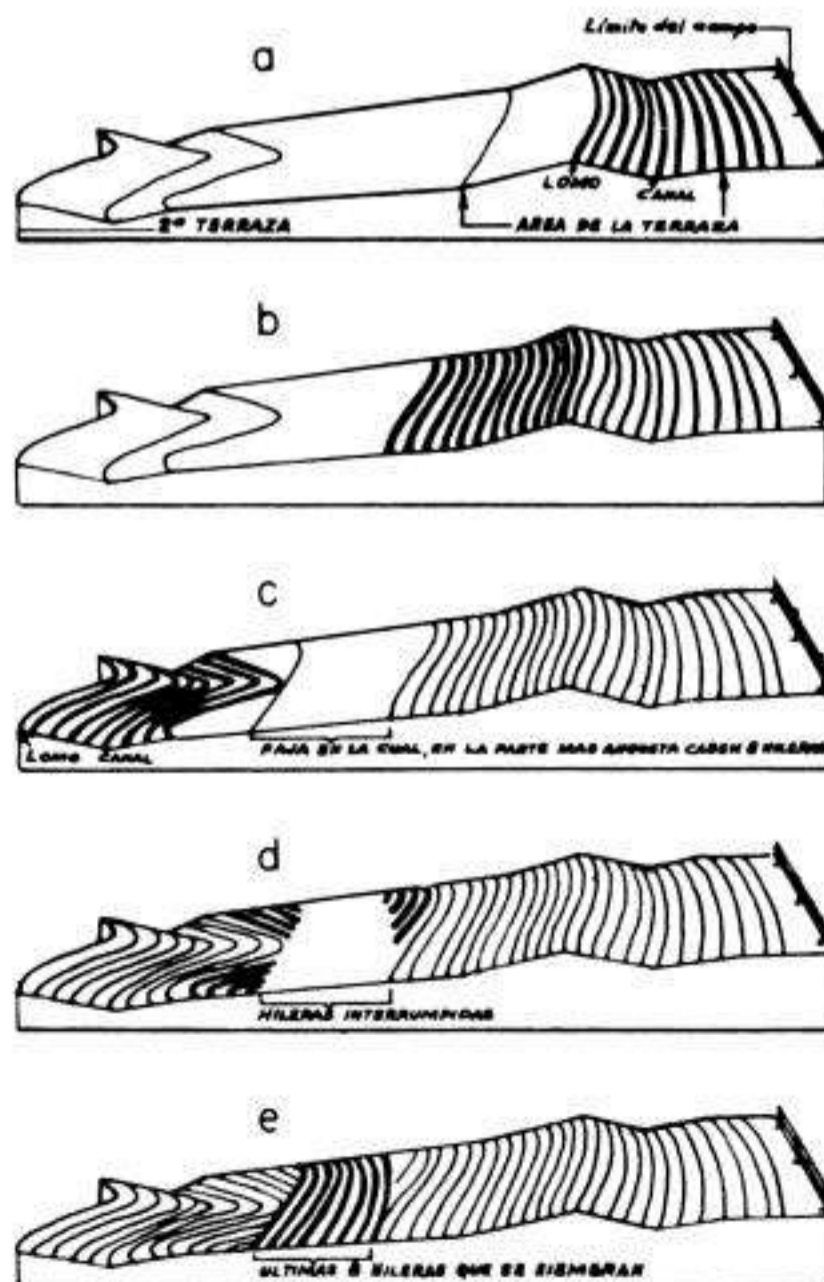


Fig. 100. Modo de sembrar un terreno con terrazas.

COMBINACION DE TERRAZAS Y CULTIVO EN FAJAS

En algunas condiciones es conveniente utilizar terrazas y fajas al contorno para combatir mejor la erosión. En tales casos debe procurarse que los límites entre las fajas queden localizados en la parte media de la porción del terreno comprendida entre dos terrazas consecutivas, para que en esa forma siempre quede protegida parte del área de drenaje de cada estructura por un cultivo de crecimiento denso.

ACEQUIAS DE LADERA

INTRODUCCION

Son estructuras mecánicas utilizadas especialmente en regiones de mucha lluvia y en terrenos con pendientes entre el 10 y el 30%, en los cuales no es factible construir terrazas de base ancha.

Consisten en canales de 30 cm de ancho en el fondo, con taludes de 1:1 y de profundidad y desnivel variables, los cuales se construyen a distancias regulares, de acuerdo con la pendiente y con el uso del terreno. A 15 cm del borde superior de la acequia y a todo lo largo de ella, se siembra siempre una barrera viva con objeto de filtrar el agua que llegue al canal y en esa forma disminuir la cantidad de material que en él se deposita (Fig. 101). Las acequias de ladera no deben construirse en terrenos con cultivo limpio o potrero de más del 30% de pendiente o con cultivo de semibosque (café, cacao, etc.) de más del 40%. Son aconsejables en zonas con lluvias intensas y en áreas con suelo pesado, poco permeable.

Las acequias actúan en forma similar a una terraza de desagüe; al dividir la longitud de la pendiente en tramos, cortan la esorrentía antes de que la misma adquiera velocidades perjudiciales y sacan

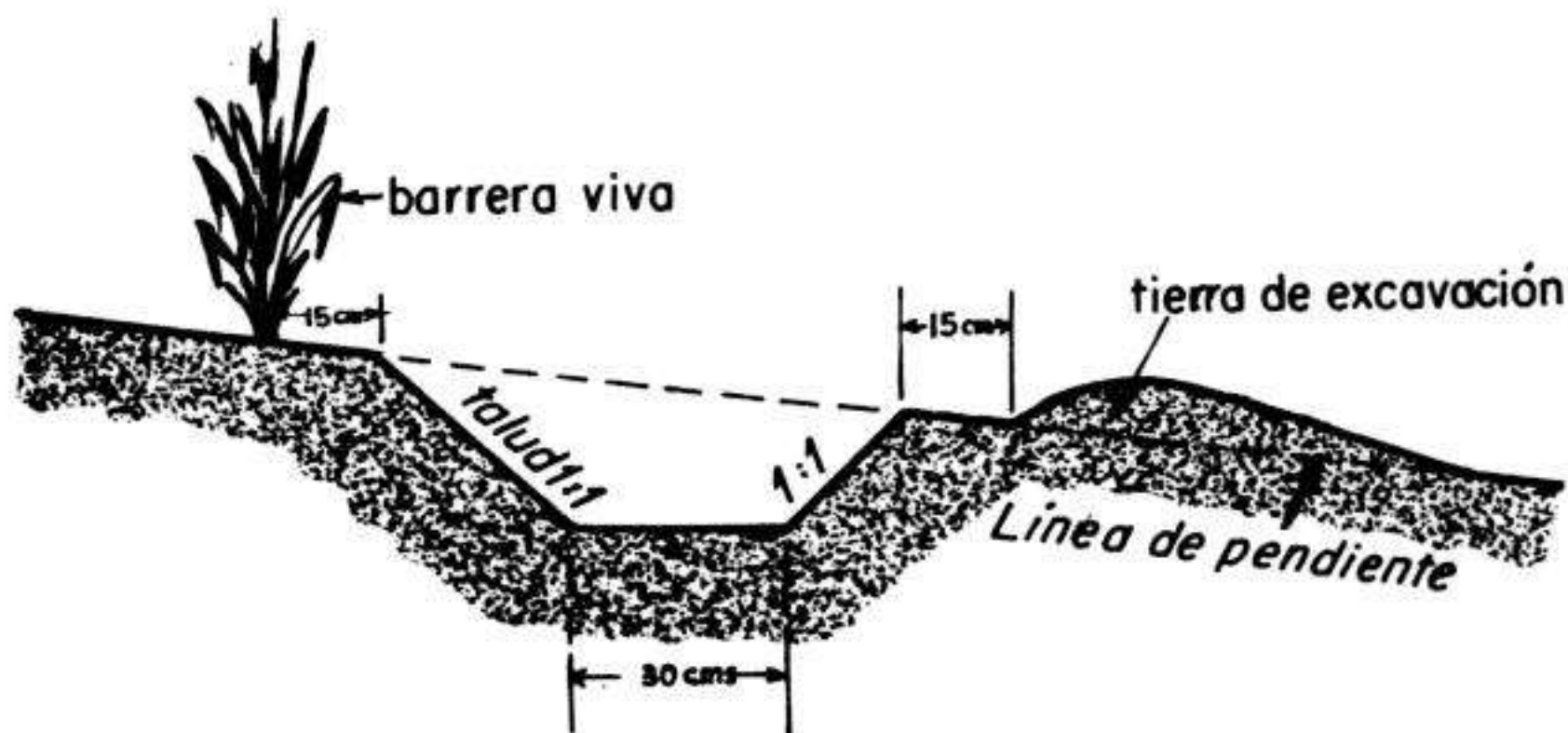


Fig. 101. Acequia de ladera (sección transversal).

lentamente de los terrenos los excesos de agua llevándolos a desagües bien protegidos. Los canales o acequias así dispuestos van subdividiendo el volumen total de la escorrentía en porciones pequeñas fáciles de manejar; en la Fig. 102 se muestra esquemáticamente un sistema de acequias de ladera (9).

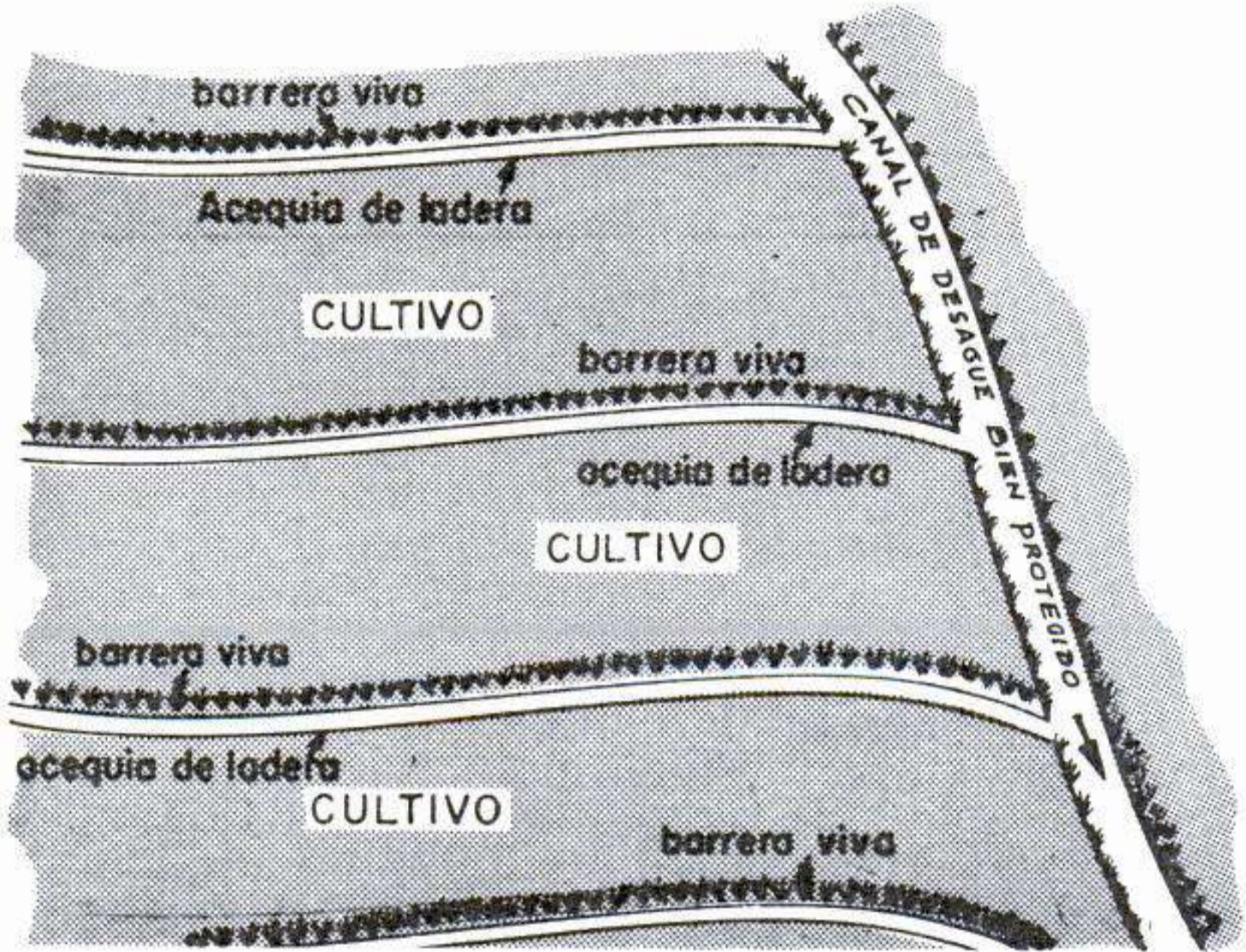


Fig. 102. Sistema de acequias de ladera en un terreno bajo cultivo.

MODO DE CALCULAR ACEQUIAS DE LADERA

Como en el caso de las barreras vivas, el intervalo o distanciamiento entre acequias varía con la pendiente del terreno y con la clase de cultivo que en éste se tenga. La separación disminuye en terrenos pendientes y ocupados con cultivos como el maíz, la yuca, la patata, el tabaco, etc., los cuales ofrecen muy escasa protección al suelo. Además hay que tener en cuenta que la acequia tiene una dimensión fija (30 cm). Dicha dimensión es el ancho del fondo y no varían sino su profundidad y su desnivel.

Para facilitar el cálculo se ha preparado cuadros con base en una intensidad máxima de las lluvias de 140 mm por hora, la cual se acomoda aun en zonas muy húmedas. Para el cálculo se procede así:

- a. se determina la pendiente crítica, o sea la máxima pendiente más común del terreno;

- b. se determina si se trata de un terreno que va a ocuparse con cultivo limpio (maíz, yuca, patata, tabaco, algodón, etc.), con potrero o con cafetal. En caso de cultivo limpio se utiliza el Cuadro 41. Para potreros o cultivos de semibosque se utiliza el Cuadro 42;
- c. se busca en la columna 1 del Cuadro 41 ó del 42 (según el caso) la pendiente más cercana a la que se determinó sobre el terreno. En la columna 2 se lee la distancia horizontal entre acequias;
- d. se mide sobre el terreno la longitud aproximada de cada una de las acequias.
- e. se divide la longitud de cada acequia por 100;
- f. esta cifra se multiplica por el número (Q) de la columna 4, correspondiente a la pendiente del terreno;
- g. se busca en el Cuadro 43 el valor de Q (columna 3) que más se aproxime al obtenido en la operación anterior;
- h. en la misma línea horizontal (Cuadro 43) se encuentra el desnivel que debe tener la acequia (columna 1) y la profundidad efectiva (columna 2);
- i. a la profundidad efectiva se le agregan 10 cm para encontrar la profundidad que debe dársele al canal.

La longitud de cada acequia no debe ser mayor que el límite que se da en la columna 6 de los Cuadros 41 y 42.

Cuando se sobrepasa esta dimensión hay que procurar desaguar una mitad de la acequia hacia un lado y la otra mitad hacia el otro lado, y cada tramo se calcula como una acequia separada.

TRAZO DE LAS ACEQUIAS DE LADERA

Después de terminar estos cálculos, con ayuda de cualquier aparato de nivelación se trazan todas las acequias en el campo dándoles el desnivel que se ha determinado más conveniente. Luego se suavizan las curvas muy cerradas de la línea.

Las acequias de ladera son difíciles de construir en plantaciones perennes ya establecidas, por tropezarse en su camino con muchos árboles que se dañarán. Deben establecerse de preferencia antes de sembrar las nuevas plantaciones, en tal forma que sirvan de guía para la siembra en contorno y a la vez se tenga el suelo bien defendido.

CUADRO No. 41. Acequias de ladera en terrenos ocupados con cultivos limpios.

Pendiente del terreno por 100 1	Distancia horizontal entre acequias metros 2	Area servida, metros cuadrados por cada 100 metros de canal 3	Descarga Q, litros por segundo por cada 100 metros de canal 4	Metros de acequia por hectárea 5	Límite de longitud de la acequia metros 6
2	42,0	4.200	109,5	238	90
3	30,7	3.070	95,0	326	100
4	25,0	2.500	65,0	400	120
5	21,6	2.160	56,0	464	140
6	19,3	1.930	50,0	518	160
7	17,7	1.770	46,0	565	180
8	16,5	1.650	43,0	606	200
9	15,6	1.560	40,5	645	220
10	14,8	1.480	38,5	675	260
11	14,2	1.420	37,0	705	270
12	13,7	1.370	35,5	730	280
13	13,2	1.320	34,4	755	290
14	12,9	1.290	33,4	780	300
15	12,0	1.200	31,2	835	320
16	11,3	1.130	29,2	890	340
17	10,6	1.060	27,6	945	360
18	10,0	1.000	26,0	1.000	380
19	9,5	950	24,6	1.055	400
20	9,0	900	23,4	1.110	420
21	8,6	860	22,3	1.165	450
22	8,2	820	21,3	1.220	470
23	7,8	780	20,4	1.275	490
24	7,5	750	19,5	1.330	500
25	7,2	720	18,7	1.390	500
26	7,0	700	18,0	1.440	500
27	6,7	670	17,3	1.500	500
28	6,4	640	16,3	1.550	500
29	6,2	620	15,8	1.612	500
30	6,0	600	15,6	1.670	500

durante los primeros años de la plantación, en los cuales es mayor el peligro de la erosión.

Todas las acequias deben desaguar en un sitio bien protegido con vegetación, en donde se esté seguro que no van a causar daño. Antes de comenzar la construcción de los canales debe haberse localizado un desagüe conveniente para los mismos.

El trazado de las acequias se comienza del desagüe hacia arriba de manera que el fondo de la acequia quede tan alto que no haya peligro de que les penetre el agua que baja por el desagüe (9, 10).

CUADRO No. 42. Acequias de ladera en potreros o cultivos de semi-bosque.

Pendiente del terreno por 100 1	Distancia horizontal entre acequias metros 2	Area servida, metros cuadrados por cada 100 metros de canal 3	Descarga Q, litros por segundo por cada 100 metros de canal 4	Metros de acequia por hectárea 5	Límite de longitud de la acequia metros 6
10	40,0	4,000	78,0	250	110
11	36,4	3,640	71,0	275	110
12	33,3	3,330	65,0	300	120
13	30,8	3,080	60,0	325	130
14	28,6	2,860	56,0	373	140
15	26,7	2,670	52,0	375	150
16	25,0	2,500	49,0	400	160
17	23,5	2,350	46,0	426	180
18	22,0	2,200	43,0	455	200
19	21,0	2,100	41,0	476	210
20	25,0	2,500	48,6	400	180
21	23,7	2,370	46,1	422	180
22	22,7	2,270	44,1	440	200
23	21,6	2,160	42,0	463	200
24	20,8	2,080	40,4	480	210
25	20,0	2,000	38,9	500	220
26	19,2	1,920	37,3	520	220
27	18,5	1,850	36,0	540	230
28	17,8	1,780	34,6	562	230
29	17,2	1,720	33,4	581	240
30	20,0	2,000	38,9	500	220
32	18,8	1,880	36,6	532	220
34	17,6	1,760	34,2	568	230
36	16,7	1,670	32,5	600	240
38	15,8	1,580	30,7	633	250
40	15,0	1,500	29,2	667	300

CONSTRUCCION DE LAS ACEQUIAS DE LADERA

La construcción debe comenzarse por la parte más alta del terreno. Esto es muy importante, pues de otro modo podría dañarse toda la obra a consecuencia de un aguacero fuerte. En general, el trabajo se hace a mano, aunque darle dos o tres pases previos de arado a la línea marcada, disminuye en mucho el trabajo manual necesario.

La tierra que se saca de la excavación debe colocarse al lado inferior del canal de manera que después de hacer los taludes quede a 15 cm de distancia (Fig. 101). Así se evita que vuelva a caer dentro de la acequia.

Debe excavarse primero una zanja con profundidad igual a las dos terceras partes de la profundidad necesaria. Luego se marcan puntos

CUADRO No. 43. Especificaciones de las acequias de ladera.

Desnivel de la acequia en metros por metros (s) 1	Profundidad efectiva metros 2	Descarga (Q) en litros por segundo 3
0,008 (Corresponde a un desnivel del 8‰)	0,03	3,6
	0,06	9,2
	0,09	18,8
	0,12	31,5
	0,15	51,0
	0,18	74,0
	0,21	98,0
0,01 (Corresponde a un desnivel del 1%)	0,03	4,1
	0,06	10,8
	0,09	22,1
	0,12	37,5
	0,15	57,5
	0,18	81,5
	0,21	110,0
0,02 (Corresponde a un desnivel del 2%)	0,03	5,7
	0,06	15,0
	0,09	32,0
	0,12	55,5

NOTA: Agréguese 0,1 m a la profundidad efectiva, para obtener la profundidad que debe darse al canal.

que tengan la pendiente exacta del canal (maestras) y se termina la excavación uniendo esos puntos. Luego se le dan a las paredes los taludes necesarios. Hay que tener gran cuidado para que en la acequia no queden altos ni bajos que luego formarían encharcamientos. La caída debe ser uniforme en todo el trayecto.

Al terminar este trabajo se procede a sembrar una barrera viva de vetiver, pasto imperial, limoncillo o cualquiera otra planta de crecimiento denso, que vaya a 15 cm del borde superior de la acequia y a todo lo largo. Estas barreras deben sembrarse en hilera doble al tresbolillo con distancia de 15 a 20 cm entre cepas.

Las acequias de ladera deben mantenerse perfectamente limpias tanto de hierbas como de restos vegetales. Después de aguaceros fuertes deben inspeccionarse para hacerles las reparaciones que necesitan. Si las acequias no se mantienen en forma correcta pueden desbordarse y causar grandes daños (9).

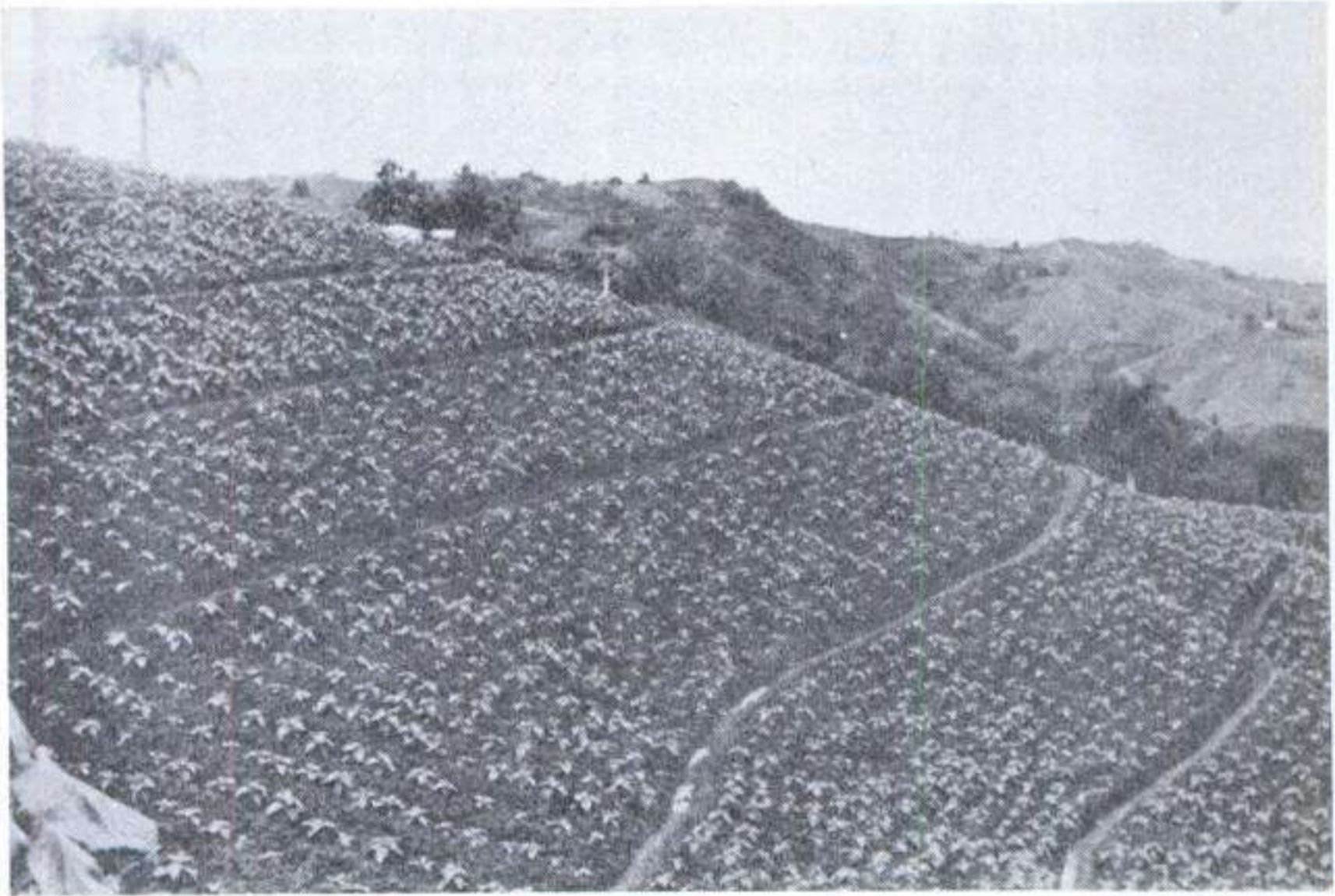


Fig. 103. Sistema de acequias de ladera en una plantación de tabaco. A estas acequias les falta la barrera viva en la parte superior. Están, por lo tanto, expuestas a excesiva sedimentación.

TERRAZAS DE BANCO Y BANCALES

INTRODUCCION

Las terrazas de banco son estructuras utilizadas desde muy antiguo en la conservación de los suelos en regiones montañosas. Los incas, pobladores precolombinos del Perú y el Ecuador, construyeron extensos sistemas de bancales en las escarpadas regiones andinas que habitaron, los cuales aún se conservan y utilizan.

Los bancales o terrazas de banco consisten en plataformas o escalones construidos en serie a través de la pendiente y separados por paredes casi verticales protegidas con vegetación.

Las plataformas tienen un desnivel lateral del 5% (hacia el talud superior) y un desnivel longitudinal (hacia el desagüe) que puede ser hasta del 1%.

Actualmente su uso se halla limitado a regiones con gran densidad de población y con escasas tierras planas en donde se justifica la inversión de grandes cantidades de trabajo para formar escalones, aunque sean estrechos, en donde poder sembrar y cuidar convenientemente las plantas de cultivo.

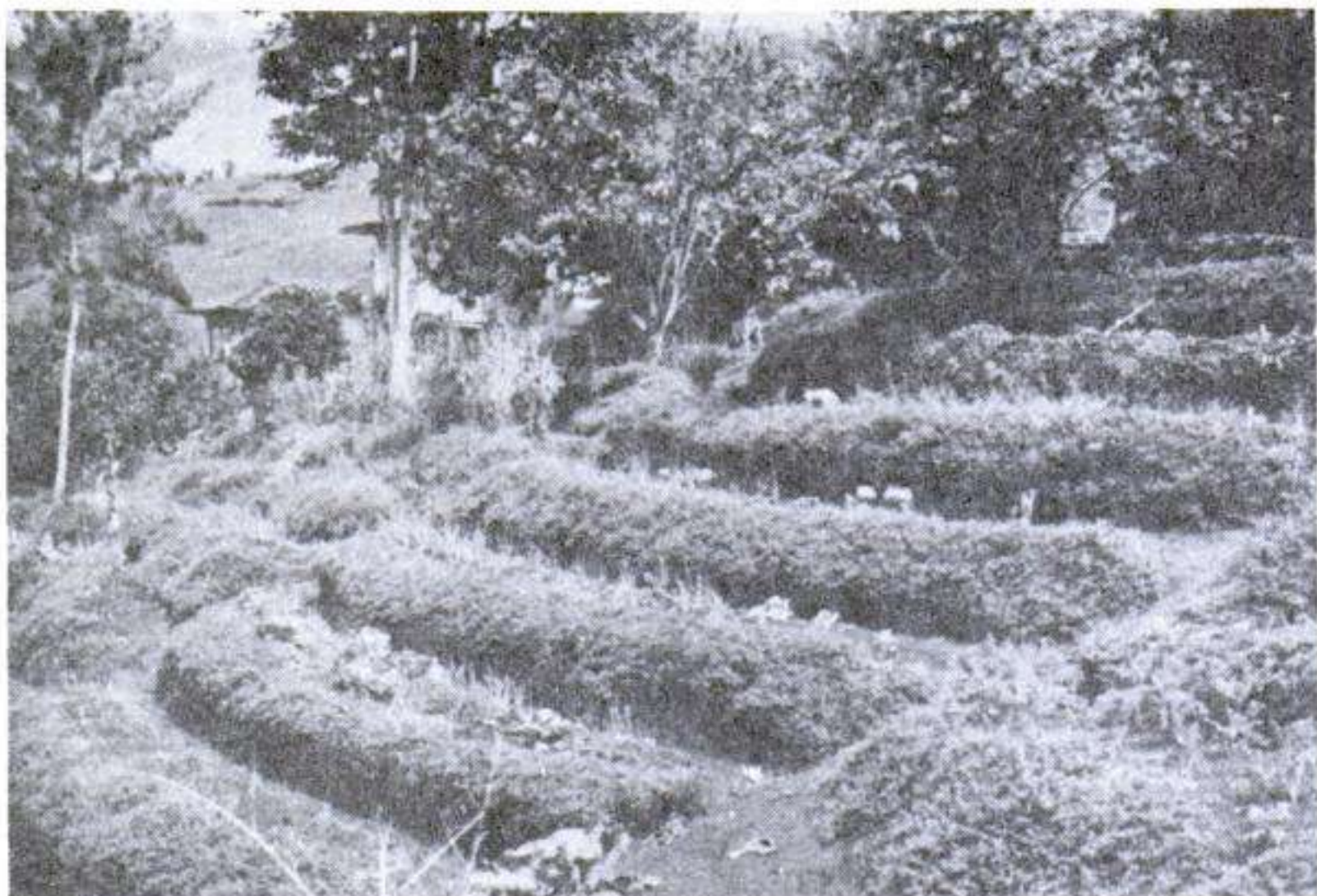


Fig. 104. Terrazas de banco o bancales angostos.

Las terrazas de banco se adaptan a terrenos con pendientes superiores al 20% (3).

DISEÑO Y CALCULO

Dos sistemas se utilizan para la construcción de estas estructuras. En el primero, mediante el empleo de maquinaria liviana (dragas en V, por ejemplo), o herramientas manuales, se mueve tierra hacia abajo de la pendiente hasta formar el escalón deseado. En el segundo, el cual se denomina sistema de formación lenta, se siembran barreras vivas bien densas y año tras año al efectuar las labores normales de cultivo se va desplazando suelo hacia las barreras de manera que paulatinamente se forma el escalón o bancal. El segundo método es más económico, pues se aprovechan por una parte las operaciones culturales obligatorias de ejecutar en la plantación, y por otra, la misma erosión entre las barreras vivas contribuye a desarrollar el bancal.

En la Fig. 105 se presenta la sección transversal típica de la terraza de banco. Puede observarse que el escalón o bancal tiene una pendiente del 5% contraria a la pendiente del terreno. Esto permite que el agua que cae sobre la estructura se desplace hacia el talud o pared superior del bancal en donde se concentra; en virtud del desnivel longitudinal de la estructura hacia el desagüe, el agua sale lentamente del terreno. Así se evitan concentraciones perjudiciales de humedad en la zona en donde crecen las plantas. El talud o inclinación de las

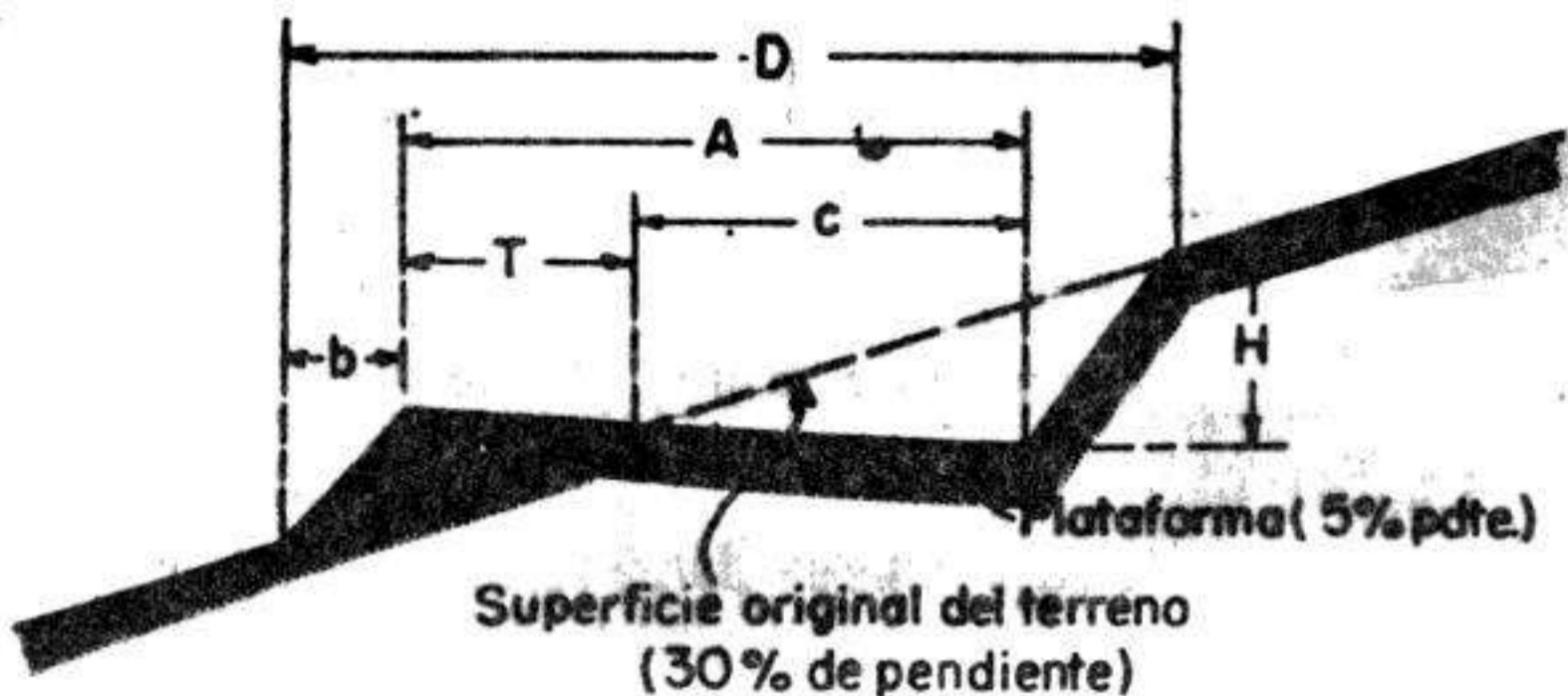


Fig. 105. Sección transversal de una terraza de banco.

paredes del bancal, depende de la naturaleza del terreno. En tierra firme puede usarse un talud de 0,5: 1 (es decir 0,5 unidades horizontales por 1 vertical), en tanto que en terrenos más sueltos habrá necesidad de suavizarlo hasta 1:1 ó 1,5:1.

El ancho (c) de la plataforma está dada por la pendiente del terreno y la profundidad del horizonte A del suelo, pues debe evitarse que la profundidad de los cortes sobrepase el espesor de dicho horizonte.

Prieto Bolívar (6) ha desarrollado algunas fórmulas que facilitan el cálculo y la construcción de las estructuras. Considerando lo que anteriormente se expuso sobre la profundidad de los cortes y llamando H el espesor del horizonte A, en metros, se tiene que el ancho (c) de la plataforma se calcula mediante la fórmula:

$$C = \frac{3h}{4p}$$

Siendo:

p la pendiente del terreno en metros por metro. Por ejemplo, en un terreno del 30% de pendiente y con horizonte A de 40 cm la

anchura de la plataforma será de $\frac{3 \times 0,4}{4 \times 0,3} = 1$ m.

Calculada así la plataforma, el corte no llega hasta el límite de los horizontes A y B sino al pie del talud superior, sitio por el cual va el canal que desagüa la estructura.

A este ancho por corte debe agregarse el ancho por terraplén (T) y por talud (b+b) para obtener el ancho total (D) del bancal. Generalmente el valor T es igual a C menos la profundidad del horizonte A. Por ejemplo, en el caso calculado anteriormente T sería igual a $1 - 0,4 = 0,6$ m.

Para simplificar los cálculos se ha desarrollado el Cuadro 44 el cual es aplicable a bancales con taludes de 1:1.

CUADRO No. 44. Tabla para el cálculo de bancales (taludes de 1:1).

Pendiente del terreno por 100 (p)	Profundidad del horizonte A, metros (h)	Anchura del corte metros (c)	Anchura del terraplén metros (T)	Anchura del talud metros (b)	Anchura total del bancal metros (D)
20 por 100	0,2	0,75	0,55	0,19	1,68
	0,3	1,12	0,82	0,28	2,50
	0,4	1,50	1,10	0,37	3,34
	0,5	1,90	1,40	0,48	4,26
	0,6	2,25	1,65	0,56	5,02
30 por 100	0,2	0,50	0,30	0,18	1,16
	0,3	0,75	0,45	0,26	1,72
	0,4	1,00	0,60	0,35	2,30
	0,5	1,25	0,85	0,44	2,98
	0,6	1,50	0,90	0,53	3,46
40 por 100	0,2	0,38	0,18	0,17	0,90
	0,3	0,56	0,26	0,25	1,32
	0,4	0,75	0,35	0,34	1,78
	0,5	0,94	0,45	0,43	2,25
	0,6	1,13	0,53	0,51	2,68
50 por 100	0,2	0,30	0,10	0,17	0,74
	0,3	0,45	0,15	0,25	1,10
	0,4	0,60	0,20	0,33	1,46
	0,5	0,75	0,25	0,42	1,84
	0,6	0,90	0,30	0,50	2,20

Un bancal calculado con base en este Cuadro tendrá una profundidad máxima de corte ligeramente inferior a la profundidad del horizonte A del suelo.

Examinando el Cuadro es posible darse cuenta de las limitaciones que existen para la construcción de bancales eficientes en terrenos poco profundos y de pendiente elevada.

TRAZO SOBRE EL TERRENO

Después de determinar en el Cuadro las dimensiones de los bancales, con ayuda de cualquiera de los aparatos de nivelación descritos

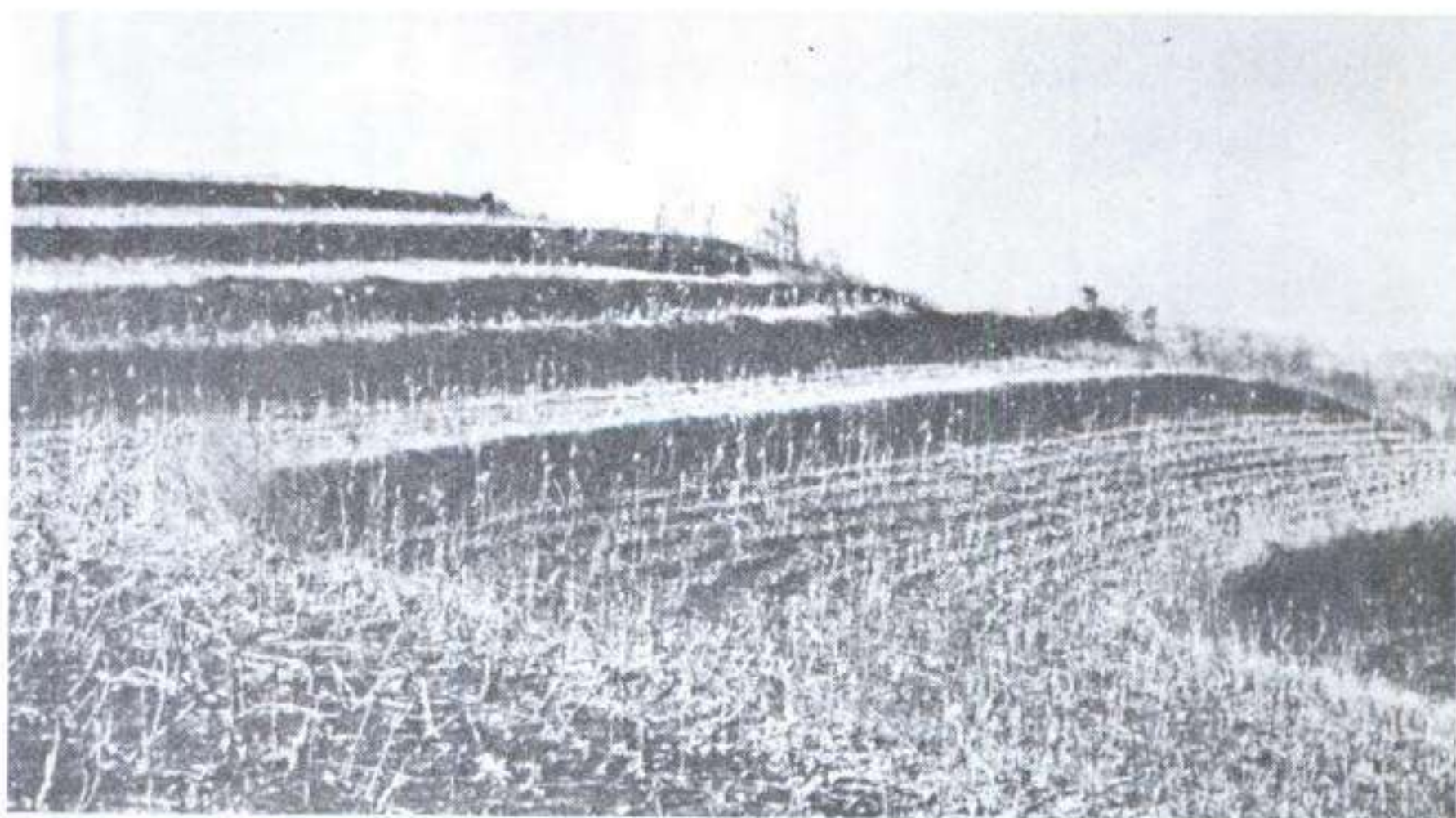


Fig. 106. Terrazas de banco o bancales anchos. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

en el Capítulo 5, se traza la primera línea con el desnivel que se le quiera dar al bancal. Ese desnivel va desde cero (o sea bancales a nivel) hasta el 1%, según sean la textura del terreno y las condiciones climáticas del lugar. Las pendientes menores se utilizan en suelos permeables, de textura liviana y en regiones de lluvias escasas en donde por presentarse períodos prolongados de sequía es necesario conservar las mayores cantidades de agua en el suelo. A medida que la textura se hace más pesada o que las lluvias son más intensas se va aumentando el grado de pendiente del bancal para evitar encharcamientos de agua, perjudiciales para los cultivos.

La segunda línea se traza en la misma forma, a una distancia de la primera igual a la anchura del bancal que se determina en el Cuadro 44. En terrenos con pendiente variable la distancia se determina en la parte más empinada, de manera que las líneas se separen en las zonas de declive más suave; así será posible introducir "cuñas" o líneas incompletas en los sitios en donde se separen las líneas.

En cada una de las líneas marcadas se procede así: se mide hacia arriba de la pendiente una distancia igual a C (Cuadro 44) y por allí se marca una nueva línea que señalará el ancho del corte de la plataforma (segunda estaca en la Fig. 107); hacia abajo de la pendiente se mide una distancia igual a T y se traza una línea paralela a las anteriores, la cual señala el ancho del terraplén (tercera estaca de la Fig. 107); finalmente, se trazan líneas paralelas a las dos últimas (hacia arriba y hacia abajo de la pendiente) y a una distancia de ellas igual a b (Cuadro 44), las cuales indican el ancho del talud (cuarta y quinta estaca de la Fig. 107).

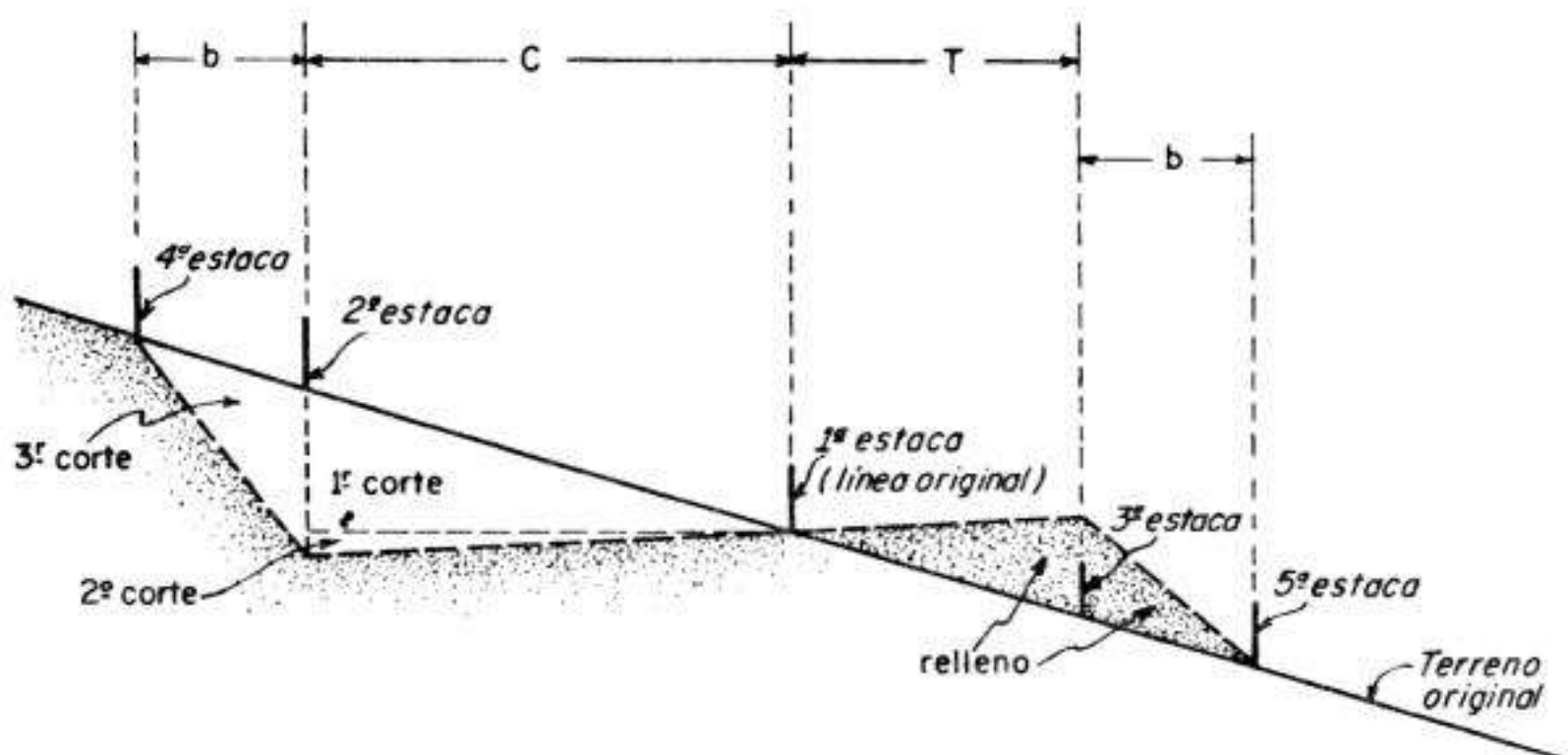


Fig. 107. Sistema de trazo y construcción de una terraza de banco.

EXCAVACION Y TERRAPLEN

Una vez marcadas las líneas con estacas a distancias de 5 a 10 m, se comienza la excavación de la caja limitada por la primera y la segunda estaca de la Fig. 107 hasta que todo el fondo quede al mismo nivel del punto en donde está clavada la primera estaca. Luego se excavan maestras junto a la pared de la caja, de profundidad igual a $0,05 \times C$ y se une el fondo de éstas con el punto en donde está la primera estaca, formando rampa con pendiente uniforme; así se le da el desnivel transversal a todo el bancale. Por último, se excavan los taludes.

DESAGUES

Como en el caso de toda estructura cuya finalidad sea transportar agua, debe ponerse especial cuidado en seleccionar y acondicionar un sitio lo más apropiado posible en el que puedan desaguar los bancales.

En ningún caso se comenzará la construcción de un sistema de bancales sin contar con una zona bien protegida en donde puedan desembocar, sin causar daño, las aguas que cada estructura transporta.

PROTECCION DE LOS BANCALES

En la parte superior del terreno se debe construir un canal paralelo a los bancales que desvíe las aguas de escorrentía de la zona alta. A 10 cm del borde del talud inferior se siembra una barrera viva de limoncillo, vetiver o cualquier otra planta apropiada que les dé estabilidad y resistencia. Los taludes o contrahuellas se deben sembrar

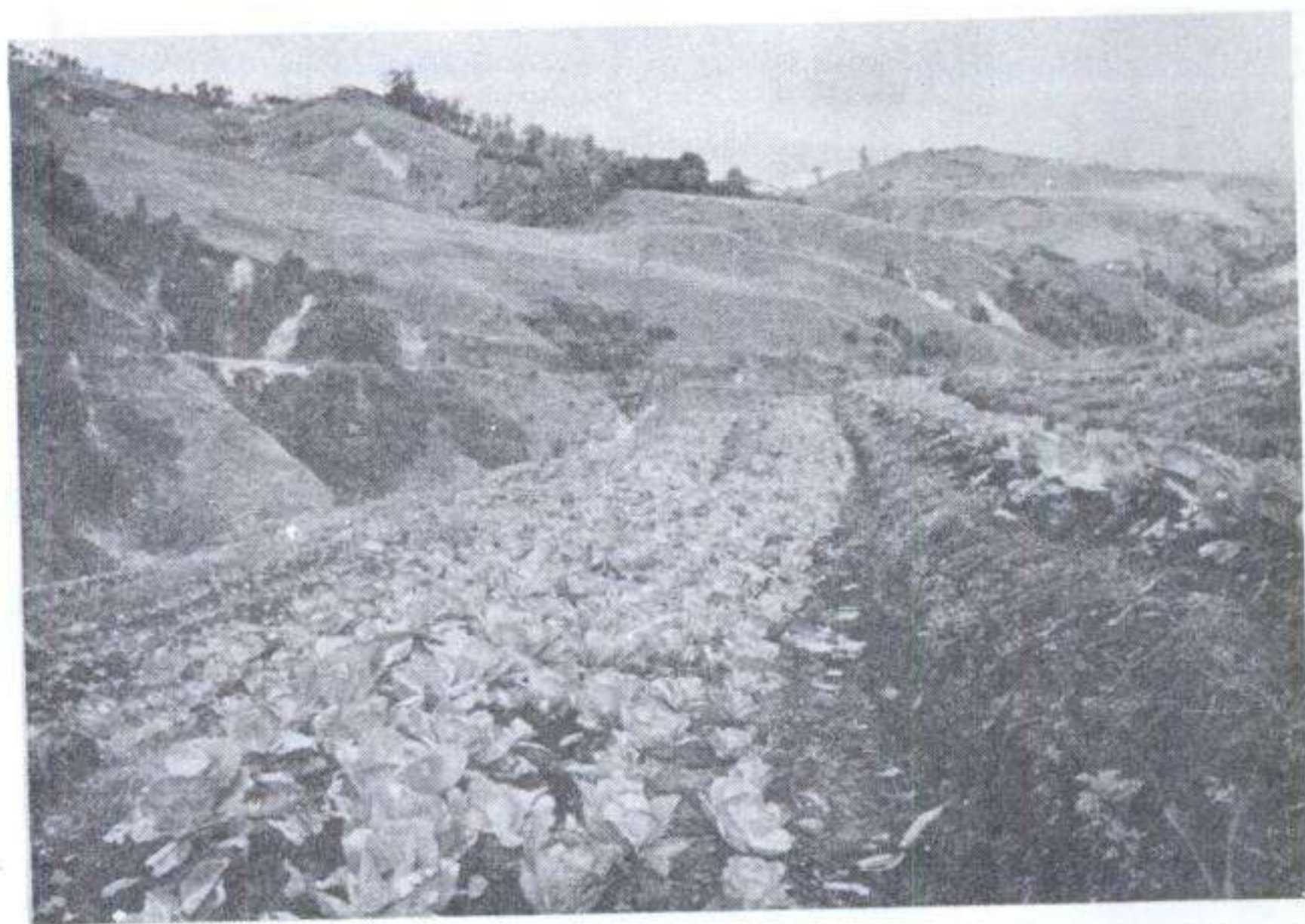


Fig. 108. Los bancales son estructuras costosas que se utilizan con cultivos de alto valor. Obsérvense las contrahuellas protegidas con añil rastrero.

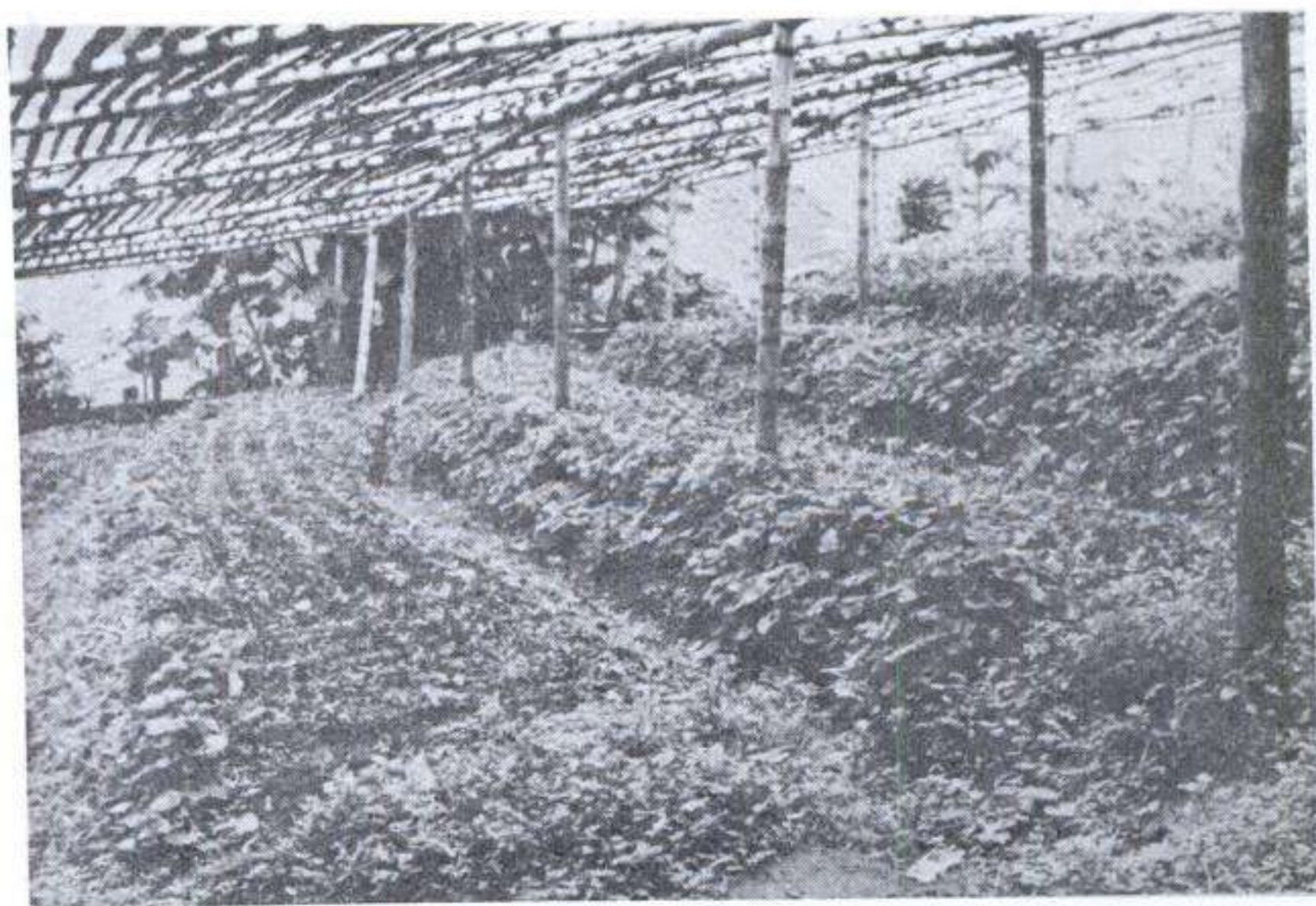


Fig. 109. En algunas regiones montañosas, densamente pobladas, los bancales se utilizan ampliamente para el establecimiento de almácigas de árboles o arbustos perennes (frutales, café, etc.).

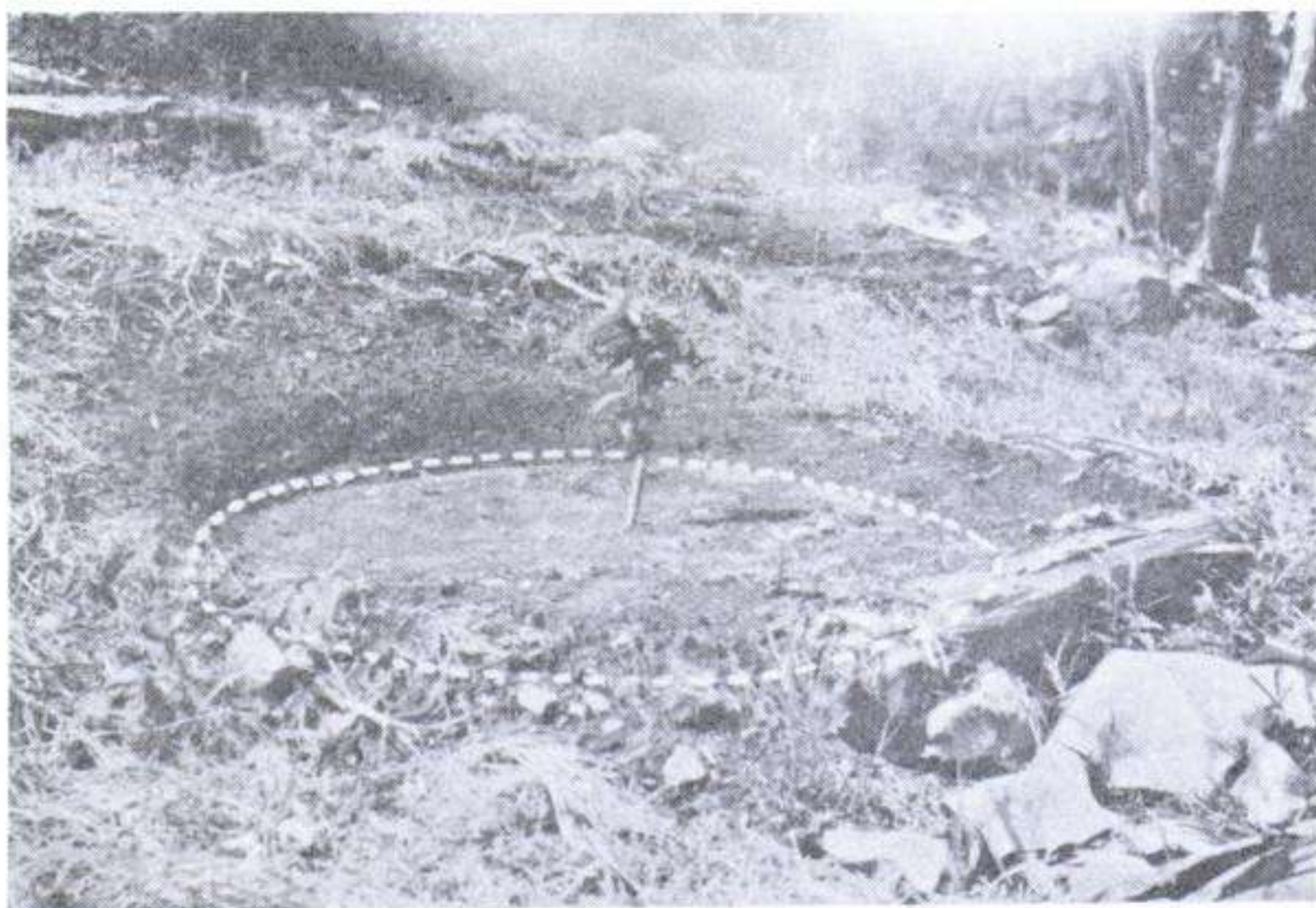


Fig. 110. Terraza individual alrededor de un cafeto. La terraza se construyó antes de sembrar el cafeto.

con vegetación densa y de poco levante como muchas gramíneas, o el añil rastrero.

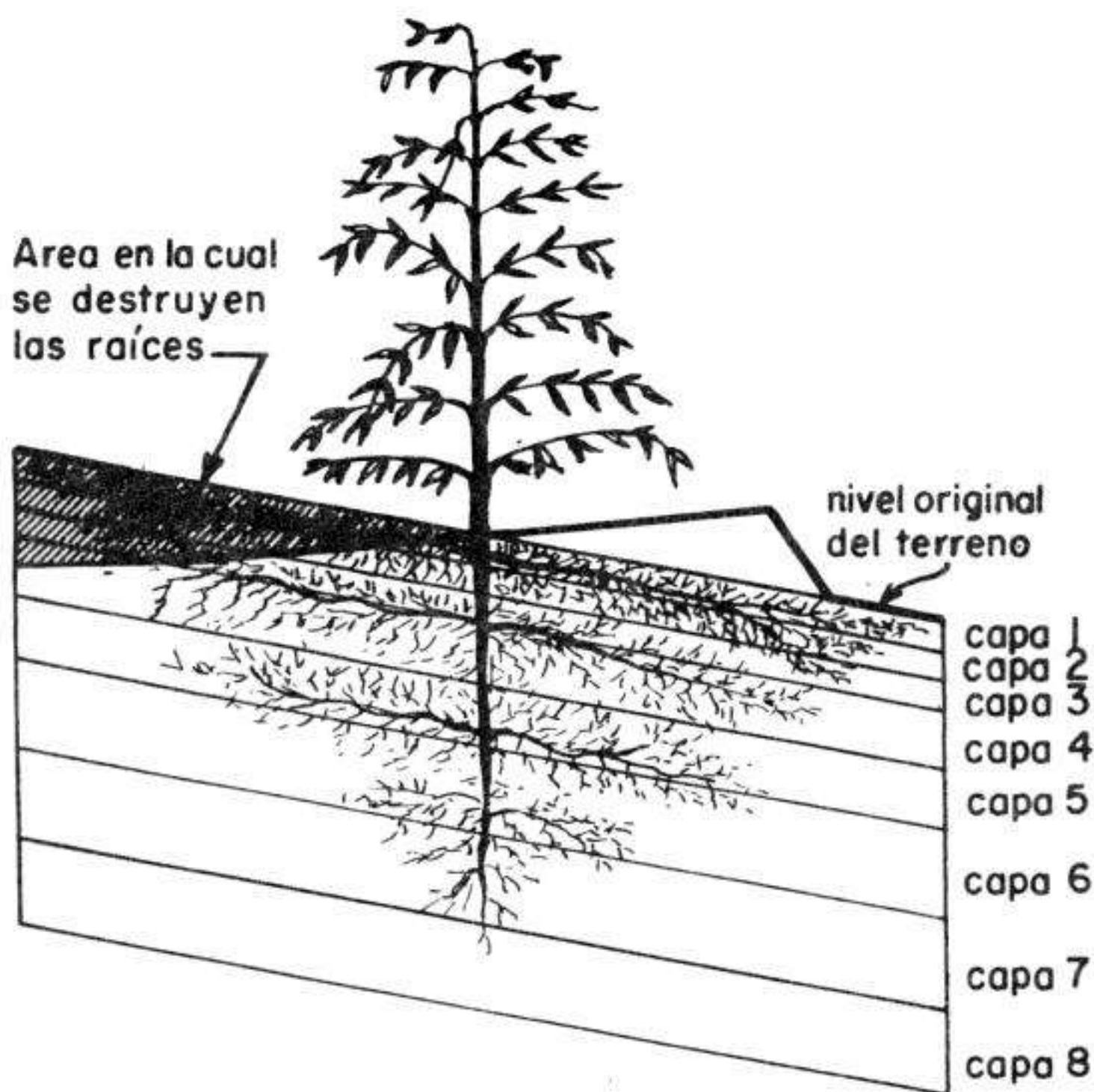
OTRAS PRECAUCIONES IMPORTANTES

- a. Los bancales deben construirse comenzando por la parte alta del terreno y del desagüe hacia arriba, de manera que si cae un aguacero durante el tiempo de construcción, el agua salga fácilmente sin causar encharcamiento;
- b. nunca deben utilizarse en terrenos muy inestables o que tengan capas impermeables o endurecidas a poca profundidad;
- c. la parte cultivable del bancal comienza a 20 cm de cada uno de sus extremos transversales.

TERRAZAS INDIVIDUALES

INTRODUCCION

Una modificación de la terraza de banco o bancal es la llamada terraza individual, usada con cierto éxito en Puerto Rico y Colombia



PESO DE RAICES ABSORBENTES REMOVIDAS

	gramos
capa 1 =	82,32
" 2 =	20,20
" 3 =	16,37
" 4 =	1,75

TOTAL = 120.64 = 35.30% del total

Fig. 111. Raíces absorbentes de un cafeto (diámetro menor de un milímetro) destruidas al construir una terraza individual (8).

en huertos frutales y en cafetales. Consiste en un pequeño terraplén circular u ovalado que se construye alrededor de cada árbol con una inclinación del 5 al 10% contraria a la dirección de la pendiente del terreno. El diámetro de la estructura varía con la pendiente del terreno. Se ha utilizado especialmente en terrenos con pendientes entre el 10 y el 50%.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Además de su acción antierosiva la terraza individual permite un mejor aprovechamiento de los fertilizantes en terrenos con pendientes elevadas; asimismo, facilita la recolección de los frutos.

Cada terraza individual constituye un obstáculo que reduce la velocidad del agua de escorrentía causando la sedimentación del suelo que ésta lleva en suspensión y permitiendo una mayor infiltración del agua en la zona en donde crecen las raíces de los árboles o arbustos. Como en las regiones húmedas las terrazas individuales no tienen capacidad suficiente para retener toda el agua de lluvia, es necesario combinarlas con estructuras que transporten agua, tales como las acequias de ladera y los canales de desviación (14).

La terraza individual es especialmente útil en regiones secas, de escasa lluvia, en las cuales es necesario conservar las mayores cantidades de humedad en los terrenos.

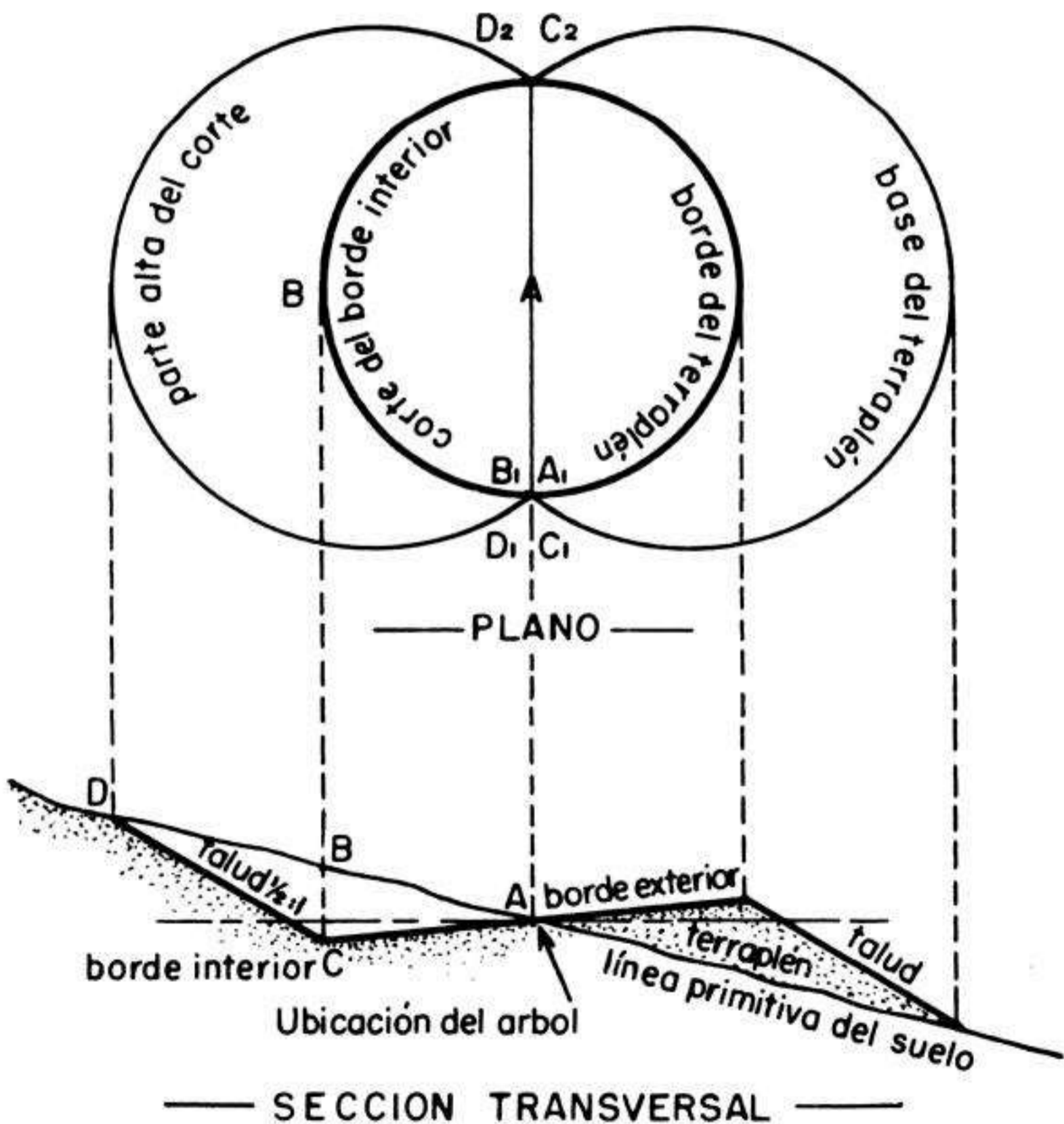


Fig. 112. Terraza individual.

Tiene, sin embargo, algunas desventajas que limitan bastante su uso. Entre ellas pueden citarse: 1) el costo de su construcción es alto; 2) al establecerlas, se limita artificialmente la zona de crecimiento de raíces de los árboles y si la terraza tiene un diámetro reducido (como ocurre en terrenos de mucha pendiente) esto se refleja en condiciones desfavorables para el desarrollo normal de la planta; 3) cuando se construyen alrededor de árboles adultos pueden destruirse muchas raíces absorbentes, lo cual trae como consecuencia un peligroso desequilibrio fisiológico. El autor comprobó que en el caso de cafetos en terrenos con pendientes del 20 y el 45%, al construir terrazas individuales se destruyen el 35 y el 40%, respectivamente, de las raicillas absorbentes, pues no sólo se extraen directamente todas las contenidas en el área limitada por el talud superior de la estructura, sino que las localizadas de allí hacia arriba interrumpen su conexión con el sistema total (8).

ESPECIFICACIONES DE LA TERRAZA INDIVIDUAL

La forma de la estructura se procura que sea circular y que el árbol quede en el centro. A los taludes se les da en general, una inclinación de 1/2:1, pudiéndose rebajar hasta 1:1, y en todos los casos se protegen con vegetación rastrera con el fin de estabilizarlos. El diámetro de la terraza, lo mismo que la profundidad de los cortes, depende de la pendiente del terreno. En el Cuadro 45 se dan las dimensiones más comúnmente usadas (14).

CUADRO No. 45. Especificaciones de las terrazas individuales.

Pendiente del terreno	Diámetro total de la terraza Metros	Diámetro del corte Metros	Diámetro del terraplén Metros	Profundidad del corte Centímetros
Menor del 20%	2,00	1,00	1,00	30
Del 20 al 30%	1,80	0,90	0,90	hasta 36
Del 30 al 40%	1,50	0,75	0,75	hasta 38
Del 40 al 50%	1,20	0,60	0,60	hasta 35

CONSTRUCCION DE LAS TERRAZAS INDIVIDUALES

Las terrazas individuales no se aconsejan en terrenos con un primer horizonte de espesor menor a 30 cm. Además, deben construirse antes de verificar las siembras y mejor aún en la época en que el suelo contiene un nivel alto de humedad para facilitar la compactación de los taludes.

Una vez determinado el diámetro de la terraza, éste se marca alrededor del arbusto o árbol o de la estaca que señala el sitio donde se va a sembrar; se procede a hacer el corte vertical hasta que todo el fondo de la terraza esté al mismo nivel del punto en donde está o va a estar la planta, desplazando la tierra hacia el talud inferior. Esta tierra debe acomodarse con cuidado, procurando quede bien compacta. Luego se escava el desnivel del fondo del plato (del 5 al 10%) contrario a la pendiente del terreno y, por último, se excava el talud. No se puede considerar terminada la construcción hasta que no se haya sembrado vegetación en los taludes para evitar daños.

En Colombia se ha obtenido alguna evidencia experimental sobre las reducciones en pérdidas de suelo y agua atribuibles a las terrazas individuales; sin embargo, como también se han logrado datos que comprueban que en muchos casos las mismas causan perjuicios a las plantaciones, su uso debe restringirse de acuerdo con las siguientes indicaciones (10).

- a. deben utilizarse preferentemente en zonas de escasas lluvias. En regiones muy húmedas hay que combinarlas con otras prácticas que ayuden a eliminar los excesos de agua;
- b. su uso es factible en donde la mano de obra sea barata;



Fig. 113. Terrazas individuales construidas en contorno, en un terreno en donde va a establecerse una plantación perenne.

- c. no deben construirse en terrenos poco profundos;
- d. siempre deben distribuirse en contorno;
- e. en lo posible deben construirse antes de sembrar los árboles o arbustos que se deseen proteger.

BIBLIOGRAFIA

1. AYRES, Q. C. La erosión del suelo y su control. Trad. de la ed. inglesa. Barcelona, Omega, 1960. 441 p.
2. _____ y SCOATES, D. Land drainage and reclamation. New York, McGraw-Hill, 1939. 496 p.
3. BOSTANOGLU, L. Restoration and protection of degraded slopes. In Conservation in arid and semi-arid zones; conservation guide. Rome, Food and Agriculture Organization, 1976. pp. 105-125.
4. HAMILTON, C. L. Terracing for soil and water conservation. Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture. Farmers' Bulletin no. 1789. 1943. 60 p.
5. KING, H. W. Handbook of hydraulics for the solution of hydraulic problems. 3a. ed. New York, McGraw-Hill, 1939. 617 p.
6. PRIETO, B. J. Terrazas de banco. Agricultura Tropical (Colombia) 9(5):53-60. 1953.
7. SUAREZ DE CASTRO, F. Características de las lluvias en una zona cafetera de Colombia y uso de los datos pluviográficos en el cálculo de obras de defensa de suelos. Boletín Técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café, (Colombia) 1(3):1-39. 1947.
8. _____, y BETANCOURT, H. Canales de desviación y acequias de ladera. Revista Cafetera de Colombia 10(12):3653-3679. 1951.
9. _____. Distribución de las raíces del *Coffea arabica* L. en un suelo franco-limoso. Boletín Técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Colombia) 1(12):3-28. 1953.
10. SOUFFRONT, L. O. Recomendaciones generales para algunas prácticas de conservación de suelos en los cafetales de Colombia. Revista Cafetera de Colombia 8(117):3393-3409. 1948.
11. TRUEBA CORONEL, S. Hidráulica. México D. F., Avance, 1947.
12. U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Terrazas individuales para café y plátano (bananos), recomendadas por el S.C.S. en Puerto Rico. Washington, D. C., 1945. (Mimeografiado).
13. _____. Engineering handbook, Region 5. Lincoln, Nebraska, Soil Conservation Service, 1947.
14. _____. Engineering handbook, Southeastern Region. Spartanburg, Soil Conservation Service, 1947.
15. _____. Farm planners, engineering handbook for the upper Mississippi region. Washington, D. C., Agriculture Handbook no. 57. 1953. p. irr.
16. YARNELL, D. C. Rainfall intensity frequency data. Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture, Miscellaneous Publication no. 204, 1935. 68 p.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. ALLIS, J. A. Comparison of storm run-off volumes. *Agricultural Engineering* 43(4):220-223. 1962.
2. BEADLEY, R. P., y MEYER, L. D. New terrace construction technique. *Agricultural Engineering* 38:32-36. 1957.
3. BLAISDELL, F. W., y MORATZ, A. F. Erosion-control structures. In *Agricultural Engineers' Handbook*. New York, McGraw-Hill, 1961. pp. 426-491.
4. HAUSER, V. L., y COX, M. B. Evaluation of zingg conservation bench terrace. *Agricultural Engineering* 43(8):462-464. 1962.
5. ISRAELSEN, O. W. The engineer and worldwide conservation of soil and water. *Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE* 84 (IR 3) 1775:1-22. 1958.
6. JACOBSON, P. A field method for staking cut and fill terraces. *Agricultural Engineering* 42(12):684-687. 1961.
7. _____ . Waterways for erosion control. In *Agricultural Engineers' Handbook*. New York, McGraw-Hill, 1961. pp. 419-425.
8. _____ . Terraces and diversions. In *Agricultural Engineers' Handbook*. New York, McGraw-Hill, 1961. pp. 407-418.
9. LARSON, C. L., y MANBECK, D. M. Improved procedures in grassed waterway design. *Agricultural Engineering* 41(10):694-696. 1960.
10. MOLGA, M. Agricultural meteorology. II. Outline of agrometeorological problems. Trans. from Polish. Washington, D. C., U. S. Department of Commerce, Office of Technical Services, 1962. 253 p.
11. OAKES, C. K. Hydraulic computations from limited information. *Journal of Hydraulic Division ASCE* 87 (HY 1): 85-94. 1961.
12. SELBY, W. E. Terrace system maintenance. Manhattan, Kansas State University, Engineering Extension Department. Land Reclamation no. 6. 1959. 6 p.
13. WILSON, W. T., y HERSHFIELD, D. M. Frequency analysis of rainfall intensity data. *Agricultural Engineering* 39:344-347. 1958.
14. WORLEY, L. D. Planning terrace systems to facilitate farm machinery operation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering* 3(1):68-70, 72. 1960.

CAPITULO 7

LUCHA CONTRA LA EROSION EOLICA

INTRODUCCION

Los métodos de prevención y lucha contra la erosión eólica se orientan en dos frentes complementarios: por una parte, se busca aumentar la resistencia o protección del suelo contra las fuerzas ejercidas por el viento; por otra, disminuir la velocidad con que el agente erosivo golpea el terreno que se desea proteger.

En casi todos los casos sólo la combinación de diversas prácticas, aplicadas en escala regional, logra ser efectiva (9).

Un problema diferente, cuya solución requiere normalmente muchos años, es el de recuperar suelos ya dañados por la erosión eólica.

MANEJO DEL SUELO

El laboreo de los terrenos debe ser extremadamente cuidadoso en zonas susceptibles a la erosión eólica. En general no deben utilizarse los arados de vertedera o de disco, que voltean la capa de suelo y entierran los residuos vegetales que se hallan sobre la superficie del terreno. En su lugar tendrán que usarse máquinas que labren infrasuperficialmente o bajo cubierta, sin invertir la capa superficial.

El cultivador "pie de pato", cuyo órgano activo está formado por dos barras unidas en V, de ángulo y longitud variables, se utiliza ampliamente tanto para el laboreo del suelo como para combatir las malezas, sin enterrar los residuos superficiales. Las rejas en V van montadas en un bastidor con ruedas, que permiten la regulación de la profundidad de la labor (3).

Otra herramienta usada es el "subsolador", que consta de un brazo poco ancho y rígido con punta de acero templado, el cual se diseñó originalmente para romper capas endurecidas profundas y se utiliza con buen resultado para mejorar la capacidad de penetración y almacenamiento de agua en el terreno. Tiene la limitación de ser muy poco efectivo en la lucha contra las malezas.

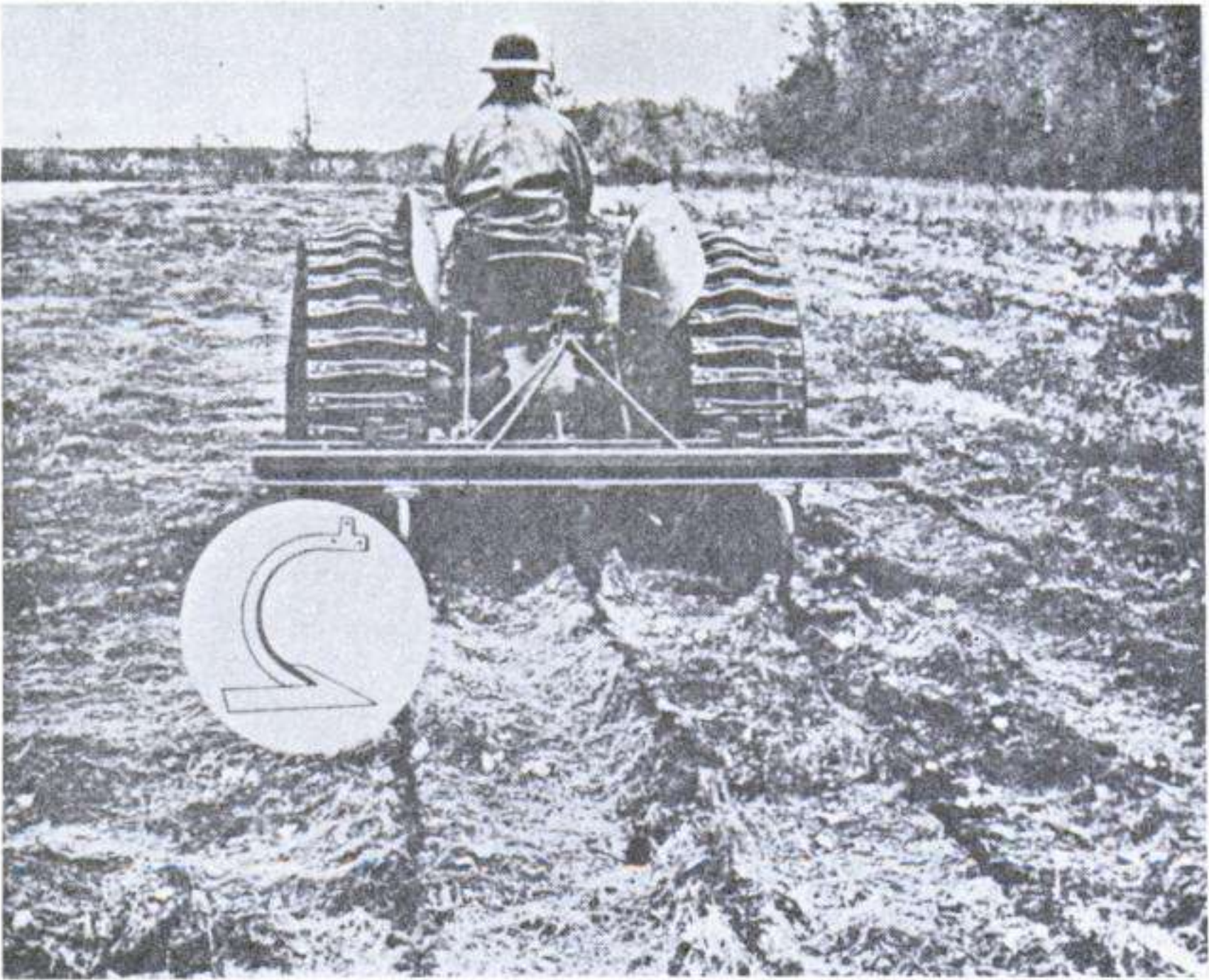


Fig. 114. En terrenos susceptibles de erosión eólica las labores culturales se efectúan infrasuperficialmente, de manera que el suelo se remueve sin invertir la capa superior. El cultivador en "pie de pato" se utiliza con este propósito. (Foto por cortería de Agricultura de las Américas).

Como complemento del trabajo efectuado con esta clase de maquinaria se recurre con frecuencia al empleo de la rastra rotativa, máquina provista de discos sobre los cuales se acomodan, dispuestos en forma de estrellas, dientes largos y curvilíneos. Esta rastra ayuda a compactar y mullir el suelo lo mismo que a triturar los residuos vegetales y a distribuirlos uniformemente, todo lo cual mejora las condiciones del terreno para la siembra.

El uso de sustancias químicas para destruir las malezas (herbicidas) se ha ensayado con éxito en zonas sometidas a erosión eólica. Con este sistema se suprime la competencia de las malas hierbas sin alterar la condición de reposo del suelo (7).

ROTACION DE CULTIVOS

En zonas muy susceptibles a la erosión eólica debe darse preferencia a la explotación ganadera, ya que el pastizal asegura una excelente protección al terreno. Por tanto, las rotaciones más adecuadas para



Fig. 115. Cultivo en fajas para defender los terrenos de la erosión eólica. Se alternan fajas de hortalizas con fajas de cereales y forrajeras, dispuestas en ángulo recto a la dirección de los vientos. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

estas regiones son aquellas en las cuales los cultivos de escarda se suceden con intervalos de más de tres años. Aun en suelos irrigados se han comprobado los efectos benéficos de las rotaciones, en las cuales se incluye un alto porcentaje de leguminosas y gramíneas forrajeras. Un terreno cultivado durante 40 años con una rotación de papa o patata, remolacha y cebada (similar a la rotación no. 12 del Cuadro 26 de la página 150) perdió en un solo año 92 Ton de suelo por efecto de la erosión eólica; un terreno similar en cuya sucesión de cosechas se introdujo la alfalfa durante 3 años, perdió apenas, por esta causa, 1,2 Ton durante el año en que estuvo sembrado de papa (11).

CULTIVOS EN FAJAS

Para combatir la erosión eólica las fajas se disponen en ángulo recto a la dirección de los vientos dominantes. En las fajas se alternan cultivos densos, que cubren bien el suelo, con cultivos de escarda que ofrecen poca protección. La anchura recomendable de las fajas varía con la susceptibilidad del suelo a la erosión. En los Estados Unidos

algunos autores (2) recomiendan fajas con las siguientes anchuras, para mantener la erosión eólica dentro de límites aceptables:

Tipo de suelo	Anchura de las fajas
Arenoso	6 m
Franco arenoso	30 m
Franco	75 m
Franco arcilloso	100 m
Franco arcillo-limoso	130 m

Estas cifras son aplicables a zonas donde soplan vientos con una velocidad de 65 Km/hora a una altura de 15 m. La efectividad del cultivo en fajas depende de características topográficas de los terrenos, especialmente de la irregularidad, longitud, grado y exposición de las pendientes en relación con los vientos dominantes. Tales factores se tendrán en cuenta, junto con el tipo de suelo, al proyectar sistemas de fajas. Cuando se utiliza maquinaria debe recordarse que el equipo agrícola normal no trabaja eficientemente en fajas de menos de 15 metros de anchura.

Entre los inconvenientes que se han hallado a este sistema destaca el costo mayor y las dificultades de las labores culturales mecanizadas, y en regiones ganaderas, como la Pampa Argentina, donde se acostumbra pastorear los rastrojos, la imposibilidad de hacerlo (3). Esta última práctica, sin embargo, debe reducirse al mínimo en zonas sometidas a la erosión eólica.

ROMPEVIENTOS Y CORTINAS PROTECTORAS

Toda barrera colocada en la trayectoria del viento reduce la velocidad de éste, en la zona cercana al suelo, por ofrecer una resistencia a su avance y desviar las corrientes de aire (6). La efectividad de la barrera depende de su forma, anchura y permeabilidad. Cuando se hallan colocados en ángulo recto a la dirección en que sopla el aire, los rompevientos formados por árboles de tipo medio reducen la velocidad de éste, en un 70 a 80% cerca de la barrera. A una distancia equivalente a 20 veces la altura de la cortina vegetal, la velocidad del viento disminuye en un 20%, en tanto que a una distancia doble a la anterior, la reducción es nula (2). Se comprende, pues, que la distancia entre las cortinas arbóreas está determinada por la velocidad máxima de los vientos, por el grado de resistencia del suelo y por la altura de las especies vegetales que se utilicen. La densidad de los rompevientos es también de importancia. Conviene que no sean muy



Fig. 116. Las cortinas rompevientos colocadas al borde de los caminos que separan diferentes lotes dentro de una finca, ejercen su acción protectora con un mínimo de inconvenientes.

tupidos en la zona cercana al suelo, a fin de evitar turbulencias del aire. Las cortinas formadas por una a tres hileras de árboles han demostrado ser las más eficientes (6). La lentitud y dificultad en el establecimiento de cortinas de árboles (principalmente en zonas secas) y la competencia que ejercen sobre los cultivos aledaños, especialmente si éstos no son tolerantes de la sombra, son las dos objeciones principales contra su empleo. Por otra parte, la división de los campos de labranza con hileras de árboles, dificulta las labores culturales mecanizadas. Su empleo principal se reserva para los alrededores de edificios, abrevaderos y corrales, así como a lo largo de canales, límites entre fincas y caminos, etc. (1, 4, 6).

UTILIZACION DEL MANTILLO

En regiones sometidas a la erosión eólica debe ponerse especial cuidado en la adecuada utilización de los residuos vegetales que quedan en los terrenos después de la recolección de las cosechas. El volumen, lo mismo que la clase y el tratamiento a que se someten esos residuos, ejercen influencia en su acción protectora. Si permanecen en posición erguida y sin tocarlos, es más efectiva su acción, pero



Fig. 117. Rastrojo de sorgo que se ha dejado sobre el terreno, sin perturbar. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

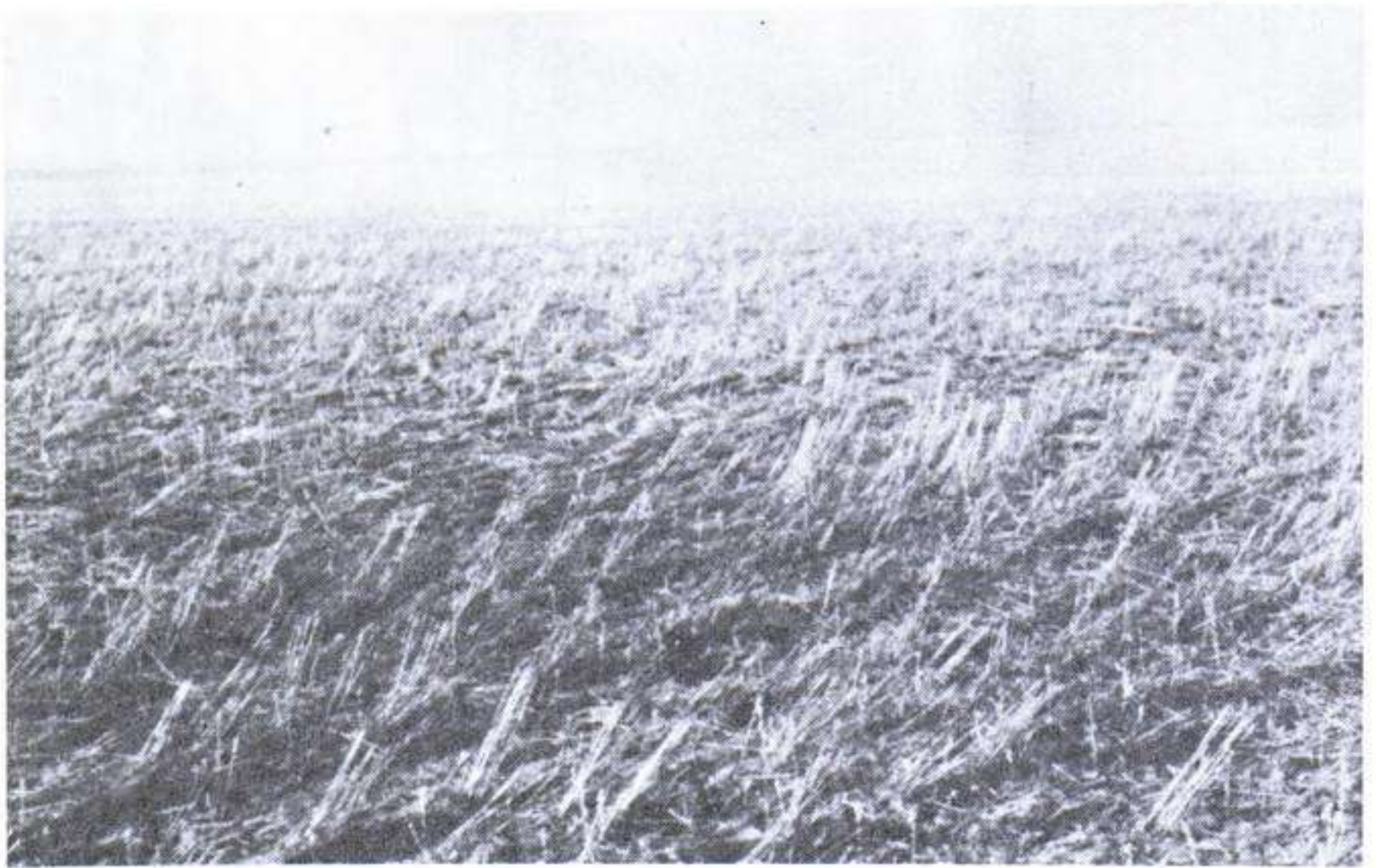


Fig. 118. Rastrojo de trigo, sin perturbar, tras recoger la cosecha. La mezcla de tallos erectos y de residuos sobre la superficie del terreno constituye una buena protección contra la erosión eólica. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).



Fig. 119. Los depósitos movedizos, formados por acción del viento, se desplazan cubriendo zonas cada vez más extensas e inutilizando terrenos agrícolas. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

va reduciéndose a medida que los aplasta el pastoreo, el propio viento o las labores de cultivo. Según Chepil y sus colaboradores (2), en la región semiárida de los Estados Unidos se necesitan 750 Kg de rastrojo de trigo en pie, o 1.700 Kg de rastrojo tendido, para proteger 1 Ha de terreno con suelo de textura francolimosa, con un 75% de fracciones erosionables. Si se utiliza rastrojo grueso, como el de maíz o sorgo, las cantidades necesarias son mayores.

Tanto la quema como el pastoreo excesivo de los rastrojos deben evitarse cuidadosamente en regiones sometidas a la erosión eólica (7); la depresión temporal en fertilidad que puede acarrear el manejo de los residuos en la forma recomendada puede remediarse con aplicaciones de nitrógeno, en la seguridad de que la protección de que goza el suelo compensa ampliamente este pequeño gasto adicional (7).

FIJACION DE DUNAS

Las dunas o depósitos movedizos formados por acción del viento suelen causar daños graves, adicionales a la propia remoción del suelo. Las dunas van constantemente desplazándose y cambiando de

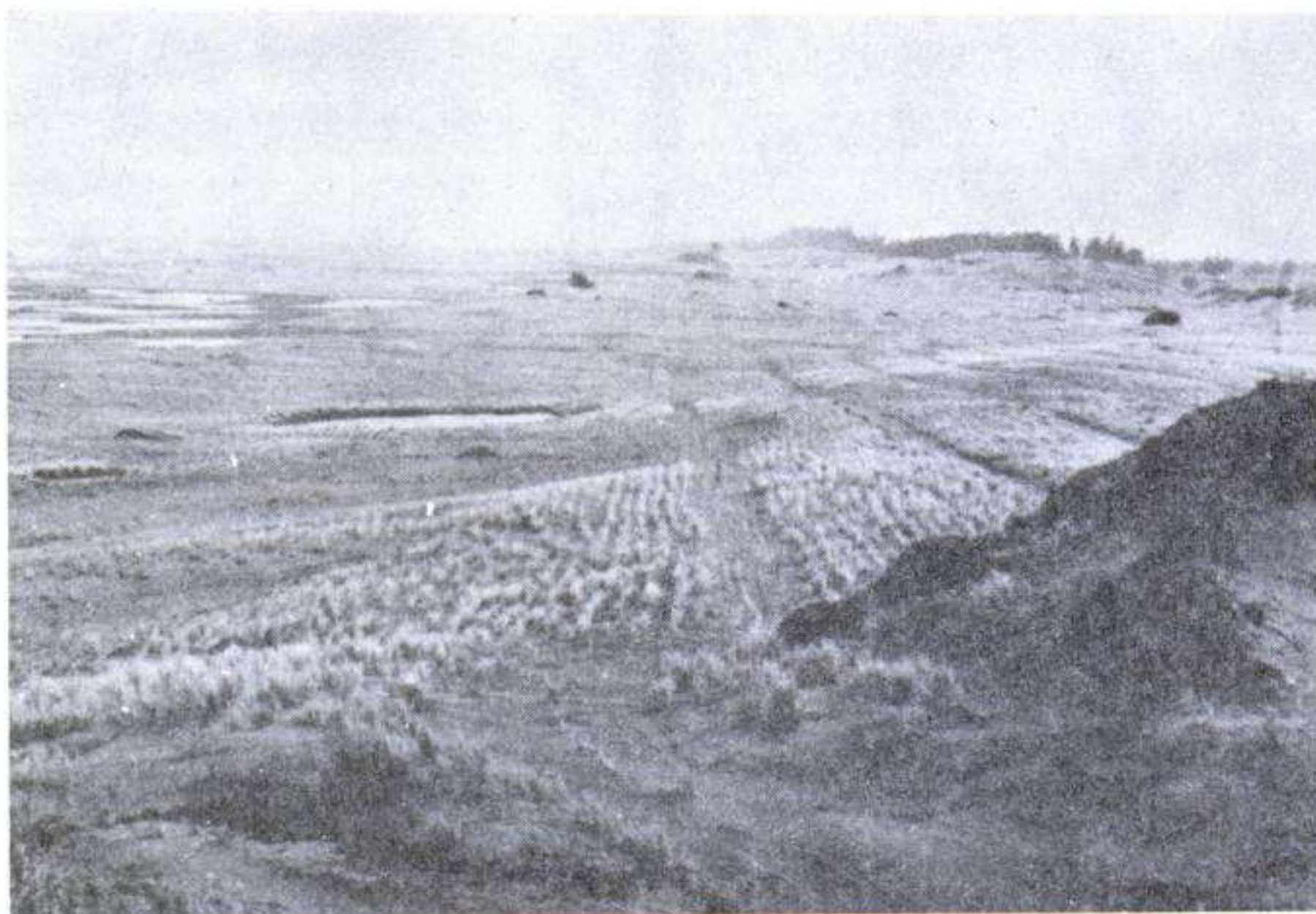


Fig. 120. Duna en proceso de estabilización mediante la siembra de gramíneas de crecimiento rápido. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).



Fig. 121. La misma duna de la fotografía anterior, después de 7 años. La vegetación sembrada inicialmente se ha complementado con pastos y leguminosas de valor económico. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

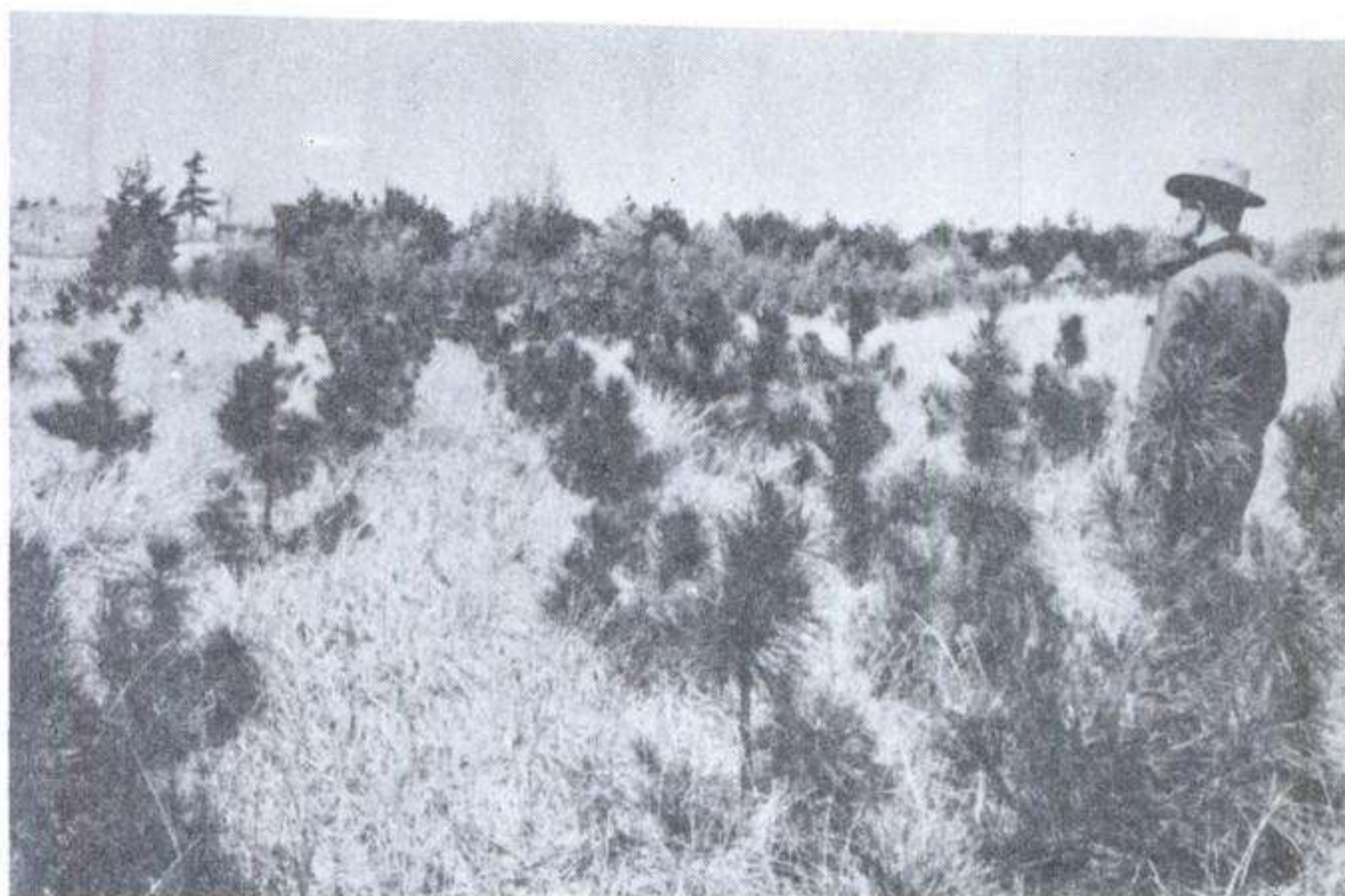


Fig. 122. Duna que se estabilizó inicialmente con gramíneas de rápido crecimiento y luego se sembró de pino rojo. La última siembra se efectuó 5 años antes de tomar la fotografía. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

forma, afectando así zonas cada vez más extensas (5). Para formarse una idea de la magnitud de sus daños basta mencionar que cerca de 1.300 millones de Ha de la superficie terrestre están cubiertas de dunas y que en los Estados Unidos (exceptuando las zonas desérticas) ocupan una extensión equivalente casi a un décimo del área de los terrenos agrícolas (8, 10).

La estabilización de las dunas activas es una labor lenta y difícil. El Instituto de Suelos y Agrotecnia de la Argentina recomienda un procedimiento desarrollado a través de numerosas experiencias, que puede resumirse en las siguientes etapas sucesivas (3):

- a. Cercar la zona afectada.
- b. Suavizar y nivelar las crestas e irregularidades. Cuando éstas son muy acentuadas resultan efectivos los llamados **canales de viento**, abiertos en la misma dirección de los vientos dominantes y a intervalos de 1,5 a 2 m. La propia acción del viento al pasar a través de estos canales a velocidades incrementadas, desplaza material que deposita al encontrar un obstáculo.

- c. Sembrar, mecánicamente o a voleo, semillas de especies de crecimiento rápido (centeno, mijo, diversos sorgos), durante la época en que sean más abundantes las lluvias y menor la velocidad del agente erosivo, comenzando por el costado del campo frente al viento.
- d. Cubrir inmediatamente la duna con residuos vegetales, anclando este material con la ayuda de una rastra de discos.
- e. Vigilar cuidadosamente la zona para efectuar resiembras en los puntos donde no haya arraigado la vegetación.
- f. Más tarde, plantar la zona con vegetación permanente, herbácea, arbustiva o arbórea, adaptada a las condiciones climáticas de la región.

El crecimiento de árboles en las dunas estabilizadas ofrece en algunos casos, dificultades muy serias, derivadas de la falta de nutrimentos y de la reducida capacidad de retención de agua de las arenas que las forman. Jansen (5) señala las condiciones muy variables que exhiben las dunas y la existencia en ellas de pequeños "nichos" ecológicos, lo cual obliga a una cuidadosa escogencia de las especies que se planten. La observación del comportamiento de éstas en dunas previamente sembradas en la zona y, en el caso de proyectos grandes de forestación, el ensayo de algunas especies valiosas, son procedimientos útiles para guiarse en la selección final de los árboles que deben propagarse.

Generalmente, es necesario usar una técnica de siembra profunda de plantas criadas en almácigo, mezclando cuando sea posible, algún suelo fértil con la arena en el fondo del hoyo de la siembra. En los primeros meses debe aplicarse riego si es posible hacerlo económicamente, combinando con fertilizantes químicos, principalmente nitrogenados (5).

BIBLIOGRAFIA

1. BHIMAYA, C. P. Shelterbelts; functions and uses. **In** Conservation in arid and semi-arid zones. Conservation guide. Rome, Food and Agriculture Organization, 1976. pp. 17-28.
2. CHEPIL, W. S. et al. How to control soil blowing. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. Farmers' Bulletin no. 2169. 1961. 16 p.
3. BUENOS AIRES. INSTITUTO DE SUELOS Y AGROTECNIA. Conservación del suelo y del agua. Argentina. Publicación Miscelánea no. 416. 1956. 118 p.
4. FERBER, A. E. Windbreaks in conservation farming. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. Miscellaneous Publication no. 759. 1958. 22 p.
5. JANSEN, A. M. A review of some dune afforestation procedure. **In** Conservation in arid and semi-arid zones; conservation guide. Rome, Food and Agriculture Organization, 1976. pp. 85-94.
6. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La erosión eólica y medidas para combatirla en suelos agrícolas. Roma, Cuadernos de Fomento Agropecuario no. 71. 1961. 96 p.
7. STALLING, J. H. Wind-erosion control. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. SCP-TP-115. 1953. 28 p.
8. STOERS, A. D. y BROWN, R. L. Stabilizing sand dunes. **In** U.S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture 1957, Soil. Washington, D. C., 1957. pp. 321-326.
9. U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Facts about wind erosion and dust storms on the Great Plains. Washington, D.C., Soil Conservation Service. Leaflet no. 394. 1961. 8 p.
10. WHITFIELD, C. J. Y BROWN, R. L. Grasses that fix sand dunes. **In** U.S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture 1948, Grass. Washington, D. C., 1948. pp. 70-74.
11. ZINGG, A. W. Investigations on the mechanics of wind erosion. **In** U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Annual Report 1951. Washington, D.C., 1951.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. LYLES, L. Possible effects of wind erosion on soil productivity. *Journal of Soil and Water Conservation* 30(6):279-283. 1975.
2. WOODRUFF, N. P. y SIDDOWAY, F. H. A wind erosion equation. *Soil Science Society of America. Proceedings* 29(5):602-608. 1965.

CAPITULO 8

ALGUNOS CASOS ESPECIALES DE CONTROL DE LA EROSION

CONTROL DE CARCAVAS O ZANJONES

INTRODUCCION

En el Capítulo 2 se vio como una de las formas más notables de la erosión por el agua es la llamada erosión en zanjones o en cárcavas. Esto ocurre cuando la escorrentía se concentra en depresiones mal protegidas y el agua fluye por largos períodos en forma de caudales voluminosos que adquieren gran velocidad. Cuando esta acción progresa, los zanjones adquieren mayor tamaño y llegan a tener hasta varios kilómetros de longitud, 10 ó 15 metros de ancho y 6 ó más metros de profundidad. El crecimiento en longitud es, en general, más rápido que el transversal, pues es mayor el volumen de agua que penetra en el zanjón por su extremidad superior que por sus lados. El crecimiento en profundidad es mayor en las zonas de pendiente más pronunciada.

La forma como el agricultor favorece con más frecuencia la formación de zanjones es a través de la inapropiada localización y mal manejo de los desagües de terrazas o canales. Deben tomarse todas las precauciones posibles para tener la certeza de que las aguas concentradas se vierten en una corriente mediante un desagüe bien protegido. En muchas ocasiones es necesario variar ligeramente la localización de una estructura para poder aprovechar un desagüe natural seguro y en todos los casos debe considerarse que ninguna obra de encauzamiento de agua está terminada hasta no tener perfectamente estabilizado y defendido el lugar en donde la misma va a verterse.

Las huellas que muchas veces dejan las máquinas agrícolas al desplazarse hacia arriba y hacia abajo de la pendiente, pueden también originar zanjones, especialmente en zonas de lluvias intensas. Aun en terrenos cultivados en contorno, con frecuencia se observa que durante la época de recolección el agricultor moviliza vehículos en dirección de la pendiente con el objeto de transportar la cosecha. El

paso continuado de una máquina deja surcos de 10 ó más centímetros de profundidad, los cuales pueden ser el origen de zanjones profundos. Algo similar ocurre con las sendas que el ganado marca al movilizarse de una zona de pastoreo a otra. Estas causas de formación de zanjones pueden evitarse con facilidad.

CLASIFICACION DE LOS ZANJONES POR SU PROFUNDIDAD Y POR EL AREA QUE EN ELLOS DRENA

La profundidad del zanjón y el área de drenaje son los dos factores que generalmente se tienen en cuenta como criterio de clasificación. Por razón de la primera característica se clasifican como **profundos** aquellos que tienen más de 5 metros de profundidad, **medianos** entre 1 y 5 metros y **pequeños** los de menos de 1 metro. Por razón de la vertiente se denominan "con vertiente pequeña" cuando el área de drenaje es menor de 2 hectáreas, "con vertiente mediana" cuando ésta varía entre 2 y 20 hectáreas y "con vertiente grande" con más de 20 hectáreas. En esa forma, un zanjón con 3 metros de profundidad y en el cual se vierten las aguas de escorrentía de 30 hectáreas, se denominan "mediano con vertiente grande" (1, 2).



Fig. 123. Este zanjón se ha formado por la concentración de volúmenes grandes de agua en un desagüe mal protegido. Aquí se vierten las aguas de drenaje de varios sistemas de terrazas de tres fincas adyacentes. El zanjón ya tiene varios cientos de metros de longitud. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

CORRECCION DE ZANJONES

Siempre que sea posible deben desviarse las aguas de escorrentía que llegan al zanjón, antes de comenzar a aplicar medidas locales

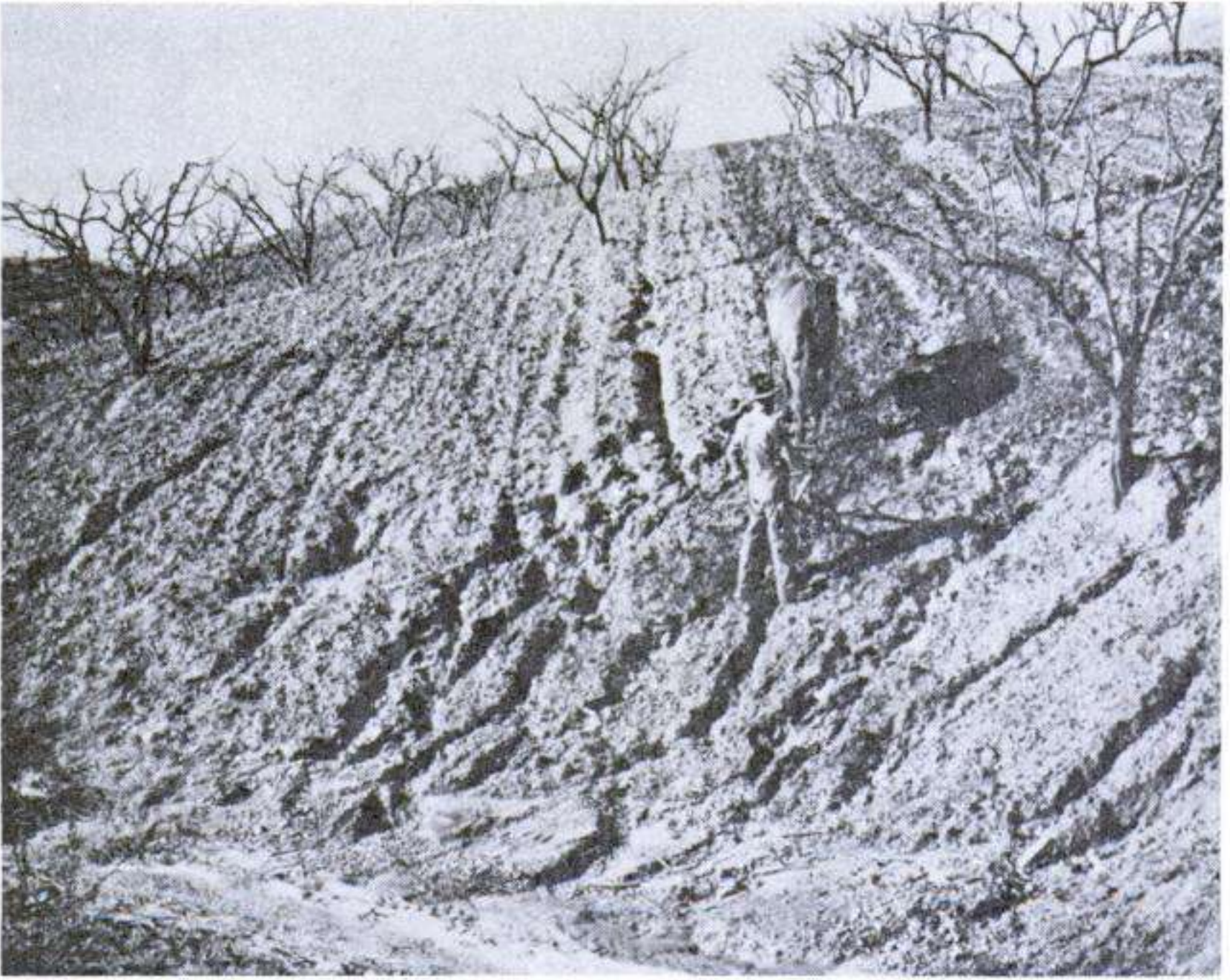


Fig. 124. Las huellas que dejan las máquinas de labranza al moverse en dirección de la pendiente son el origen de muchas cárcavas o zanjones. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

dentro de éste. Los canales de desviación y las terrazas de los cuales se trató en el Capítulo 6, son estructuras muy apropiadas para tal fin. Los primeros se adaptan mejor a terrenos ocupados con bosque o con pastos porque en ellos es menor la sedimentación a que están sujetas las estructuras. En caso de construirse un canal en terrenos ocupados con cultivo limpio debe dejarse una faja de pasto de 10 ó 15 m de ancho, a todo lo largo de su borde superior, para que obre como filtro y evite la excesiva sedimentación. El canal de desviación debe asimismo localizarse a una distancia del extremo superior del zanjón, equivalente a tres veces la profundidad de éste.

Cuando el zanjón está localizado de manera que forma parte del sistema natural de drenajes de una área, no es posible efectuar la desviación de aguas que se aconseja sino que la esorrentía tiene que circular a todo lo largo de la cárcava. En tales casos, cualquier medida local que se aplique debe ser diseñada de tal manera que no disminuya la capacidad del zanjón hasta límites inferiores a la mínima capacidad necesaria para transportar las mayores cantidades de agua de esorrentía que pueden llegarle (véase cálculo de la esorrentía crítica en el Capítulo 6 de esta obra).

Cuando esa es la situación, es más difícil establecer una vegetación protectora (la cual es la finalidad de todos los sistemas de tratamiento de zanjones) y puede ser necesario recurrir a prácticas mecánicas, que mejoren las condiciones y propicien el crecimiento de plantas bien adaptadas. Debe tenerse en cuenta que en zonas tan intensamente erosionadas como son las cárcavas, en las cuales ya se ha perdido todo el suelo y en muchos casos, hasta la totalidad del horizonte B, es en general difícil hacer crecer la vegetación. Sin embargo, cuando se puede desviar el agua, basta proteger el área durante algunos años contra el fuego y el pastoreo para que, en zonas húmedas, se recubra de vegetación natural. Primero aparecen, en forma muy lenta, las plantas más rústicas y más adaptadas a las malas condiciones de fertilidad; luego, mejorado un poco el suelo por la materia orgánica que ellas suministran, aparecen otras plantas y así sucesivamente, hasta que el área se recubre con una vegetación similar a la predominante en la región. Este proceso es naturalmente lento y pueden necesitarse varios años para llevarlo a término. En muchos casos es necesario suavizar los taludes del zanjón (hasta una pendiente del 1:1 ó similar) para lograr que las raíces de las plantas arraiguen en el suelo (3, 4, 5).

Cuando se desea que crezcan en el zanjón ciertas plantas de valor económico o evitar de inmediato la erosión que en él ocurre, es



Fig. 125. Zanjón o cárcava en el cual se ha sembrado kudzu para su control. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).



Fig. 126. Aspecto que presenta el zanjón de la figura 125 cinco años después de sembrado el kudzu. Toda la cárcava está cubierta por una vegetación densa que la protege. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

necesario recurrir a la siembra de vegetación artificial. Pueden propagarse gramíneas rastreras, arbustos, plantas trepadoras y hasta árboles, de manera que más tarde el zanjón, completamente estabilizado por la vegetación, puede utilizarse como tierra de pastoreo o como bosque. No pueden sembrarse en él cultivos que exijan escardas, ni aplicar ninguna práctica que debilite sus defensas contra la erosión.

Si tiene que circular agua a lo largo del zanjón se deben establecer gramas, las cuales ofrecen las ventajas de resistir el flujo del agua a velocidades apreciables y de permitir el paso de maquinaria agrícola.

Cuando el ganado pastoree debe tenerse el mayor cuidado en evitar cualquier exceso que exponga el suelo a la erosión.

Al sembrar un zanjón debe cercarse éste de manera que no haya posibilidad de que el ganado penetre en él antes de estar bien establecida la vegetación. Esta es una precaución muy importante que no debe omitirse.

La cerca debe tenderse a una distancia de los bordes del zanjón, de manera que no quede terreno no consolidado en las extremidades de la misma. Entre la cerca y el borde más cercano del zanjón debe haber por lo menos una distancia de tres veces la altura del zanjón.

PASTOS EN ZANJONES

Los pastos pueden propagarse por semilla o trasplantando cespedones. En el primer sistema es conveniente utilizar una mezcla de leguminosas y gramíneas que se tenga la seguridad de que están bien adaptadas a la zona y que crecen con rapidez. Como el terreno dentro del zanjón es casi siempre de baja fertilidad, deberán aplicarse cantidades liberales de abono de establo o fertilizantes. Entre las especies de pastos que con más frecuencia se utilizan para este fin, se destacan el pasto azul (*Dactylis glomerata*), el pasto Bermuda (*Cynodon dactylon*), el pasto kikuyo (*Penisetum clandestinum*) y el pasto gordura (*Melinis minutiflora*). Entre las leguminosas, el kudzu (*Pueraria* Sp.) y diferentes especies de lepedezas se han mostrado muy efectivos en la protección de cárcavas.

Cuando el zanjón es de tamaño pequeño y está localizado en medio de terrenos de cultivo, debe ararse con el objeto de suavizar sus taludes y transformarlo así en un canal ancho que reduzca la concentración del agua; luego se aplica un fertilizante o abono y se siembra la semilla al voleo o en surcos. En el primer sistema es conveniente pasar después de la siembra un rastrillo liviano que entierre ligeramente las semillas y luego un rodillo que compacte un poco el suelo.

Si las semillas se siembran en surcos, éstos deben disponerse en forma transversal a la dirección del zanjón. En muchos casos los pastos sembrados deben cubrir una zona de varios metros a lado y lado de los taludes de la cárcava y los límites del área sembrada deben seguir una línea irregular para evitar la formación de nuevas cárcavas a lo largo de esos límites.

Como en las primeras semanas de crecimiento las plantitas son poco resistentes, debe evitarse que durante ese lapso corra agua por el zanjón. Además del canal de desviación que se haya construido, es aconsejable levantar un dique temporal de tierra que aisle completamente el zanjón del resto de la vertiente.

PROPAGACION POR CESPEDONES

En caso de que se desee cubrir el zanjón con prontitud, pueden utilizarse cespedones; como el sistema es costoso, en muchos casos resulta impracticable en cárcavas de gran tamaño y entonces tiene que usarse tan sólo en las secciones más críticas, por ejemplo en los taludes por donde llegan chorros o corrientes de agua al zanjón. En ocasiones los cespedones pueden remplazar con éxito estructuras mecánicas mucho más costosas construidas de ladrillo o cemento.

Hay tres métodos de trasplantar cespedones. En el primero se cortan fajas de unos 30 a 50 cm de ancho, 3 m de longitud y 5 cm de espesor y se colocan en forma de cubierta continua en el lugar de la siembra, disponiendo las fajas en forma transversal a la dirección en

que fluye el agua. Si hay peligro de que ocurran escorrentías fuertes antes de que los cespedones hayan prendido, deben fijarse al suelo por medio de estacas. Si se procede con cuidado en la colocación de las fajas, en muy poco tiempo se tendrá una cobertura muy resistente al flujo del agua.

El segundo método consiste en trasplantar fajas de las dimensiones señaladas, colocándolas en forma transversal a la pendiente y a intervalos horizontales de 1 a 2 m; en los espacios entre las fajas se pueden sembrar semillas. Este sistema es muy efectivo como control inmediato, en zanjones de pequeño tamaño y con poco desnivel.

El tercer sistema es el menos costoso. Consiste en pasar un rastrillo de discos sobre el área de donde se arrancará el material, hasta que el pasto quede cortado en pedazos pequeños y mezclados con el suelo; luego se transporta esta mezcla de suelo y pasto, se riega en una capa de 5 a 10 cm de espesor sobre el área que desea cubrirse y se pasa un rastrillo hasta que el material se incorpore. En esa forma el pasto crece con rapidez y vigor. Al utilizar cualquiera de los tres sistemas, debe tenerse el mayor cuidado en no provocar erosión en el sitio de donde se tome el material vegetal. En terrenos pendientes es necesario dejar siempre fajas del pasto original sin tocar, orientadas en contorno.

PROTECCION DE LA PARTE ALTA DE UNA CARCAVA

El extremo superior del zanjón es generalmente el sitio en donde se concentra el agua que llega a éste.

Para protegerlo es efectivo el trasplante de cespedones de cualquier grama de crecimiento denso. Se suaviza el talud hasta una pendiente de 3 a 1 ó menos, y se colocan los cespedones en forma de cubierta continua. Si se tiene cuidado en darle una buena anchura a la zona protegida por donde el agua penetra en el zanjón, se logra, por lo general, estabilizar la parte alta o "cabeza" de la cárcava.

MEDIDAS DE CARACTER MECANICO

Como ya se puntualizó, las estructuras se utilizan en los zanjones o cárcavas con el objeto principal de facilitar el establecimiento de vegetación permanente o de defender puntos críticos en donde no cabe ningún otro sistema de protección menos costosa. Generalmente no se construyen sino en cárcavas por las cuales circulan grandes cantidades de agua, o sean cárcavas medianas o profundas con vertientes medianas o grandes.

Las estructuras que más ampliamente se usan son las represas, las cuales cuando son temporales o transitorias se construyen con objeto de retener y acumular algunas cantidades de suelo y de humedad que permitan el crecimiento de la vegetación. Cuando se han construido

canales de desviación que impiden la concentración de grandes cantidades de escorrentía, la construcción de las represas puede simplificarse mucho, toda vez que no tendrán que actuar sino en el control de las pequeñas porciones de escorrentía que se originan en el área por debajo del canal. Siempre se prefieren represas con altura total inferior a 50 cm y altura efectiva (o sea distancia del fondo del zanjón a la cresta de la boquilla de la estructura) de 25 a 30 cm, localizadas a intervalos regulares dentro de la cárcava. Las represas deben construirse de manera que se incrusten bien en el fondo y en los lados del zanjón para evitar que el agua cause erosión debajo o en los extremos laterales de ellas. Además, tienen que construirse con una boquilla de suficiente tamaño para que deje pasar las mayores escorrentías que pueden llegarle en un lapso de vida de cinco años, procurando siempre que su anchura sea varias veces mayor que su profundidad, para reducir la concentración del agua. La escorrentía crítica del área puede calcularse según se explicó en el Capítulo 6, (cálculo de la escorrentía crítica). En el Cuadro 46 se dan varias alturas y anchuras de boquillas que pueden hacerse cargo de diferentes volúmenes de agua; deben preferirse alturas bajas.

Los materiales con los cuales se construyen generalmente las represas transitorias son: piedras sueltas, malla de alambre, tallos y hojas de plantas leñosas y madera (5).

CUADRO No. 46. Descarga aproximada de boquillas rectangulares en represas de contención.

Altura de la boquilla centímetros	LONGITUD DE LA BOQUILLA Metros								
	0,60	1,20	1,80	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	6,00
	Descarga, metros cúbicos por segundo								
30	0,2	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,6
45	0,3	0,7	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,6	3,0
60	0,5	1,0	1,5	2,0	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6
75	0,7	1,4	2,1	2,8	3,6	4,3	5,0	5,7	6,4
90	0,9	1,9	2,8	3,7	4,7	5,6	6,5	7,4	8,4
105	1,2	2,3	3,5	4,7	5,9	7,0	8,2	9,4	10,5
120	1,4	2,9	4,3	5,1	7,2	8,6	10,0	11,4	12,9
135	1,7	3,4	5,1	6,8	8,6	10,3	12,0	13,7	15,4
150	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0

REPRESAS DE PIEDRAS SUELTAS

Las piedras sueltas se prefieren cuando abunda ese material en el área y el desnivel o pendiente del zanjón es moderado. La represa, si

se construye con cuidado, puede trabajar por un tiempo bastante largo, ya que las piedras no se descomponen por la acción del agua. Por otra parte, su peso asegura un contacto estrecho entre la estructura y el fondo del zanjón. Cuando las piedras que deben usarse no son planas, se acomodan dentro de una malla de alambre, procurando que queden muy pocos espacios libres entre ellas. Se comienza por cavar una zanja de 30 cm de profundidad por la línea por donde va a ir la represa, la cual se rellena de piedras de manera que se establezca el máximo contacto entre las mismas, y se continúa colocando material hasta la altura requerida, teniendo cuidado en dejar más baja el área central para que actúe como boquilla.

El fondo del zanjón, del lado de la represa que mira hacia abajo de la corriente, se cubre de piedras muy bien ajustadas en una extensión de 1 m, de manera que formen una placa que proteja esa área del golpe de la cascada de agua que se forma sobre la boquilla. En la Fig. 127 se dan los detalles de construcción.

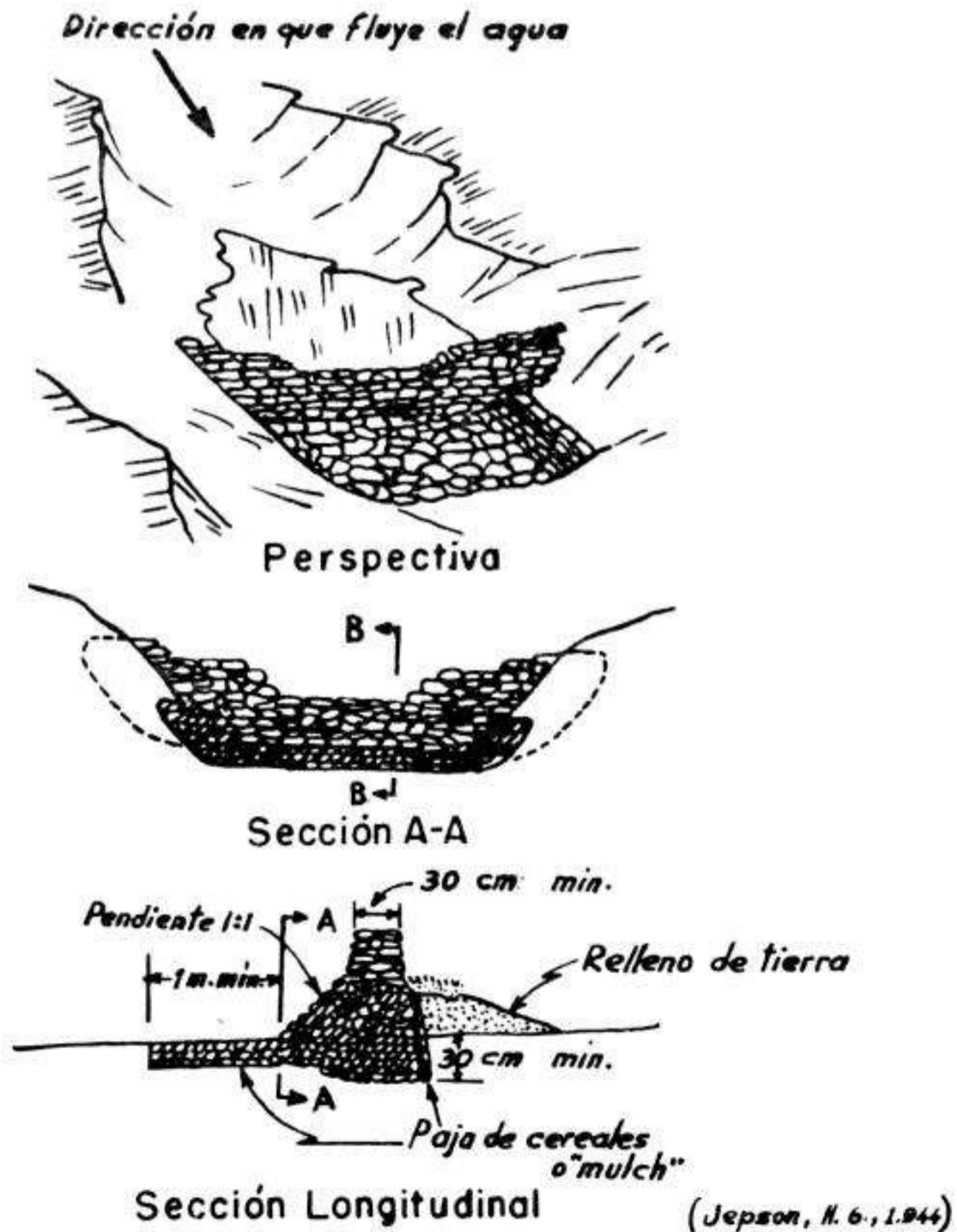


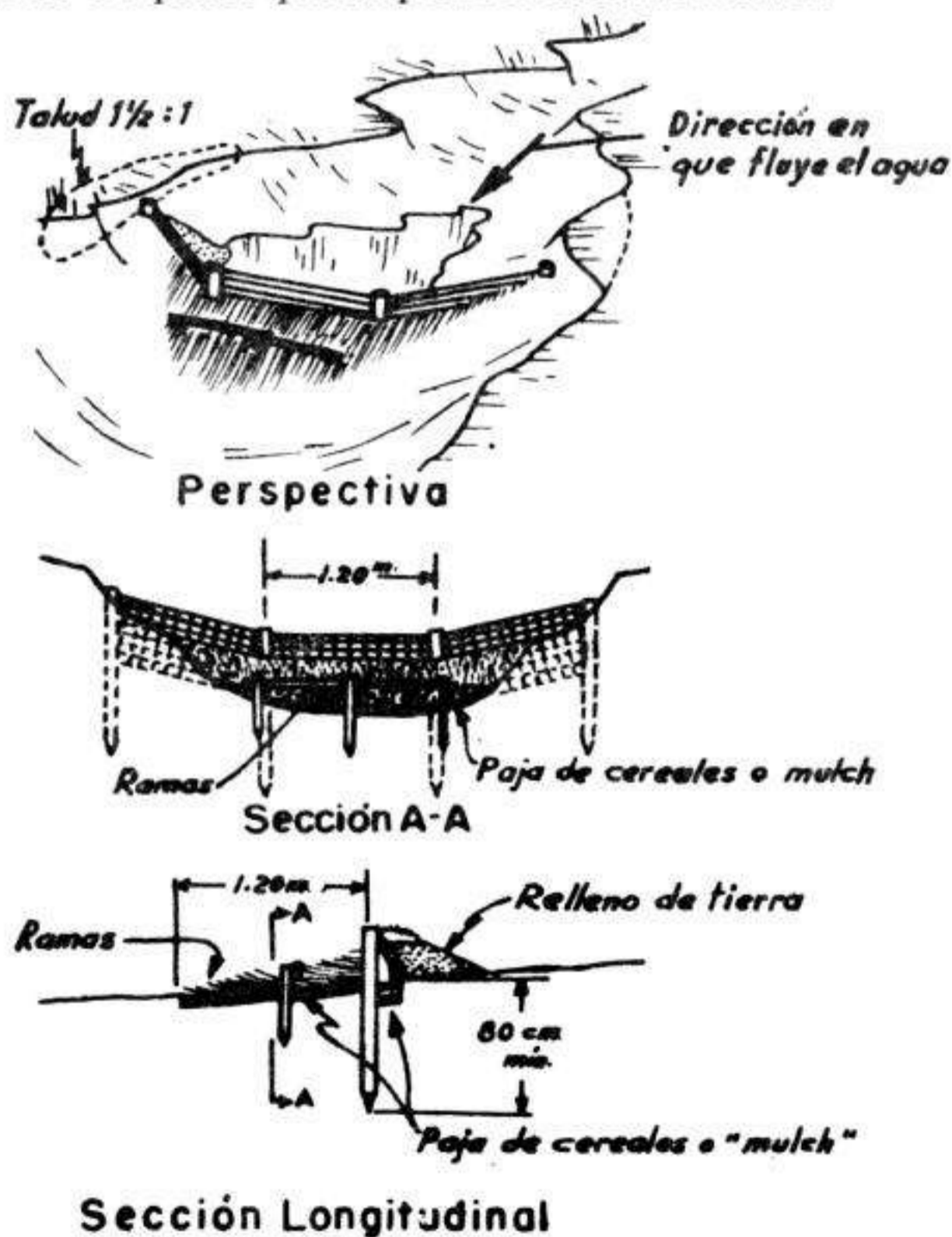
Fig. 127. Represa de piedras sueltas.

REPRESAS DE MALLA DE ALAMBRE

Estas represas son fáciles de construir y se adaptan a zanjonos de todas las formas y tamaños. Por la flexibilidad del material es posible darles una forma de media luna, la cual asegura una mejor defensa de los lados de la estructura y facilita la hechura de boquillas de buena capacidad.

Para construirlas se comienza por enterrar una serie de postes a 1,20 m de distancia y a 80 cm de profundidad, por la línea por donde va a ir la represa, teniendo cuidado de que queden dos postes limitando el centro de la cárcava, para que los mismos formen la parte central de la boquilla.

Luego se cava una zanja de 15 cm de profundidad de igual ancho, por la parte alta y a todo lo largo de la línea de postes y se coloca malla de alambre grueso con su parte inferior enterrada en la zanja y asegurada firmemente a los postes, procurando que la parte central que va a servir de boquilla quede perfectamente a nivel.



(Jepson, U.S., 1966)

Fig. 128. Represa de malla de alambre.

Para proteger el fondo del canal, del lado de la represa que mira hacia abajo de la corriente, pueden utilizarse piedras si son fáciles de conseguir, cespedones o ramas de plantas leñosas. En caso de que se utilice este último material, debe amarrarse bien a la propia malla procurando que quede dispuesto en tal forma que no sea arrastrado por el agua. Contra la malla, y por el lado que mira hacia arriba de la corriente, se deben colocar ramas hasta la altura de la boquilla, y luego hacer un relleno de tierra que forme un terraplén con pendiente no menor de 2:1 (Fig. 128).

REPRESAS DE TALLOS Y HOJAS DE PLANTAS LEÑOSAS

Son las más baratas y fáciles de construir y se adaptan especialmente a zanjones pequeños (Fig. 129). Se comienza por cubrir con una capa delgada de paja u otro material fino el fondo y los lados de la cárcava en una extensión de 3 a 5 m desde el sitio en donde va a quedar la estructura; luego se extienden capas densas de los tallos leñosos que haya disponibles, colocados de manera que sus extremos más gruesos queden mirando hacia arriba de la corriente, hasta que alcancen un espesor igual a la mitad de la altura que quiera dársele a la represa. Luego se clavan parcialmente varias hileras de estacas transversales a la dirección de las cárcavas, distanciadas de 40 a 60 cm, se termina de colocar el material de ramas leñosas y se amarra a las estacas, en sentido transversal, alambre grueso galvanizado; por último se acaban de enterrar las estacas para que el alambre comprima y mantenga en su lugar el material vegetal (Fig. 129).

REPRESAS DE MADERA

En algunas zonas en donde abundan maderas de diversa clase resulta económico utilizar este material en la construcción de represas, especialmente en zanjones de tamaño grande.

Se procede así: se clavan postes a lo largo de la línea por donde va a ir la represa, a una profundidad de 80 a 90 cm y distanciados 1 m, cuidando que, como en el caso de la represa de malla, quede en el centro el intervalo para la boquilla. Luego se cava una zanja de 30 cm de profundidad por el pie de las estacas, en el lado que mira hacia arriba de la corriente, en la cual se hace encajar la placa de madera, que en el caso de utilizar tablones puede llevarse ya construída al campo. En el caso de emplear guadua o bambú, material que abunda en algunas zonas tropicales, con los tallos de esas plantas se forma una especie de empalizada enterrándolos a 80 cm o 1 m y dejando en el centro la boquilla que se haya calculado. Dos o tres vigas transversales le dan la resistencia necesaria a la estructura. Para proteger la zona del zanjón hacia abajo de la corriente, se construye un delantal

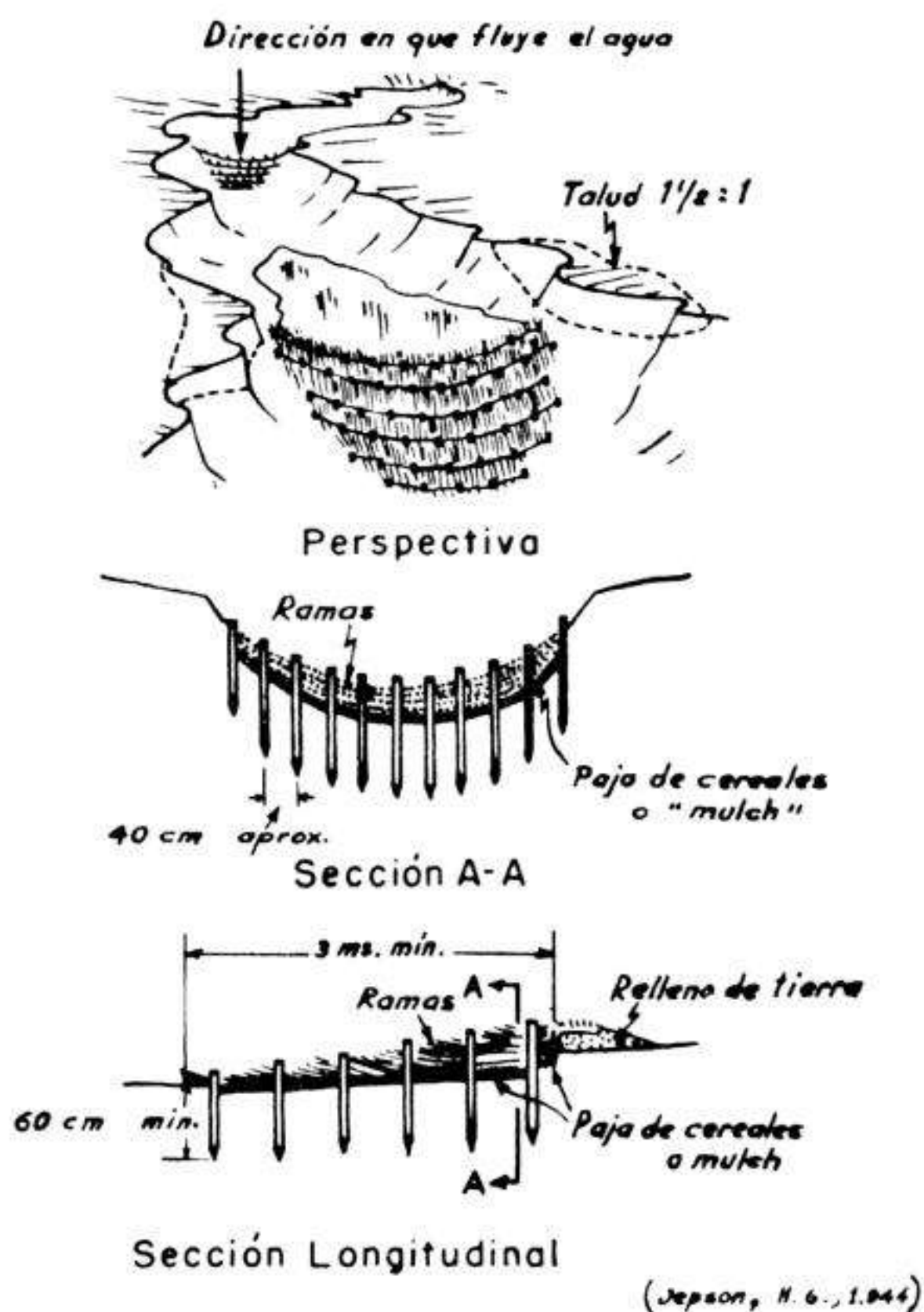


Fig. 129. Represa de tallos y hojas de plantas leñosas.

de piedra, de bambú o de cespedón, en la forma como ya se explicó. Hacia arriba de la corriente se hace un relleno hasta el borde de la represa, que forme un terraplén con pendiente no mayor de 2:1.

ESTRUCTURAS PERMANENTES PARA PROTEGER ZANJONES

En algunos casos, por el tamaño del zanjón y de su área de drenaje, es necesario construir represas de ladrillo, de hormigón o de tierra que ofrezcan protección permanente a la cárcava.

En estos casos lo más prudente es buscar la asesoría de un ingeniero con experiencia en esta clase de obras, pues son muchos los daños que pueden causarse y el dinero que puede perderse por el deficiente funcionamiento de estructuras rígidas, permanentes y costosas, mal calculadas o mal construidas.

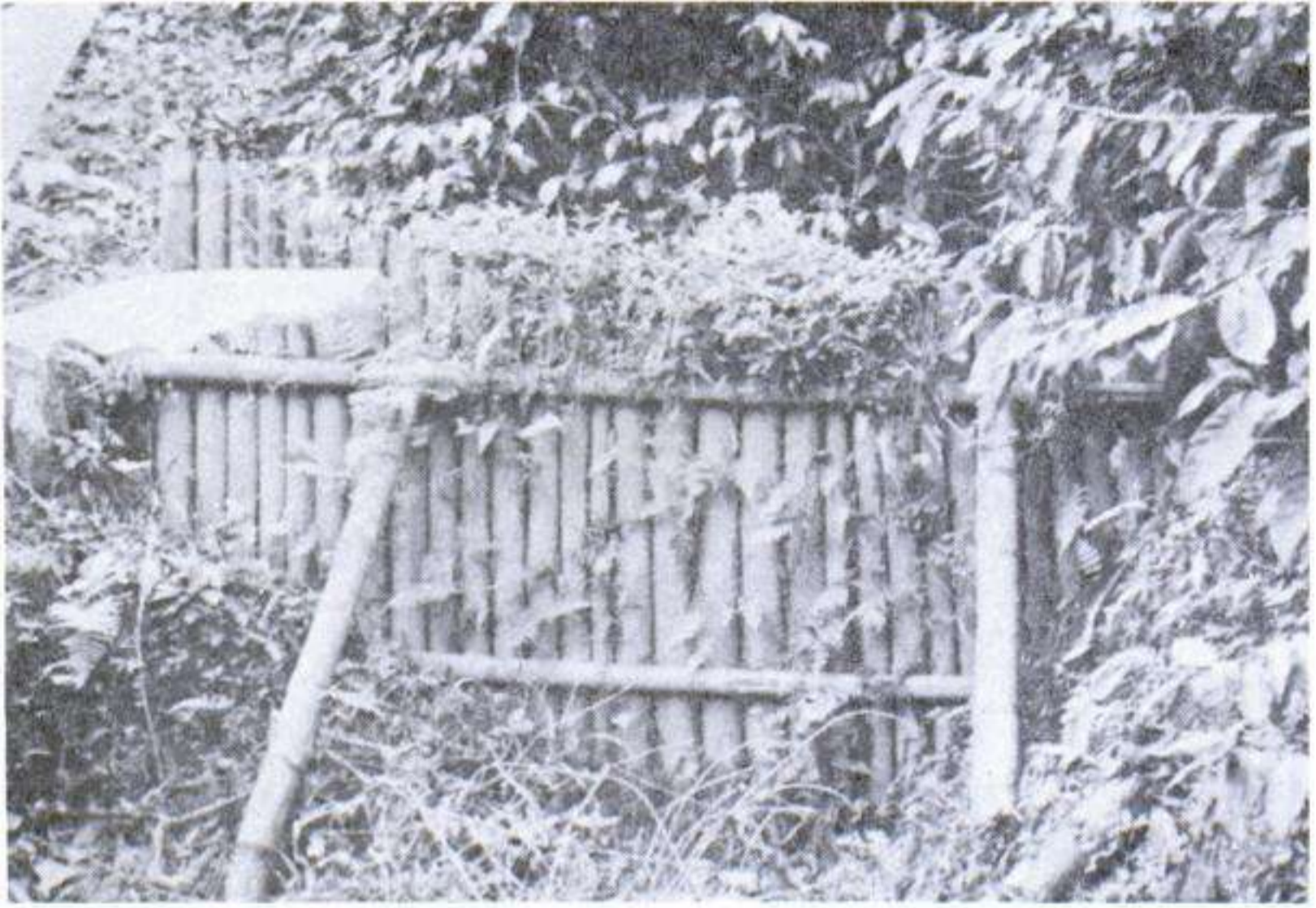


Fig. 130. Represa de guadua (*Guadua angustifolia*) utilizada en el control de una cárcava de regular tamaño.



Fig. 131. Cárcava en un potrero. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).



Fig. 132. La cárcava que se presenta en la figura 131, después de haber sido controlada mediante el uso de represas temporales, las cuales aún pueden distinguirse. El zanjón está sembrado con una mezcla de gramíneas y de leguminosas, y ya se está utilizando para pastoreo. (Foto del U.S.D.A., Soil Conservation Service).

CONTROL DE LA EROSION EN LAS RIBERAS DE LOS RIOS

INTRODUCCION

Con gran frecuencia ocurren erosiones de diverso grado en las riberas de las corrientes de agua. En algunos casos los daños pueden llegar a ser muy graves por la destrucción de terrenos agrícolas aluviales los cuales en general son muy fértiles, lo mismo que por la destrucción de carreteras, ferrocarriles y casas de vivienda cercanos a ríos o quebradas.

La estabilidad del material que forma las orillas, lo mismo que la cantidad y clase de vegetación que en ellas crezca y la velocidad del flujo, influyen directamente sobre los riesgos de erosión. Cuando el terreno aledaño a la corriente de agua es de naturaleza arenosa o contiene porciones grandes de cascajos y gravas ofrece muy poca



Fig. 133. La erosión en las riberas de los ríos puede causar daños graves a carreteras, ferrocarriles y casas de habitación. (Foto G. Combariza).

resistencia a la acción abrasiva de la corriente y la erosión puede llegar hasta grados muy avanzados, máxime si se ha destruido la vegetación que crecía en los taludes.

PROTECCION DE LAS ORILLAS DE LOS RIOS Y QUEBRADAS

Es muy difícil establecer reglas generales precisas sobre las obras de defensa que deben ejecutarse, pues varían mucho los factores que deben tenerse en cuenta. En todo caso, la finalidad que debe perseguirse es la de estabilizar las orillas mediante el establecimiento de vegetación. Para ello es necesario recurrir en ocasiones a sistemas mecánicos para proteger los árboles o arbustos en tanto que crecen o para facilitar la formación de un substrato adecuado para su desarrollo.

Antes de intentar cualquier sistema de defensa, conviene formarse una idea completa de las características de la corriente de agua, averiguando la forma como se haya comportado en años anteriores. Estos datos pueden obtenerse por medio de residentes antiguos de la zona u observando los restos que hayan quedado en las zonas aledañas. Asimismo, debe evitarse recurrir a medidas que cambien muy brusca-mente el cauce natural del agua y examinar cuidadosamente la influencia que puede tener cualquier sistema de defensa sobre el comportamiento de la corriente en la zona más baja al sitio en donde se establezcan las estructuras.

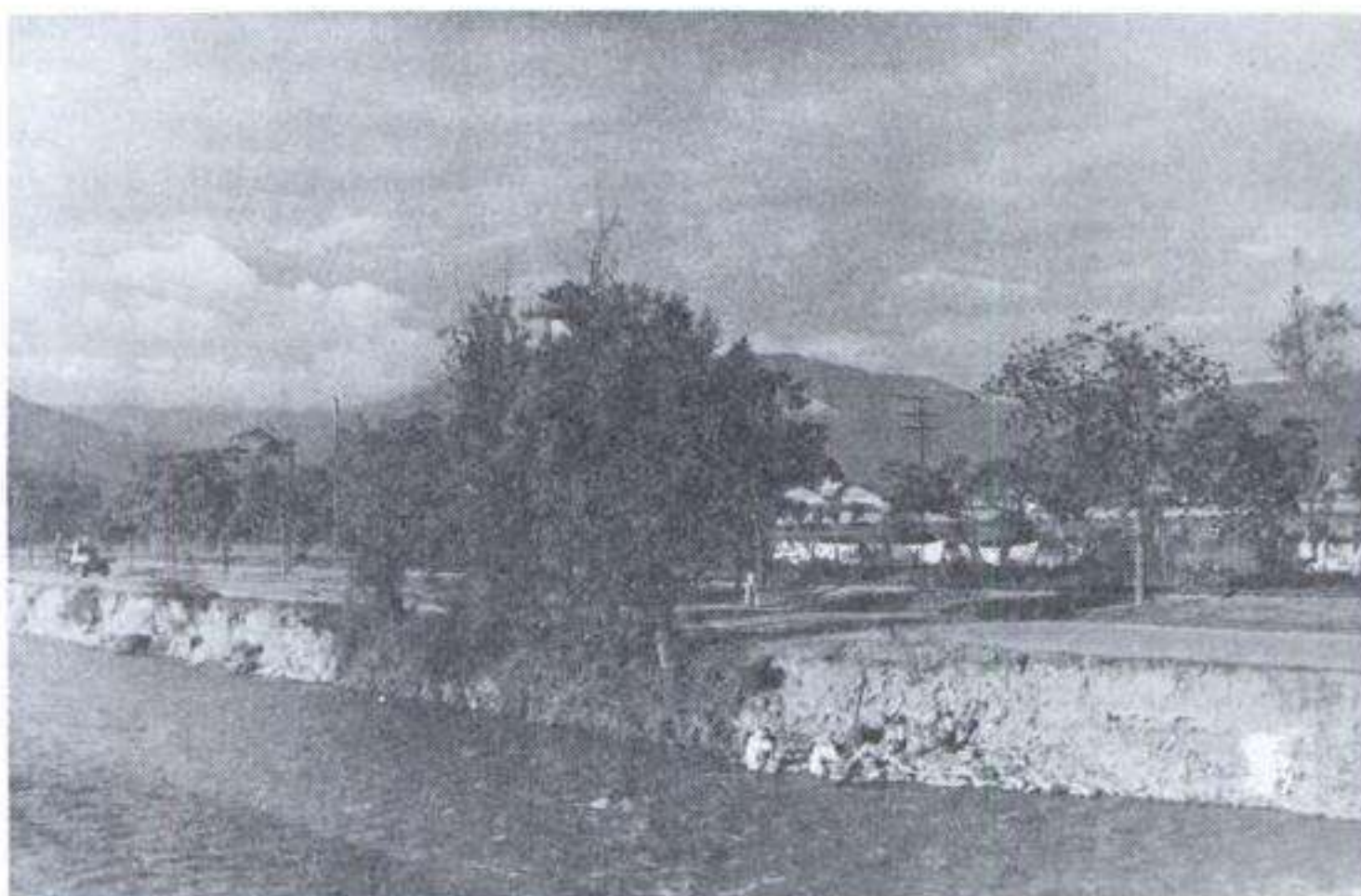


Fig. 134. La vegetación es la mejor defensa de las orillas de un río. Obsérvese que donde no se ha tocado no se ha producido erosión. (Foto R. Salcedo).

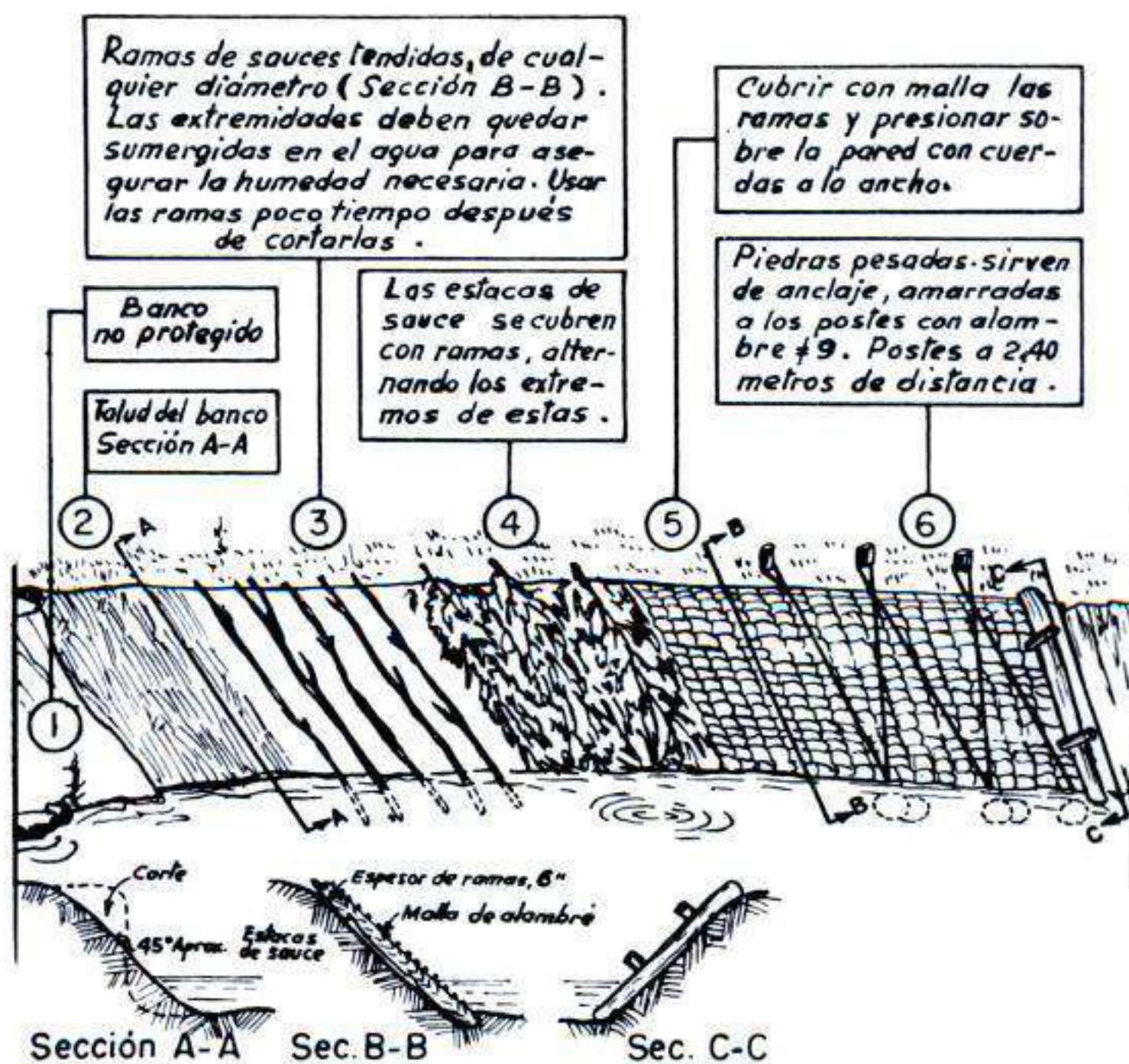


Fig. 135. Emparrillado de estacas de sauce.

El método más eficaz de defensa contra la erosión en un tramo de un río es el de cubrir por completo toda la zona que desea protegerse. Es, sin embargo, el más costoso hasta el punto de ser en muchos casos, impracticable. Se acepta que cuando el radio de la curva es menor de 60 m este sistema está justificado.

La cubierta más económica es la vegetación. En el caso de corrientes pequeñas basta establecer una buena cobertura de gramas sobre los taludes o sembrar densamente sauces, cortándolos con frecuencia, sin dejar que sobrepasen los 10 cm de diámetro. Cuando la corriente carcome la parte inferior del talud y esta parte se encuentra bajo el agua, se debe cubrir la base del talud con piedras de manera que protejan la pared de la acción abrasiva del agua. En todos los casos en que se desee usar este sistema debe procederse en primer lugar a suavizar los taludes.

CONSTRUCCION DE ESTERILLADOS

Se puede también recurrir a la construcción de esterillados o emparrillados de estacas de sauce (*Salix alba*, especialmente) en la siguiente forma: se suaviza el talud erosionado hasta un ángulo de 45° y se colocan, reposando sobre el talud, estacas de sauce de cualquier diámetro, separadas de 30 a 60 cm, a las cuales se les quitan todos los brotes laterales de manera que puedan quedar en toda su longitud en

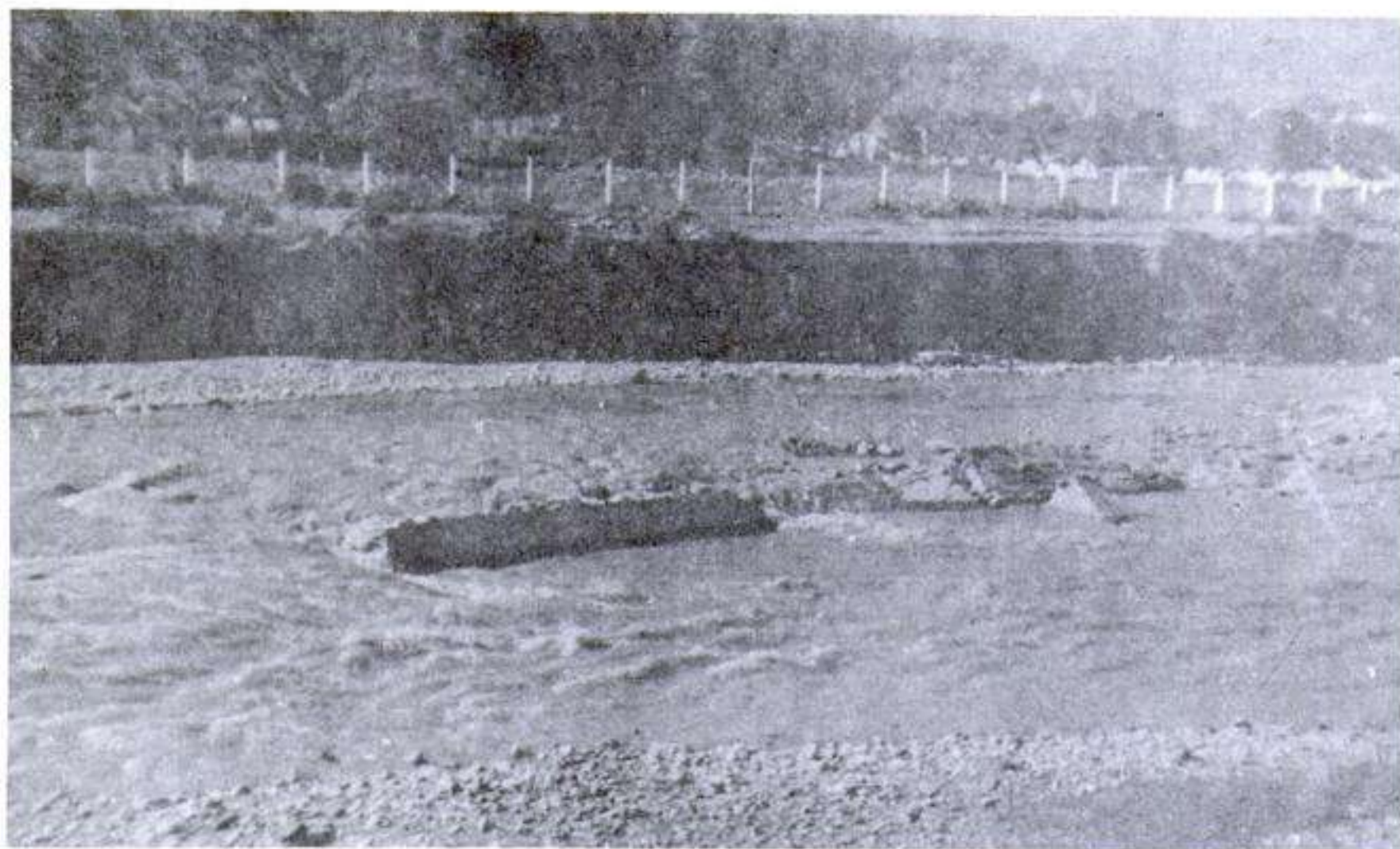


Fig. 136. Los muros de hormigón con frecuencia fallan lastimosamente en el control de la erosión de las riberas de los ríos. Aquí se ven, en el centro de la corriente, los restos de una costosa obra que el río destruyó. (Foto R. Salcedo).

íntimo contacto con el suelo. Los extremos inferiores de las estacas deben quedar sumergidos en el agua. Luego se recubren con ramas de cualquier clase. Cuando el espesor de esta cubierta sea de 20 a 30 cm, se cubre con malla de alambre sujeta en bandas horizontales, amarradas con alambre grueso. Para mantener en su lugar todo este material, se colocan en el borde superior del barranco estacas a distancias de 2 a 2,5 m, se sujetan piedras de mucho peso por medio de alambres gruesos y se dejan caer al agua. En esta forma el emparrillado o esterillado se mantiene en su sitio aun en las épocas de fuertes avalanchas. En la Fig. 135 se dan los detalles de construcción.

Se sale de los límites de este trabajo el describir la forma de establecer cubiertas de hormigón sobre porciones de ríos muy vulnerables o muy valiosas. Sólo se advierte que siempre hay riesgos envueltos en esta clase de obras por su costo y por el peligro de construir defensas demasiado rígidas; por lo tanto, deben diseñarse y construirse por ingenieros competentes.

DIQUES

Cuando el radio de la curva es mayor de 60 m, puede recurrirse a la construcción de diques de madera o de piedra, para lograr la formación de un banco en el cual pueda crecer adecuadamente la vegetación protectora.

Tanto el tipo de los diques como su distanciamiento y tamaño dependen del volumen y velocidad de la corriente del agua y de la misma facilidad en la consecución de materiales. En general se prefieren diques **permeables**, los cuales disminuyen la velocidad del flujo hasta permitir deposiciones de limos, sin ofrecer demasiada resistencia al flujo del agua.

LOCALIZACION DE LOS DIQUES

En la Fig. 137 se indica la forma de localizar los diques en el trayecto que desea protegerse. El dique "A" se localiza en la intersección del centro de la corriente con la pared en la cual se esté ocasionando el daño; el dique "C" se localiza trazando la línea "HB" paralela al flujo de la corriente y que pase por el extremo del dique "A", y midiendo una distancia $BC = BA$; el dique "D" se localiza trazando una recta por los extremos de los diques "A" y "C" hasta la intersección con el talud; en la misma forma se localizan todos los diques que sean necesarios; luego se localiza un dique complementario "O", hacia arriba de la corriente, a una distancia de "A" igual a "AC". Los diques así localizados pueden construirse de madera o de piedra.

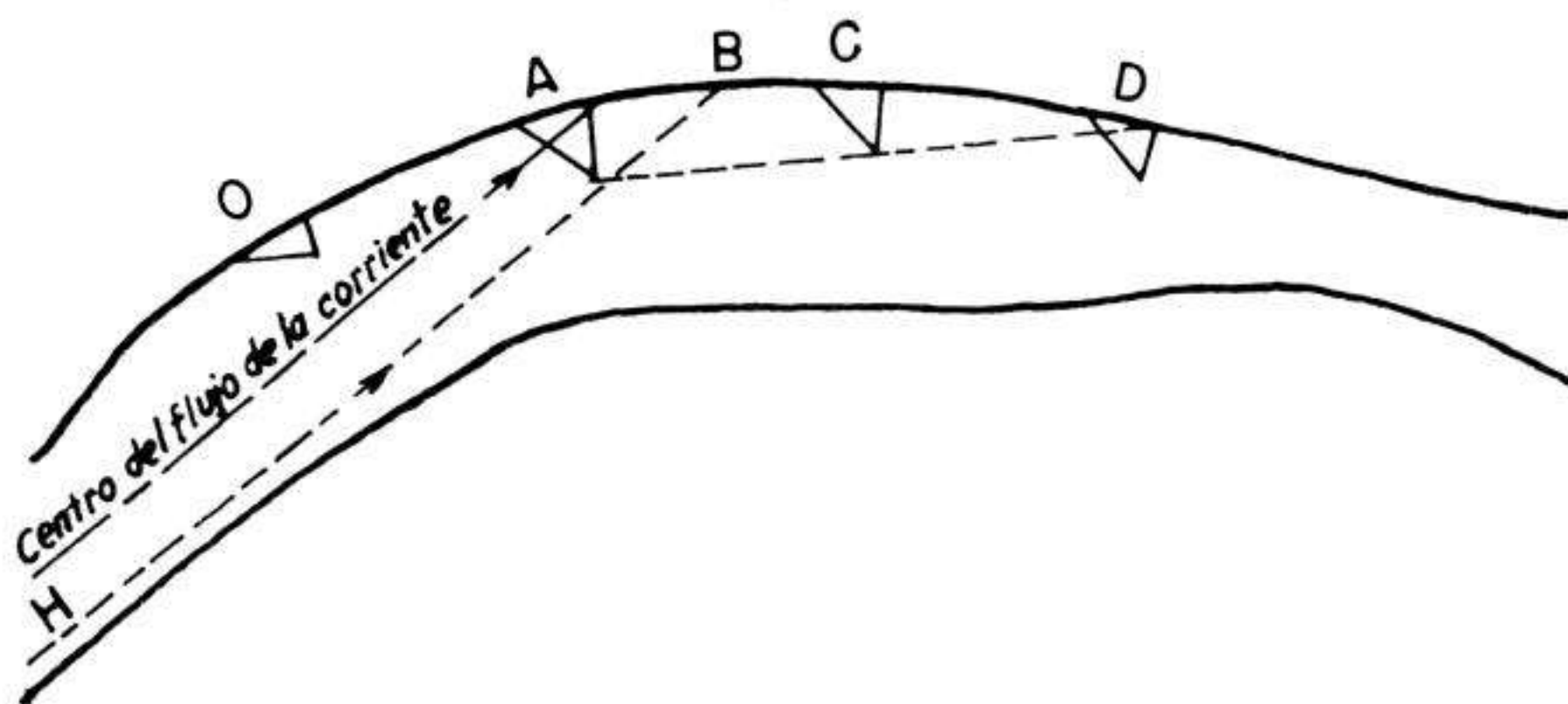


Fig. 137. Localización de diques.

DIQUES DE MADERA

Los diques de madera se establecen en la siguiente forma: 1) se clavan dos postes de más de 20 cm de diámetro hasta una profundidad de 1,5 m, en la parte superior del talud y a 3 m de su borde en la forma como se indica en la Fig. 138; 2) se articulan a uno de ellos dos estacas gruesas amarradas con alambre, de manera que puedan acomodarse a la pendiente del talud y una de ellas quede sobre la corriente del agua; 3) sobre el poste horizontal se colocan ramas de árboles amarradas con alambre grueso; 4) el conjunto se asegura al otro poste enterrado, por medio de cable de 10 mm ($3/8''$) dispuesto en la forma como se indica en la Fig. 138; 5) a continuación del dique, hacia abajo de la corriente, se siembra una doble hilera de estacas de sauce separadas 1 m, de manera que los extremos queden sumergidos en el agua; 6) en la parte superior del talud se siembra alguna vegetación de crecimiento denso, la cual debe protegerse con una cerca. Todos estos detalles se explican gráficamente en la Fig. 138.

DIQUES DE PIEDRA

Los diques de piedra se pueden establecer en forma de cigarros puros envolviendo las rocas en una malla de alambre como se ve en la Fig. 139. Estos diques, sujetos firmemente a la orilla, obran como obstáculos permeables que ocasionan una considerable sedimentación en la orilla protegida. En la Fig. 139 se dan todos los detalles de construcción.

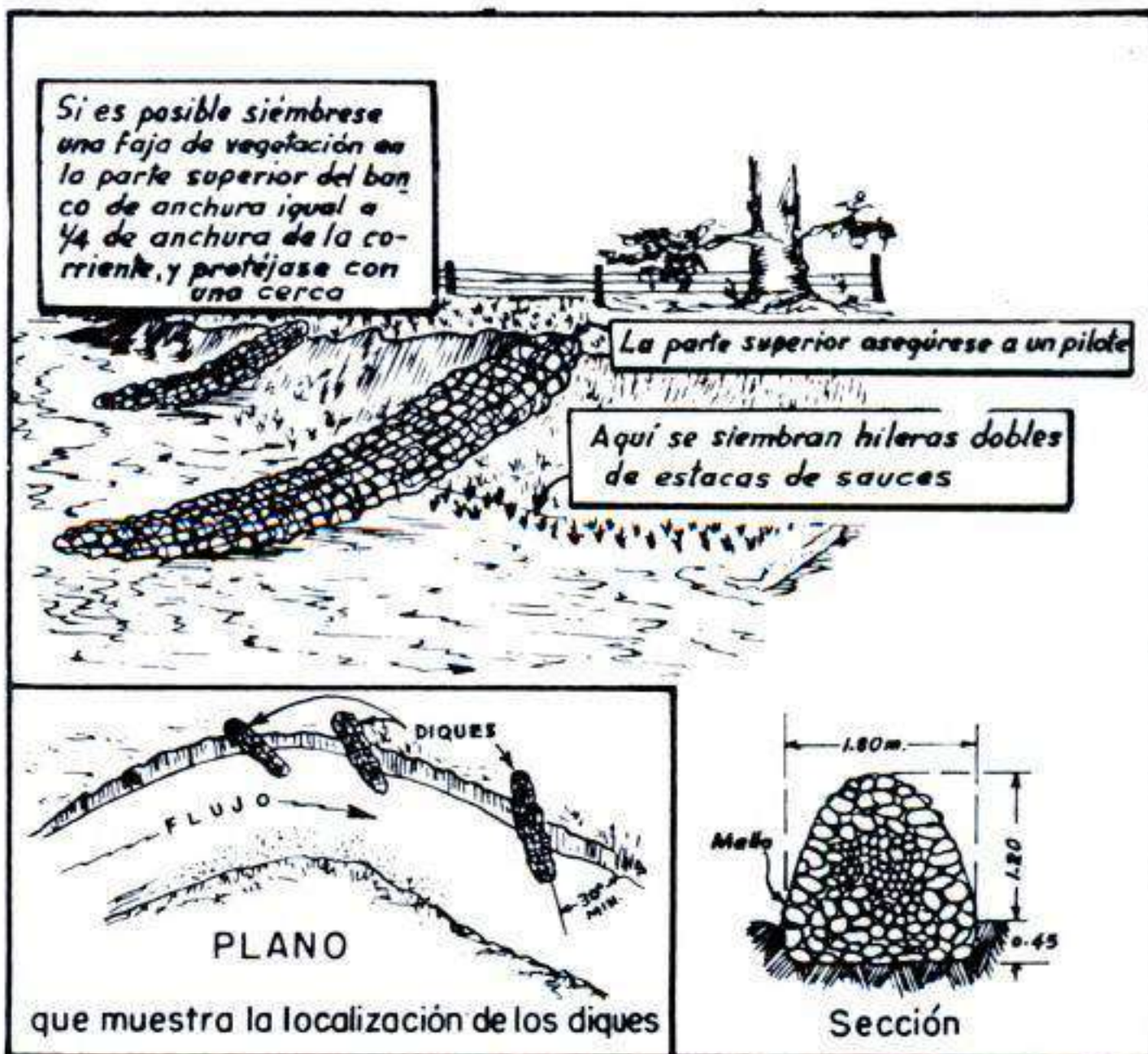
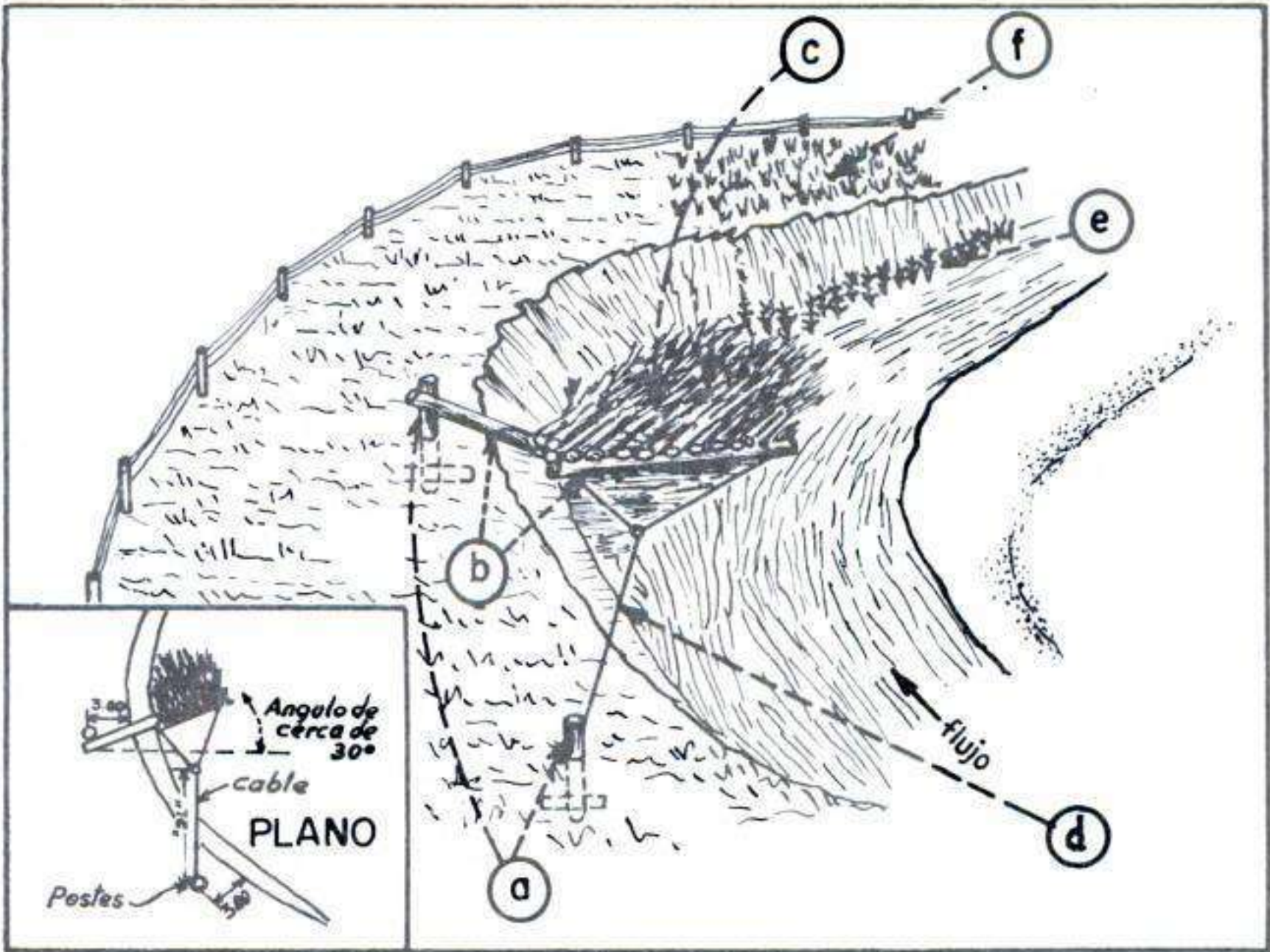


Fig. 139. Diques de piedra.

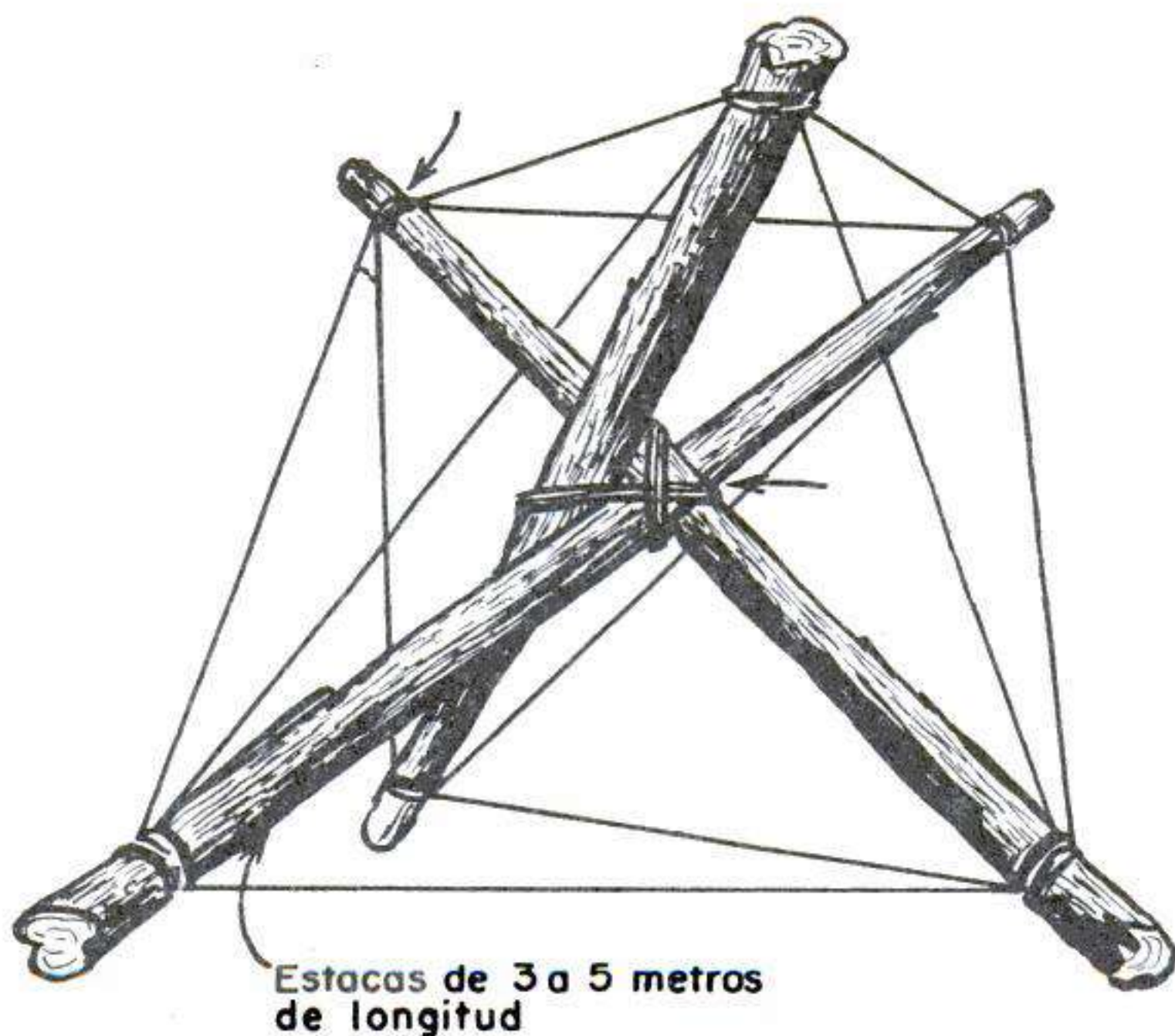


Fig. 140. Macho de madera.

OTRO TIPO DE DIQUES

Otro método fácil de utilizar, recomendable en algunos lugares, es el de colocar hileras de "machos" de madera a lo largo del banco que desea protegerse. Los "machos" se construyen muy fácilmente cruzando y amarrando con alambre grueso tres estacas de 3 a 5 m de longitud, en la forma como se indica en la Fig. 140. Estos "machos" se colocan a lo largo del banco que desea protegerse sin dejar un espacio entre uno y otro mayor que su anchura, de manera que se tenga prácticamente una línea continua de protección y se sostienen en su sitio por medio de piedras pesadas amarradas a sus bases y por medio de un cable de 13 mm a 19 mm ($1/2''$ a $3/4''$) de diámetro que pasa por el centro de todos los artefactos conectándolos en una sola unidad, el cual se asegura a una estaca de 20 a 30 cm de diámetro enterrada más de 1 m y en la forma como se indica en la Fig. 141 (8).

VEGETACION

Como ya se dijo, todo sistema de defensa de la orilla erosionada de un río debe desembocar en el establecimiento de vegetación protec-

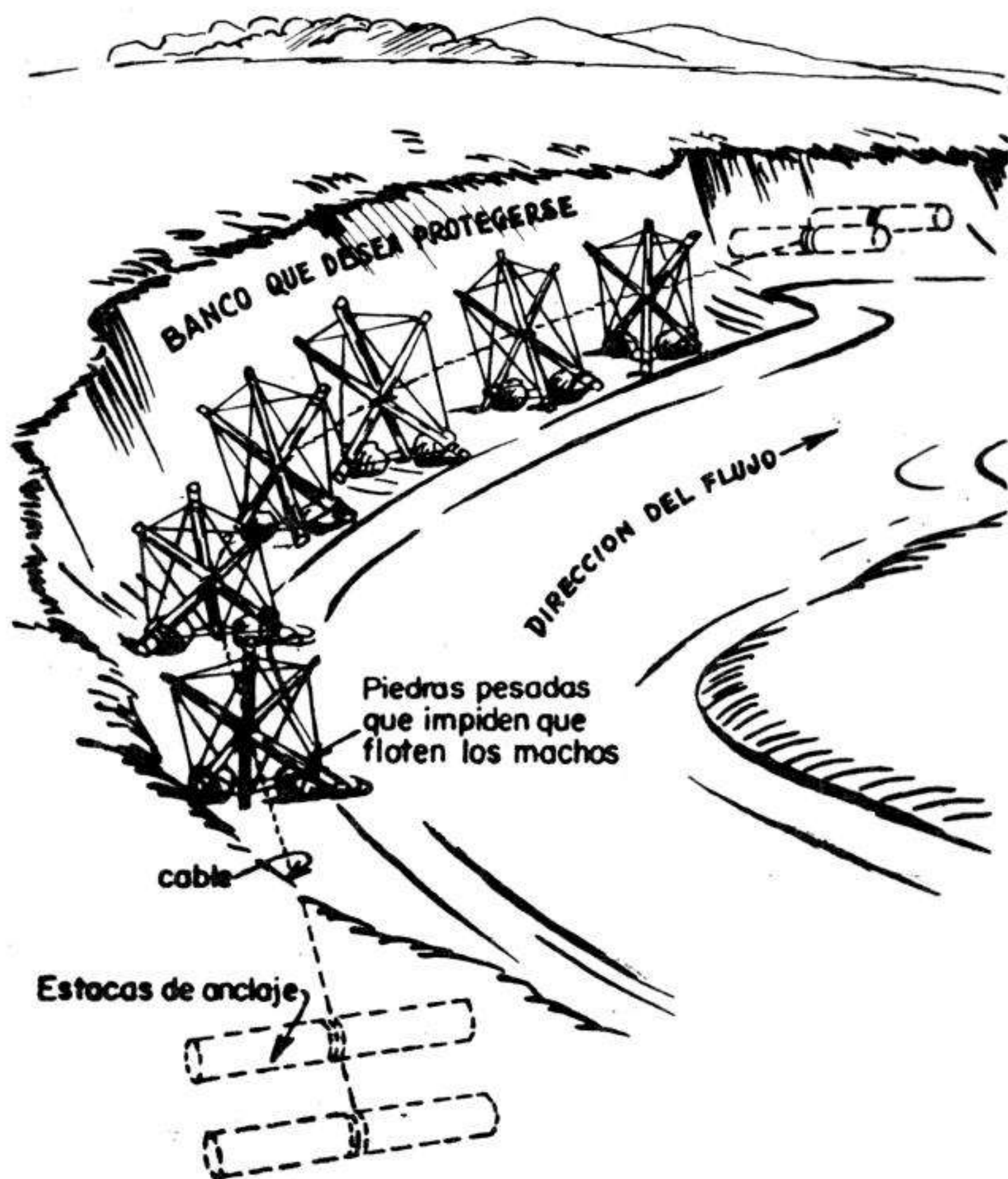


Fig. 141. Forma de colocar los "machos" para proteger una porción de la orilla de un río.

tora. La vegetación debe cubrir tanto la parte superior del talud como su parte basal. En aquélla se establecen árboles y arbustos perennes o plantas pequeñas de crecimiento denso, como el kudzu tropical (*Pueraria javanica*) y el pasto gordura (*Melinis minutiflora*). En la base del talud se deben sembrar arbustos de rápido crecimiento o plantas rastreras o trepadoras precoces de gran fortaleza y vigor. Las siembras deben hacerse tan cerca de la orilla como sea posible y a distancias muy cortas. Es necesario proteger las siembras por espacio de varios años para evitar que el ganado ocasione daños. Deben tam-

bién ejecutarse labores frecuentes de sostenimiento que impidan el excesivo crecimiento de la vegetación. Esto es especialmente importante en relación con los árboles que crecen al pie del talud, los cuales deben cortarse de manera que no sobrepasen un diámetro de 10 cm.

BIBLIOGRAFIA

1. AYRES, C. Q. Soil erosion and its control. New York, McGraw-Hill, 1936. 365 p.
2. BENNETT, H. H. Soil conservation. New York, McGraw-Hill, 1939. pp. 443-476.
3. HAPP, S. C., RITTENHOUSE, G., y DOBSON, G. C. Some principles of accelerated stream and valley sedimentation. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin no. 695. 1940. 134 p.
4. IRELAND, H.A., SHARPE, C. F. S., y EARGLE, D. H. Principles of gully erosion in the Piedmont of South Carolina. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin no. 633. 1939. 142 p.
5. JEPSON, H. G. Prevention and control of gullies. Washington, D.C., U. S. Department of Agriculture. Farmers' Bulletin no. 1813. 1944. 59 p.
6. PRIETO BOLIVAR, J. Estudio de derrumbes y control. Boletín Informativo del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Colombia) 3(30):20-34. 1952.
7. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Engineering handbook, Southeastern Region. Spartanburg, Soil Conservation Service. 1947.
8. ———. Farm planners' engineering handbook for the upper Mississippi Region. Washington, D.C., Soil Conservation Service. Agriculture Handbook no. 57. 1953. p. irr.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. FRANCIS, C. J. How to control a gully. In U.S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture, 1957, Soil. Washington, D.C., 1957. pp. 315-320.
2. HENRARD, A. Travaux de correction de torrents et de glissements de terrains. Bulletin Agricole du Congo 52(6):1217-1250. 1961.
3. MINSHALL, N. E. Evaluation of gully control structures. Agricultural Engineering 36:35-37. 1955.
4. MORON, I. Contrarresto de erosión en cárcavas. Anales, Universidad del Trabajo (Uruguay) 1:51-65. 1961. 19 p.
5. NITTA, S. A New seeding method for steep slopes; Japan produces an original technique for conservation. Unasyuva 16(2):59-62. 1962.
6. PORTER, H. L., y SILBERBERGER, L. F. Streambank stabilization. Journal of Soil and Water Conservation 15:214-216. 1960.
7. WOLMAN, M. G. Factors influencing erosion of a cohesive river bank. American Journal of Science 257:204-216. 1959.

CAPITULO 9

PROGRAMAS NACIONALES DE CONSERVACION DE SUELOS

INTRODUCCION

Como se puso en relieve en el Capítulo 3, la erosión de los suelos no es sólo un problema físico o tecnológico, sino también un problema económico y social, y el éxito de cualquier campaña de conservación presupone un claro conocimiento de las implicaciones económicas de las medidas que se tomen.

Al ponerse bajo cultivo un suelo virgen se comienza a explotar las reservas de nutrimentos y condiciones físicas que se han venido acumulando en él al paso de las centurias. Si se consideran los costos de producción y los precios de los productos en el mercado como valores estables en un plazo largo, al establecer un sistema de explotación del suelo que ocasione su deterioro, el ingreso neto (es decir, el producido por la tierra menos los costos) mermará anualmente hasta llegar a ser cero o un valor negativo. La rapidez de este descenso depende de las condiciones físicas de los terrenos, las cuales ya se examinaron con algún detenimiento. Así pues, cada año se le presenta al agricultor la alternativa de continuar explotando la tierra o de adoptar un sistema de conservación que, manteniendo la productividad del suelo, estabilice su renta.

Su decisión, suponiendo que el agricultor esté capacitado para valorar exactamente todos los factores, depende de la ganancia neta, es decir, el ingreso neto, más cualquier cambio en el valor del capital tierra como resultado de su mejoramiento o de su explotación, que cada uno de los sistemas le ofrezca.

Si el agricultor continúa durante cinco o diez años utilizando las reservas naturales, tanto el ingreso neto como la ganancia, irán descendiendo paulatinamente a una velocidad que dependerá de la reducción en valor que sufre la tierra, la cual a su vez varía con la rapidez con que se destruye la productividad y con el tipo de interés del capital (3).

En la Fig. 142 (adaptada de Bunce) se presentan gráficamente tales conceptos, tomando un caso particular hipotético. La curva CHB representa los ingresos netos en tanto que las curvas CI (I) y CI (II)

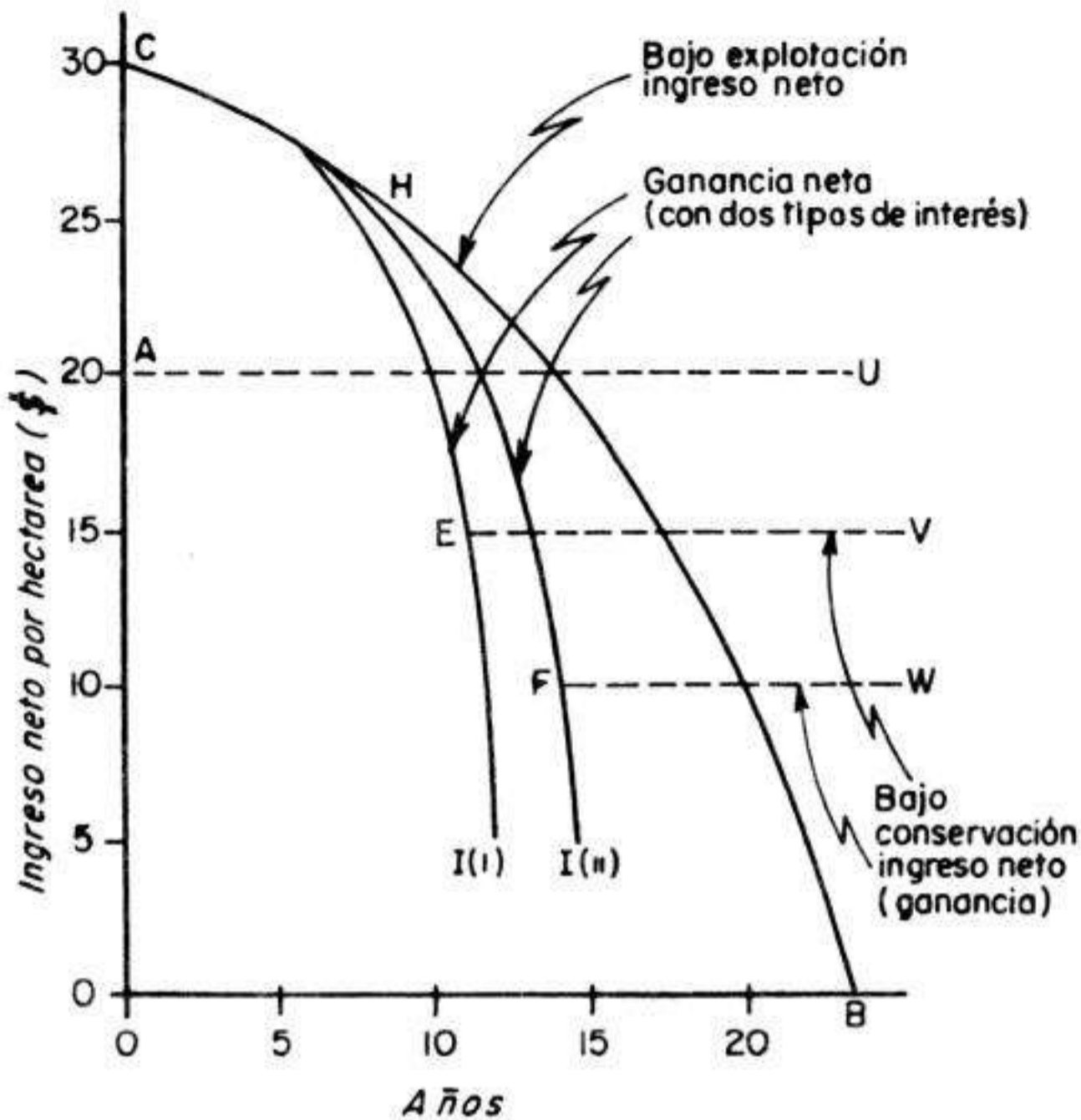


Fig. 142. Gráfico, adaptado de Bunce, en el cual se presenta en forma esquemática el efecto de la explotación y de la conservación sobre los ingresos netos y las ganancias netas.

representan los ingresos netos menos la pérdida en valor del capital tierra, calculadas a dos tipos de interés I (I)–I (II).

Como la renta, o sea el ingreso neto, bajo un sistema de conservación, no puede mantenerse sino cada año a un nivel más bajo, a medida que se destruye la productividad se encuentran una serie de curvas de rentas, paralelas al eje horizontal y cada año más bajas, las cuales representan ingresos netos bajo sistemas de conservación establecidos en diferentes tiempos (líneas AU, EV y FW).

La observación más importante es que tanto la retribución como el ingreso disminuyen permanentemente bajo un sistema de explotación y en forma irremediable pues el proceso no es reversible.

NIVEL ECONOMICO PARA EL INDIVIDUO

¿A qué nivel será económico para el individuo comenzar a conservar sus suelos, bajo estas circunstancias? Sin duda es aquel en el cual al ganancia financiera debida a la explotación iguale la pérdida anual

en renta que resulta de ese sistema; es decir, es económico para el individuo establecer un sistema de conservación cuando el capital perdido en valor de la tierra es igual a la ganancia en ingreso neto resultante de la explotación.

Si la explotación se continúa más allá de este límite, se obtiene una retribución neta menor que la renta que se obtendría al instalar un sistema de conservación. Como es fácil observar, en tal momento **el ingreso** puede ser mayor, lo cual revela la importancia que tiene el deducir las pérdidas del capital tierra; si el agricultor no está enterado de ellas, o puede hacer sufrir sus efectos a otra persona (por ejemplo, en el caso de fincas explotadas en arriendo) continuará agotando las reservas naturales.

La importancia del tipo de interés del capital se aprecia también en la Fig. 142. La rebaja en el tipo de interés anticipa el tiempo en que comienza a ser económico para el individuo el establecer un sistema de conservación. Esto se explica si se considera que, por ejemplo, una renta anual capitalizada al 2,5% representa un capital doble al de la misma renta capitalizada al 5%. Al mismo tiempo, la rebaja en el tipo de interés facilita una inversión mayor en obras de defensa de suelos, todo lo cual indica que con bajos intereses monetarios se disminuye las ventajas comparativas del sistema de explotación sobre el de conservación. Así se explica, en parte, que en países que hasta ahora inician su desarrollo (muchos países latinoamericanos, por ejemplo), en los cuales aún no existe la acumulación de capitales que se presenta en otras naciones que han evolucionado con mayor rapidez y en los cuales, por consiguiente, abundan las tierras de bajo valor y son altos los intereses del dinero, esté en pleno auge el sistema de explotación de la fertilidad acumulada en las tierras (3).

ALGUNOS INTERROGANTES

Conocidos estos principios surgen los siguientes interrogantes:

- a. ¿Podrá el agricultor reconocer el punto en que comienza a ser antieconómico para él continuar su empresa bajo un sistema de explotación?
- b. En caso de reconocerlo, ¿estará capacitado para obrar adecuadamente?
- c. ¿Este nivel de conservación será aceptable económicamente para la sociedad?

Para que la primera pregunta pueda responderse afirmativamente, es necesario que el individuo conozca la reducción sufrida en productividad neta permanente de la tierra y pueda separarla de otros factores que influyen sobre el valor de la tierra; también será necesario que

pueda calcular con un grado aceptable de exactitud cuál va a ser la ganancia con el nuevo sistema de conservación, lo cual presupone un análisis completo de los costos de instalación, de los cambios necesarios en el uso de la tierra y en las labores culturales, de los nuevos requerimientos de trabajo y, por último, de la retribución neta final. Esta información está en general fuera del alcance del agricultor, considerado individualmente, y su obtención cae dentro de la órbita de las funciones del Estado.

Para que el segundo interrogante se responda afirmativamente, el agricultor debe tener la iniciativa y energías necesarias para planear y ejecutar los cambios con oportunidad y la habilidad que lo capacite para manejar el nuevo sistema.

Como es fácil suponer, estas condiciones no las satisface el campesino o agricultor promedio de ninguna parte del mundo. Las pérdidas en valor del capital tierra generalmente permanecen ocultas, pues el aumento de población o la ampliación de los mercados al elevar el valor de los terrenos salda con creces, en muchas ocasiones, la reducción real y así la conservación no aparece sino como una rebaja en el actual ingreso neto anual. Por otra parte, esa pérdida puede ser derivada hacia una persona distinta al operador, como en el caso de un arrendatario con un contrato a corto plazo. En tales circunstancias la ganancia de la explotación se reparte entre el dueño y el arrendatario, pero las pérdidas en el valor de la tierra no las sufre sino el primero, resultando económico para el segundo continuar con un sistema de explotación aun después de sobrepasar en mucho los límites que se fijaron anteriormente.

La situación es aún más crítica cuando el sistema de explotación resulta económico para el individuo, pero no para el conjunto social; eso ocurre frecuentemente al originarse daños en sectores externos a la propia finca, como inundaciones en zonas bajas, sedimentación de ríos y embalses, deterioro de carreteras y vías de drenaje o al reducirse permanentemente hasta niveles bajos la productividad de zonas agrícolas de importancia para el bienestar nacional.

INTERVENCION ESTATAL

En todas esas circunstancias se impone la intervención de los Gobiernos, como representantes de la sociedad, ya que ellos poseen mayor información y mejores bases para predecir el futuro que los individuos, y poseen también medios y recursos más amplios para actuar.

En términos generales, en tres casos se justifica ampliamente que haya una acción social para llevar a cabo la conservación: cuando la conservación no es económica para el individuo, pero es económica para la sociedad; cuando la conservación es económica para el individuo, pero éste no conserva, y cuando los fines intangibles deseados

por la mayoría de los individuos de un país no pueden obtenerse sino por acción colectiva (3).

En el primer caso, se tiene una serie de daños de carácter general los cuales no pueden remediarse sino a través de la acción gubernamental.

En el segundo caso la intervención oficial favorece tanto al individuo como a la sociedad y no habría modo de negar su conveniencia. Sin embargo, en tales circunstancias es indispensable determinar la razón básica que obliga al individuo a continuar un sistema de explotación cuando ni aún para el mismo resulta económica esa alternativa. En el Capítulo 3 se examinan algunas causas de esa paradójica situación (ignorancia de los agricultores, mala distribución de la propiedad, costumbres y hábitos de los campesinos, etc.).

En el tercer caso se trata no ya de problemas que envuelven pérdidas y ganancias financieras individuales, sino de la obtención de fines intangibles de conveniencia social, tales como la preservación de determinado aspecto del paisaje que se considera útil o bello, el mantenimiento de la productividad de los terrenos para que de ella se aprovechen las generaciones futuras, etc; en tales circunstancias el Estado tiene que ejercer una acción reguladora y adoptar normas para lograr que los afectados en sus **intereses económicos** por razón de las medidas que deben tomarse para lograr esas finalidades, reciban una compensación o se vean compelidos legalmente a acomodar sus actividades a esas conveniencias sociales.

FORMAS COMO EL ESTADO PUEDE INTERVENIR EN LA CONSERVACION DE LOS SUELOS

El control social en su sentido más amplio, se refiere a cualquier influencia ejercida por la sociedad sobre el individuo.

Esta influencia puede ser inconsciente o involuntaria, como ocurre con la ejercida a través de las costumbres o de instituciones sociales tradicionales, o consciente y planeada con el ánimo de alcanzar determinados fines específicos. La última forma ha tomado gran incremento en los últimos años, debido a la creciente complejidad de los problemas de las relaciones sociales y a la correlativa necesidad de intervención preponderante del Estado en todos los órdenes de la vida de la comunidad.

En el caso de la conservación, sólo se hará referencia a la intervención planeada. Es evidente que como las causas del problema varían bastante en diferentes regiones, provincias, municipios y aún fincas, los medios que se utilicen para ejercer un control social en escala nacional, deben ser amplios y flexibles, de manera que puedan acomodarse a diferentes circunstancias.

Sin embargo, independientemente de las variaciones locales, la acción social ejercida a través del Estado debe perseguir las siguientes finalidades:

- a. Propiciar condiciones sociales y económicas favorables para la conservación.
- b. Averiguar las características del fenómeno erosivo en cada zona y desarrollar sistemas para combatirlo.
- c. Crear conciencia nacional sobre la importancia del problema para el país.
- d. Educar al agricultor en la utilización de métodos de conservación.
- e. Suministrar ayuda técnica y económica directa al agricultor para la adecuada formulación y correcto desarrollo de un plan de manejo de los terrenos de cada finca.

CONDICIONES SOCIALES Y ECONOMICAS FAVORABLES PARA LA CONSERVACION

En el Capítulo 3 se vio que el primer factor que rompe el equilibrio entre el suelo y el hombre es el exceso de población. Existen algunos países en los cuales la totalidad de sus recursos naturales no es suficiente para asegurar un nivel de vida adecuado a la totalidad de su población. En ellos el problema es muy grave y, en último caso, sólo puede resolverse a través de una organizada emigración masiva que reduzca la población. Sin embargo, no debe perderse de vista que una modificación favorable en el comercio internacional, la incorporación de substanciales mejoramientos tecnológicos a los procesos de producción o simplemente el aprovechamiento dinámico de las relaciones políticas y económicas con otros países, pueden cambiar el equilibrio entre los recursos y la población.

Un caso típico de esta clase es el de Puerto Rico. A pesar de su gran concentración de habitantes por kilómetro cuadrado, que hace algunos años provocaba predicciones pesimistas sobre su futuro, ha logrado colocarse en una posición económica adecuada, aprovechando con gran energía e imaginación las ventajas que se derivan de su condición de "Estado Libre Asociado" de los Estados Unidos. Pero éste es un caso excepcional en la América Latina y como tal debe considerarse.

Lo común y corriente en los países del continente colonizado por los españoles y portugueses es que exista una concentración de la población en ciertos sectores del territorio y una marcada escasez de habitantes en zonas extensas, con condiciones de vida y de trabajo más difíciles. Colombia, por ejemplo, con una extensión de 1,2 millones de kilómetros cuadrados y 20 millones de habitantes, tiene el 90% de su población en el 40% de su territorio. El resto del país,

zonas con más difíciles condiciones de vida, está prácticamente sin poblar.

COLONIZACION

El Estado tiene el deber, en tales condiciones, de propiciar por todos los medios el desplazamiento de la población de las zonas superpobladas a las regiones inhabitadas. Surge entonces como primera necesidad la de estudiar las condiciones de los territorios que aún están por colonizar para saber exactamente cuáles son los factores que dificultan en ellos el establecimiento sólido de masas de población.

No hay que olvidar que en el estado actual de progreso del mundo, son muy escasas las zonas que han dejado de aprovecharse sin que exista una razón importante para ello. Los rigores climáticos, las defectuosas calidades de los suelos, las malas condiciones de salubridad pueden ser algunas de las razones que expliquen el que permanezcan desiertas regiones extensas. Dado el desarrollo actual de las ciencias, es posible resolver esos problemas a través de una acción gubernamental amplia, pero es necesario, ante todo, conocer muy bien sus características en la zona que interese, a través del estudio a fondo de los suelos, del potencial hidráulico, del clima, de la vegetación, de las enfermedades endémicas, etc. Así, pues, antes de pensar en colonizar debe verificarse un examen preliminar detallado de las condiciones predominantes en la zona, de amplitud tal que estaría por encima de las posibilidades individuales el llevarlo a cabo.

Para que pueda apreciarse hasta dónde es esto cierto, se cita a continuación la serie de interrogantes que Binns (2) considera necesario despejar como requisito previo para poder tomar una decisión acertada sobre la colonización de una zona:

- a. ¿Cuál es el promedio de precipitación pluvial anual y cómo está repartida durante el año?
- b. ¿Cuál es la fluctuación media de la temperatura anual y diurna, y en qué forma está repartido este promedio diurno entre las diferentes estaciones?
- c. Si existen variaciones de importancia en la precipitación pluvial y en la temperatura de las distintas épocas del año, ¿en qué condiciones de temperatura cae la mayor parte de la lluvia?
- d. ¿Cuánto dura la temporada de crecimiento de las plantas y en qué épocas del año se produce? Sobre todo, ¿qué relación tiene esto con la caída de las lluvias?
- e. ¿Cuáles son las diferentes altitudes de la zona y qué parte de ésta corresponde a cada una de las divisiones importantes de altura?

- f. ¿Cuáles son las condiciones naturales hidrológicas de superficie de la zona? En particular, ¿existe alguna zona expuesta a graves inundaciones o a otros efectos del avenamiento defectuoso?
- g. Si la precipitación pluvial es de tal naturaleza que hay lugares en donde es imposible o en extremo precario hacer cultivos que dependan directamente de las lluvias, ¿qué perspectivas existen de poder suplir esa acción directa por medio de un desvío o depósito de agua de superficie o mediante el aprovechamiento de aguas subterráneas?
- h. ¿Cuál es la vegetación actual en las diversas altitudes o en las distintas condiciones climáticas de la zona?
- i. ¿Ofrecen los suelos de la zona probabilidades de soportar cultivos permanentes? En particular, si la tierra está actualmente poblada de bosques, ¿se tiene la seguridad de que haciendo desaparecer la vegetación forestal que cubre el suelo, éste será capaz de sostener una vegetación adecuada?
- j. ¿Los defectos naturales del suelo son de tal naturaleza que pueden corregirse con medios artificiales, es decir, mediante el empleo de abonos o enmiendas del suelo o merced a un avenamiento más eficiente?
- k. ¿Está expuesto el suelo a la erosión o lixiviación si se le somete a cultivos permanentes? Si es así, ¿podrá corregirse esta tendencia tomando las precauciones normales?
- l. Si el terreno es forestal, ¿hay zonas que convendría conservar en ese estado, para la explotación comercial para utilizarlas con fines protectores, o para el suministro local de maderas de construcción y para combustible?
- m. ¿Existe alguna zona en la que sería preferible aplicar una política de regeneración forestal que destinarla a la agricultura?
- n. ¿Cuáles son los recursos pesqueros de la zona y hasta qué punto será conveniente tomar medidas especiales para su conservación y explotación?
- ñ. ¿Para qué tipo de agricultura será adecuada la tierra, es decir, para cultivos, arboricultura, cría de ganado, etc.? ¿Cómo deberá ser en cada caso la agricultura, intensiva o extensiva?
- o. ¿Para qué clase de cultivos o de ganado será más a propósito la tierra y qué rendimiento probable puede obtenerse de ella? ¿Hasta qué grado será necesario el barbecho o algún otro sistema de "descanso"?
- p. ¿Existe algún otro inconveniente natural de importancia, que no esté relacionado con el suelo, clima o vegetación, por ejemplo, las enfermedades de hombres o animales, o los riesgos para los colonos, el ganado o los cultivos, debidos a la existencia de animales salvajes o de habitantes hostiles, que puedan obstaculizar el desarrollo agrícola de la zona?
- q. ¿Hasta qué punto serán adecuados las líneas y medios de comunicación existentes para satisfacer las necesidades de los colonos, teniendo en cuen-

ta la facilidad en el traslado de hombres, animales y material a la zona, dentro y fuera de la misma y la posibilidad de distribuir provisiones de todas clases a los colonos y de enviar su producción excedente a los mercados?

- r. El abastecimiento de agua potable, ¿será suficiente para satisfacer las necesidades de hombres y animales? ¿Qué obras deberán hacerse para asegurar que así sea?
- s. ¿Existen zonas en las que la explotación de minerales debe tener preferencia sobre la de la agricultura?

Como puede deducirse de esta lista de interrogantes, son muchos los datos que deben recogerse en una región nueva antes de proceder a establecer colonos.

Una vez sobrepasada esa etapa de estudio, es necesario entrar a formular planes de conjunto, basándose en los datos obtenidos. El tipo de colonia que deba establecerse será lo primero por decidir. Según sean las condiciones de la región podrá dedicarse a la agricultura general, a la cría de ganado, a la producción lechera, al cultivo de árboles, a la horticultura intensiva o a la explotación mixta; hay además necesidad de determinar el área más adecuada para cada una de estas actividades, las especies, variedades o razas de vegetales y animales más aconsejables de implantar, el manejo de ellas, etc.

Además, habrá necesidad de resolverle al futuro colono aquellas necesidades fundamentales que por su propio esfuerzo él no podría resolver, tales como el suministro de créditos cómodos, de maquinaria apropiada amortizable en plazos largos, de semillas, etc.; lo mismo que el establecimiento de servicios fundamentales, que los colonos no podrían establecer por su propia cuenta, como carreteras, escuelas, servicios médicos y de veterinaria, servicios de sanidad pública, correos, telégrafos, policía, servicios meteorológicos, lugares destinados al culto, estaciones experimentales y servicios de extensión agrícola.

Por lo expuesto en los párrafos anteriores se comprende que sólo el Estado está capacitado para tomar a su cargo la organización de estos movimientos de población que disminuyen la presión demográfica sobre sectores del territorio e incorporan a la economía zonas incultas que han permanecido al margen del progreso por presentar problemas cuya solución sobrepasa las capacidades individuales.

Esta modalidad de política de conservación ha sido bastante desatendida por los gobiernos latinoamericanos.

REGULACIONES SOBRE EL USO DE LOS TERRENOS AGRICOLAS

La forma como se usan los terrenos agrícolas ofrece también un amplio campo para la benéfica intervención estatal. No puede ser indiferente para un país el uso que de las tierras hagan los propieta-

rios, pues en muchos casos puede no coincidir, o aún estar en abierta pugna con el interés social.

La clasificación agrológica, que se describe al tratar de la planificación de fincas, debe tratar de aplicarse en escala nacional de manera que las zonas más expuestas a erosión se siembren de bosques o de pastos y las porciones más defendidas naturalmente, se dediquen a la producción de cosechas anuales que exijan escardas periódicas, las cuales someten a los terrenos a los mayores riesgos de erosión.

En muchas ocasiones los propietarios rurales, a pesar de estar capacitados para seguir este sano principio, no lo acatan ni practican por diversas razones.

El deseo de esquivar el pago de prestaciones sociales a los obreros, de no invertir dinero en un negocio que no se conoce (caso frecuente en herederos de grandes fundos rurales), o de ahorrarse las preocupaciones y trabajos inherentes a toda actividad agrícola, lleva a muchos grandes propietarios a subutilizar sus terrenos manteniéndolos con pastos naturales o seminaturales o cubiertos de rastrojo, cuando en ellos podrían producirse cosechas de variada índole. Al mismo tiempo, propietarios de menores posibilidades económicas, localizados en condiciones más desfavorables, como única forma de subsistir someten sus terrenos a una intensidad de uso que sobrepasa su capacidad. Otras veces el deseo de obtener rápido lucro es el que lleva a los propietarios a explotar imprudentemente los terrenos.

La totalidad de los terrenos de una nación constituye parte de su patrimonio que la generación actual tiene en fideicomiso y debe entregar intacto a la generación futura. Es obvia, por lo tanto, la necesidad de una intervención estatal en esta materia, la cual debe tender por una parte a presionar a los propietarios de terrenos subutilizados a aprovechar plenamente la capacidad productiva permanente de ellos, y por otra, a ejercer vigilancia sobre los destructores de recursos naturales.

Para lograrlo se puede recurrir a los siguientes métodos:

- a. Establecer un castigo monetario (en forma de impuesto progresivo directo por ejemplo), a los terrenos subutilizados.
- b. Establecer bonificaciones o exenciones de impuestos a determinadas utilidades de los terrenos con condiciones apropiadas, que se juzguen de interés social (por ejemplo, para sembrar bosques en terrenos de la clase VII).
- c. Recurrir a la directa expropiación de propiedades mal utilizadas.
- d. Establecer castigos para determinadas utilidades que se juzguen socialmente perjudiciales.

No es de la competencia de esta obra juzgar la bondad relativa de estos sistemas, la cual, depende de las características de cada país y región y sólo se mencionan como simples instrumentos de que pueden servirse los Estados, y que en muchos lugares se han utilizado, solos o combinados, con variado éxito.

INTERVENCION SOBRE LOS CONTRATOS DE ARRENDAMIENTO

Como la agricultura por arriendo es una de las fuentes de los más graves casos de erosión, una regulación legal que fije plazos mínimos obligatorios para esos contratos y que fije cláusulas de forzado cumplimiento sobre la intensidad de uso de los terrenos, siempre contribuirá a reprimir la despreocupada actitud de los arrendatarios en relación con los daños que puedan sufrir los suelos de fincas que temporalmente manejan.

REGULACION DE LOS PRECIOS

Por último, la intervención sobre la fijación de los precios de los productos en los mercados, que disminuya la incertidumbre económica en la actividad agrícola y facilite la formación de planes de largo alcance sobre el manejo de las fincas, es un preponderante factor en la racionalización del uso de los suelos. Teniendo el agricultor información anticipada segura sobre el rendimiento relativo de cada alternativa, puede adoptar un mejor criterio para escoger la que más le convenga y a la vez invertir sin temor sumas mayores en la ejecución de prácticas y de obras de conservación cuya amortización no puede lograrse sino en un plazo largo.

El Estado puede contribuir en diversas formas a lograr esa regulación en los precios. En los Estados Unidos se han establecido precios de paridad para diversos productos agrícolas, los cuales aseguran que el agricultor recibirá un determinado valor estable por sus cosechas. El Gobierno, a través de esta amplia intervención, ha sostenido la prosperidad de la población rural, pero a la vez ha interferido demasiado el libre juego de la oferta y la demanda, lo cual ha traído como consecuencia el mantenimiento de precios altos para el consumidor y la consiguiente acumulación de grandes cantidades de productos en graneros oficiales.

Una intervención estatal directa de esta amplitud no es generalmente factible ni conveniente (sin considerar, naturalmente, factores políticos) pero sí es en todos los casos oportuno destruir las barreras que separen al consumidor y al productor para facilitar un contacto más directo entre ellos que siempre redundará en mejores precios para ambos. La construcción de buenos ferrocarriles y carreteras, el establecimiento de tarifas baratas con preferencia para el transporte de

artículos alimenticios, el estímulo a la formación de cooperativas de productores y consumidores, la construcción de depósitos apropiados para el almacenamiento de artículos de difícil conservación, son algunas de las muchas medidas a que pueden recurrir los Gobiernos para asegurar indirectamente una adecuada regulación de los precios en los mercados.

LA REFORMA AGRARIA

No es excepcional el caso, como ya se ha visto anteriormente, de países en los cuales el desajuste fundamental en el sector agrícola, consiste en la subutilización de los terrenos más valiosos, o sea, los localizados cerca de los mayores centros de consumo, de topografía más plana y de mayor fertilidad, y en la correspondiente explotación excesiva de los terrenos peor dotados por su localización, topografía y riqueza natural. Esto ocurre como consecuencia de la concentración excesiva de la propiedad rural en pocas manos. Se crea de esta manera el complejo latifundio-minifundio, el cual desemboca en el desperdicio y en la destrucción de los recursos naturales renovables (4).

La reforma agraria (definida como un cambio en la tenencia de la tierra, organizado y dirigido por el Estado y de tal magnitud que modifique substancialmente su estructura) puede entonces ser aconsejable como iniciación de un proceso ordenado de restauración y mejoramiento de las condiciones económicas del pequeño agricultor (12).

Alrededor de esa redistribución de los derechos sobre la tierra (la cual puede, en ocasiones, no ir acompañada del reparto físico de los terrenos) puede entonces integrarse una política agraria encaminada a asegurar el establecimiento de una agricultura próspera y estable, en la cual cada terreno se use de acuerdo con su capacidad y se trate de acuerdo con sus necesidades (8).

CARACTERISTICAS DEL FENOMENO EROSIVO EN CADA ZONA Y DESARROLLO DE SISTEMAS DE COMBATE

El estudio de los factores físicos, sociales y económicos que influyen sobre la erosión de los suelos, es campo muy propicio para la fructífera intervención del Estado. No puede esperarse que los ciudadanos particulares tomen a su cargo la ejecución de las investigaciones, experimentos y ensayos necesarios para tener un claro conocimiento de las características de la erosión en cada zona y de las maneras de combatirla, pues ello sobrepasa sus capacidades. Compete a los Gobiernos, como vigilantes del bien común, el llevar a cabo esa clase de labores que van sentando las bases para edificar la prosperidad nacional.

En relación con los aspectos físicos las investigaciones necesarias pueden resumirse así:

- a. Características de intensidad, duración y frecuencia de las lluvias.
- b. Características físicas y químicas de los suelos.
- c. Características de la vegetación.
- d. Pérdidas de suelo y agua que ocurren con diferentes aguaceros en las varias clases de suelos que existen en la zona y bajo las coberturas vegetales predominantes.
- e. Relación de los factores de clima, vegetación y suelo con la erosión y la escorrentía.
- f. Efecto de diversas prácticas culturales, agronómicas y mecánicas sobre las pérdidas de suelo y agua.
- g. Efectos económicos de sistemas de conservación (combinación de prácticas).

Las estaciones experimentales son las instituciones encargadas de averiguar esa serie de datos.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Las características de las lluvias se averiguan mediante el análisis de los datos obtenidos simultáneamente en estaciones meteorológicas distribuidas en la zona. Se apela al uso de aparatos de registro automático que permiten conocer las precipitaciones que ocurren en cada aguacero con intervalos mínimos de 5 a 10 minutos. Mediante el registro sistemático de estos resultados por un número largo de años se determinan los valores promedios y máximos de la intensidad, duración y frecuencia de los aguaceros, los cuales se utilizan como ya se explicó, en variadas formas.

Las condiciones de suelo y vegetación se averiguan a través de reconocimientos de campo, ejecutados por personal bien adiestrado. Esos reconocimientos se traducen en la elaboración de mapas regionales con delimitación de zonas similares por una u otra característica.

Las pérdidas de suelo y agua que ocurren bajo diferentes condiciones se miden en parcelas de comprobación de pequeño tamaño o en lotes grandes provistos de aparatos medidores.

Una parcela de comprobación o predio de escorrentía consiste en una área de tamaño variable limitada por paredes metálicas, las cuales

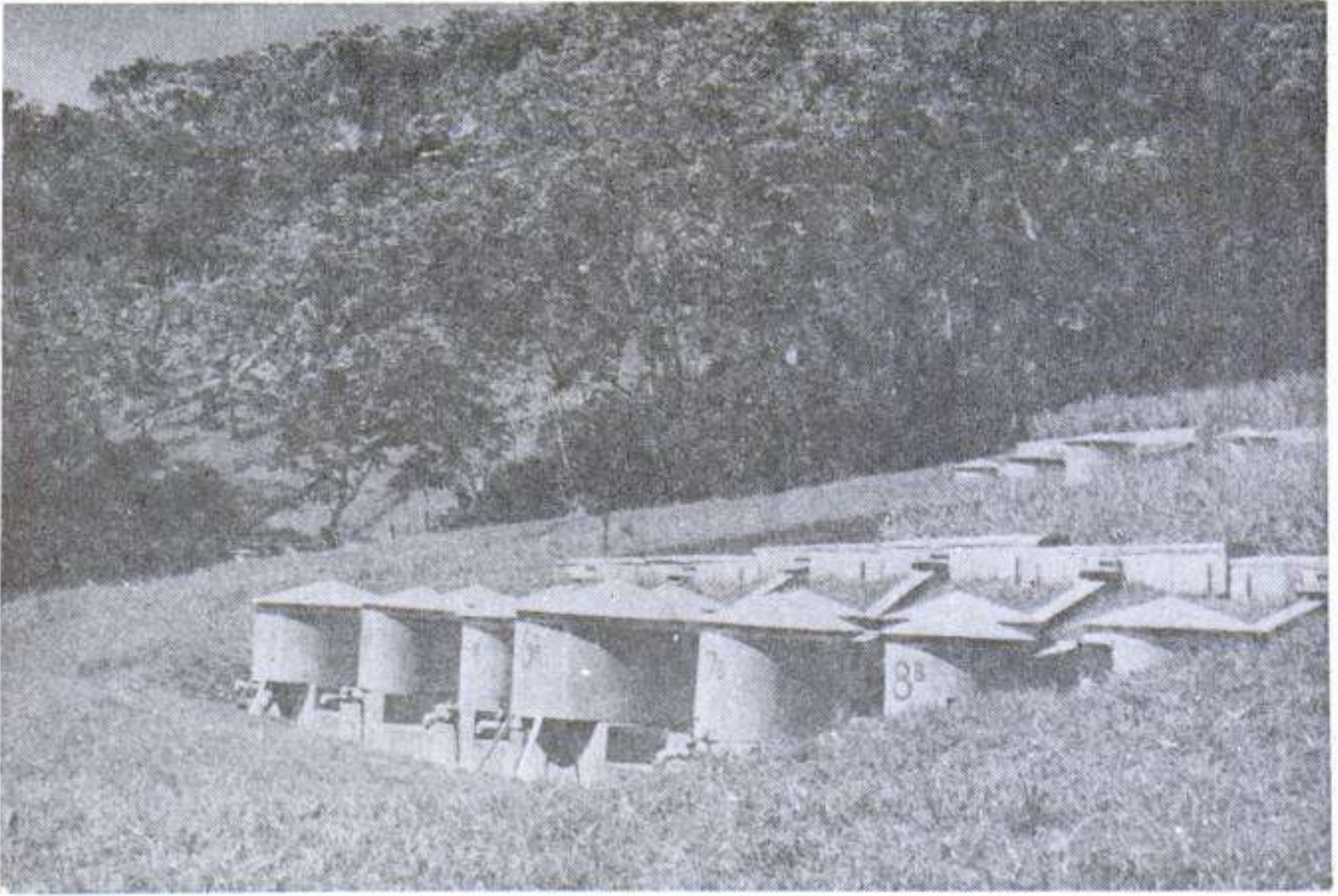


Fig. 143. Grupo de parcelas de comprobación o predios de escorrentía.

la aíslan completamente y evitan que le llegue la escorrentía de otros predios. La escorrentía de cada parcela se concentra en un embudo colocado en la base de donde, por un canal, pasa a un tanque de sedimentación, el cual retiene la mayor parte del suelo lavado; al rebosar este tanque, la escorrentía pasa a través de una o varias cajas divisoras a un segundo tanque de captación. Las cajas divisoras son, de modo esquemático, placas con un número determinado de ranuras verticales iguales, las cuales dividen el flujo del agua en partes alícuotas; de esta manera, al tanque de captación llega únicamente una fracción exacta del flujo total, lo cual permite reducir su tamaño a pequeñas proporciones.

Después de cada lluvia se determina el peso del líquido (agua y suelo) recogido en cada tanque y se toman muestras representativas, las cuales se flocculan y se evaporan para averiguar el peso del suelo que contienen. Con este dato se calcula el peso total del suelo recogido en cada tanque, y el total erosionado de la parcela, lo mismo que la cantidad de agua perdida. Estas cifras se reducen luego a toneladas por hectárea y a milímetros de lluvia respectivamente (10).

En los lotes grandes de escorrentía es necesario utilizar un sistema diferente para medir las pérdidas de suelo y agua. En ellos se recurre a estaciones aforadas provistas de compuertas diseñadas especialmente para esta clase de medidas (7) y de registradores automáticos de nivel de agua. La escorrentía, después de registrada, pasa a un



Fig. 144. Lote grande de escorrentía con su estación aforadora en la base. Este lote mide 6.000 m² y está sembrado de café.

tanque de sedimentación en donde queda gran parte del material pesado que lleva en suspensión; al llenarse este tanque el agua se vierte por el rebose, en donde hay un recipiente que recoge una parte reducida de ella. Mediante tablas elaboradas especialmente para cada instalación, se transforman las alturas del flujo registradas en diferentes tiempos, en litros o milímetros de escorrentía por hectárea. Las cantidades de suelo se determinan en forma similar que en los predios de tamaño reducido (11).

Instalaciones como las descritas permiten diseñar los más variados experimentos encaminados a averiguar la influencia de condiciones o

de prácticas sobre la erosión y la escorrentía. A través de ellos se van desarrollando sistemas de control que luego se ensayan en las condiciones de las fincas para llegar a recomendaciones finales.

INVESTIGACIONES SOBRE LA ECONOMIA DE LA CONSERVACION

Para que los resultados experimentales sobre pérdidas de suelo y agua y sobre los efectos de diversas prácticas agronómicas y mecánicas de conservación de suelos, tengan pleno significado para los técnicos, agricultores y ciudadanos en general, es necesario complementarlos con estudios de carácter económico que indiquen la viabilidad de las alternativas que se deriven de dichos experimentos.

Los objetivos de la conservación del suelo y del agua comienzan y terminan en el hombre, lo cual significa que tales recursos son importantes en la medida en que contribuyen a satisfacer las necesidades y las aspiraciones económicas, sociales y espirituales del hombre.

Adicionalmente, los recursos naturales renovables siempre se utilizan en combinación con otros factores más o menos escasos como son el capital, el trabajo y la capacidad gerencial; tendrá que haber una forma de combinar dichos factores que sea la más eficiente desde los puntos de vista económico y social; o dicho en otros términos, que sea la menos costosa para el individuo y para la sociedad, a fin de satisfacer sus necesidades y sus aspiraciones.

El análisis económico guía en la búsqueda de esa combinación óptima, mediante la aplicación consistente de un conjunto de principios básicos y conceptos que han demostrado ser útiles en esa tarea. No debe perderse de vista, además, que las inversiones que se pretenden hacer para conservar recursos naturales renovables, compiten con una gama muy grande de otras necesidades y alternativas más o menos atractivas para el capital escaso. De allí que haya necesidad de demostrar la ventaja comparativa de la inversión conservacionista, lo cual sólo se logra con el complemento de buena investigación de carácter económico. En el caso del individuo, el horizonte de planeación para la inversión de recursos y la obtención de retribuciones es, en general, muy corto (tal vez muy pocos años, en contadas ocasiones, una generación) en tanto que para la sociedad ese horizonte se extiende normalmente por varias generaciones y puede hasta acercarse a un lapso infinito. Lo que sobrepasa el límite temporal de la previsión individual no atrae los afanes y la acción del ciudadano, cabeza o parte de una familia. De allí nacen, en muchas ocasiones, conflictos de intereses entre el individuo y el estado que tienen que resolverse, como se señala atrás, buscando el mayor bien para el mayor número, o sea, dándole preferencia a lo social sobre lo individual. Pero para resolver acertadamente casos de esta clase, el estado también necesita disponer de datos fiables, producto de investigaciones socioeconómicas bien ejecutadas, que le den bases necesarias para

que sus determinaciones, que tienen fuerza de ley, no causen perjuicio, los cuales en muchos casos pueden llegar a ser irreparables (9).

EDUCACION DE LA POBLACION

Ningún valor tienen los resultados obtenidos experimentalmente si no se transmiten a todos los que de ellos pueden hacer uso. Los agricultores son, naturalmente, los que en mayor proporción se benefician de los frutos de las investigaciones, pero pueden también utilizarse esos datos con provecho en la tarea de crear conciencia nacional entre los ciudadanos de todas las esferas, sobre la importancia del problema de la erosión para cada país y sobre la contribución que cada individuo puede aportar a su solución.

Esta labor educativa es de trascendental importancia. Sólo con un pueblo consciente del valor de los recursos naturales y de la forma como deben usarse, hay posibilidades de desarrollar con éxito una política conservacionista en escala nacional. En esta tarea caben distinguir tres etapas perfectamente definidas: la primera consiste en crear la conciencia del problema. Para ningún habitante del campo o de la ciudad puede ser indiferente el daño que sufren los terrenos agrícolas, pues a todos les afecta en mayor o menor escala. Los agricultores, en primer lugar, que ven disminuir la retribución de su trabajo; los comerciantes, cuyos negocios se afectan cuando por razones de las malas cosechas escasea el dinero entre los compradores potenciales o se dificultan los transportes por razón de los daños en las vías de comunicación debidos a la acción de las lluvias; los habitantes todos de las ciudades que sufren la falta de agua o de energía eléctrica cuando los embalses se sedimentan y que están sometidos al encarecimiento de los víveres en el mercado. Todos, por lo tanto, desde el labriego hasta el intelectual urbano, deben tener una clara conciencia del fenómeno que de manera tan vital afecta a la comunidad; crear esa conciencia constituye la tarea inicial para la solución del problema.

La segunda etapa es la de hacer que la gente se dé cuenta del beneficio que le reporta combatir la erosión. La tercera consiste en enseñar cómo se soluciona el problema.

Un programa educativo, por lo tanto, puede dividirse en dos partes: la acción general dirigida al gran público, tanto de la ciudad como del campo, y la acción particular encaminada a influir sobre los agricultores de las diferentes regiones (1).

Se llega a los adultos en forma general a través de la prensa, la radio, las conferencias, los boletines y carteles y la propaganda por el cine y la televisión. A los niños, especialmente mediante la enseñanza en las escuelas. La elaboración de cartillas de lectura que giren sobre temas de conservación, la inclusión en el programa escolar de clases sobre el uso adecuado de los recursos naturales, el fomento del excur-

sionismo o de clubes similares de actividades al aire libre, son todas labores que contribuyen a realizar esta tarea.

La acción particular debe estar a cargo de los llamados servicios de extensión. En este caso se trata de llegar con las enseñanzas hasta los sistemas que pueden emplearse en las fincas para combatir la erosión, y hay que preferir métodos de demostraciones directas en el campo y de organización de grupos de agricultores aglutinados por el interés común de defender los suelos (5, 6).

Tal vez en ningún campo es tan justificada y tan útil la acción de los Gobiernos como en este de la educación. Tal vez ninguno tampoco ofrezca mayores posibilidades de éxito ni haya sido más descuidado en Latinoamérica.

LOS DISTRITOS Y LOS NUCLEOS DE CONSERVACION

Modalidades dignas de examinarse de esta acción educativa en grupos son los distritos y los núcleos de conservación de suelos.

Los primeros funcionan desde 1938 en los Estados Unidos, y han sido uno de los factores determinantes del gigantesco auge, en las últimas décadas, de la conservación de los suelos en aquel país. Los distritos son organizaciones reguladas por la legislación de los diferentes estados norteamericanos con el carácter de subdivisiones gubernamentales autorizadas para: 1) establecer y administrar proyectos sobre inspección y prevención de la erosión, incluyendo la ayuda monetaria y técnica a los agricultores que ejecutan prácticas con ese carácter en sus fincas, y 2) prescribir regulaciones sobre el uso de los terrenos encaminadas a combatir la erosión, las cuales se someten a la consideración de los que van a ser afectados por ellas y luego de aprobadas tienen la fuerza de ley dentro del distrito. Un comité estatal se encarga de definir los límites de cada distrito, de mantener las relaciones entre ellos y de coordinar sus programas.

La forma como se organiza un distrito es la siguiente: no menos de veinticinco propietarios u operadores de fincas elevan una petición al comité central, el cual convoca a una reunión pública para definir los límites del futuro distrito y oír la opinión del resto de los habitantes de la zona. Tan sólo mediante la aprobación mayoritaria puede crearse un distrito. Luego se organiza una junta de cinco supervisores, dos de los cuales son nombrados por el Comité del Estado y los tres restantes elegidos por los agricultores; el período de vigencia de la junta es de tres años, y sus miembros no perciben ninguna remuneración.

El distrito puede llevar a cabo investigaciones sobre la conservación de suelos, ejecutar proyectos de demostración y prácticas para combatir la erosión, prestar servicios de maquinaria agrícola, y recomendar planes para la conservación de suelos en las diferentes fincas. Esos planes no pueden llevarse a cabo en fincas privadas, sino contando con la aprobación de los respectivos propietarios.

La Junta de Supervisores puede, asimismo, dictar ordenanzas sobre el uso y el tratamiento de los terrenos, las cuales entran en vigor al ser aprobadas por la mayoría de los agricultores del distrito. Tales regulaciones pueden incluir disposiciones sobre la utilización de prácticas mecánicas (terrazas, canales, represas, etc.), prácticas agronómicas (barreras vivas, abonos verdes, etc.) o prácticas culturales (siembra en contorno, rotaciones, etc.) y aun incluir prohibiciones sobre determinados usos para terrenos muy erosionables. Los agricultores que no se someten a las ordenanzas son castigados con multas y con intervención de poder judicial se les obliga a permitir la ejecución de los trabajos necesarios en sus fincas y al pago de sus costos.

El capital que invierten los distritos en su funcionamiento proviene de diversos donativos hechos con tal fin por el Gobierno Federal y de apropiaciones de los Estados, que son distribuidos por los comités respectivos.

Después de cinco años de funcionamiento, se puede solicitar la suspensión del distrito, para lograr lo cual se necesita la mayoría de los votos de los agricultores.

Los distritos de conservación de suelos han funcionado con gran éxito en los Estados Unidos. A través de ellos se ha llevado a cabo una gigantesca labor de defensa y restauración de suelos en todo el territorio del gran país norteamericano. Sin embargo, debe considerarse que allí se cuenta por una parte con una población campesina con un alto nivel de vida y educación, y por otra parte con recursos enormes de equipo, personal y dinero. El trasplantar ese sistema a regiones que estén menos desarrolladas puede conducir a resultados bastante desalentadores.

El núcleo de conservación de suelos, utilizado con éxito en Colombia, es una forma un poco más sencilla de organización de agrupaciones de conservación, que sin duda puede tener amplias aplicaciones en países poco desarrollados, con nivel cultural técnico y económico relativamente bajos. A través de su organización se llega al establecimiento de áreas extensas de demostración, en las cuales es posible desarrollar programas globales con la intervención de los agricultores, los cuales paulatinamente adquieren conocimientos sobre los mejores sistemas de defender los suelos y toman a su cargo la responsabilidad de llevarlos a cabo.

Las áreas en donde van a establecerse los primeros núcleos se escogen teniendo en cuenta varios factores: 1) que sean fácilmente accesibles, o sea que existan carreteras o caminos transitables que permitan llegar a ellas fácilmente, para así asegurar la adecuada vigilancia de los trabajos y la futura utilización de las zonas como áreas de demostración; 2) que la distribución de la propiedad sea conveniente, sin que exista una excesiva parcelación ni tampoco grandes fincas que cubran una proporción muy alta del área total; 3) que la solución de los problemas de conservación que en ellos existan no sobrepasen la capacidad financiera o técnica de la agencia gubernamental.

mental encargada del manejo del programa; y 4) que ellos sean típicos de una región tan extensa como sea posible.

Escogida preliminarmente el área, se levanta un croquis y se verifica una encuesta en la cual se recoge información básica sobre las condiciones sociales, económicas y físicas del territorio y de la población, la cual sirve de guía para la formulación posterior y desarrollo de los programas. Simultáneamente se inicia una labor de agitación sobre temas de conservación, con el objeto de crear interés alrededor del problema. No debe olvidarse que en muchos sectores rurales latinoamericanos y europeos la erosión es un fenómeno de cuya importancia no tienen conciencia los agricultores.

Cumplidas las anteriores etapas, las cuales pueden considerarse como preparatorias, se elabora el plan, se localizan las fincas que pueden servir como fincas de demostración (las cuales se planifican cuidadosamente, en compañía de los propietarios), se determinan los viveros de árboles forestales, los campos de propagación de material que deba usarse como barreras vivas, coberturas, abonos verdes, etc., y se diseñan las obras de carácter general que deben ejecutarse (1).

Con esta guía puede comenzar el desarrollo del programa educativo basado fundamentalmente en demostraciones, en conferencias ilustradas, boletines escritos en lenguaje sencillo, carteles, programas de radio y asesoría técnica en la propia finca.

DEMOSTRACIONES

La demostración es uno de los métodos más eficaces para enseñar a los adultos campesinos.

A través de ella el agricultor **aprende haciendo** y no se limita a observar pasivamente lo que se hace o cómo se hace, y en esa forma adquiere una clara noción de la manera correcta de ejecutar cada práctica. Las fincas que se utilizan para este fin son las denominadas fincas de demostración; en ellas un grupo de agricultores vecinos pueden reunirse periódicamente a recibir enseñanzas objetivas y prácticas ciñéndose a un programa.

Las fincas de demostración se escogen cuidadosamente teniendo en cuenta aspectos como su ubicación, su tamaño, la existencia de problemas representativos de la región, su área de influencia y aun el carácter de su propietario (6).

El tema de cada demostración debe ser simple y sencillo. No debe incluirse una serie de prácticas que compliquen la comprensión de un campesino promedio. Debe siempre perseguir el objetivo de enseñar al asistente, de capacitarlo para ejecutar la práctica por su cuenta y por esa misma circunstancia el grupo debe ser pequeño, de tal manera que todos los presentes puedan participar en la demostración (5).

El encargado de la demostración debe hacer un esquema escrito de los puntos que tratará y los conocimientos que impartirá, lo mismo que de los detalles envueltos en cada fase de la labor.

OTROS SISTEMAS EDUCATIVOS

Las conferencias ilustradas, los programas radiados, los boletines, los carteles, etc., son instrumentos complementarios de educación que se utilizan ampliamente. En el mismo grupo puede clasificarse la asistencia técnica prestada a los agricultores que comienzan a interesarse por el programa, a través de la cual se les asesora en la planificación de fincas y en el desarrollo del plan.

JUNTAS DE CONSERVACION

Al cabo de algún tiempo se aboca la formación de Juntas de Conservación, cuyos miembros son elegidos por los propios agricultores; esas Juntas sirven de enlace entre la agencia gubernamental y los agricultores y participan activamente, estimuladas por los propios responsables del programa, en todas las fases de su desarrollo. Paulatinamente va siendo mayor la responsabilidad confiada a las Juntas, hasta desembocar en la prestación a través de ellas de todos los servicios y por último en el manejo total del programa por los propios agricultores.

CLUBES JUVENILES

Como fase complementaria se recurre a la formación de clubes de muchachos con miras al desarrollo, en las fincas de sus padres, de proyectos concretos de conservación, bajo la dirección de los funcionarios técnicos del programa.

RESULTADOS LOGRADOS

Son sorprendentes los resultados logrados en diferentes zonas poco desarrolladas, con los núcleos de conservación de suelos.

El sistema es, además, sencillo y flexible para permitir su adaptación a variadas circunstancias.

AYUDA TECNICA Y ECONOMICA

Resta tan sólo referirse a la ayuda directa que el Gobierno puede suministrar al campesino, en forma de asistencia técnica o de bonificación, para la ejecución de diversas obras de conservación.

Con frecuencia ocurre que algunas de las operaciones que exige la defensa de una finca son de carácter un tanto complejo y, por lo tanto, difíciles de ejecutar por el agricultor sin la asistencia técnica de personal capacitado. La planificación de fincas en la forma como se trata en el Capítulo 4 ó la construcción de obras grandes de control y desviación de aguas, son dos ejemplos típicos de la clase de trabajos cuya realización exige, en muchos casos, la directa intervención de

funcionarios del Estado. En otras ocasiones el costo de las obras puede sobrepasar la capacidad económica del campesino y es indispensable que el Estado corra con parte de los gastos.

Esta última clase de ayuda debe manejarse siempre con el mayor cuidado. No hay que perder de vista que el Estado no tiene ni la capacidad ni la obligación de tomar a su cargo la defensa de los suelos de todas y cada una de las fincas del país. El Estado tan sólo debe servir como agente de estímulo y enseñanza que impulse a los campesinos a que ellos mismos se encarguen de llevar a cabo esa labor que tanto ha de beneficiarles.

Como puede deducirse de lo expuesto en este Capítulo es amplio el campo de acción de los Gobiernos en la defensa de los recursos naturales y en especial del suelo, y compleja la labor que ellos deben llevar a cabo. Su adecuada ejecución presupone la existencia de un grupo administrativo dirigente consciente de la importancia de la tarea y de un grupo técnico bien preparado en los sistemas de llevarla a la práctica. La preparación de personal con estas capacidades es de primera necesidad y a ella aspira a contribuir modestamente este volumen.

BIBLIOGRAFIA

1. BETANCOURT, H., et al. Programa de educación. Chinchiná, Colombia, Campaña de Defensa y Restauración de Suelos de la Federación Nacional de Cafeteros. Circular Técnica no. 5. 1952. (Mimeografiado).
2. BINNS, B. Colonización con fines agrícolas. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Cuadernos de Fomento, Agricultura no. 9. 1952. 44 p.
3. BUNCE, A. C. The economics of soil conservation. Ames, Iowa State College Press, 1945. 227 p.
4. CARROLL, T. F. ed. La creación de nuevas unidades agrícolas. In Seminario Latinoamericano sobre problemas de la tierra, 2o., Montevideo, Uruguay, 1959. Santiago, Chile, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1961. 143 p.
5. CAMPAÑA DE DEFENSA Y RESTAURACION DE SUELOS. Guía general para demostraciones. Chinchiná, Colombia. Circular Técnica no. 6, 1954.
6. ————. Fincas de demostración. Chinchiná, Colombia. Circular Técnica no. 7. 1954. (Mimeografiado).
7. HARROLD, L. L. et al. Devices for measuring rates and amounts of run-off. Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. SCS-TP no. 51. 1948.
8. INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS. Reforma Agraria. In Curso Internacional sobre Reforma Agraria, San José, Costa Rica 1962. 4 v.

9. SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Economics of soil and water resource conservation. *Journal of Soil and Water Conservation* 27(1):44-46. 1972.
10. SUAREZ DE CASTRO, F. Experimentos sobre la erosión de los suelos; resumen de los resultados obtenidos en algunas investigaciones sobre conservación de suelos y agua, durante los años 1949 y 1950. Chinchiná, Colombia, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Boletín Técnico no. 6. 1951. 44 p.
11. ————. Pérdidas de suelo y agua en un cafetal y en un potrero. Boletín Técnico del Centro de Investigaciones de Café, (Colombia) 1(2):1-20. 1953.
12. ————. Comentarios sobre reforma agraria. In Seminario sobre la Integración Económica Centroamericana y la Alianza para el Progreso, San José, Costa Rica, 1963. Washington, D.C. Organización de los Estados Americanos, 1963. 9 p.
13. WEHRWEIN, G. S. et al. The remedies; policies for private lands. In U.S. Department of Agriculture. Yearbook of Agriculture, 1938, Soil and Men. Washington, D.C., 1938. pp. 241-264.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. BOYKIN, C. C. Evaluation of conservation performance. *Journal of Soil and Water Conservation* 14:12-15. 1959.
2. GONDELLES AMENGUAL, R. Bases para la formulación de una política nacional de recursos naturales renovables. Caracas, Ministerio de Agricultura y Cría, 1960. 104 p.
3. HARTMAN, M. A., et al. Determining rainfall-run-off-retention relationships. College Station, Texas Agricultural Experiment Station. Miscellaneous publication no. 404. 1960. 7 p.
4. KOVNER, J. L., y EVANS, T. C. A method for determining the minimum duration of watershed experiments. *Transactions of the American Geophysical Union* 35:608-612. 1954.
5. MEYER, L. D., Y MANNERING, J. V. Soil and water conservation research with the rainulator. In International Congress of Soil Science, 7th, Madison, Wisconsin, 1960. Transactions. Amsterdam, Elsevier, 1961. v. 1. pp. 457-463.
6. SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Glosario de conservación de suelos y aguas (inglés-español; español-inglés), Trad. por el Centro Regional de Ayuda Técnica de la Agencia para el Desarrollo Internacional. México, D.F., Editora Gráfica Moderna, 1962-1963. 2 v.
7. U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Evaluation of agricultural hydrology by monolith lysimeters. Washington, D.C., Agricultural Research Service. Technical Bulletin no. 1179. 1959. 166 p.
8. ————. A universal equation for predicting rainfall-erosion losses; a aid to conservation farming in humid regions. Washington, D.C., Agricultural Research Service. ARS Special Report 22-66. 1961. 11 p.
9. ————. Field Manual for research in agricultural hydrology. Washington, D.C., Soil and Water Conservation Research Division, 1962. 215 p.

10. WISCONSIN UNIVERSITY. COLLEGE OF AGRICULTURE. DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ECONOMICS. Relative profitability and order of adoption of soil conservation practices. Madison, Wisconsin Agricultural Experiment Station. Research Bulletin no. 237. 1962. 40 p.

GLOSARIO

A

- A. horizonte:* véase *Horizonte del suelo*.
- Abono verde:* planta que se cultiva y entierra con objeto de mejorar el suelo, especialmente aumentando su contenido de materia orgánica.
- Acequias de ladera:* estructuras mecánicas de conservación de suelos que consisten en canales de 30 cm de ancho en el fondo, con taludes de 1:1 y de profundidad y desnivel variables, los cuales se construyen a distancias regulares de acuerdo con la pendiente y con el uso del terreno.
- Acido, suelo:* un suelo con reacción ácida (exactamente con un pH menor de 7; prácticamente con pH menor de 6,6) a través de casi toda la porción ocupada por las raíces. Más técnicamente, un suelo en el cual hay mayor cantidad de iones de hidrógeno que de hidroxilos en la solución del suelo. Pueden usarse colorantes indicadores (por ejemplo, tornasol) para su determinación (véase pH; *Reacción del suelo*).
- Agregado (de suelo):* una masa sencilla de suelo formada por muchas partículas reunidas en forma de prisma, terrón o gránulo.
- Agrícola, producción:* producción de cosechas o ganados en las fincas.
- Agrícola, terreno:* véase *Terreno*.
- Alimento de las plantas:* compuesto orgánico que nutre las células de las plantas y que es elaborado en el interior de éstas. (Algunas veces se usa libremente como equivalente de nutrimento).
- Aluviales, suelos:* grupo de suelos formados por material transportado, de deposición relativamente reciente (aluvión); se caracteriza por una débil o ninguna modificación del material de origen ocasionada por los procesos de formación del suelo.
- Aluvión:* material fino, como arena, limo u otros sedimentos, depositado sobre la tierra por las corrientes de agua.
- Amonificación:* formación de compuestos de amonio por los organismos del suelo.
- Análisis mecánico (de suelos):* método de laboratorio para determinar la textura del suelo.
- Angulo de reposo:* la pendiente o ángulo máximo en el cual permanece estable el material del suelo. Cuando se sobrepasa, puede esperarse que ocurran movimientos de la masa, bien por resbalamiento, bien por erosión causada por el agua.
- Arable, terreno:* véase *Terreno*.
- Arcilla:* partículas minerales de suelo con un diámetro menor de 0,002 mm.
- Arenas:* fragmentos minerales o rocosos con diámetro entre 1 y 0,05 mm. Las arenas se clasifican en: arena gruesa, 1 a 0,5 mm; arena media, 0,5 a 0,25 mm; arena fina, 0,25 a 0,1 mm y arena muy fina, 0,1 a 0,05 mm. También se aplica ese término a los suelos que contienen el 90% de arena. La arena está formada generalmente de cuarzo, aunque puede estar compuesta también de cualquier material o mezcla de minerales o fragmentos de roca.

B

- Bancales:* véase *Terrazas de banco*.
- Barreras vivas:* hileras de plantas perennes y de crecimiento denso dispuestas con determinado distanciamiento horizontal y sembradas a través de la pendiente, casi siempre en contorno o en curvas de nivel.

B, horizonte: véase *Horizonte del suelo*.

Blando, suelo: suelo que puede labrarse o penetrarse con facilidad.

C

Caballote: aparato sencillo de nivelación directa, utilizado especialmente en el trazo de lotes para sembrarlos en contorno, el cual consiste en un listón o vara horizontal sostenida en sus extremos por dos patas de igual altura; el listón lleva en la parte media una caja en la cual se coloca un nivel.

C, horizonte: véase *Horizonte del suelo*.

Carbono-Nitrógeno, relación: proporción relativa, en peso, del carbono orgánico y el nitrógeno contenidos en el suelo. Valor que se obtiene al dividir el porcentaje de carbono orgánico por el porcentaje de nitrógeno existente en el suelo.

Cárcava, erosión en: véase *Erosión*.

Ceniza: residuo no volátil que resulta de la ignición completa de la materia orgánica.

Ciclo hidrológico: el circuito completo del movimiento del agua desde la atmósfera a la tierra y su regreso a la atmósfera a través de varias fases o procesos, tales como la precipitación, la interceptación, la escorrentía, la infiltración, la percolación, el almacenamiento, la evaporación y la transpiración.

Clasificación agrológica: agrupación de los terrenos de las fincas en clases con capacidades de uso similares; estas son las llamadas clases agrológicas, las cuales sirven para ordenar la elección de alternativas de uso y de manejo para cada porción de una finca.

Clay pan: horizonte denso y pesado que se encuentra bajo las capas superiores del suelo; seco es duro y mojado es plástico. Posiblemente se forma, en parte, por la acumulación de arcilla transportada de los horizontes superiores por el agua de infiltración. (Véase *Arcilla, Horizonte*).

Cobertura muerta ("Mulch"): capa natural o artificial de residuos de plantas u otro material que se aplica sobre la superficie del suelo.

Coloides del suelo: el término "coloide" se aplica a materias orgánicas e inorgánicas con partículas de tamaño muy pequeño y por consiguiente con una gran área superficial por unidad de masa. Las partículas individuales de los coloides del suelo son generalmente submicroscópicas, pero pueden unirse o agregarse, de modo que la superficie interna desempeña un papel importante. Los coloides del suelo y los materiales no coloidales se diferencian también en otros aspectos distintos al tamaño de las partículas.

Concreciones: concentraciones locales de algunos compuestos químicos, como carbonato de calcio o sales de hierro, las cuales forman partículas duras o nódulos de composición heterogénea y de diferentes tamaños, formas o colores.

Consistencia del suelo: es una expresión de la resistencia a la deformación que presenta una masa de suelos bajo condiciones específicas de humedad. Las condiciones de humedad pueden ser: seca, húmeda y mojada. La consistencia puede expresarse con términos tales como "suelto", "blando", "friable", "firme", "plástico", "pegajoso", "duro", etc.

Consolidado (material del suelo): material del suelo que, de fluido o suelto, pasa a una condición sólida por cementación u otros procesos.

Contorno, cultivo en: ejecución de todas las operaciones de labranza, tales como arar, sembrar, desyerbar y cosechar, sobre líneas de contorno.

Contorno, línea de: línea imaginaria sobre la superficie de la tierra con todos sus puntos a la misma altura. También: línea trazada sobre un mapa para localizar puntos a la misma altura.

Contra-surco: caballón que se forma, al arar un terreno, volteando dos surcos consecutivos de manera que las melgas se acumulen sobre una línea dada.

Costra: capa de suelo quebradiza y dura que se forma en la superficie de muchos suelos cuando están secos.

Cultivable, terreno: véase *Terreno*.

Cultivos densos: plantas de valor económico que, por crecer a muy corta distancia unas de otras, impiden el crecimiento excesivo de malezas.

Cultivos limpios: plantas de valor económico que, para su adecuado desarrollo y producción, exigen frecuentes escardas periódicas.

D

Desnitrificación: reducción de los nitratos a nitritos, amonio y nitrógeno libre. Ocurre en los suelos por la acción, bajo ciertas condiciones, de los organismos del suelo, especialmente de los anaeróbicos (o sea que viven en ausencia del aire u oxígeno libre).

Desprendimiento (Erosión del suelo): remoción de la masa de suelo, por parte de los agentes erosivos, de fragmentos transportables de material. A través de este desprendimiento las partículas o los agregados del suelo se colocan en condiciones de ser transportados.

Desviación, canales de: estructuras mecánicas, generalmente de sección trapezoidal, las cuales cortan el flujo del agua de escorrentía de predios altos y llevan esas aguas a un desagüe bien protegido, impidiendo que causen daños en áreas más bajas.

Distritos de conservación: en los Estados Unidos, organizaciones reguladas por la legislación de los diferentes Estados, las cuales tienen el carácter de subdivisiones gubernamentales autorizadas para establecer y administrar proyectos sobre control y prevención de erosión y para prescribir regulaciones sobre el uso de los terrenos, encaminadas a controlar la erosión.

E

Ensilaje: material vegetal conservado en condición húmeda y succulenta por medio de una fermentación parcial en un recipiente hermético. Las plantas que con mayor frecuencia se ensilan son el maíz, el mijo y algunos forrajes de leguminosas y gramíneas.

Equivalente de humedad (suelo): el porcentaje de humedad que retiene una muestra de suelo saturado, después de someterse por un tiempo fijo (generalmente media hora) a una fuerza igual a mil veces la fuerza de la gravedad.

Erodabilidad: susceptibilidad de cualquier material (principalmente suelos) a la erosión.

Erosión de los terrenos: remoción de la superficie de los terrenos por la acción del agua corriente superficial, el viento u otros agentes geológicos incluyendo procesos como deslizamiento gravitacionales.

Normal: erosión característica de la superficie de los terrenos en su medio ambiente natural, es decir, sin haber sido modificada la cubierta protectora de la vegetación natural, por la actividad humana. Este tipo de erosión se denomina frecuentemente erosión geológica e incluye: 1) erosión de rocas consolidadas o no, sobre las cuales hay poco o ningún suelo, por ejemplo, en los canales de las corrientes de agua, altas montañas, y 2) erosión normal de los suelos: o sea la erosión característica de un tipo de suelo colocado en su medio ambiente natural sin que la vegetación natural haya sido modificada por la actividad humana.

Acelerada: erosión rápida del suelo o roca provocada por cambios en la cubierta vegetal o en las condiciones de los terrenos; estos cambios incluyen tanto los verificados por la actividad humana como los causados por descargas eléctricas, invasiones de roedores, etc. La erosión acelerada puede dividirse en:

- 1) Laminar: remoción de una capa más o menos uniforme de material de la superficie de los terrenos. Los efectos son menos notorios que los de otras clases de erosión que forman grandes canales. Con frecuencia la superficie erodada presenta numerosos surcos muy pequeños.
- 2) Surcos, erosión en: tipo de erosión acelerada causada por el agua, la cual forma pequeños canales que pueden borrarse con las labores del cultivo.
- 3) Cárcavas, erosión en: tipo de erosión acelerada causada por el agua que forma canales de mayor tamaño que los surcos. Generalmente por estos no corre agua sino durante o inmediatamente después de una lluvia. Las cárcavas son más profundas que los surcos y no pueden hacerse desaparecer con las labores normales del cultivo.

Erosión del suelo: remoción de materiales del solum por la acción del agua corriente superficial o el viento. Incluye erosión normal del suelo y erosión acelerada del suelo. Algunas veces se aplica el término únicamente a la erosión acelerada.

Erosión eólica: desprendimiento, transporte y deposición del suelo por la acción del viento.

Erosionable: susceptible a la erosión.

Erosividad: capacidad de producir erosión. Se aplica a los agentes activos que intervienen en el proceso.

Erosivo: que causa erosión; se aplica a los agentes activos que intervienen en el proceso, tales como el viento y el agua. Se usa en ocasiones incorrectamente, como sinónimo de erosionable.

Escorrentía: aquella porción de las lluvias que no penetra el perfil del suelo y que fluye hacia los ríos en forma de corriente superficial.

Escorrentía, coeficiente de: relación entre la cantidad de escorrentía y la cantidad de lluvia.

Por ejemplo, si se determina para una área determinada una escorrentía de 20 mm con una lluvia de 50 mm, el coeficiente de escorrentía será de $\frac{20}{50} = 0,4$.

Escorrentía crítica: la máxima escorrentía que se calcula que puede ocurrir durante el período de vida de una obra construida para hacerse cargo de ese volumen de agua.

Estructura del suelo: forma de los agregados en los cuales se ordenan las partículas individuales del suelo. Los principales tipos de estructuras son los siguientes: 1) prismática; 2) nuciforme; 3) columnar; 4) platiforme; 5) granular; 6) masiva, y 7) de grano sencillo. (Véase *Agregado*).

F

Fajas al contorno, cultivo en: práctica cultural de conservación de suelos que consiste en cultivar las cosechas de la finca en fajas de anchura variable, dirigidas en forma transversal a la pendiente del terreno y aproximadamente en contorno, en las cuales se alternan fajas de plantas de crecimiento denso con otras de plantas que exigen escardas periódicas.

Fajas contra el viento, cultivo en: práctica cultural de conservación de suelos que consiste en cultivar las cosechas de la finca en fajas de anchura variable, dirigidas en forma transversal a la dirección de los vientos.

Fertilidad del suelo: cualidad que capacita a un suelo para suministrar los compuestos necesarios, en cantidades convenientes y balanceados apropiadamente, para el crecimiento de plantas específicas, siendo favorable otros factores como la luz, la temperatura y las condiciones físicas del suelo.

Fertilizante: cualquier material mineral que se agrega al suelo para suministrar uno o más nutrimentos para las plantas.

Franco, suelo: véase *Textura*.

Friable: fácilmente pulverizable entre los dedos; no plástico. (véase *Consistencia del suelo*).

Forraje: material vegetal que cortándolo se utiliza como alimento para los animales domésticos.

G

Geológica, erosión: véase *Erosión*.

H

Hardpan: horizonte del suelo endurecido o cementado. El suelo puede tener cualquier textura y ser compacto o estar cementado por óxido de hierro, material orgánico, sílice, carbonato de calcio u otras sustancias. (véase *Horizonte del suelo*).

Heno: tallo y hojas secas de plantas forrajeras, tales como la alfalfa y los tréboles, los cuales se almacenan y utilizan en la alimentación de animales domésticos.

Horizonte del suelo: capa del suelo, aproximadamente paralela a la superficie del terreno, con características más o menos bien definidas, las cuales son el resultado de la acción de los procesos de formación del suelo.

Humus: parte de la materia orgánica del suelo, bien descompuesta y más o menos estable.

I

Infiltración: penetración descendente del agua en el suelo o en cualquier otro material. (véase *Percolación*).

L

Laminar: véase *Estructura del suelo*.

Laminar, erosión: véase *Erosión*.

Limo: partículas minerales del suelo cuyo diámetro varía entre 0,02 y 0,002 milímetros (en el sistema internacional) o entre 0,05 y 0,002 (en el sistema americano).

M

Malezas: plantas indeseables que crecen en los terrenos y compiten con el cultivo principal.

Mapa agrológico: aquel en el cual se hallan delimitadas las diversas clases agrológicas. (véase *Clasificación agrológica*).

- Mapa base:** un mapa que contiene suficientes puntos de referencia, tales como límites del departamento, provincia, municipio o finca, y otras características físicas y culturales importantes, para permitir la inclusión y localización en él de otros datos especiales. El mapa base que se usa para dibujar un mapa detallado de suelos contiene subdivisiones políticas, características físicas permanentes tales como corrientes de agua, costas y montañas, y características culturales de importancia (casas, carreteras, etc.) necesarias para localizar convenientemente los datos del suelo (véase *Suelo, mapa de*).
- Materia orgánica:** término general que se aplica al material animal o vegetal, en cualquier estado de descomposición, que se encuentra sobre o dentro del suelo. Generalmente se distingue la materia orgánica sin descomponer de la que ya ha sufrido el proceso de descomposición.
- Meteorización:** desintegración y descomposición físicas y químicas de las rocas y de los minerales.
- Morfología del suelo:** constitución física del suelo, la cual incluye la textura, la estructura, la porosidad, la consistencia y el color de los distintos horizontes, lo mismo que su espesor y su disposición relativa en el perfil del suelo (véase *Horizonte del suelo; Perfil*).
- Moteado (suelo):** con manchas irregulares de diferentes colores. Generalmente indica mala aireación y deficiente drenaje.

N

- Neutro, suelo:** suelo con un pH de 7,0. En la práctica, suelo con un pH entre 6,6 y 7,3. (véase *Reacción del suelo*).
- Nitrificación:** transformación del amonio en nitratos, tal como ocurre en los suelos por la acción de los microorganismos.
- Nitrógeno, fijación de:** transformación del nitrógeno atmosférico (libre) en compuestos nitrogenados. En los suelos: asimilación del nitrógeno del aire por los organismos del suelo. Este proceso permite que el nitrógeno sea utilizable por las plantas. Los organismos fijadores de nitrógeno que viven asociados con las plantas (por ejemplo, con las leguminosas) se llaman simbióticos; aquellos otros organismos que no participan en esa asociación se llaman no simbióticos.
- Núcleos de conservación:** áreas de tamaño variable en las cuales se establecen programas globales de conservación de suelos, encaminados a educar a los agricultores.
- Nutrimientos de las plantas:** elementos químicos esenciales para el crecimiento de la planta, aprovechados por ésta para usarlos en la elaboración de sus alimentos y tejidos. Entre los nutrientes se incluyen el nitrógeno, el fósforo, el calcio, el potasio, el magnesio, el azufre, el hierro, el manganeso, el cobre, el boro, el cinc y tal vez otros elementos extraídos del suelo, y el carbón, el hidrógeno y el oxígeno obtenidos especialmente del aire y el agua.

O

- Orgánico, suelo:** término general con el cual se designa un suelo cuya parte sólida está formada principalmente de materia orgánica.
- Oxidación:** cualquier cambio químico en el cual se verifica la adición de oxígeno o su equivalente químico. Más técnicamente cualquier cambio químico en el cual se verifica un aumento de la valencia positiva o una disminución de la negativa.
- Oxido:** un compuesto de cualquier elemento con oxígeno solo.

P

- Parental, material:** masa sin consolidar de la cual se desarrolla el perfil del suelo. (véase *Perfil*).
- Parental, roca:** roca de la cual se forma el material parental del suelo.
- Pastoreo, terreno de:** véase *Terreno*.
- Pendiente de un terreno:** declive del terreno medido en forma de metros de caída por cada 100 m horizontales. Generalmente se expresa en porcentaje.
- Percolación:** movimiento descendente del agua a través del perfil del suelo. (véase *Infiltración*).
- Perfil del suelo:** sección vertical del suelo a través de todos los horizontes, hasta el material parental. (véase *Horizonte del suelo; Material parental*).
- pH:** notación introducida por Sorensen para designar, relativamente, acideces y alcalinidades débiles tales como las que se presentan en sistemas biológicos y en los suelos. Técnica-

mente se define como el logaritmo común del recíproco de la concentración de iones hidrógeno en un sistema. Un pH de 7 indica la neutralidad, en tanto que valores más altos indican alcalinidad, y más bajos acidez. (véase *Reacción del suelo*).

Planta perenne: planta que vive tres o más años.

Plástico: que puede moldearse o modelarse sin que se rompa: no friable.

Porosidad del suelo: proporción en la cual la masa del suelo está ocupada por poros o cavidades. Se expresa en forma de porcentaje del volumen total del suelo no ocupado por partículas sólidas.

Potrero: área dedicada a la producción de pasto, el cual consumen los animales directamente, es decir, sin que el hombre lo corte.

Prácticas agronómicas (de conservación de suelos): sistemas de defensa de los suelos contra la erosión, en los cuales se utiliza la vegetación, manejada convenientemente, para controlar la acción de desprendimiento y transporte de partículas de suelo. Las principales prácticas de esta clase son: las barreras vivas, los abonos verdes, las plantas de cobertura y los abonos orgánicos.

Prácticas culturales (de conservación de suelos): sistemas de defensa de los suelos contra la erosión en los cuales se recurre a la simple disposición de los cultivos en forma tal que presentan las mayores resistencias a la acción de desprendimiento y transporte de partículas de suelo. Las principales prácticas de esta clase son la distribución adecuada de los cultivos en la finca, la siembra en contorno, la siembra en fajas y las rotaciones.

Prácticas mecánicas (de conservación de suelos): sistemas de defensa de los suelos contra la erosión, en los cuales se recurre a estructuras artificiales construidas mediante la remoción y disposición adecuada de porciones de suelo. Las principales prácticas de esta clase son: las terrazas de absorción y de desagüe, los canales de desviación, las acequias de ladera, los bancales, y las terrazas individuales.

Predio de escorrentía: área de tamaño variable, limitada por paredes metálicas, las cuales la aíslan completamente y evitan que le llegue la escorrentía de otros predios. La escorrentía de cada predio se concentra en un embudo colocado en su base y pasa a varios tanques, para ser medida y analizada.

Profundidad efectiva del suelo: espesor de material del suelo en el cual las raíces de las plantas pueden penetrar fácilmente para obtener agua y nutrimentos. Está limitado en la parte inferior por una capa de características físicas y químicas capaces de impedir o retardar, en forma considerable, el crecimiento de las raíces.

R

Radio hidráulico: el área de la sección transversal de un canal dividida por su perímetro mojado. En la fórmula de Manning se distingue con la letra "r".

Reacción del suelo: grado de acidez o alcalinidad del suelo expresado en términos de pH. Los distintos grados son los siguientes:

Extremadamente ácido	menor de 4,5
Muy fuertemente ácido	4,5 a 5,0
Fuertemente ácido	5,1 a 5,5
Medianamente ácido	5,6 a 6,0
Ligeramente ácido	6,1 a 6,5
Neutro	6,6 a 7,3
Ligeramente alcalino	7,4 a 8,0
Fuertemente alcalino	8,1 a 9,0
Muy fuertemente alcalino	9,1 y más alto

Nota: el pH 7,0 indica exactamente la neutralidad. Sin embargo, muy pocas muestras de suelo tienen este valor y para fines prácticos se consideran neutros los suelos con valores de pH entre 6,6 y 7,3. Para una identificación más exacta, los valores entre 6,6 y 7,0 pueden denominarse muy ligeramente ácidos y aquellos entre 7,0 y 7,3 muy ligeramente alcalinos.

Reducción: cualquier cambio químico en el cual se verifica una remoción de oxígeno o su equivalente químico. Más técnicamente: cualquier cambio químico en el cual se verifica una disminución de la valencia positiva o un aumento de la negativa.

Relieve: conjunto de elevaciones o irregularidades de la superficie terrestre.

Roca subyacente: roca sólida sobre la cual reposan el suelo y otras formaciones superficiales.

Rotación de cultivos: sucesión recurrente y más o menos regular, de diferentes cultivos en el mismo terreno.

S

- Subsuelo*: en términos generales, la parte del solum debajo de la capa arable.
- Suelo*: cuerpo natural compuesto de materiales orgánicos y minerales colocado sobre la superficie de la corteza terrestre, en el cual crecen las plantas.
- Suelo, informe de reconocimiento de*: informe escrito que acompaña a un mapa de suelos y en el cual se describe el área reconocida, las características de los tipos y fases de suelos que se incluyen en el mapa y los factores principales que han influido en el desarrollo de esos suelos.
- Suelo, mapa de*: representación cartográfica que indica, por medio de líneas de demarcación, de signos y de colores, la distribución de los tipos, fases y complejos del suelo en una región, lo mismo que todas aquellas características físicas y culturales de la superficie terrestre necesarias para el uso conveniente de aquéllos.
- Solum*: parte superior del perfil del suelo la cual se halla sobre el material parental y en la cual se han verificado los procesos de formación del suelo. En suelos maduros el solum incluye los horizontales A y B, y sus características generalmente son muy diferentes a las del material parental. Los procesos vitales y el crecimiento de raíces están generalmente limitados al solum (véase *Horizonte del suelo*; *Material parental*).
- Suelo superficial*: aquella parte del horizonte superior del suelo, que se remueve con las herramientas de cultivo (10 a 20 cm).
- Surcos, erosión en*: véase *Erosión*.
- Surco muerto*: surco doble que se hace al arar un terreno, volteando la tierra de dos surcos consecutivos en sentidos opuestos en relación con una línea dada.

T

- Talud*: pendiente de los lados de un canal o banqueo. Se expresa en forma de la relación entre distancia horizontal y vertical; por ejemplo, un talud de 2:1 quiere decir una distancia horizontal de 2 unidades por una unidad de distancia vertical.
- Terraza*: canal superficial ancho o banqueo, construido a través de los terrenos pendientes, con desniveles e intervalos específicos. La terraza intercepta el agua de escorrentía sobrante, retarda su flujo y propicia su infiltración o la lleva a desagües bien protegidos. Existen los siguientes tipos de terrazas: 1) terrazas de absorción: terrazas tipo canal, las cuales se usan principalmente para la conservación de la humedad; se construyen a nivel, de manera que no hay movimiento de agua dentro del canal; se utilizan en zonas de poca lluvia y en terrenos muy absorbentes. 2) Terrazas de drenaje: terrazas tipo canal, las cuales se construyen con el objeto principal de sacar del campo, lentamente, las aguas de escorrentía; tienen un desnivel que permite el flujo del agua a una velocidad que no alcanza a causar arrastres de suelo, para verterla en un desagüe bien protegido; se usan en regiones húmedas con períodos de lluvia prolongados. 3) Terrazas de banco o bancales: plataformas o escalones construidos en serie, a través de la pendiente y separados por paredes casi verticales, protegidas con vegetación. Se utilizan principalmente en terrenos con pendientes superiores al 20%. 4) Terrazas individuales: terraplenes circulares u ovalados, los cuales se construyen alrededor de cada árbol con una inclinación del 5 al 10% contraria a la dirección de la pendiente del terreno.
- Terreno*: medio ambiente natural dentro del cual tiene que verificarse la producción. Sus atributos incluyen clima, relieve, suelo, abastecimiento de agua, condiciones internas del suelo, etc., junto con su localización en relación con los centros de comercio y producción. No debe usarse como sinónimo de suelo o para designar tan sólo la superficie terrestre.
- Terreno agrícola*: terreno utilizado regularmente para la producción agrícola. El término incluye toda el área dedicada a empresas agrícolas o pecuarias o sean las casas, caminos, zanjas de drenaje, irrigación, abastecimiento de agua, terrenos bajo cultivo y potreros de cualquier clase de finca. No debería usarse como sinónimo de terrenos en la finca, terrenos bajo cultivo, terrenos en potrero, terrenos adecuados para fincas. El término "terreno no agrícola" no debería usarse en el sentido de terreno inadecuado para cultivos; es preferible usar, según el caso, términos como "no arable", "terreno no ocupado por fincas" y "terreno inadecuado para cultivo".
- Terreno arable*: terreno que, en sus condiciones actuales, es capaz físicamente, sin necesidad de mejoramientos substanciales, de producir cosechas que necesitan labores de cultivo periódicas.

Terreno de cultivo: terreno usado regularmente para la producción de cosechas, con excepción de las forestales. Los terrenos de cultivo incluyen potreros en rotación u otros terrenos utilizados ordinariamente para la producción de cosechas pero temporalmente sin uso.

Terreno de pastoreo: terreno usado regularmente en el apacentamiento de ganado, exceptuando los terrenos de cultivo y las praderas en rotación. Este término tiene un significado más amplio que la designación de terrenos adecuados sólo para apacentar ganado.

Terreno forestal: terreno que soporta una población de árboles de cualquier edad o estatura (incluyendo semilleros), pertenecientes a especies que en la madurez llegan a una altura promedio mínima de 1,80 m. También terreno el cual, a pesar de haberse removido una población de esta clase, y no haberse remplazado, no se ha dedicado a otro uso.

Terreno inutilizable: terreno esencialmente incapaz de producir materiales o servicios de algún valor. Este término no debería usarse para describir fincas abandonadas o terrenos forestales.

Terrenos, clasificación de: ordenación de agrupaciones específicas de terreno, de acuerdo con sus características o sus capacidades de uso. Una clasificación natural de los terrenos puede definirse como aquella en la cual los tipos naturales de terreno se colocan en categorías de acuerdo con sus características inherentes. Una clasificación de terrenos de acuerdo con su capacidad de uso puede definirse como aquella en la cual las unidades de terreno se ordenan de acuerdo con su capacidad para el uso humano, con suficientes detalles tanto cartográficos (mapas) como de definición de las categorías para indicar aquellas diferencias de significación para el hombre. Esta clasificación se hace con base en consideraciones físicas y económicas.

Terreno, tipo de: terreno que posee, uniformemente, características particulares y distintivas. Cuando un terreno posee un conjunto particular de características naturales definidas constituye un tipo natural de terreno. Las principales características que se tienen en cuenta son suelo, clima, relieve, pedregosidad y vegetación natural.

Terrenos uso de los: los principales usos de los terrenos en el área rural son: 1) producción de cosechas (recolectadas por el hombre y exceptuando productos forestales); 2) pastoreo; 3) bosque (producción de repetidas cosechas forestales); 4) recreación, incluyendo lugares de observación con propósitos educacionales; 5) preservación y propagación de vida silvestre; 6) extracción de minerales; 7) protección (uso del terreno para evitar daño a los abastecimientos de agua o a otros terrenos más valiosos).

Terrenos, planificación del uso de los: desarrollo de planes para el uso de los terrenos con objeto de que aquéllos contribuyan de modo más adecuado y durante un largo período, al bienestar de la comunidad. Incluye también la formulación de los medios como se van a implantar tales usos.

Textura del suelo: proporción relativa de la arena, el limo y la arcilla en un suelo. Los suelos se ordenan en clases texturales según la cantidad de partículas de cada tamaño que poseen.

Tiempo de concentración (hidráulica): tiempo que gasta una gota de agua en moverse desde la parte más lejana de la vertiente hasta el desagüe. Su determinación es importante en relación con la intensidad crítica de las lluvias en el cálculo de canales de drenaje.

V

Velocidad segura (en canales): velocidad máxima de una corriente de agua que no causa erosión en el canal por el cual circula. La velocidad máxima varía con las características del material de las paredes y del fondo del canal.

Vertiente: área más alta de determinado punto de referencia de una corriente de agua, cuya escorrentía contribuye al volumen de esa corriente.

INDICE DE MATERIAS

A

- Abono(s),
de establo, [51](#), [162](#)
orgánico para la preparación del lugar
para la siembra, [119](#)
verde:
avena como, [163](#)
cebada como, [163](#)
centeno como, [163](#)
crotalarias como, [166](#)
en la rotación de cultivos, [152](#)
en plantaciones de semibosque, [143](#)
kudzu tropical como, [166](#)
para la preparación del lugar para
la siembra, [119](#)
pasto gordura como, [163](#)
sorgo como, [163](#)
tréboles dulces como, [165](#)
trigo como, [163](#)
sarraceno como, [163](#)
verdes, [70](#), [111](#), [154](#), [158](#)
en la rotación de cultivos, [140](#)
leguminosas como, [158](#)
y plantas de cobertura en el control
de la erosión, [167](#)
- Abrasión en la erosión eólica, [62](#)
- Abrigos, [116](#)
- Abundancia de capital, [67](#)
- Acción del hombre, [81](#)
selectiva, [45](#)
- Acequias de ladera, [111](#), [213](#), [215](#)
construcción de las, [216](#), [217](#)
desagüe para las, [216](#)
en potreros o cultivos de
semibosque, [217](#)
en terrenos ocupados con cultivos
limpios, [216](#)
especificaciones de las, [213](#)
modo de calcular las, [214](#)
para el encauzamiento de aguas de
escorrentía, [171](#)
trazo de, [215](#)
trazado de las, [215](#)
- Acidez, [92](#), [96](#), [116](#)
del suelo, [96](#)
- Acido fosfórico, [58](#)
- Actinomicetos, actividad de los, [157](#)
- Actividad biológica en la formación
del suelo, [10](#)
de las bacterias, [157](#)
de los actinomicetos, [157](#)
de los hongos, [157](#)
de los microorganismos, [157](#)
de los protozoos, [157](#)
- Agentes biológicos, [10](#)
de meteorización, [10](#)
microorganismos, [10](#)
- Agricultura por arriendo, [72](#), [277](#)
- Aguacero, [24](#), [26](#)
- Aguaceros, [172](#)
en Chinchiná, [25](#), [28](#)
- Agua de escurrimiento, [167](#)
- Aireación, [156](#)
excesiva, [98](#)
- Alcalinidad, [88](#), [92](#)
del suelo, [88](#)
- Alfalfa, [82](#), [163](#)
como cobertura y abono verde, [163](#)
en la rotación de cultivos, [146](#)
en terrenos de erosión eólica, [235](#)
- Algodón, [54](#)
en la rotación de cultivos, [146](#), [148](#)
en los cultivos limpios, [82](#)
semilla, [55](#)
- Alidada, [89](#)
- Almácigas como material de propagación,
[119](#), [120](#)
- Alternativa en la rotación de cultivos, [146](#)
- América Latina, barreras vivas en la, [143](#)
conservación de los suelos en, [272](#)
Tropical, pérdidas en la, [51](#)
- Amonificación, [157](#)
- Amonificadores, [157](#)
- Amonio, [157](#)
- Análisis mecánico, [93](#)
- Ancho (c) de la plataforma del bancal, [221](#)
en el cultivo en fajas, [136](#)
- Ancho de las fajas, [234](#)
- Anhídrido carbónico, [150](#), [157](#)
fosfórico, [50](#)
- Añil rastrero como cobertura, [166](#)
y abono verde, [163](#)
- Aparatos de campo para trazar líneas de
contorno, [123](#)

Aplicación de la fórmula de Ramser, [178](#)
 Aporques en la siembra en curvas de nivel, [123](#)
 Aprovechamiento del estiércol, [116](#)
 racional de los bosques, [121](#)
 Arados no reversibles, [210](#)
 reversibles, [210](#)
 Arar el terreno en contorno en la labranza en curvas de nivel, [132](#)
 Arboles de sombra, [116](#)
 Arcilla, [15](#), [16](#), [93](#)
 Arcilloso, [16](#), [94](#)
 Área de drenaje del zanjón, [245](#)
 de la vertiente, [177](#)
 transversal, [183](#)
 Áreas cultivadas, [86](#)
 extensas de demostración, [285](#)
 Arena, [15](#), [56](#), [93](#)
 Arenoso, [16](#)
 franco, [16](#), [94](#)
 Arepa, [75](#)
 Arrendamiento, [72](#)
 Arrendatario, [72](#)
 Arriendo, [72](#), [73](#)
 de la tierra, [72](#)
 Asociaciones naturales de los bosques, [118](#)
 Aumento de la fricción superficial, [40](#)
 de producción con la rotación de cultivos, [147](#)
 Ausentismo, [72](#)
 Avena, [55](#)
 como abono verde, [163](#)
 en la rotación de cultivos, [146](#), [147](#), [148](#)
 en los cultivos densos, [82](#), [282](#)
 Ayuda directa, [82](#)
 técnica y económica, [287](#)
Azotobacter, [12](#),
 Azufre, [51](#)

B

Bacterias, [158](#)
 actividad de las, [157](#)
 simbióticas, [158](#)
 Bambú en las represas de madera, [254](#)
 Bancales, [111](#), [219](#)
 con las barreras vivas, [140](#)
 construidos por los Incas en el Perú y en el Ecuador, [219](#)
 desagües de los, [224](#)
 excavación y terraplén de los, [224](#)
 protección de los, [224](#)
 trazo sobre el terreno de los, [222](#)
 Barreras vivas, [111](#), [139](#)
 bancales con las, [140](#)
 bihao en las, [143](#)
 cómo se establecen las, [144](#)
 competencia de las, [144](#)
 crotalaria en las, [143](#)
 guandul en las, [143](#)
 iraca en las, [143](#)
 limoncillo en las, [142](#), [143](#)
 mantenimiento de las, [144](#)

Barreras vivas, Cont.
 mermelada de caballo en las, [143](#)
 pasto imperial en las, [143](#)
 piña en las, [143](#)
 piñuela en las, [143](#)
 plantas que pueden utilizarse en las, [143](#)
 terrazas de banco con las, [140](#)
 vetiver en las, [143](#)
 Bethany (Missouri) pérdidas de suelo en, [34](#), [48](#)
 y agua en, [48](#)
 Bihao en las barreras vivas, [143](#)
 Bolivia, coberturas y abonos verdes en, [163](#)
 Boquillas en las represas de los zanjones, [252](#)
 Boro, [98](#)
 Bosque, [114](#), [118](#)
 Bosques, [83](#), [86](#), [101](#), [118](#)
 asociaciones naturales de los, [118](#)
 enfermedades de los, [118](#)
 plagas de los, [118](#)
 selección de especies de los, [118](#)
 sucesión natural de los, [118](#)
 Brújula, [86](#), [87](#), [88](#)
 Bushels por acre, [54](#)

C

Caballete, [124](#), [125](#), [130](#), [131](#)
 en el trazo de una plantación en contorno, [128](#), [131](#)
 Caballón en el trazo de una plantación en contorno, [131](#)
 Caballones en la siembra en fajas, [137](#)
 Café, [73](#), [83](#)
 Cafetal joven, [52](#)
 viejo, [52](#)
 Cafetales de Colombia, plantas de cobertura en los, [168](#)
 terrazza individual en, [229](#)
 Cafeteros, [73](#)
 Cajas divisoras, [280](#)
 Cal, [116](#)
 Calcio, [50](#), [51](#), [52](#), [97](#)
 Cálculo de bancales, [221](#)
 de la escorrentía, [172](#)
 del coeficiente de escorrentía, [173](#), [174](#)
 Campañas de reforestación, [122](#)
 Canal de desviación del zanjón, [241](#)
 Canales de desviación, [111](#), [179](#)
 para el encauzamiento de aguas de escorrentía, [179](#)
 Canalones, [100](#)
 Cantidad de limo, [39](#)
 de material, [39](#)
 Capa Ap, [7](#)
 arable, [7](#)
 Capacidad de uso, [81](#), [83](#), [103](#)
 Capacidades de uso, [81](#)
 Carbohidratos, [155](#)
 Carbonatación, [9](#)
 Carbono, [155](#)
 material vegetal rico en, [159](#)

- Características del subsuelo, [38](#)
 que se tienen en cuenta en la clasificación de los terrenos, [85](#)
- Cárcava: [47](#), [100](#)
 protección, [250](#)
- Cárcavas, [100](#), [244](#)
 preparación del lugar para la siembra, [120](#)
- Carreteras, [86](#)
- Cebada como abono verde, [163](#)
 en la rotación de cultivos, [146](#), [148](#)
 en los cultivos densos, [82](#)
- Ceilán, material erosionado en, [50](#)
- Centeno como abono verde, [163](#)
 en la rotación de cultivos, [146](#)
 en los cultivos densos, [82](#)
- Centro de Investigaciones de Café de Chinchiná (Colombia), [24](#), [28](#)
- Cespedones en zanjones, [24](#)
- Ciclo de cortes para el aprovechamiento racional de los bosques, [122](#)
 hidrológico, [22](#), [23](#)
- Clarinda (Iowa), [33](#), [34](#)
 pérdidas de suelo y agua en, [124](#)
- Clase I, [104](#), [105](#)
 II, [105](#), [106](#)
 III, [106](#)
 IV, [107](#)
 V, [107](#), [108](#)
 VI, [108](#), [109](#)
 VII, [109](#)
 VIII, [109](#), [110](#)
- Clases agrológicas: [81](#), [83](#), [103](#), [152](#)
 de erosión causadas por el agua, [44](#)
 de terrenos en los cuales debe usarse el sistema de cultivo en fajas, [135](#), [136](#)
- Clasificación agrológica, [80](#), [103](#)
 de los zanjones por su profundidad y por el área que en ellos drena, [245](#)
- Clay pan, [92](#), [99](#)
- Clima en la formación del suelo, [11](#)
- Clinómetro, [127](#)
- Clubes juveniles, [287](#)
- Cobertura, [41](#), [114](#)
 añil rastroso como, [166](#)
 muerta (*mulch*) para la preparación del lugar para la siembra, [119](#)
 y abono verde,
 alfalfa como, [166](#)
 añil rastroso como, [162](#)
 crotalarias como, [166](#)
 frijol de vaca como, [166](#)
 terciopelo como, [166](#)
 kudzu tropical como, [166](#)
 lupino como, [166](#)
 tréboles dulces como, [165](#)
 trébol rojo como, [165](#)
 y abonos verdes, [163](#)
- Coberturas, [42](#), [43](#), [154](#)
 y abonos verdes en:
 Colombia, [163](#)
 Ecuador, [163](#)
 las zonas tropicales bajas, [164](#)
 Perú, [163](#)
- Cobre, [98](#)
- Coeficiente de escorrentía, [172](#), [173](#)
 para diferentes condiciones, [173](#)
 de fricción, [178](#)
- Coloide inorgánico, [4](#)
 orgánico, [4](#)
- Coloides, [4](#)
- Colombia, coberturas y abonos verdes en, [163](#)
 conservación de los suelos en, [272](#)
 intensidad crítica de las lluvias en, [174](#)
 núcleo de conservación de suelos en, [284](#)
 producción de kudzu tropical en, [166](#)
 terrazas individuales en, [226](#), [230](#)
- Colonización, [273](#)
 abastecimiento de agua potable en la, [275](#)
 altitudes de la zona en la, [273](#)
 capacidad del Estado en la, [273](#)
 carreteras en la, [274](#)
 clima en la, [273](#)
 condiciones hidrológicas en la, [274](#)
 créditos en la, [275](#)
 desplazamiento de la población en la, [275](#)
 enfermedades endémicas en la, [274](#)
 escuelas en la, [275](#)
 estaciones experimentales en la, [275](#)
 lugares destinados al culto en la, [275](#)
 movimientos de población en la, [275](#)
 necesidades de los colonos en la, [275](#)
 potencial hidráulico en la, [274](#)
 precipitación pluvial anual en la, [273](#)
 recursos pesqueros en la, [274](#)
 servicios de correos, [275](#)
 de extensión agrícola en la, [275](#)
 de policía en la, [275](#)
 de sanidad pública en la, [275](#)
 de telégrafos en la, [275](#)
 de veterinaria en la, [275](#)
 médicos en la, [275](#)
 meteorológicos en la, [275](#)
 suelos en la, [274](#)
 temperatura anual y diurna en la, [273](#)
 tipo de agricultura en la, [274](#)
 de colonia en la, [275](#)
 vegetación en la, [273](#)
 actual en la, [274](#)
- Color, [13](#)
 del suelo, [13](#), [14](#), [98](#)
- Combinación agricultura-ganadería, [115](#)
 de terrazas y cultivo en fajas, [213](#)
- Cómo arar los terrenos con terrazas, [210](#)
 deben anotarse y ordenarse las observaciones sobre las características físicas de los terrenos, [101](#)
 se acumula la materia orgánica en los suelos, [155](#)
 se calcula la escorrentía crítica, [172](#)
 se defienden los suelos, [79](#)
 se destruyen los suelos, [20](#)
 se establecen las barreras vivas, [144](#)
 se forman y cómo se destruyen los suelos, [20](#)

- Cómo arar los terrenos con terrazas, Cont.
 se levanta un plano con la plancheta o con la brújula, [88](#)
 sembrar un terreno con terrazas, [212](#)
 se usa el cuadro de rotaciones, [152](#)
 se usan los abonos verdes, [166](#)
- Competencia, [144](#)
 de las barreras vivas, [144](#)
- Concentración de la escorrentía, [172](#)
 de la propiedad rural, [70](#), [278](#)
 sociales y económicas favorables para la conservación, [272](#)
- Coneja como planta de cobertura, [168](#)
- Conservación del agua, plantas de cobertura en la, [168](#)
 de los suelos, control social en la, [272](#)
 en América Latina, [272](#)
 en Colombia, [272](#)
 en Puerto Rico, [272](#)
 equilibrio en la, [272](#)
 exceso de población en la, [272](#)
 de suelos, distritos de, [284](#)
 núcleos de, [289](#)
- Constituyentes de los suelos,
 arcilla, [4](#)
 coloide inorgánico, [4](#)
 orgánico, [4](#)
 parte gaseosa, [4](#)
 parte líquida, [4](#)
 parte orgánica, [4](#)
 principales de los suelos, [3](#)
- Construcción de acequias de ladera, [217](#)
 de esterillados, [257](#)
 de terrazas con arado: [203](#)
 y rastra, [205](#)
 con terracedor vertical rotatorio, [206](#)
 individuales, [229](#)
 de un sistema de terrazas, [202](#)
- Contenido de materia orgánica del suelo, [98](#)
- Contratos de arrendamiento, [72](#)
 en Latinoamérica, [72](#)
- Control de cárcavas, [111](#)
 o zanjones, [244](#)
- Control de la erosión, [244](#)
 en las riberas de los ríos, [257](#)
- Corrección de zanjones, [245](#)
- Corte con machete de la vegetación para que actúe como *mulch* o cobertura muerta, [168](#)
- Corte selectivo, [121](#), [122](#)
 para el aprovechamiento racional de los bosques, [121](#), [122](#)
- Corte total para el aprovechamiento racional de los bosques, [122](#)
- Corrientes de agua, [86](#)
- Cortinas protectoras del viento, [236](#)
- Cortina vegetal, reductora de la velocidad del viento, [236](#)
- Costos de producción, [267](#)
- Costumbres, [74](#), [75](#)
- Crotalaria en las barreras vivas, [143](#)
- Croquis, [88](#)
- Crotalarias como abono verde, [160](#), [166](#)
 como cobertura y abono verde, [163](#)
- Cuba, suelos de, [37](#)
- Cubierta vegetal, [40](#)
- Cultivador "pie de pato", [233](#)
- Cultivo de escarda, [135](#)
 en la siembra en fajas, [135](#)
 del maíz, [74](#)
 denso, [78](#), [141](#)
 para la siembra en fajas, [135](#)
 en fajas, [134](#), [235](#)
 acequias de ladera en el, [136](#)
 al contorno, [133](#)
 ancho en el, [137](#)
 datos experimentales en Arnot (Nueva York), [135](#)
 datos experimentales en State College (Pensilvania), [135](#)
 datos experimentales en los Estados Unidos, [135](#)
 datos experimentales en Temple (Texas), [135](#)
 efectividad del, [235](#)
 terrazas en el, [136](#)
 transversales al viento, [235](#)
- Cultivos anuales, [101](#)
 de larga duración [82](#)
 alfalfa en los, [82](#)
 en la rotación de cultivos, [146](#)
 gramíneas para forraje en los, [82](#), [83](#)
 trébol en los, [82](#)
 de semibosque, [83](#)
 cacao en los, [83](#)
- Cultivos, café en los, [83](#)
 densos, [82](#)
 avena en los, [82](#)
 cebada en los, [82](#)
 centeno en los, [82](#)
 en la rotación de cultivos, [146](#)
 en la siembra en fajas, [133](#)
 trigo en los, [82](#)
 en fajas, [132](#)
 limpios, [68](#), [82](#)
 algodón en los, [82](#)
 anuales en la rotación de cultivos, [146](#)
 maíz en los, [82](#)
 papa o patata en los, [82](#)
 tabaco en los, [82](#)
 perennes, [83](#), [110](#)
 puros de los organismos, [161](#)
 rotación de, [145](#)
- Curva de nivel, [123](#)
- Curvas de nivel en la siembra en contorno, [122](#), [123](#), [132](#)

CH

- Chinchiná (Colombia), aguaceros en, [24](#), [28](#), [29](#)
 ensayos en, [43](#)
 pérdidas de suelo y agua en, [36](#), [40](#), [43](#)
 tiempo de concentración de la escorrentía en, [172](#)

D

- Daños de la erosión, [40](#)
 - que causa la erosión eólica, [56](#)
- Datos experimentales sobre pérdidas de suelo y de agua, [124](#)
 - obtenidos en Chinchiná (Colombia), [24](#), [28](#), [43](#)
- De dónde provienen los suelos, [7](#)
- Defensas contra la erosión, [83](#)
- Demostraciones, [286](#)
- Demostrador, [286](#)
- Densidad de los rompevientos, [237](#)
- Dependencia alimenticia del maíz, [75](#)
- Depósitos movedizos o dunas, [239](#)
- Depresión temporal en fertilidad, [239](#)
- Desagüe para las acequias, [216](#)
 - trazo del, [200](#)
- Desagüe, [200](#)
 - de bancales, [224](#)
 - de canales, [244](#)
 - de terrazas, [200](#)
 - especiales, [200](#)
 - naturales, [200](#)
- Descarga (Q), [178](#)
- Descarga de boquillas en represas de contención, [251](#)
- Desnivel de las terrazas, [197](#)
 - para terrazas de pendiente variable, [197](#)
 - variable de la terraza, [197](#)
- Desyerbas en la siembra en curvas de nivel, [133](#)
- Determinación del radio hidráulico, r, de canales trapeciales, [185](#)
- Detrusión en la erosión eólica, [62](#)
- Diámetro de la terraza individual, [230](#)
- Diferentes horizontes del suelo, [5](#)
 - tipos de rotación, [152](#)
- Dinámica de la erosión eólica, [59](#)
- Diques, [261](#)
 - de madera, [262](#)
 - de piedra, [262](#)
 - localización de los, [261](#)
 - machos de madera en los, [264](#)
 - otro tipo de, [264](#)
 - permeables, [261](#)
- Diseño de canales de desviación, [192](#)
 - y cálculo de las terrazas, [220](#)
- Dispersión directa, [40](#)
 - lateral, [40](#)
- Disponibilidad de nitrógeno, [97](#)
- Distanciamiento de barreras, [140](#)
 - vivas en cultivos densos o de semibosque, [142](#)
 - vivas en cultivos limpios, [140](#)
- Distribución adecuada de los cultivos, [114](#)
 - de la población, [67](#)
 - de las lluvias, [63](#)
 - del humus dentro del perfil, [156](#)
 - de los cultivos, [114](#)
 - de los terrenos agrícolas, [70](#)
- Distritos de conservación de suelos, [284](#)
 - en los Estados Unidos, [284](#)
 - y núcleos de conservación, [284](#)

- División de los cultivos, [82](#)
- Drenaje interno, [95](#)
- Dunas, desplazamiento y cambios de forma de las, [240](#), [241](#)
 - estabilización de las, [239](#), [240](#)
 - fijación de, [239](#)
 - o depósitos movedizos, [239](#)
- Duración del aguacero, [26](#), [27](#)

E

- Economía de la conservación, [282](#)
- Ecuación universal, [29](#), [43](#)
- Ecuador, cobertura y abonos verdes en, [163](#)
- Edad, [13](#)
 - del terreno en la formación del suelo, [10](#)
- Educación de la población, [283](#)
 - cartillas de lectura, [283](#)
 - grupos de agricultores, [284](#)
 - labor educativa, [284](#)
- Efectividad del cultivo en fajas, [135](#)
 - sistema de la siembra en contorno, [122](#)
- Efecto de la erosión sobre la producción de trigo, [56](#)
 - de la profundidad, [54](#)
 - del primer horizonte, [54](#)
 - selectivo del viento, [57](#)
- Efectos del cultivo en fajas al contorno, [135](#)
 - importantes de las coberturas y de los abonos verdes, [159](#)
- Eficiencia en la construcción de terrazas, [201](#)
- Eflación en la erosión eólica, [62](#)
- Eflujo en la erosión eólica, [62](#)
- Ejemplo del cálculo de un canal de desviación, [192](#)
 - de un sistema de rotaciones, [152](#)
- El Salvador, [29](#)
- Elementos nutritivos, [49](#), [50](#), [51](#), [52](#), [58](#)
- Encauzamiento de aguas de escorrentía, acequias de ladera para el, [213](#)
 - canales para el, [171](#)
 - terrazas para el, [171](#)
- Enfermedades, [118](#)
 - de los bosques, [118](#)
 - en la rotación de cultivos, [118](#)
- Ensayos, [279](#)
 - en Chinchiná (Colombia), [34](#)
- Entresaque, [122](#)
- Emparrillados de estacas de sauce, [260](#)
- Empobrecimiento de bases, [52](#)
- Equilibrio natural, [20](#), [67](#)
- Equivalente de humedad, [37](#)
- Erodabilidad, [39](#)
- Erosión: [21](#), [30](#), [31](#)
 - causada por el agua, [21](#)
 - en cárcavas, [44](#), [46](#), [244](#)
 - en surcos, [44](#), [46](#), [47](#)
 - en zanjones, [44](#), [46](#), [244](#)
 - eólica, [21](#), [56](#), [253](#)
 - eólica, dinámica de la, [59](#)
 - eólica, formas de, [62](#)
 - eólica, prevención y lucha contra la, [233](#)

Erosión, Cont.
 eólica, proceso de la, [58](#)
 geológica o natural, [20](#)
 laminar, [44](#), [45](#), [46](#), [100](#)
 susceptibilidad relativa de los suelos a la, [38](#)
 moderada, [100](#)
 muy leve, [100](#)
 muy severa, [100](#)
 severa, [100](#)

Escardas, [78](#)

Escorrentía, [21](#), [171](#), [172](#), [173](#), [280](#)
 crítica, [172](#)
 tiempo de concentración de la, [177](#)
 máxima, [172](#)

Espaciamiento de las terrazas, [195](#)
 intervalo vertical en el, [195](#)

Espaciamiento entre terrazas y metros de terrazas por hectárea, [196](#)

Espacios porales capilares, [35](#)
 del suelo, [35](#)

Especies que se usan como cobertura y como abonos verdes, [162](#)

Especificaciones de las acequias de ladera, [218](#)

Especificaciones de la terraza individual, [229](#)

Esponjosidad del suelo, [98](#)

Estabilidad de los precios, [73](#)

Estabilización de las dunas, [239](#)

Estacas de sauce, emparrillados de, [260](#)

Estacas de sauce esterillados de, [260](#)

Estación Experimental,
 de Goodwell (Oklahoma), [56](#)
 de Kansas, [31](#)
 de Missouri, [33](#), [50](#)

Estaciones aforadoras, [280](#), [281](#)
 experimentales, [279](#)
 meteorológicas, [279](#)
 en Hispanoamérica, [30](#)

Estados Unidos,
 contrucción de terrazas en los, [196](#)
 distritos de conservación de suelos en los, [284](#), [285](#)
 encuestas en los, [72](#)
 intensidad crítica de las lluvias en los, [174](#)
 región semiárida de los, [241](#)
 regulación de los precios en los, [277](#)
 siembra en contorno en los, [123](#)

Esterillados de estacas de sauce, [260](#)

Estiércol, [116](#)

Estructura, [16](#), [17](#), [35](#), [40](#), [60](#)

Estructuras de los zanjones, [250](#)
 para la preparación del lugar para la siembra, [119](#)
 permanentes para proteger zanjones, [255](#)

Excavación y terraplén de los bancales, [224](#)

Exceso de población, [68](#), [69](#)

Exigencias de manejo, [81](#)

Experimentos, [279](#)
 en la Universidad de Missouri, [33](#)

Explotación ganadera, [235](#)

Extrusión en la erosión eólica, [62](#)

F

Factor de lluvia, [28](#), [29](#)

Factores de formación del suelo, [10](#)
 que influyen en rotación de cultivos, [145](#)
 en la selección de una rotación de cultivos, [145](#)
 que intervienen en la erosión y en la escorrentía, [21](#)
 que limitan el uso de las plantas de cobertura y abonos verdes, [162](#)
 sociales y económicos que influyen sobre la erosión de los suelos, [67](#)

Fajas, anchuras de las, [235](#)
 cultivos en, [134](#)
 de anchura irregular, [137](#)
 de contención, [144](#)

Ferrocarriles, [86](#)

Fertilizante químico, [116](#), [119](#)

Fertilizantes en la rotación de cultivos, [147](#)
 para la preparación del lugar para la siembra, [119](#)

Fibra, vegetales de bajo contenido de, [154](#)

Fijación de dunas, [239](#)
 de los precios, [277](#)

Fincas de demostración, [286](#)

Fines no agropecuarios, [96](#)

Formación del humus, [155](#)

Formas como el Estado puede intervenir en la conservación de los suelos, [271](#)
 de erosión eólica, [62](#)

Fórmula de Manning, [182](#)
 general de Ramser, [172](#)

Fórmulas y cálculos, [178](#), [182](#)

Forrajes en la siembra en fajas, [133](#)
 en los cultivos de larga duración, [83](#)
 que protegen el suelo, [70](#)

Fosfato de sodio, [97](#)

Fósforo, [50](#), [51](#), [52](#), [97](#)
 orgánico, [51](#)

Fotografías aéreas, [86](#)

Franco, [16](#), [94](#), [95](#)
 arcillo-limoso, [16](#), [95](#)
 arcilloso, [16](#), [94](#), [95](#)
 arenoso, [16](#), [94](#), [95](#)
 limoso, [16](#), [94](#), [95](#)

Frecuencia de las lluvias, [27](#)

Fricción, coeficiente de, [183](#)
 superficial, [40](#)

Frijol de vaca,
 como cobertura y abono verde, [160](#)
 en regiones poco fértiles, [163](#), [165](#)

Frijol terciopelo,
 como cobertura y abono verde, [161](#), [165](#)
 en regiones poco fértiles, [165](#)

Fuego como enemigo de los bosques, [120](#)

Funciones del Estado, [270](#)

G

Ganado como enemigo de los bosques, [120](#)

Ganancia neta, [267](#)

Ganancias inmediatas, [70](#)
 Georgia (Estados Unidos), intensidad crítica de las lluvias en, [174](#)
 Gota de lluvia, [40](#)
 Grado de acidez, [96](#)
 de alcalinidad, [96](#)
 de educación del campesino, [72](#)
 de erosión, [100](#)
 de la pendiente, [32](#), [84](#)
 de percolación, [38](#)
 Grados de pendiente, [98](#), [99](#)
 Gramíneas forrajeras y leguminosas, [233](#)
 para forraje en los cultivos de larga duración, [82](#)
 para heno en los cultivos de larga duración, [82](#)
 Grasas, [155](#)
 Gravedad específica, [30](#)
 Graves casos de erosión, [74](#)
 Grupos de agricultores, [284](#)
 de inoculación cruzada, [160](#)
 de pendiente, [98](#), [99](#)
 para terrenos con buen drenaje, [99](#)
 con *Clay pan*, [99](#)
 Guandul en las barreras vivas, [143](#)
 Guthrie (Oklahoma), [34](#)
 pérdidas de suelo y agua en, [148](#)

H

Hematita, [14](#)
 Herbicidas, destrucción de los, [232](#)
 Hidratación, [9](#)
 Hidráulica, [28](#)
 Hidrólisis, [9](#)
 Hierro, [97](#)
 Hileras interrumpidas en la siembra en fajas, [137](#)
 Hispanoamérica, contratos de arrendamiento en, [72](#)
 construcción de terrazas en, [202](#)
 estaciones pluviométricas en, [30](#)
 intensidad crítica de las lluvias en, [174](#)
 siembra en contorno en, [119](#)
 Hongos, [12](#)
 Protozoos, [155](#)
 Hongos, actividad de los, [155](#)
 Horizonte A, [5](#), [7](#), [93](#)
 B, [7](#)
 C, [7](#)
 Horizontes, [5](#)
 del suelo, [88](#)
 Huertos, [86](#), [87](#)
 frutales, terraza individual en, [227](#)
 Humedad del suelo, [156](#)
 Humus, [7](#), [155](#), [156](#)
 del suelo, [40](#), [155](#), [156](#)

I

Ignorancia, [75](#)
 Impacto de las lluvias, [45](#)
 Importancia de la materia orgánica, [156](#)

Incendios forestales, [120](#)
 en los Estados Unidos, [120](#)
 Índice de erodabilidad, [38](#), [39](#)
 de erosión, [50](#)
 de lluvia, [28](#)
 de permeabilidad, [40](#)
 Indio, [71](#)
 Infiltración, [40](#)
 de agua, [41](#), [45](#)
 Ingreso neto, [265](#)
 Inoculación cruzada,
 alfalfa en la, [160](#)
 de flor amarilla en la, [160](#)
 crotalaria en la, [160](#)
 doncenón en la, [161](#)
 fenogreco (alholva) en la, [160](#)
 frijol en la, [160](#)
 arroz en la, [160](#)
 de vaca en la, [160](#)
 lima en la, [160](#)
 terciopelo en la, [160](#)
 grupos de, [160](#)
 guandul en la, [160](#)
 guisante en la, [161](#)
 haba en la, [161](#)
 habichuela en la, [161](#)
 kudzu en la, [160](#)
 tropical en la, [160](#)
 lenteja en la, [161](#)
 lespedeza en la, [160](#)
 lupino en la, [161](#)
 amarillo en la, [161](#)
 azul en la, [161](#)
 blanco en la, [161](#)
 maní o cacahuete en la, [160](#)
 serradella en la, [161](#)
 soja en la, [161](#)
 trébol alsike en la, [160](#)
 amargo en la, [160](#)
 amarillo (lupulita) en la, [160](#)
 dulce en la, [160](#)
 blanco en la, [160](#)
 dulce en la, [160](#)
 Inoculación cruzada,
 trébol de California en la, [160](#)
 encarnado en la, [160](#)
 pata de conejo en la, [160](#)
 rojo en la, [160](#)
 gigante en la, [160](#)
 veza (arveja), en la, [161](#)
 Instituto Politécnico de Alabama, [29](#)
 Intensidad crítica de las lluvias, [173](#)
 en Colombia, [174](#)
 en los Estados Unidos, [174](#)
 en Georgia, [174](#)
 en Hispanoamérica, [174](#)
 en Louisiana, [174](#)
 en Mississippi, [174](#)
 en Oregon, [174](#)
 en San Juan de Puerto Rico, [174](#)
 en Washington, [174](#)
 de cultivos, [77](#)
 de las lluvias, [24](#)
 máxima de las lluvias, [174](#)

Intervalo vertical en el espaciamento de las terrazas, [196](#)
 Intervención del Estado, [270](#)
 estatal, [270](#)
 conveniencia social de la, [271](#)
 directa, [271](#)
 el individuo en la, [270](#)
 la sociedad en la, [271](#)
 sobre los contratos de arrendamiento, [277](#)
 Investigaciones, [278](#), [279](#)
 necesarias, pérdida de suelo y agua, [279](#)
 prácticas agronómicas, [279](#)
 culturales, [279](#)
 mecánicas, [279](#)
 Iowa (Estados Unidos), muestras del material en, [54](#)
 profundidad del suelo en, [54](#)
 Iraca en las barreras vivas, [143](#)

J

Junta de Supervisores, [285](#)
 Juntas de Conservación, [287](#)

K

Krilium, [17](#)
 Kudzu en zanjones, [249](#)
 tropical como abono verde, [163](#)
 como cobertura y abono verde, [166](#)
 como sistema de defensa, [265](#)

L

Labor educativa, [283](#)
 Laboreo de los terrenos en la erosión eólica, [233](#)
 Labores culturales, [133](#)
 Labranza en curvas de nivel, [132](#)
 arar el terreno en contorno en la, [132](#)
 surco muerto en la, [133](#)
 La Crosse (Wisconsin), [34](#)
 pérdidas de suelo y agua en, [34](#), [148](#)
 Laderas cafeteras, [73](#)
 La erosión reduce la productividad de los terrenos, [53](#)
 Lafayette (Indiana), pérdidas en, [51](#)
 Lagos, [86](#)
 Leguminosas, [115](#)
 como abonos verdes, [160](#), [163](#)
 en la rotación de cultivos, [145](#)
 Leguminosas y gramíneas forrajeras, [233](#)
 Lespedezas en zanjones, [249](#)
 Levantamiento del plano o mapa de la finca, [80](#)
 de un mapa base, [86](#)
 de un plano, [86](#)
 Limo, [15](#), [16](#), [93](#)
 Limoncillo en las barreras vivas, [143](#)

Línea en dirección de la pendiente, [128](#)
 Líneas de contorno, [122](#), [123](#), [128](#)
 de nivel, [125](#)
 guías en el trazo de una plantación en contorno, [128](#)
 Localización de las terrazas, [198](#)
 de los canales de desviación, [179](#)
 de los diques, [262](#)
 Lombrices, [12](#)
 Lomo en el trazo de una plantación en contorno, [131](#)
 Longitud de la pendiente, [33](#), [34](#)
 de las terrazas, [197](#)
 Louisiana, intensidad crítica de las lluvias en, [174](#)
 Lucha contra la erosión eólica, [233](#)
 Lupino como cobertura y abono verde, [161](#)

LL

Lluvias, [21](#), [22](#)
 de máxima intensidad, [174](#)
 distribución de las, [63](#)

M

Machos de madera en los diques, [264](#)
 Magnesio, [51](#), [53](#), [97](#)
 Maíz, [50](#), [53](#), [54](#), [55](#), [140](#)
 en la rotación de cultivos, [148](#), [153](#)
 en los cultivos limpios, [82](#)
 Malos precios, [73](#)
 Manejo de los terrenos cultivados en fajas, [137](#)
 integral de la finca, [85](#)
 Manganeso, [97](#)
 Mantenimiento de las barreras vivas, [144](#)
 de las terrazas, [210](#)
 Mantillo, utilización del, en la erosión eólica, [237](#)
 Manto rocoso, [7](#)
 Mapa base, [86](#)
 Mapas, [88](#)
 bases, [86](#)
 Matamalezas selectivas, [116](#)
 Materia orgánica, [4](#), [12](#), [39](#), [92](#), [98](#), [155](#), [156](#), [157](#)
 y nitrógeno, [157](#)
 Material de propagación, [119](#)
 almácigos como, [119](#), [120](#)
 en los Estados Unidos, [119](#)
 semillas como, [119](#)
 trasplante como, [119](#)
 Material erodado en Ceilán, [46](#)
 parental, [10](#)
 en la formación del suelo, [10](#)
 vegetal rico en carbono, [158](#)
 Materiales gruesos, [45](#)
 inorgánicos del suelo, [4](#)
 Máxima intensidad de las lluvias, [173](#)
 Mazamorra, [75](#)

Mejoramiento de la estructura del suelo, [40](#)
 Mercados, [73](#)
 Mermelada de caballo en las barreras vivas, [143](#)
 Mestizo, [75](#)
 Meta de la conservación, [67](#)
 Meteorización, [8](#), [9](#)
 de calizas, [15](#)
 de granito, [15](#)
 física, [8](#)
 química, [9](#)
 carbonatación, [9](#)
 hidratación, [10](#)
 oxidación, [9](#)
 reducción, [9](#)
 solución, [9](#)
 Metodología experimental, [279](#)
 cajas divisoras, [280](#)
 escorrentía, [280](#)
 estaciones aforadoras, [280](#)
 meteorológicas, [279](#)
 parcela de comprobación, [279](#)
 pérdida de suelo y agua, [279](#)
 Metodología experimental,
 predio de escorrentía, [279](#)
 registradores automáticos de nivel de
 agua, [280](#)
 tanque de captación, [280](#)
 de sedimentación, [280](#)
 Microorganismos, [12](#), [155](#)
 actividad de los, [157](#)
 Mineralización de los residuos, [155](#)
 Minifundio, [68](#)
 Mississippi, intensidad crítica de las lluvias
 en, [174](#)
 Missouri (Estados Unidos), rotación de culti-
 vos en, [148](#)
 Modo de calcular acequias de ladera, [214](#)
 Muestras de polvo en Oklahoma, [57](#)
 del material en,
 Iowa (Estados Unidos), [58](#)
 en Texas, [58](#)

N

Necesidades de manejo, [79](#)
 Nichos ecológicos, [202](#)
 Nitratos, [52](#)
 Nitritos, [157](#)
Nitrobacter, [157](#)
 Nitrógeno, [50](#), [51](#), [52](#), [53](#), [97](#), [157](#)
 amoniaco, [157](#)
 en la rotación de cultivos, [152](#)
 orgánico, [50](#), [157](#)
 y nítrico, [157](#)
 suministro de, [157](#)
 total, [50](#)
 Nitrosomas o *Nitrosococcus*, [157](#)
 Nivel Abney, [100](#), [127](#)
 de equilibrio, [68](#)
 de manguera, [125](#), [126](#)
 de mano, [126](#)
 de precisión, [127](#)

Nivel Abney, Cont.
 del agricultor, [127](#)
 dummy, [128](#)
 económico, conservación en el, [268](#)
 explotación en el, [268](#)
 para el individuo, [268](#)
 renta en el, [269](#)
 tipo de interés en el, [269](#)
 Y, [128](#)
 Nivelador de lectura indirecta, [125](#)
 Niveladores de lectura directa, [124](#), [125](#)
 de lectura indirecta, [125](#)
 Nociones generales sobre los suelos, [3](#)
 Nódulos, [160](#)
 en las raíces, [160](#)
 Núcleo de conservación de suelos en Co-
 lombia, [285](#)
 Núcleos de conservación de suelos, [284](#)
 resultados logrados, [287](#)
 Nutrimientos, [52](#)
 que arrastran las corrientes, [51](#)

O

Oklahoma, muestra de polvo en, [56](#)
 Oregon, intensidad crítica de las lluvias en,
 [171](#)
 Organismos,
 muertos, [155](#)
 vivos, [12](#), [155](#)
 azotobacter, [12](#)
 bacterias, [12](#)
 hongos, [12](#)
 Oxidación, [9](#)

P

Países Latinoamericanos que dependen del
 café, [73](#)
 Pampa Argentina, distribución de las lluvias
 en la, [63](#)
 pastoreo en los rastrojos de la, [234](#)
 o patata en los cultivos limpios, [82](#)
 Parcelas de comprobación, [280](#)
 de estudio, [31](#)
 testigo, [36](#)
 Parte gaseosa del suelo, [5](#)
 líquida del suelo, [5](#)
 orgánica del suelo, [4](#)
 Partes esenciales de la plancheta, [89](#)
 Pastizal en las zonas de erosión eólica, [234](#)
 Pasto azul en zanjones, [249](#)
 Bermuda en zanjones, [249](#)
 gordura como abono verde, [163](#)
 como sistema de defensa, [265](#)
 en zanjones, [249](#)
 imperial en las barreras vivas, [143](#)
 kikuyo en zanjones, [249](#)
 Pastoreo, [116](#), [121](#)
 excesivo de los rastrojos, [239](#)
 mixto, [117](#)

- Pastos, [115](#)
 en zanjones, [249](#)
- Patatas en la rotación de cultivos, [146](#)
- Pavimento de erosión, [45](#)
- Pedocales, [11](#)
- Pendiente, [30](#)
 del terreno, [92](#), [98](#), [99](#)
 y área del terreno, [30](#)
- Penetración de las raíces, [33](#)
- Percolación, [23](#), [38](#)
- Pérdida de suelo, [25](#), [28](#)
- Pérdidas de anhídrido fosfórico, [51](#)
 de calcio, [50](#), [51](#), [52](#), [53](#)
 de elementos, [49](#)
 de fósforo, [50](#), [51](#)
 de limo, [50](#)
 de magnesio, [50](#), [51](#)
 de nitratos, [52](#)
 de nitrógeno, [50](#), [51](#), [52](#)
 orgánico, [50](#)
 de nutrimentos, [50](#)
 de potasio, [51](#), [52](#)
 de suelo, [24](#), [28](#)
 de suelo y agua, [28](#), [36](#)
 en Chinchiná (Colombia), [28](#), [36](#)
 de suelos, [42](#)
 en cafetal joven, [52](#), [53](#)
 en cafetal viejo, [42](#), [43](#), [53](#)
 en el río Mississippi, [51](#)
 en el río Tennessee, [51](#)
 en la América Tropical, [51](#)
 en Lafayette (Indiana), [51](#)
 en potrero, [52](#), [53](#)
 en suelo desnudo, [52](#), [53](#)
 por efecto de la erosión, [52](#)
 por erosión de elementos nutritivos, [49](#)
- Perfil del suelo, [6](#)
 capa Ap., [7](#)
 distribución del humus dentro del, [157](#)
 horizontes, [6](#)
 horizonte A, [6](#)
 O, [6](#)
 B, [7](#)
 C, [7](#)
 subhorizontes A1 y A2, [7](#)
- Perímetro mojado, [182](#)
- Permeabilidad, [95](#), [102](#)
 del suelo, [95](#)
 del suelo y subsuelo, [95](#)
 lenta, [96](#), [102](#)
 mediana, [96](#), [102](#)
 muy lenta, [95](#), [102](#)
 rápida, [96](#), [102](#)
- Perú, cobertura y abonos verdes en, [157](#)
- pH, [102](#)
 del suelo, [88](#)
- Piña en las barreras vivas, [143](#)
- Piñuela en las barreras vivas, [143](#)
- Pisoteo, [121](#)
 del ganado, [121](#)
- Plagas de los bosques, [118](#)
 en la rotación de cultivos, [140](#)
- Plancheta, [86](#), [88](#), [89](#), [90](#)
- Planificación de fincas, [285](#)
- Plano, [86](#)
- Planta de cobertura coneja como, [168](#)
- Plantas de cobertura, [70](#), [154](#)
 en la conservación del agua, [167](#)
 en los cafetales de Colombia, [168](#)
 en plantaciones perennes, [168](#)
 suelda consuela o cohitre como, [168](#)
- Plantas de escarda en la rotación de cultivos, [152](#)
 que pueden utilizarse en las barreras vivas, [143](#)
- Poda, [120](#), [121](#)
 natural, [121](#)
- Política agraria, [276](#)
- Porcentaje de pendiente, [100](#)
- Porosidad, [17](#), [38](#), [114](#)
- Potasio, [50](#), [51](#), [52](#), [53](#)
- Potrero, [50](#), [51](#), [116](#)
- Potreros, [83](#), [115](#)
 en la rotación de cultivos, [140](#)
- Prácticas agronómicas, [111](#), [114](#)
 culturales, [111](#),
 y agronómicas, [111](#),
 abonos verdes en las, [111](#)
 barreras vivas en las, [111](#)
 distribución adecuada de los cultivos en las, [111](#), [114](#)
 plantas de cobertura en las, [111](#)
 rotaciones en las, [111](#)
 siembra en contorno en las, [111](#)
 en fajas en las, [111](#)
- Prácticas mecánicas, [111](#),
 acequias de ladera en las, [111](#)
 banales en las, [111](#)
 canales de desviación en las, [111](#)
 represas para el control de cárcavas en las, [111](#)
 terrazas de absorción en las, [111](#)
 de desagüe en las, [111](#)
 individuales en las, [111](#)
- Praderas artificiales en la rotación de cultivos, [139](#)
- Precios, [73](#), [268](#)
 en los mercados, [73](#)
- Predio de escorrentía, [278](#)
- Preparación del lugar para la siembra, [119](#)
 abono orgánico para la, [119](#)
 verde para la, [119](#)
 árboles para la, [119](#)
 cárcavas para la, [120](#)
 cobertura muerta (*mulch*) para la, [119](#)
 estructuras para la, [120](#)
 represas para la, [120](#)
 surcos en contorno para la, [119](#)
 taludes para la, [119](#)
 zanjones para la, [120](#)
- Presión de uso, [66](#), [68](#)
- Prevención y lucha contra la erosión eólica, [231](#)
- Primitivos pobladores, [74](#)
 aztecas, [75](#)
 chibchas, [75](#)
 mayas, [75](#)

Principales características físicas de los suelos, [13](#)
 color, [13](#)
 contenido de materia orgánica, [13](#)
 Principios de hidráulica, [30](#)
 Proceso de la erosión eólica, [58](#)
 de meteorización, [8](#)
 Producción de,
 algodón, [54](#)
 de avena, [54](#)
 de kudzu tropical en Colombia, [166](#)
 de kudzu en Puerto Rico, [166](#)
 de maíz, [54](#)
 Productividad, [81](#)
 de los terrenos, [53](#), [54](#), [55](#)
 del suelo, [267](#)
 futura, [72](#)
 del suelo, [54](#)
 Profundidad del zanjón, [242](#)
 efectiva, [92](#), [93](#), [102](#)
 del suelo, [38](#), [93](#)
 Programas de conservación, [267](#)
 Programas radiados, [284](#)
 Propagación de árboles en el zanjón, [248](#)
 de arbustos en el zanjón, [248](#)
 de plantas trepadoras en el zanjón, [248](#)
 por cespedones, [249](#)
 Propiedad rural, concentración de la, [70](#), [278](#)
 Propietario, [72](#)
 ausente, [72](#)
 Proporción de arcilla, [93](#)
 de arena, [93](#)
 de limo, [93](#)
 Protección de la parte alta de una cárcava, [250](#)
 de orillas de ríos y quebradas, [258](#)
 de los bancales, [224](#)
 que ofrece el bosque, [122](#)
 Proteínas, [155](#)
 Puerto Rico, conservación de los suelos en, [272](#)
 Puerto Rico,
 producción de kudzu tropical en, [166](#)
 terrazas individuales en, [226](#)

Q

Qué es el suelo, [3](#)
 Quema de los rastrojos, [239](#)
 Quemadas prescritas, [120](#)

R

Radio hidráulico, [182](#)
 Rastra rotativa, empleo de la, [234](#)
 triangular de madera, [207](#)
 Rastrojo, [101](#), [238](#)
 Rastrojos, pastoreo excesivo de los, [239](#)
 quema de los, [239](#)

Reacción ácida del suelo, [96](#)
 alcalina del suelo, [96](#)
 del suelo, [92](#), [96](#)
 neutra del suelo, [96](#)
 Reconocimiento y anotación de las características importantes de los suelos de cada lote de la finca, [92](#)
 y mapeación de las características de los terrenos de la finca, [92](#)
 Reconocimientos de campo, [278](#)
 Reducción, [9](#)
 por acre de algodón-semilla, [54](#)
 por acre de avena, [54](#)
 por acre de maíz, [54](#)
 Reforestación, [119](#)
 Reforma agraria, [278](#)
 Registradores automáticos de nivel del agua, [280](#)
 Regulación de los precios, [277](#)
 en los Estados Unidos, [277](#)
 intervención estatal directa, [277](#)
 Regulaciones, bonificaciones, [276](#)
 castigo monetario, [276](#)
 clasificación agrológica, [276](#)
 expropiación, [276](#)
 interés social, [276](#)
 intervención estatal, [275](#)
 sobre el uso de los terrenos agrícolas, [275](#)
 terrenos subutilizados, [276](#)
 Rejas en V, [233](#)
 Relación de coloides, [35](#)
 a equivalente de humedad, [36](#)
 Relación de dispersión, [36](#)
 de erosión, [35](#), [37](#)
 Relieve de la superficie, [10](#)
 Remolacha en la rotación de cultivos, [148](#)
 Renta, [68](#), [265](#)
 Represas de ladrillos para proteger zanjones, [255](#)
 de madera, bambú en las, [256](#)
 guadua en las, [256](#)
 de malla de alambre, [253](#)
 de piedras sueltas, [251](#)
 de tallos y hojas de plantas leñosas, [254](#)
 en los zanjones, [254](#)
 para el control de cárcavas, [250](#)
 Residuos vegetales,
 para cubrir las dunas, [242](#)
 tratamiento de los, [237](#)
 utilización de los, en la erosión eólica, [237](#)
 Resinas, [155](#)
 Resistencia a la erosión, [37](#)
 que ejerce el suelo, [21](#)
 Restablecimiento de un bosque, [112](#)
 Resultados obtenidos en,
 Bethany (Missouri), [33](#)
 en Clarinda (Iowa), [33](#)
 en Guthrie (Oklahoma), [33](#)
 en La Crosse (Wisconsin), [33](#)
 en Tyler (Texas), [33](#)
 Retención de humedad, [114](#)
 Rhizobium, [160](#)

- Revisión de las terrazas, [210](#)
 Río Mississippi, pérdidas en el, [51](#)
 pérdidas en el, Ohio, [51](#)
 Tennessee, pérdidas en el, [51](#)
 Rodamiento, [61](#),
 Roedores, [12](#)
 Rompevientos, [118](#), [236](#)
 densidad de los, [237](#)
 Rotación de cosechas, [70](#)
 Rotación de cultivos, [145](#), [234](#)
 abonos en la, [147](#)
 abono verde en la, [152](#)
 abonos verdes en la, [152](#)
 alfalfa en la, [146](#)
 algodón en la, [146](#)
 aumento de producción, [146](#)
 avena en la, [146](#), [147](#)
 bosques en la, [146](#)
 Rotación de cultivos,
 cebada en la, [146](#), [152](#)
 centeno en la, [146](#)
 cultivos de larga duración en la, [146](#)
 densos en la, [146](#)
 limpios anuales en la, [146](#)
 enfermedades en la, [146](#)
 factores que influyen en la, [146](#)
 en la selección de una, [145](#)
 fertilizantes en la, [146](#), [147](#)
 hortalizas en la, [146](#)
 leguminosas en la, [146](#)
 maíz en la, [146](#), [148](#)
 nitrógeno en la, [152](#)
 patatas en la, [146](#)
 plagas en la, [146](#)
 plantas de escarda en la, [152](#)
 potreros en la, [146](#)
 praderas artificiales en la, [14](#)
 tabaco en la, [146](#)
 trébol en la, [146](#)
 trigo en la, [146](#), [148](#)
 volcamiento en la, [152](#)
 Rotación en la siembra en fajas, [137](#)
 Rotaciones, [145](#), [148](#)
 pérdidas de suelo y agua, [148](#)
 Rozamiento del agua en el canal, [182](#)
- S**
- Saltación, [58](#), [60](#)
 San Juan de Puerto Rico, intensidad crítica
 de las lluvias en, [174](#)
 Sao Paulo, estaciones experimentales en, [42](#)
 Sección transversal de las terrazas, [220](#)
 Secuencia de las rotaciones, [154](#)
 Selección, [145](#)
 de alternativas, [83](#), [84](#)
 de especies, [118](#)
 de especies de los bosques, [118](#)
 Semillas como material de propagación, [115](#)
 Separados del suelo, [15](#)
 Siembra continua, [146](#)
 en contorno, [111](#), [122](#), [124](#)
 curvas de nivel, [123](#), [128](#), [132](#)
 en Latinoamérica, [124](#)
 en los Estados Unidos, [124](#)
 en curvas de nivel, [132](#)
 aporques en la, [133](#)
 desyerbas en la, [133](#)
 en fajas, [111](#), [137](#)
 caballones en la, [137](#)
 cultivos de escarda en la, [137](#)
 denso en la, [137](#)
 forrajes en la, [137](#)
 hileras interrumpidas en la, [137](#)
 rotación en la, [137](#)
 surcos muertos en la, [137](#)
 Sistema de arriando, [72](#)
 de símbolos numéricos, [102](#)
 de terrazas, [198](#)
 Sistemas culturales, [73](#)
 de combate, [278](#)
 ensayos, [278](#)
 experimentos, [279](#)
 investigaciones, [279](#)
 de conservación, [111](#)
 de suelos, [111](#)
 educativos, [283](#)
 boletines, [283](#)
 carteles, [283](#)
 conferencias, [283](#)
 programas radiados, [284](#)
 Solución, [9](#), [10](#)
 Sobrepastoreo, [117](#)
 Sombreamiento del suelo, [159](#)
 Sombrío transitorio en plantaciones de se-
 mibosque, [137](#)
 Sorgo como abono verde, [163](#)
 Subhorizontes A1 y A2., [7](#)
 Subsolador, descripción del, [233](#)
 Sucesión natural, [118](#)
 de los bosques, [118](#)
 Suelda consuela o cohite como planta de
 cobertura, [168](#)
 Suelo desnudo, [50](#), [52](#)
 manejo del, [233](#)
 Suelo, tamaño de las partículas del, [14](#)
 textura del, [15](#)
 Suelos, [35](#)
 condiciones físicas de los, [35](#)
 químicas de los, [30](#)
 de Cuba, [37](#)
 erosionables, [36](#)
 no erosionables, [36](#)
 tropicales, [39](#), [151](#)
 Suministro de nitrógeno a las plantas, [152](#)
 Surcar en contorno para la preparación del
 lugar para la siembra, [119](#)
 Surco muerto, [133](#)
 en la labranza en curva de nivel, [133](#)
 Surcos en contorno, [117](#), [119](#)
 muertos en la siembra en fajas, [137](#)
 Susceptibilidad relativa de los suelos a la
 erosión, [35](#), [38](#)
 Suspensión, [61](#)

T

- Tabaco, [101](#), [140](#), [162](#)
 en la rotación de cultivos, [146](#)
 en los cultivos limpios, [82](#)
- Tabla para el cálculo de bancales, [222](#)
- Talud de las paredes del bancale, [222](#)
 erosionado, [258](#)
- Taludes, [198](#)
 de las terrazas individuales, [230](#)
 del zanjón, [247](#)
 para la preparación del lugar para la siembra, [120](#)
- Tamaño de las fincas y distribución de la propiedad rural, [70](#)
 de las partículas, [31](#)
 de las partículas del suelo, [61](#)
- Tanque de captación, [280](#)
 de sedimentación, [280](#), [282](#)
- Temperatura del suelo, [159](#)
- Temple (Texas), pérdidas de suelo y agua en, [149](#)
- Tenencia de la tierra, [72](#)
- Terraceador vertical rotatorio, [206](#)
- Terraza a nivel, [195](#)
 individual, diámetro de la, [279](#)
 en cafetales, [222](#)
 en huertos frutales, [222](#)
 especificaciones de la, [229](#)
- Terrazas, [194](#)
 cómo arar los terrenos en, [211](#)
 cómo sembrar un terreno en, [212](#)
 con arado, construcción de, [203](#)
 con arado y rastra, construcción de, [205](#)
 construcción de un sistema de, [203](#)
 con terraceador vertical rotatorio, construcción de, [206](#)
 de absorción, [194](#)
 de banco con las barreras vivas, [140](#)
 de banco y bancales, [219](#)
 de caballón, [194](#)
 de canal, [194](#)
 de desagüe, [194](#)
 de pendiente variable, desnivel para, [197](#)
 desnivel de las, [197](#)
 variable de las, [197](#)
 diseño y cálculo de las, [195](#), [196](#), [197](#)
 eficiencia en la construcción de, [201](#)
 en el cultivo en fajas, [136](#)
 en los Estados Unidos, [202](#)
 en Latinoamérica, [202](#)
 individuales, [111](#), [226](#),
 construcción de las, [229](#)
 en Colombia, [226](#)
 en Puerto Rico, [226](#)
 taludes de las, [229](#)
 ventajas y desventajas de las, [228](#)
 localización de las, [198](#)
 longitud de las, [197](#)
 mantenimiento de las, [210](#)
 para el encauzamiento de aguas de escorrentía, [171](#)
 revisión de las, [210](#)
 sección transversal de las, [198](#)
- Terrazas, Cont.
 sistema de, [195](#)
 y cultivo en fajas, combinación de, [213](#)
 y fajas al contorno, [213](#)
- Terreno, [81](#), [93](#)
- Terrenos con escasa cubierta vegetal, [45](#)
 deteriorados por el mal uso, [118](#)
 laboreo de los, en la erosión eólica, [233](#)
- Texas, muestras del material en, [53](#)
- Textura del suelo, [14](#), [15](#), [16](#), [35](#), [93](#)
 del suelo superficial, [93](#), [94](#), [95](#)
 intermedia, [35](#), [84](#)
- Tiempo de concentración, [172](#)
 de la escorrentía crítica, [172](#)
- Tierras de pastoreo, [101](#)
- Tipos de terrazas, [194](#)
- Topografía, [12](#)
 de la zona en la formación del suelo, [12](#)
- Tortilla, [75](#)
- Tradición indígena en el cultivo del maíz, [74](#)
- Tradiciones, [74](#)
 científicas, [75](#)
 y costumbres, [74](#)
 y costumbres en,
 América Central, [74](#)
 Colombia, [74](#)
- Tradiciones y costumbres en:
 Guatemala, [74](#)
 en Honduras, [74](#)
 en México, [74](#)
 en Nicaragua, [74](#)
- Transformación del material parental en suelo, [10](#)
- Transpiración, [22](#)
- Trasplante, [119](#)
- Tratamiento de los residuos vegetales, [235](#)
 de los terrenos, [81](#)
- Trazado de las acequias, [215](#)
 de las fajas, [136](#)
 de una plantación en contorno, [128](#)
 lomo en el, [131](#)
- Traza con un nivelador de lectura indirecta, [126](#), [127](#)
 del desagüe, [200](#)
 de las acequias de ladera, [215](#)
 de los bancales sobre el terreno, [222](#)
 de una plantación en contorno, [128](#)
 caballete en el, [125](#)
 caballón en el, [131](#)
 línea en dirección de la pendiente en el, [128](#)
 líneas guías en el, [129](#)
- Trébol, [82](#)
 en la rotación de cultivos, [148](#)
 rojo como cobertura y abono verde, [160](#)
 como forraje, [165](#)
- Tréboles dulces,
 como abono verde, [163](#)
 como cobertura y abono verde, [160](#)
- Trigo, [50](#), [55](#), [115](#)
 como abono verde, [158](#)
 en la rotación de cultivos, [146](#), [147](#), [148](#)
 en los cultivos densos, [82](#)

Turrialba, [29](#)
Tyler (Texas), [33](#), [34](#)

U

Unidades de pH, [96](#)
fisiográficas, [98](#)
Universidad de Missouri, experimentos en la, [30](#)
Uso actual de los terrenos, [101](#)
de cada terreno, [83](#)
de la plancheta, [89](#)
Uso del terreno, [81](#),
Utilización del mantillo en la erosión eólica, [237](#)
de los residuos vegetales en la erosión eólica, [237](#)

V

Valores aproximados de la velocidad de la escorrentía, [177](#)
de *n* datos por Horton, [183](#)
Valorización, [69](#)
Vegetación, [12](#), [39](#), [40](#)
Vegetales de bajo contenido de fibra, [154](#)
Velocidad cero del viento, [58](#)
de la escorrentía, [20](#)
del agua, [28](#)
del agua en el canal, [181](#), [182](#)
del viento, [58](#), [61](#)
media del flujo, [182](#)
mínima erosiva, [61](#)
permisible del agua en el canal, [181](#)
segura del agua en el canal, [181](#)
Velocidades máximas seguras para acequias y canales, [182](#)
Ventajas de una buena rotación, [146](#)
y desventajas de las terrazas individuales, [228](#)
Vertientes montañosas, [34](#)
Vetiver en las barreras vivas, [143](#)
Vías de comunicación, [63](#), [69](#)
Viento, velocidad del, [58](#)
velocidad cero del, [58](#)

Volcamientos en la rotación de cultivos, [152](#)
Volumen de la escorrentía, [21](#)

W

Washington, intensidad crítica de las lluvias en, [174](#)
Willamette (Oregón), suelos erosionados en, [51](#)

Z

Zanesville (Ohio), pérdidas de agua y suelo en, [149](#)
Zanjillas, [46](#)
Zanjón, [46](#), [47](#), [48](#)
área de drenaje del, [245](#)
canal de desviación del, [246](#)
profundidad del, [245](#)
propagación de árboles en el, [248](#)
de arbustos en el, [248](#)
de gramíneas rastreras en el, [248](#)
de plantas trepadoras en el, [248](#)
taludes del, [248](#)
Zanjones, boquillas en las represas de los, [251](#)
Zanjones, cespedones en, [249](#)
corrección de, [245](#)
estructuras de los, [251](#)
estructuras permanentes para proteger, [255](#)
kudzu en, [249](#)
lespedezas en, [249](#)
pasto azul en, [249](#)
pasto Bermuda en, [149](#)
Zanjones, pasto, gordura en, [249](#)
pasto kikuyo en, [249](#)
pastos en, [249](#)
represas en los, [251](#), [253](#), [254](#)
represas de ladrillo para proteger, [255](#)
Zona tropical, [98](#)
Zonas rurales de Latinoamérica, [72](#)
tropicales bajas, cobertura y abonos verdes en las, [166](#)

INDICE DE AUTORES

A

Agricultural Research Service, [289](#)
Allis-Chalmers, [168](#)
Allis, John, A., [232](#)
Alvarado, A., [18](#)
Arango A., [170](#)
Armero, L.O. de, [76](#)
Ayres, Q.C., [40](#), [63](#), [231](#), [266](#)

B

Barnett, A.P., [66](#)
Bates, C.B., [43](#), [63](#)
Baver, L.D., [63](#)
Beadley, R.P., [232](#)
Bennett, H.H., [37](#), [63](#), [266](#)
Betancourt, H., [112](#)
 y colaboradores, [288](#)
Bhimaya, C.P., [243](#)
Bingham, F.T., [18](#)
Binns, B., [273](#), [288](#)
Biswell, H.H., [168](#)
Bisot, P., [66](#)
Black, C.A., [181](#)
Blaisdell, F.W., [232](#)
Blumenstock, D.L., [63](#)
Boalch, D.H., [19](#)
Bornemisza, E., [18](#)
Bostanoglu, L., [231](#)
Boykin, C.C., [289](#)
Brady, N.C., [18](#)
Brakensick, D.L., [113](#)
Bray, [13](#)
Brown, A.A., [168](#)
Brown, R.L., [243](#)
Buckman, H.O., [18](#)
Bunce, A.C., [267](#), [268](#), [288](#)

C

Campaña de Defensa y Restauración de Suelos, [112](#), [288](#)
Carvajalino Jacome, L.J., [168](#)
Ciriacy-Wantrup, S.V., [76](#)

Clarke, F.W., [18](#)
Cohee, M.H., [76](#)
Comber, N.M., [18](#)
Conner, A.B., [64](#)
Cooper, M.R., [76](#)
Cossitt, F.M., [168](#)
Coutu, A.J., [76](#)
Cox, M.B., [231](#)
Culbertson, R.E., [168](#)

CH

Chepil, W.S., [59](#), [63](#), [66](#), [239](#), [243](#)

D

Dale, T., [112](#)
Daniel, H.A., [50](#), [64](#)
 y colaboradores, [50](#)
Davis, R.E., [112](#)
Dickson, R.E., [64](#)
Duley, F.C., [50](#), [64](#)
Duley, F.L., [64](#)

E

Eargle, D.H., [266](#)
Edwards, W.M., [124](#), [168](#)
Elson, J., [64](#)
Elwell, H.M., [64](#)
Ellis, [13](#)
Ellison, W.D., [64](#)
Enlow, C.R., [168](#)
Evans, T.C., [289](#)

F

F.A.O., [58](#), [64](#), [76](#), [170](#), [243](#), [288](#)
Fassbender, H.W., [18](#)
Ferber, [243](#)
Fippin, E.O., [50](#), [64](#)
Firey, W., [76](#)

Fivaz, A.F., [168](#)
 Fly, C., [64](#)
 Forsythe, W., [64](#)
 Foth, H.D., [18](#)
 Francis, C.J., [266](#)
 Free, [60](#), [64](#), [66](#)

G

Gessel, S.P., [18](#)
 Gifford, G.F., [170](#)
 Gondelles Amengual, R., [289](#)
 González Tafur, [76](#)
 Gray, L.C., y colaboradores, [76](#)
 Greer, J.D., [25](#), [64](#)
 Gunning, H.A., [168](#)
 Gustafson, A.F., [64](#), [170](#)

H

Hardy, F., [18](#)
 Hamilton, C.L., [231](#)
 Happ, S.C., [266](#)
 Harper, H.J., [64](#)
 Harrison, P.O., [76](#)
 Harrold, L.L., [124](#), [168](#)
 Harrold, L.L., y colaboradores, [288](#)
 Hartman, M.A., [289](#)
 Hauser, V.L., [237](#)
 Hawkins, R.H., [170](#)
 Hays, O.E., [64](#)
 Hendrickson, B.H., [64](#)
 Henrard, A., [266](#)
 Henry, A.J., [43](#), [63](#)
 Hernández Robredo, L., [169](#)
 Holdridge, L.R., [113](#)
 Holland, T.H., [50](#), [64](#)
 Horton, [177](#), [182](#)
 Hunter, J.R., [113](#)

I

Ignatieff, V., [53](#), [64](#)
 Instituto de Suelos, [64](#), [243](#)
 Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, [288](#)
 Instituto Panamericano de Geografía e Historia, [113](#)
 Ireland, H.A., [266](#)
 Irvins, J.D., [170](#)
 Israelsen, O.W., [232](#)

J

Jack, G.V., [19](#)
 Jacobson, P., [233](#)
 Jansen, A.M., [242](#), [243](#)
 Jenny, H., [11](#), [13](#), [18](#)
 Jenny, H., y colaboradores, [18](#)

Jepson, H.G., [266](#)
 Joachim, A.W.R., [50](#), [64](#)
 Joffe, J.S., [18](#)
 Jones, J.S., [65](#)

K

Kellogg, Ch.E., [76](#)
 King, H.W., [172](#), [231](#)
 Klingebiel, A.A., [113](#)
 Knoblauch, H.C., [50](#), [64](#)
 Kohnke, H., [50](#), [64](#)
 Kovner, J.L., [289](#)

L

Lal, R., [66](#)
 Langhan, W.H., [64](#)
 Larson, C.L., [232](#)
 Leighty, C.E., [169](#)
 Lillard, J.H., [65](#)
 Lyles, L., [243](#)

LL

Llosa Belaunde, C., [76](#)

M

Mannering, J.V., [38](#), [39](#), [66](#), [289](#)
 Manning, [182](#), [184](#)
 Marbut, [11](#)
 Marques, J.Q.A., [65](#), [169](#)
 Marques, J.Q.A. y colaboradores, [124](#)
 McKee, R., [169](#)
 McQuilkin, W.E., [169](#)
 Meyer, H.A., [170](#)
 Meyer, L.D., [189](#)
 Middleton, H.E., [35](#), [37](#), [65](#)
 Millar, C.E., [18](#)
 Minshall, N.E., [266](#)
 Molga, M., [232](#)
 Molina, J.S., [66](#)
 Montgomery, P.H., [113](#)
 Morón, L., [266](#)
 Murray, W.G., [65](#)
 Musgrave, G.W., [169](#)

N

National Academy of Science, [19](#)
 Neal, J.H., [26](#), [27](#), [65](#)
 Nitta, S., [266](#)
 Norton, E.A., [98](#), [112](#)

O

Oakes, C.K., [232](#)

P

Page, [H.J.](#), [64](#)
 Paulet, [M.](#), [65](#)
 Phillips, [J.F.V.](#), [170](#)
 Pieters, [A.J.](#), [169](#)
 Pine, [W.H.](#), [65](#)
 Porter, [H.L.](#), [266](#)
 Powers, [W.L.](#), [65](#)
 Prieto Bolívar, [J.](#), [221](#), [231](#), [266](#)

R

Ramser, [C.E.](#), [172](#), [177](#), [178](#)
 Reeves, [H.C.](#), [169](#)
 Rindt, [C.A.](#), [168](#)
 Ripley, [P.O.](#), [66](#)
 Rittenhouse, [G.](#), [266](#)
 Rivera Ariza, [R.](#), [76](#)
 Robinson, [G.W.](#), [18](#)
 Rocha, [J.A.](#), [66](#)
 Rode, [A.](#), [19](#)
 Rodríguez Grandas, [A.](#), [65](#)
 Rogers, [H.T.](#), [50](#), [64](#), [65](#)
 Ross, [W.A.](#), [112](#)
 Russell, [E.W.](#), [19](#)
 Ruzek, [C.V.](#), [65](#)

S

Saenz Maroto, [A.](#), [19](#)
 Sánchez, [P.A.](#), [19](#)
 Sauberan, [C.](#), [66](#)
 Scoates, [D.](#), [64](#)
 Schickele, [R.](#), [76](#)
 Selby, [W.E.](#), [232](#)
 Sharpe, [C.F.S.](#), [266](#)
 Silberberger, [L.F.](#), [263](#)
 Smith, [D.D.](#), [66](#), [76](#)
 Smith, [T.L.](#), [70](#)
 Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo, [19](#)
 Soil Conservation Service, [243](#)
 Soil Conservation Society of America, [289](#)
 Souffront, [L.O.](#), [231](#)
 Sowder, [A.M.](#), [169](#)
 Stalling, [J.H.](#), [65](#), [169](#), [243](#)
 Stoerz, [A.D.](#), [243](#)
 Storey, [H.C.](#), [170](#)
 Suárez de Castro, [F.](#), [65](#), [76](#), [124](#), [169](#), [170](#), [231](#), [289](#)

T

Tavernier, [R.](#), [19](#)
 Thatcher, [L.E.](#), [170](#)
 Tower, [H.E.](#), [124](#), [135](#), [169](#)
 Trueba Coronel, [S.](#), [231](#)
 Truog, [E.](#), [112](#)
 Turk, [L.M.](#), [18](#)

U

Uhland, [R.E.](#), [169](#)
 U.S. Agricultural Research Service, [289](#)
 U.S. Department of Agriculture, [16](#), [18](#), [65](#), [112](#), [169](#), [266](#)
 U.S. Soil Conservation Service, [112](#), [231](#)
 Utz, [E.J.](#), y colaboradores, [76](#)

V

Vieira, [L.S.](#), [18](#)
 Vogt, [W.](#), [70](#), [76](#)

W

Wehrwein, [G.S.](#), y colaboradores, [289](#)
 Wells, [O.V.](#), [74](#)
 Wilson, [W.T.](#), [232](#)
 Willard, [C.J.](#), [170](#)
 Wischmeier, [W.H.](#), [38](#), [39](#), [66](#)
 Wisconsin University, [289](#)
 Witfield y Brown, [243](#)
 Wolman, [M.G.](#), [266](#)
 Woodruff, [N.P.](#), [243](#)
 Worley, [L.D.](#), [232](#)

Y

Yarnell, [D.C.](#), [174](#), [231](#)

Z

Zingg, [A.W.](#), [66](#), [243](#)

Copyrighted material

Copyrighted material

