

Conservación de suelos y agua

Una premisa del
desarrollo sustentable

Oscar Simón Rodríguez Parisca



Universidad Central de Venezuela
Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico

Agronomía

Copyright, 2018

© Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico,
Universidad Central de Venezuela (CDCH-UCV)

Autor:

Oscar Simón Rodríguez Parisca
osrp1958@gmail.com

Título:

Conservación de suelos y agua: una premisa del desarrollo sustentable

ISBN: 978-980-00-2520-8

Depósito Legal: lf15720086304497

Coordinador Editorial:

Glisell Bonilla

Coordinador de Producción:

Levi Galindo

Corrección de textos:

María Enriqueta Gallegos

Diagramación:

Editorial Torino

2^{da} Edición (Digital)

Todas las obras publicadas por el CDCH-UCV son sometidas a arbitraje.

Rodríguez Parisca, Oscar Simón.

Conservación de suelos y agua: una premisa del desarrollo sustentable /
Oscar Simón Rodríguez Parisca. - - Caracas: Universidad Central de
Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, 2009.

ISBN: 978-980-00-2520-8

D.L.: lf15720086304497

1. Conservación de los recursos naturales. 2. Conservación del suelo. 3. Agua – Conservación. I. Título.

333.72

R696



Licencia Creative Commons BY-NC-ND (Atribución, No Comercial, Sin
Obras Derivadas) 4.0 Internacional.

Conservación de suelos y agua: una premisa del desarrollo sustentable.

La conservación de suelos y agua ha evolucionado paulatinamente para dar respuesta a los graves problemas de degradación de tierras que ocurren en todos los continentes y en todas las latitudes. Para ello se han destinado innumerables esfuerzos y recursos con la finalidad de controlar o mitigar problemas de degradación de tierras a nivel mundial. Sin embargo, no todos los resultados han sido exitosos y existe todavía la amenaza de que se degraden o pierdan recursos esenciales como son los suelos y el agua, necesarios para satisfacer las demandas por bienes y servicios de las generaciones presentes y futuras.

El presente trabajo recoge una serie de experiencias que hemos llevado a cabo en la Cátedra de Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela en los últimos 25 años, las cuales se combinan con otras experiencias, ideas y conceptos que en conservación de suelos y agua se han realizado a nivel nacional e internacional, de manera de contribuir al desarrollo y aplicación de esta disciplina, que puede considerarse una premisa del desarrollo sustentable, tal como se subtitula esta obra, la cual debe servir de apoyo a estudiantes de Agronomía, Ingeniería Forestal, Conservación de Recursos, Ecología y Ciencias Ambientales, geógrafos, planificadores y otras carreras afines.

Se ha plasmado una serie de temas, partiendo de la problemática ambiental y la conservación de los recursos naturales en general, ubicándolos y relacionándolos con los principios ecológicos, económicos y sociales, de manera que se logre una visión integral a la hora de tomar decisiones y ejecutar acciones en el campo de la conservación de suelos y agua. Esta disciplina puede contribuir no sólo a solucionar los problemas inmediatos de degradación de tierras, sino que puede jugar un rol fundamental en la solución de problemas ambientales de diversa naturaleza.

Oscar Simón Rodríguez Parisca. Ingeniero Agrónomo, MSc. Ciencia del Suelo UCV, Doctorado en Ciencias de la Tierra, Universidad de Gante, Bélgica, Profesor Titular en Conservación de Suelos y Agua, Facultad de Agronomía, UCV. Involucrado en investigación, docencia y extensión desde 1980. Sus primeras investigaciones se enfocaron en la adaptación y validación de la ecuación universal de pérdidas de suelo en Venezuela, realizando ensayos sobre sistemas de conservación de suelos en laderas que evalúan cultivos, barreras vivas, coberturas de residuos y otras prácticas. Realizó doctorado (1991-1995) en el ITC-Enschede, Holanda, bajo la supervisión del Dr. Alfred Zinck con una disertación sobre: “Conflictos de uso de la tierra y estrategias de planificación en zonas periurbanas”, en la Universidad de Gante, Bélgica.

Desde 1997 coordina cursos para graduados sobre Conservación de Suelos. Ha participado en las conferencias internacionales sobre Vetiver, realizadas en Tailandia y China, y fue miembro del Comité Organizador de la conferencia realizada en Venezuela (2006). Investigador visitante en el “Grassland Soil and Water Research Lab” del USDA, Temple, Texas (1999-2000). Es miembro de diversas asociaciones profesionales y conservacionistas. Asesor y colaborador en diversos proyectos relacionados con restauración de tierras, inventario de recursos, conservación de suelos, control de erosión y manejo de cuencas.

Colección Estudios

Conservación de suelos y agua

Una premisa del desarrollo sustentable

Oscar Simón Rodríguez Parisca

Conservación de suelos y agua

Una premisa del desarrollo sustentable



Universidad Central de Venezuela
Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico
Caracas, 2018

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| LISTA DE CUADROS | 15 |
| LISTA DE FIGURAS | 19 |
| PRÓLOGO | 27 |
| PRESENTACIÓN | 35 |
| AGRADECIMIENTOS | 37 |
| I. INTRODUCCIÓN | 41 |
| II. CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES | 49 |
| II.1 Recursos naturales, ecología y ambiente | 49 |
| II.1.1 Recursos naturales | 49 |
| II.1.2 Necesidad del hombre por recursos | 50 |
| II.1.3 Ecología y ambiente. La visión de sistema | 50 |
| II.1.4 Degradación y mal uso de los recursos. Impactos ambientales | 55 |
| II.1.5 Problemas ambientales relevantes en el presente. La presión demográfica | 55 |
| II.2 Elementos básicos sobre conservación | 62 |
| II.2.1 Conceptos sobre conservación | 62 |
| II.2.2 Objetivos de la conservación | 63 |
| II.2.3 Conflictos de la conservación | 63 |
| -El largo y el corto plazo | 64 |
| -Intereses individuales e intereses sociales | 64 |
| -Aspectos tecnológicos | 64 |
| -El modo de producción y las estrategias de desarrollo | 64 |
| -Uso de recursos globales | 66 |
| II.2.4 Desarrollo de la conservación | 66 |
| -Con relación a la antigüedad | 67 |
| -En el mundo contemporáneo | 68 |
| II.2.5 Obstáculos a la conservación | 69 |

ÍNDICE

| | | |
|---------|--|-----|
| II.3 | Clasificación de los recursos | 69 |
| II.3.1 | Criterios de clasificación de recursos | 69 |
| II.3.2 | Clasificación de recursos con fines de su conservación | 72 |
| II.3.3 | Aspectos estratégicos a considerar en el uso racional de los recursos según su clasificación | 74 |
| II.4 | Elementos básicos de economía de la conservación..... | 78 |
| II.4.1 | La valoración del ambiente | 78 |
| II.4.2 | Curvas de ingreso neto en el tiempo con y sin prácticas de conservación | 79 |
| II.4.3 | Principales factores económicos que afectan las decisiones sobre conservación | 83 |
| | -El tipo de interés y las decisiones sobre conservación..... | 83 |
| | -El tiempo de planeamiento y las decisiones sobre conservación | 85 |
| | -Factores relacionados con el momento de uso de los recursos | 86 |
| II.4.4 | Las curvas de indiferencia en los programas de conservación de suelos | 88 |
| II.4.5 | La acción social para la conservación | 90 |
| II.4.6 | Relaciones uso(s)-recurso(s) | 91 |
| III. | DEGRADACIÓN DE TIERRAS..... | 93 |
| III.1 | Tierra. Concepto. Componentes. Funciones. Disponibilidad | 93 |
| III.2 | Suelos problema o suelos con limitaciones..... | 98 |
| III.3 | Degradación de tierras. Concepto. Tipos. Factores Distribución espacial. La desertificación | 100 |
| III.3.1 | Tipos de degradación | 101 |
| III.3.2 | Factores y procesos | 106 |
| III.3.3 | Distribución espacial..... | 108 |
| III.3.4 | La desertificación | 111 |
| III.4 | La erosión | 114 |
| III.4.1 | La erosión eólica | 116 |
| III.4.2 | La erosión hídrica | 119 |
| | -Procesos y mecanismos | 119 |

| | |
|---|-----|
| -Factores que afectan la erosión hídrica | 122 |
| -Tipos de erosión hídrica | 139 |
| III.5 Impactos de la erosión hídrica en la productividad y el ambiente | 145 |
| III.6 Calidad del suelo, índices e indicadores | 153 |
| III.7 Algunos métodos de investigación en conservación de suelos y agua | 157 |
| IV. EUPS. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO Y SUS DERIVACIONES. | |
| MODELOS DE SIMULACIÓN AGROAMBIENTAL | 165 |
| IV.1 Antecedentes e historia | 166 |
| IV.2 La EUPS y sus factores componentes | 169 |
| IV.3 Alcances y aplicaciones de la ecuación universal de pérdidas de suelo | 171 |
| IV.4 Limitaciones de la EUPS (USLE) | 171 |
| IV.5 Factores componentes y algunos estudios básicos en Venezuela | 172 |
| IV.5.1 Erosividad de la lluvia o factor R | 172 |
| IV.5.2 Erosionabilidad del suelo o factor K | 180 |
| IV.5.3 Los factores topográficos L y S | 184 |
| IV.5.4 Los factores C y P de la EUPS | 186 |
| IV.5.5 Obtención de valores CP de la USLE en trabajos realizados por la Cátedra de Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Agronomía-UCV | 195 |
| IV.6 Modificaciones y derivaciones de la USLE. Modelos de simulación agroambiental..... | 207 |
| IV.6.1 Ecuaciones y modelos derivados de la USLE | 207 |
| IV.6.2 Los modelos de simulación agroambientales | 215 |
| V. PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA | 223 |
| V.1 Aspectos generales | 223 |
| V.1.1 Conservación de suelos y agua –CSA. Concepto. Principios | 224 |

ÍNDICE

| | | |
|-------|---|-----|
| V.1.2 | Conservación de suelos y agua –CSA. Objetivos..... | 231 |
| V.1.3 | Evolución y enfoques en la conservación de suelos y agua | 232 |
| V.1.4 | Prácticas en conservación de suelos y agua–CSA. Clasificación | 235 |
| V.1.5 | El uso adecuado de la tierra..... | 238 |
| | -Uso adecuado de la tierra y control de la erosión | 239 |
| | -Valor conservacionista de los cultivos | 243 |
| V.2 | Prácticas culturales | 245 |
| V.2.1 | Fertilización y enmiendas minerales y orgánicas..... | 245 |
| V.2.2 | El riego conservacionista | 250 |
| V.2.3 | Sistemas de siembra | 251 |
| V.2.4 | Los acondicionadores de suelo | 252 |
| V.2.5 | La agricultura de precisión | 254 |
| V.2.6 | El despedramiento de parcelas | 254 |
| V.2.7 | La quema con prescripción y los cortafuegos .. | 255 |
| V.2.8 | Los sistemas de labranza | 256 |
| V.3 | Prácticas agronómicas..... | 267 |
| V.3.1 | Las coberturas sobre el suelo | 267 |
| | -Coberturas cuando la tierra está en descanso. | 269 |
| | -Coberturas que mejoran y protegen el suelo mientras se conduce el cultivo | 273 |
| V.3.2 | Los abonos verdes –AV..... | 279 |
| V.3.3 | Sistemas de cultivo | 280 |
| V.3.4 | Rotación de cultivos..... | 282 |
| V.3.5 | Sistemas agroforestales y agrosilvopastoriles... | 285 |
| V.3.6 | Las barreras muertas..... | 287 |
| V.3.7 | Las zonas amortiguadoras | 287 |
| | -Las barreras vivas | 288 |
| | -Cultivo en franjas | 305 |
| | -Franjas en contorno en rotación | 310 |
| | -Cultivos en galería o pasillo | 312 |
| | -Las barreras rompeviento | 313 |

| | | |
|-------|--|-----|
| V.4 | Las prácticas mecánicas o ingenieriles | 315 |
| V.4.1 | Diseño: cálculo de la escorrentía crítica | 316 |
| V.4.2 | Las zanjas o canales de desviación | 320 |
| V.4.3 | Las acequias de ladera o zanjas antierosivas.... | 322 |
| V.4.4 | Los drenajes protegidos | 324 |
| V.4.5 | Bordos o cordones a nivel | 324 |
| V.4.6 | Las terrazas | 325 |
| V.4.7 | Terrazas individuales | 329 |
| V.4.8 | Microcuencas | 329 |
| V.4.9 | Derivación de cauces intermitentes | 331 |
| V.5 | Prácticas especiales en conservación de suelos y agua | 332 |
| V.5.1 | Casos especiales en conservación de suelos y agua | 333 |
| - | Control de erosión y sedimentación en sitios de construcción | 333 |
| - | La estabilización de taludes..... | 333 |
| - | Control y recuperación de áreas afectadas por cárcavas | 334 |
| - | Restauración de la vegetación en sitios de reclamo, zonas de desechos mineros y otras excavaciones | 336 |
| - | Control de erosión de banco de río | 337 |
| V.5.2 | Descripción de algunas prácticas especiales en conservación de suelos y agua..... | 337 |
| - | Estabilizadores químicos | 337 |
| - | Cobertura de compost..... | 338 |
| - | Cobertura de residuos o mulch..... | 338 |
| - | Diques artesanales | 339 |
| - | Diques con gaviones | 340 |
| - | Lagunas de sedimentación y trampas de sedimentos | 340 |
| - | Fajinas | 341 |
| - | Rollos de fibra vegetal | 342 |
| - | Cercas filtrantes | 343 |
| - | Mallas, mantos antierosivos y esteras | 344 |
| - | Hidrosiembra | 346 |

ÍNDICE

| | |
|---|------------|
| - Hidromulch o hidromanto | 346 |
| - Enrocado..... | 347 |
| - Bioingeniería con Vetiver | 347 |
| VI. PLANIFICACIÓN CONSERVACIONISTA DEL USO | |
| DE LA TIERRA | 351 |
| VI.1 Aspectos generales | 351 |
| VI.2 El esquema de planificación estratégica..... | 361 |
| VI.2.1 Fundamentos conceptuales..... | 361 |
| VI.2.2 Estudio de caso sobre planificación estratégica | |
| VI-3 El esquema de planificación táctico | 380 |
| VII. DESARROLLO SOSTENIBLE. POLÍTICA AMBIENTAL Y | |
| SUS ESTRATEGIAS.TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA, | |
| EXTENSIÓN Y PROGRAMAS DE DESARROLLO | |
| CONSERVACIONISTAS | 399 |
| VII.1 Desarrollo sostenible | 399 |
| VII.2 Política ambiental y sus estrategias | 406 |
| VII.2.1 Aspectos generales | 406 |
| VII.2.2 Principales estrategias de una política | |
| ambiental | 408 |
| VII.3 Transferencia de tecnología, extensión y los | |
| programas de desarrollo conservacionistas..... | 420 |
| VII.3.1 La extensión conservacionista y los | |
| programas de desarrollo en conservación | |
| de suelos y agua | 421 |
| VII.3.2 Experiencias en programas de conservación, | |
| transferencia de tecnología y extensión | |
| conservacionista | 430 |
| -Experiencia venezolana. Síntesis | 430 |
| -Subsidio conservacionista. Evaluación de | |
| experiencias en Venezuela | 432 |
| -Algunas experiencias internacionales | 434 |
| VIII. CONSIDERACIONES FINALES | 441 |
| IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 445 |

| | | |
|---------------|--|-----|
| Cuadro II.1. | Valor presente de un ingreso de mil bolívares en el tiempo descontado a diferentes tasas de interés | 84 |
| Cuadro II.2. | Relaciones económicas en oferta y en demanda entre uso(s)-recurso(s) | 92 |
| Cuadro III.1. | Tipos de degradación y sus símbolos utilizados en el proyecto GLASOD (Oldeman et al., 1991) para el mapeo de la degradación de suelos inducida por el hombre | 102 |
| Cuadro III.2. | Extensión de los factores causales de la degradación del suelo | 106 |
| Cuadro III.3. | Factores y procesos de degradación de suelos | 107 |
| Cuadro III.4. | Degradación de suelos inducida por el hombre en Sudamérica | 109 |
| Cuadro III.5. | Degradación de suelos inducida por el hombre en el mundo | 110 |
| Cuadro III.6. | Comparación relativa del poder de separación de la lluvia y del flujo laminar de acuerdo con su energía cinética | 125 |
| Cuadro III.7. | Relación entre la erosionabilidad en el surco y la erosionabilidad entre surcos en función de la textura del suelo | 130 |
| Cuadro IV.1. | Cálculo de la energía cinética de una tormenta individual | 175 |
| Cuadro IV.2. | Modelos de predicción del factor R mensual en función de la lámina de precipitación mensual (ℓ) en diferentes localidades de Venezuela | 179 |
| Cuadro IV.3. | Valores indicativos de K en función de la textura y el contenido de materia orgánica | 183 |

LISTA DE CUADROS

| | | |
|--------------|--|-----|
| Cuadro IV.4. | Características de los sitios de localización de las parcelas de erosión | 197 |
| Cuadro IV.5. | Valores del factor “CP” en diferentes sistemas de producción y/o coberturas obtenidos en parcelas de erosión sometidas a lluvias naturales y en distintas condiciones agroecológicas | 198 |
| Cuadro IV.6. | Evaluación de la eficiencia de barreras vivas en parcelas de erosión bajo condiciones de lluvia natural en diversas condiciones agroecológicas ... | 204 |
| Cuadro IV.7. | Algunas ecuaciones y modelos agroambientales usados para estimar erosión, escorrentía, producción de sedimentos y contaminación difusa | 221 |
| Cuadro V.1. | Posibilidades de disminuir la erosión | 233 |
| Cuadro V.2. | Prácticas en conservación de suelos y agua | 236 |
| Cuadro V.3. | Ejemplos de prácticas de conservación agrupadas según su naturaleza | 237 |
| Cuadro V.4. | Valores de tolerancia de pérdidas de suelo de acuerdo con la profundidad efectiva del suelo (Mannering, 1981) | 239 |
| Cuadro V.5. | Clases por vulnerabilidad a la erosión y valoración de características y factores de erosión | 242 |
| Cuadro V.6. | Mejoramiento de las propiedades físicas de un Palehudult por dos abonos orgánicos: pulpa de café (PC) y gallinaza (G) | 249 |
| Cuadro V.7. | Efecto de diversos tratamientos conservacionistas en la pérdida de suelo y agua por erosión hídrica en el cultivo de trigo | 253 |
| Cuadro V.8. | Efectos de la mecanización en la permanencia de residuos luego de cada operación de labranza..... | 263 |
| Cuadro V.9. | Valores del factor P_c para la labranza en contorno según la pendiente y longitudes máximas permisibles | 264 |
| Cuadro V.10. | Rendimiento del maíz bajo sistema de labranza mínima y convencional | 266 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Cuadro V.11. | Erosión y sistemas de conservación en el valle medio del río Yaracuy | 266 |
| Cuadro V.12. | Pérdidas de suelo y agua en un Aquic Palehumult de la cuenca alta del río Petaquire, Distrito Federal | 266 |
| Cuadro V.13. | Tipos de agricultura según el factor cultivo R | 271 |
| Cuadro V.14. | Factores de cultivo necesarios para estimar períodos de descanso | 271 |
| Cuadro V.15. | Plantas con potencial para ser usadas como barreras vivas y sus atributos..... | 296 |
| Cuadro V.16. | Valores de los coeficientes a y b para la ecuación de intervalo vertical IV ajustados para condiciones de Venezuela | 302 |
| Cuadro V.17. | Espaciamiento entre barreras vegetativas con intervalo vertical. IV = 1m..... | 303 |
| Cuadro V.18. | Valores indicativos del intervalo vertical a ser utilizados para el espaciamiento de barreras vivas en función de la erosividad, erosionabilidad e intensidad de cultivo | 304 |
| Cuadro V.19. | Coefficiente de escorrentía para diferentes complejos hidrológicos suelo-pendiente-vegetación | 318 |
| Cuadro V.20. | Vista transversal de varios diseños de terrazas | 328 |
| Cuadro VI.1. | Sinopsis del sistema de clasificación de geoformas | 363 |
| Cuadro VI.2. | Evaluación de la importancia de las cualidades de la tierra | 370 |

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura II.1. | Sistemas ambientales interrelacionados | 53 |
| Figura II.2. | Modelo de ecosistema que integra al hombre no sólo como ser viviente, sino como un componente cultural con atributos particulares incorporados al sistema | 54 |
| Figura II.3. | Problemas ambientales a nivel mundial, regional y local | 56 |
| Figura II.4. | Incremento exponencial de la población humana en los últimos siglos | 57 |
| Figura II.5. | Curva de crecimiento de una población según modelo logístico, sujeta a límites impuestos por la resistencia ambiental | 58 |
| Figura II.6. | Presión urbana sobre las tierras | 59 |
| Figura II.7. | Curvas de agotamiento para un recurso no renovable (recurso de fondo) utilizando tres juegos de suposiciones | 76 |
| Figura II.8. | Categorías de valor económico atribuidos a la evaluación ambiental | 78 |
| Figura II.9 a-d. | Curvas de ingreso neto en el tiempo (IN) bajo sistemas de explotación sin prácticas de conservación y sistemas con prácticas de conservación | 81 |
| Figura II.10. | Curvas de ingreso neto en el tiempo (IN) bajo sistemas de explotación sin prácticas de conservación y sistemas con prácticas de conservación bajo diferentes tasas de interés | 86 |
| Figura II.11. | Efecto de la explotación de la tierra y del sistema de conservación sobre los ingresos netos y las ganancias netas en el tiempo | 87 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------------|---|-----|
| Figura II.12. | Curvas de indiferencia entre diferentes programas de conservación y niveles de tolerancia | 89 |
| Figura III.1. | Distribución espacial de las limitaciones del recurso tierra a nivel mundial | 96 |
| Figura III.2. | Disponibilidad de tierras agrícolas en Venezuela | 97 |
| Figura III.3. | Áreas afectadas por la degradación de tierras a nivel mundial | 108 |
| Figura III.4. | Sector del mapa del proyecto GLASOD sobre el estado de degradación del suelo inducida por el hombre, que incluye Venezuela..... | 112 |
| Figura III.5. | Esquema ilustrativo de la relación entre transporte, separación y sedimentación en un segmento de ladera en el que ocurre erosión laminar | 122 |
| Figura III.6. | Relación energía-intensidad según varios autores en diferentes localidades | 123 |
| Figura III.7. | Formas de perfiles de pendiente | 133 |
| Figura III.8. | Efecto de la arquitectura del dosel en la altura de caída..... | 138 |
| Figura III.9. | La importancia de la cobertura del suelo..... | 138 |
| Figura III.10a. | Evolución de una cárcava en el tiempo..... | 142 |
| Figura III.10b. | La sufusión o erosión hipodérmica como proceso inicial en la evolución de una cárcava y fases consecutivas | 142 |
| Figura III.11. | Evolución del índice de productividad IP en tres suelos con diferentes condiciones en los horizontes subsuperficiales..... | 141 |
| Figura III.12. | Efectos de la compactación del suelo sobre los márgenes brutos bajo cultivos continuos .. | 151 |
| Figura III.13. | Ciclo de pobreza y marginalidad inducida por la degradación de tierras. Impacto social y cultural | 152 |
| Figura III.14. | Parcela de erosión y sistema colector-separador de la muestra..... | 158 |
| Figura III.15. | Vista superior (arriba) y lateral (abajo) de un simulador de lluvia tipo boquilla | 162 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Figura IV.1. | Banda de pluviógrafo de sifón de registro diario mostrando una tormenta individual | 174 |
| Figura IV.2a. | Mapa isoerodante en la región norte del estado Guárico | 177 |
| Figura IV.2b. | Vista tridimensional de la distribución del índice de erosividad en la región norte del estado Guárico | 177 |
| Figura IV.3. | Distribución mensual del índice de erosividad anual en la localidad de Yaritagua, estado Yaracuy | 178 |
| Figura IV.4. | Nomograma de erosionabilidad (Factor K) adaptado a las unidades métricas | 182 |
| Figura IV.5. | Longitudes de la pendiente en diversas posiciones del paisaje | 185 |
| Figura IV.6. | Factor LS para diferentes combinaciones de longitud y gradiente de la pendiente | 186 |
| Figura IV.7. | Efecto del dosel y alturas de caída típicas para tres tipos de vegetación | 187 |
| Figura IV.8. | Subfactor C del efecto del porcentaje de cobertura del follaje de la copa o dosel a diferentes alturas de caída promedio de las gotas desde el follaje | 188 |
| Figura IV.9. | Guía para estimar porcentaje de suelo desnudo, porcentaje de cobertura de dosel y porcentaje de raíces finas | 189 |
| Figura IV.10. | Subfactor residuos incorporados para dos abonos orgánicos | 190 |
| Figura IV.11. | Subfactor C de reconsolidación del suelo luego de labrado | 191 |
| Figura IV.12. | Subfactor C para raíces finas en la capa superficial | 192 |
| Figura V.1. | Relaciones entre productividad, procesos de degradación del suelo y prácticas de conservación | 224 |
| Figura V.2. | Marco lógico para el desarrollo de sistemas de producción sostenible en laderas | 226 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Figura V.3. | Guía del proceso de investigación y desarrollo para el diseño de distemas de uso sostenible de las tierras | 227 |
| Figura V.4 | El análisis de las interacciones de los subsistemas susceptibles a cambios puede guiar a la identificación de tecnologías que hagan más sostenible los sistemas de uso de la tierra | 228 |
| Figura V.5. | Integración de la conservación de suelos y agua con la agricultura sustentable | 230 |
| Figura V-6. | Los sistemas de manejo de recursos –SMR | 231 |
| Figura V.7. | Evolución de enfoques en conservación de suelos y agua | 234 |
| Figura V.8. | Símbolo de la subclase por vulnerabilidad a la erosión | 241 |
| Figura V.9. | Relación entre la producción de maíz con tres niveles de fertilización y las pérdidas de suelo por erosión en diferentes pendientes | 246 |
| Figura V.10. | Siembra en contorno | 252 |
| Figura V.11. | Siembra triangular al tresbolillo | 253 |
| Figura V.12. | Zona de manejo del cultivo y zona de manejo del agua | 257 |
| Figura V.13. | Los valores de los parámetros de la labranza dependen de diferentes acciones y condiciones durante el laboreo del terreno | 293 |
| Figura V.14. | Eficiencia de la labranza en contorno en función de la pendiente y altura del camellón | 264 |
| Figura V.15. | Factor “CP” de cultivos anuales mecanizados con varios sistemas de labranza, manejo de residuos y prácticas antierosivas | 265 |
| Figura V.16. | Factor “CP” en cultivos de subsistencia, cultivos de frutales, pastos y bosques | 273 |
| Figura V.17. | Factor “CP” de hortalizas de piso alto con varios sistemas de manejo y prácticas antierosivas | 275 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Figura V.18. | Destino final de los residuos de acuerdo con su manejo | 276 |
| Figura V.19. | Factor de mulch en función de la cobertura de residuos en tres suelos agrícolas de Venezuela .. | 277 |
| Figura V.20. | Cobertura alcanzada por residuos de pastos y de cultivos en función de la biomasa seca de residuos | 277 |
| Figura V-21. | Curvas de factor “C” para dos alturas de dosel o altura promedio de caída de gotas (50 cm y 100 cm) y diferentes porcentajes de cobertura de dosel en función de la cobertura de residuos | 278 |
| Figura V.22. | Rotación en áreas únicas para una rotación de cuatro años de duración y cuya composición incluye los cultivos de maíz, yuca, quinchoncho, una leguminosa usada como cultivo de cobertura y abono verde y períodos de barbecho con vegetación espontánea | 284 |
| Figura V.23. | Rotación fraccionada para una rotación de cuatro años de duración y cuya composición incluye los cultivos de maíz, yuca, quinchoncho, una leguminosa usada como cultivo de cobertura y abono verde y períodos de barbecho con vegetación espontánea .. | 284 |
| Figura V.24. | Conformación de barreras muertas en curvas de nivel (izquierda) y detalle de su elaboración (derecha) .. | 287 |
| Figura V.25. | Formación de terraza natural por efecto de una barrera viva para el control de la erosión hídrica | 289 |
| Figura V.26. | Comparación entre un terreno protegido por barreras vivas de vetiver y trabajado en contorno (izquierda), en comparación con un terreno desprotegido y trabajado en sentido de la pendiente (derecha) | 290 |
| Figura V.27. | Pérdidas de suelo en función del nivel de cobertura de acículas de pino, con barrera de vetiver y sin barrera (15% de pendiente-lluvia simulada) | 293 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Figura V.28. | Efecto combinado de la longitud equivalente, residuos (5 Mg/ha) y barreras de vetiver en las pérdidas de suelo. Condición de humedad del suelo saturado (15% de pendiente-lluvia y escorrentía simulada) | 294 |
| Figura V.29. | Factor “CP” de barreras vivas asociadas con diferentes coberturas (CAM-cultivos anuales mecanizados, hortalizas, durazno y residuos en superficie al 100% de cobertura) y en diferentes localidades | 295 |
| Figura V.30. | El IV representa la distancia vertical que separa dos estructuras de conservación y la DI el tramo sobre la superficie | 301 |
| Figura V.31. | Diseño de franjas amortiguadoras | 307 |
| Figura V.32. | Curvas de regresión para eficiencia de retención de: a) agua de escorrentía (YQ), b) sedimentos (YT), c) nitrógeno asociado con escorrentía (QN) d) nitrógeno asociado con sedimentos (YN), e) fósforo asociado con escorrentía (QP) y f) fósforo asociado con sedimentos (YP), para suelos de los grupos hidrológicos agrupados AB y CD | 308 |
| Figura V.33. | Diseño de franjas en contorno en rotación sobre un plano con curvas de nivel | 310 |
| Figura V.34. | Cultivo en franjas en contorno | 311 |
| Figura V.35. | Estrategias para evitar la competencia entre los árboles/arbustos y el cultivo comestible en un sistema de cultivo en pasillo | 313 |
| Figura V.36. | Barreras rompevientos | 314 |
| Figura V.37. | Curva de intensidad-duración-frecuencia para la estación de Santo Domingo, estado Mérida | 319 |
| Figura V.38. | Sección trapezoidal de un canal de desviación .. | 320 |
| Figura V.39. | Zanja de desviación | 321 |
| Figura V.40. | Acequia o zanja de ladera | 322 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Figura V.41. | Corte transversal de una terraza de base ancha | 325 |
| Figura V.42. | Corte transversal de una terraza de base angosta .. | 326 |
| Figura V.43. | Terraza <i>fanya juu</i> utilizada en África del este, la cual se desarrolla progresivamente por acumulación de sedimentos aguas arriba del bancal o camellón | 327 |
| Figura V.44. | Sección transversal y vista del plano de una terrazza individual | 330 |
| Figura V.45. | Vista isométrica de una terraza individual | |
| Figura V.46. | Microcuencas en forma de V | 331 |
| Figura V.47. | Microcuenca cerrada de forma rectangular | 331 |
| Figura V.48. | Derivación de cauces intermitentes y distribución difusa de la escorrentía | 332 |
| Figura V.49. | Erosión regresiva y su control en la cabecera de la cárcava | 335 |
| Figura V.50a. | Dique de madera | 339 |
| Figura V.50b. | Dique de piedra | 339 |
| Figura V.50c. | Dique de gavión | 340 |
| Figura V.51. | Rollo de fibra vegetal | 343 |
| Figura V.52. | Esquema para la instalación de mantos antierosivos en taludes. Sin escala | 345 |
| Figura V.53. | Espaciamiento entre barreras vivas para estabilización en taludes de corte o relleno. La ilustración ejemplifica para un intervalo vertical de 1 m y relación de talud 1:1 | 348 |
| Figura V.54 | Sección lateral y detalle de barreras vivas y cobertor de fibra | 349 |
| Figura VI.1. | Esquema general de planificación | 352 |
| Figura VI.2a. | Situación actual o potencial indeseable del uso de la tierra como consecuencia de la ocupación inadecuada y la degradación de tierras | 355 |
| Figura VI.2b. | Situación alternativa del uso de la tierra orientada hacia el desarrollo sustentable y la conservación de recursos | 355 |
| Figura VI.3. | Pasos en la planificación del uso de la tierra. Actividades y productos | 360 |

| | | |
|---------------|--|-----|
| Figura VI.4. | Modelo conceptual simplificado para la planificación del uso de la tierra | 362 |
| Figura VI.5. | Intensidad de uso de la tierra que puede aplicarse a una unidad de tierra con seguridad, según la capacidad de uso | 366 |
| Figura VI.6. | Localización del área de estudio | 381 |
| Figura VI.7. | Escenarios de uso de la tierra | 383 |
| Figura VI.8. | Plan de discusión | 385 |
| Figura VI.9. | Plan de compromiso (Propuesta unificada de ordenamiento territorial) | 385 |
| Figura VI.10. | Guía técnica para la conservación de suelos, agua y recursos asociados | 388 |
| Figura VI.11. | Símbolo de la unidad de inventario físico de la tierra (IFT) | 392 |
| Figura VI.12. | Uso actual (ua) y alternativas de uso conservacionista | 395 |
| Figura VI.13. | Curva de indiferencia asociada a las opciones de uso de la fig. VI.12 | 396 |
| Figura VI.14. | Curvas de ingreso neto en el tiempo asociadas a las opciones de uso de la figura VI-12 | 396 |
| Figura VII.1. | Estimación de los factores de sostenibilidad de las opciones de uso de la tierra | 401 |
| Figura VII.2. | Dinámica de la política ambiental en un determinado contexto | 407 |
| Figura VII.3. | Esquema de planificación del desarrollo | 409 |
| Figura VII.4. | Ciclo de formulación de políticas de conservación y toma de decisiones paralelo a la continua colección y análisis de información científica y tecnológica | 410 |
| Figura VII.5. | Esquema de investigación-acción para la gestión de paisajes ecológicos | 418 |
| Figura VII.6. | WOCAT- Panorámica mundial de los enfoques y tecnologías para la conservación de suelos y agua y el manejo sostenible de la tierra (MST) | 440 |

PRÓLOGO

*Alabado seas mi Señor,
por la hermana agua,
la cual es muy útil y
humilde, muy preciosa
y casta.*

San Francisco de Asís

*Si supiera que
el mundo se ha
de acabar mañana, aún
hoy plantaría un árbol.*

Martin Luther King

Se requiere de mucho esfuerzo y dedicación de bastantes años en la docencia y la investigación, para transmitir en un apretado y sin embargo muy completo texto, el basamento científico y técnico para la debida conservación de los recursos suelo y agua.

Oscar Simón Rodríguez Parisca emprende esta tarea y logra con éxito este propósito, desde el capítulo I de la Introducción, en el cual destaca la necesidad de la conservación de suelos y agua, llamando la atención en que a pesar de los esfuerzos y recursos que se han destinado para controlar o mitigar problemas de degradación de tierras a nivel mundial, no siempre se han logrado buenos resultados y por tal razón Rodríguez afirma: “Existe todavía la amenaza de que se degraden o pierdan recursos esenciales como son los suelos y el agua, necesarios para satisfacer las demandas por bienes y servicios de las generaciones presentes y futuras”.

Sin duda, el suelo no es un recurso natural al cual se le preste la debida atención, como lo reconoce el apreciado y reconocido a

nivel mundial, tan ligado a Venezuela, profesor Alfred Zinck, del ITC de Holanda, que tanto ha contribuido a la formación científica de Oscar, quien afirma: “El recurso suelo no goza del mismo reconocimiento ni del mismo aprecio que los demás recursos naturales como, por ejemplo, las aguas, los bosques o los yacimientos minerales, porque no es un bien directamente consumible y porque existe la creencia común pero errónea, de que los suelos son renovables a escala humana. Probablemente, es por esta razón que la sociedad en general se siente menos preocupada por la degradación de suelos que por el agotamiento de otros recursos naturales. En efecto, los seres humanos logran destruir en unos pocos años un capital, que a la naturaleza le cuesta miles de años formarlo” (Alfred Zinck “Suelos, información y sociedad”, *Gaceta Ecológica* n° 76, México, 2005).

Más adelante, el profesor Zinck en el artículo mencionado y Oscar en su libro citan autores que recogen una información muy preocupante y es que a escala global se pierden 75.000 millones de toneladas de suelo, la mayor parte de ellos agrícola, que representan un costo de US\$ 400 mil millones.

No existiendo en nuestro país hasta el presente un texto en este campo específico de la conservación y considerando la necesidad imperiosa de contar con una guía que sirva no sólo a los estudiantes de la materia en las facultades de Agronomía de nuestro país, sino también a profesionales del agro y de otras especialidades relacionadas con la tierra, se agradece la publicación de un texto de esta índole que no tan sólo permite manejar las bases científicas de la conservación de suelos y agua, sino que también promociona su aplicación por parte de organismos gubernamentales y privados, así como de los propios usuarios de estos recursos, que son los agricultores, y a todos quienes de una forma u otra usufructúan o son responsables del uso de estos recursos, cuyo manejo debe garantizarse en forma sustentable.

Igualmente para aquellos, como para quien escribe, conceden tanta importancia a la conservación en general para el logro del equilibrio ecológico, la paz y la justicia social, tenemos que agradecer el esfuerzo del autor y del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela, que hayan hecho posible la publicación de un texto de esta índole.

Un aspecto muy importante del trabajo de Oscar Simón, es que recoge, como él así lo destaca, las experiencias propias y de valiosos colegas suyos, de la Cátedra de Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela en los últimos 25 años, quienes constituyeron un apoyo muy valioso para el preciado logro que significa la publicación de esta obra, que estoy seguro marcará un importante hito por su valioso contenido científico y técnico para el desarrollo de una conciencia conservacionista. Como bien afirma el subtítulo de la obra, la conservación de suelos y agua es una premisa del *desarrollo sustentable*, paradigma actual que es acogido y necesario a lo largo y ancho del mundo, pero muy particularmente en el vasto conjunto de países en desarrollo, los cuales tanto o más que los desarrollados deben cuidar, manejar y usar sus recursos de suelos y agua con sabiduría, inteligencia y hasta sagacidad, para que las presentes y futuras generaciones puedan disfrutar de la más alta calidad de vida, no sólo desde el punto de vista material, sino también espiritual. Además, como afirma Rodríguez Parisca: “El desarrollo comunitario en aspectos como salud, educación, fortalecimiento de instituciones locales, no debe verse aisladamente de los programas de conservación de suelos y agua”.

Creo que hay que recalcar que tenemos una responsabilidad moral de conservar nuestro planeta, no sólo para la presente generación, sino también para las futuras. Esto, que parece un lugar común, es una realidad, cuya vigencia no puede postergarse. El fenómeno del calentamiento global y sus graves consecuencias en el desorden del clima y su influencia negativa sobre la agricultura, el aumento

de la desertificación y la magnificación de los desastres naturales, lo estamos palpando en unos lugares de la Tierra con mayor fuerza que en otros, pero de alguna forma presentes en todo el planeta, incluyendo las regiones polares.

La paulatina desaparición de los hielos del Polo Norte con una rapidez manifiesta, el deshielo de los glaciares y la amenaza del crecimiento del nivel de los océanos, que trae aparejada la desaparición por inmersión de muchas ciudades situadas a orillas del mar, son, por una parte, realidades presentes y, por otra, amenazas terribles en un futuro no muy lejano.

Todas estas anomalías son achacadas por muchos científicos al efecto *invernadero*, sin embargo, conviene aclarar que este fenómeno existe desde hace millones de años y ha permitido que nuestro planeta goce de un clima lo suficientemente cálido para permitir la vida. De no existir los *gases invernaderos* (CO_2 , metano, vapor de agua y diversos gases traza), no habría el efecto invernadero y, por tanto, la Tierra sería, aproximadamente, 32°C más fría, lo cual probablemente la haría inhabitable.

Lamentablemente, el “desarrollo” ha traído aparejado una producción excesivamente grande de gases invernadero, como consecuencia del inmenso número de automotores que circulan en todo el mundo, la industria, la deforestación, la agricultura y casi toda actividad humana contemporánea. También, por diversas razones ha aumentado la producción de metano y sus emisiones a la atmósfera son de mucha gravedad, ya que este gas tiene 21% veces más efecto invernadero que el mismo CO_2 .

El libro de Oscar se publica en un momento en que hay un intenso debate mundial sobre lo que implica el cambio climático. Por todas partes surgen llamados a que se tome conciencia sobre el asunto y que se procuren medidas para mitigar el efecto negativo de este fenómeno; entre ellos Al Gore, quien comparte el premio Nobel de la Paz por su campaña mundial para llamar la atención de lo que

puede suceder a la Tierra a causa del calentamiento global, particularmente a través de su documental “Una verdad incómoda”.

El papa Benedicto XVI, en julio de 2008, en que escribo este prólogo, hace un dramático llamado a considerar la gravedad del cambio climático, ante más de 150 mil personas que lo recibieron al llegar a Australia con motivo del encuentro de más de 120 mil jóvenes de todo el mundo.

Otro llamado, por demás apasionado, es el del reconocido científico mundial James Lovelock en su última obra *La venganza de la tierra, la teoría de Gaia y el futuro de la humanidad* (Planeta 2007), de quien transcribo las siguientes frases:

No podemos contemplar el futuro del planeta del mismo modo que vemos nuestro futuro personal.

Es descuidado no tomarnos en serio nuestra muerte, pero es una imprudencia temeraria adoptar esa misma actitud con respecto a la civilización, incluso si un futuro tolerable fuera probable, seguiría siendo poco inteligente ignorar la posibilidad de que suceda un desastre.

Por su parte, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Pnuma), inicia en 2006 una campaña para motivar en todo el mundo la siembra de mil millones de árboles, la cual ha tenido tanto éxito que se extendió a siete mil millones de árboles para ser sembrados hasta finales del año 2009. Esta campaña que todos debemos apoyar, más allá aun de 2009, tiene una razón muy valedera, por cuanto los árboles y las plantas en general, como es sabido, tienen una alta capacidad de fijar carbono en sus hojas, ramas, troncos y raíces y, por otra parte, es una medida también para paliar la continua y desastrosa deforestación que se realiza en prácticamente todo el mundo.

Debo enfatizar que para sembrar árboles, además de los recursos económicos y la voluntad humana, se necesita suelo y agua, de tal

manera que, desde este punto de vista, la debida conservación de estos recursos es otro aspecto trascendente de la obra de Rodríguez Parisca.

Por supuesto, sabemos que sólo con sembrar árboles y plantas en general, hasta grama, si bien contribuyen altamente, no es suficiente para detener el cambio climático, por tanto, no debemos desestimar el gran aporte que significará en un futuro próximo la aplicación de las tecnologías alternativas para la producción de energía, entre ellas los biocombustibles, aunque no creemos que deba ser con base en productos alimenticios como el maíz y el azúcar, lo cual en los momentos actuales ha suscitado, entre otras causas, el aumento del precio de muchos alimentos, con la consecuente influencia del crecimiento del hambre en el mundo.

Sin duda hay que dar más importancia a otras alternativas para la producción de biocombustibles, como son algunas especies de plantas, con bajos requerimientos de agua y de suelo como son el pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y algunas especies del género *Jatropha*.

Por otra parte, los científicos ven otras perspectivas para el control del exceso del CO₂ atmosférico, como son su inyección en las rocas volcánicas del fondo de los océanos o la incorporación de hierro a las aguas de los mares que propiciarían también la fijación del CO₂ en el fondo marino, hecho que sucede naturalmente en las aguas que caen al mar de grandes ríos, como el Amazonas, el Orinoco y otros.

La conservación en toda su amplia extensión: de suelos, agua, biodiversidad, paisajes naturales, culturas y valores espirituales, repetimos, es un asunto que concierne no sólo a la ciencia y la tecnología, sino también a la ética. Un mundo poblado por seres humanos alimentados sin exceso, más cultos, más solidarios, más espirituales, rechazarán la destrucción del ambiente, el armamentismo,

la violencia, el terrorismo, la inseguridad y la injusticia. Ahondando en lo profundo de esta obra de Oscar Rodríguez Parisca que me complace prologar, se aprecia no sólo su valor técnico y científico, sino que se perciben también estos altos valores morales.

Gerardo Yépez Tamayo
Profesor Emérito de la Universidad Central de Venezuela
Cofundador de la Sociedad Conservacionista –Aragua

PRESENTACIÓN

El presente trabajo es producto de la experiencia y del tiempo compartido con colegas y estudiantes durante el desarrollo de las actividades de docencia, investigación y extensión de la Cátedra de Conservación de Suelos y Agua, y del Laboratorio de Agricultura Conservacionista y Conservación de los Recursos Naturales Renovables, pertenecientes al Departamento e Instituto de Agronomía, respectivamente, de la Facultad de Agronomía, de la Universidad Central de Venezuela, durante casi tres décadas. La necesidad imperiosa de contar con un material de apoyo escrito, actualizado, y de carácter general, para cursos regulares de pre y posgrado, en las carreras de Agronomía, Geografía, Silvicultura, Biología, Ecología, Ciencias Ambientales, Planificación y Desarrollo, y otras profesiones afines a la conservación de suelos y agua, fue la principal motivación para desarrollarlo. También puede ser útil para cursos de ampliación y actualización de conocimientos profesionales y de cursos de capacitación a técnicos extensionistas y de personal que labora en programas de conservación de suelos y agua, así como para la consulta de profesionales interesados.

Aun cuando la temática es amplia y no se incluyen todos los aspectos referidos a la conservación de suelos y agua, se espera que este material sirva de punto de partida y de referencia para todos aquellos que necesitan aplicar conocimientos y desarrollar actividades que contribuyan a combatir la degradación de los recursos suelo y agua y demás recursos asociados y, por tanto,

favorezcan un desarrollo auténticamente sustentable, conjuntamente con todos los demás cimientos de la sostenibilidad. Fue también una motivación al desarrollar este trabajo, acotar a la conservación de suelos y agua como una disciplina con identidad propia, que aun cuando se nutre de muchas áreas del conocimiento por su carácter interdisciplinario, contribuye desde su propia perspectiva al manejo sostenible de tierras, conjuntamente con otras disciplinas de las ciencias ambientales que tienen que ver con la biodiversidad, la climatología, la geología y geomorfología, la edafología, la biología, la ecología y agroecología, la hidrología, la economía y sociología ambiental, las técnicas de cultivo, entre otras, y que junto a otros pilares de la sostenibilidad aportan en conocimiento y en aplicaciones al logro del nuevo paradigma: el desarrollo sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, deseo agradecer a la Universidad Central de Venezuela y a la Facultad de Agronomía en particular, por haberme permitido acumular experiencias y conocimientos que forman parte de este trabajo, y que son producto de la promoción y desarrollo de actividades de investigación y de mejoramiento profesional en el área de la conservación de suelos y agua. Estos conocimientos y experiencias las he desarrollado durante el ejercicio de mis actividades en docencia, investigación y extensión, gracias al apoyo institucional recibido en un ambiente de amplia pluralidad y ejercicio activo de la libertad y autonomía universitaria.

Debo especial agradecimiento a mis compañeros de trabajo en la Cátedra, quienes me apoyaron y estimularon en todo momento hacia el logro de metas académicas y personales. A la profesora María Luisa Páez, quien fue mi tutora y siempre amiga, y quien supo transmitirme desinteresadamente sus conocimientos e inquietudes. A los profesores Luis Arturo Fernández Villa, fundador de la Cátedra y ejemplo de trabajo, al profesor Napoleón Fernández, quien aun jubilado ha colaborado generosamente con sus experiencias y entusiasmo en la promoción y difusión de la conservación de suelos y agua dentro y fuera de la institución. A mi compadre, el profesor Jon Lizaso, quien compartió muchas jornadas y dejó profundas y estimulantes huellas en nuestra asignatura y en el Departamento. Al profesor Andrés Jácome, amigo y vecino, quien se encuentra de permiso en su doctorado y que nos vivifica desde la perspectiva de

la geomática; la profesora Xiomara Abreu, quien ha desarrollado su actividad de investigación y mejoramiento profesional en el área de la conservación de suelos y agua; y a Oscar Silva, amigo y compañero de oficina, quien generosamente me escucha y alienta en los buenos y los malos ratos, y quien ha incorporado y fortalecido el estudio y aplicación de los modelos agroambientales, manteniendo en la vanguardia las actividades de la Cátedra. También quiero agradecer a los profesores que han participado como contratados en las actividades de docencia, quienes en su peregrinar han incorporado nuevos conocimientos y matices que enriquecen nuestras labores, así como a la recién incorporada becaria académica Eladys Córcega, quien fuera una brillante estudiante de la asignatura y representa buena parte del porvenir. A ellos y a todos los compañeros del Departamento e Instituto de Agronomía, mil gracias por su amistad y apoyo.

También agradezco a todos los profesores de los departamentos de Edafología y de Ingeniería Agrícola, con quienes realizamos labores conjuntas, especialmente a la profesora Adriana Florentino, amiga incondicional y colega consecuente con los nuevos paradigmas de la agricultura ecológica y el desarrollo sustentable, de quien he aprendido y compartido mi dedicación hacia la conservación. A la profesora Deyanira Lobo, quien colabora con mucha diligencia y empeño en el curso de posgrado; a la profesora Marelia Puche, compañera de cohorte, quien ha sido otra amiga incondicional y bondadosa de corazón en colaborar con muchas actividades realizadas por la Cátedra. Al profesor José R. Rodríguez Brito, del Departamento de Desarrollo Rural, por su apoyo y participación en los temas de posgrado que se relacionan con la extensión conservacionista de la cual él ha sido protagonista comprometido en el ámbito nacional. Al profesor Ernesto Andreu, de la Universidad Rómulo Gallegos, quien desinteresadamente ha colaborado en el dictado del curso de posgrado durante varios años, y quien se ha convertido en un abanderado de la conservación de los recursos naturales en Venezuela.

A la doctora Graciela Pantin, gerente general de Fundación Polar, Armando Hernández, coordinador del Área Ambiental, y Oswaldo Luque, coordinador del Proyecto Vetiver, por toda su colaboración, compromiso y dedicación durante la organización y realización en el año 2006 de la IV Conferencia Internacional sobre Vetiver, que permitió la participación de la Cátedra en tan importante y singular evento.

A los estudiantes durante todos estos años de dictado de la asignatura Conservación de Suelos y Agua del pregrado, a los estudiantes de posgrado del Curso de Conservación de Suelos, a los estudiantes guiados, tutorados y asesorados, quienes son la razón de ser de la actividad académica, y cuyas intervenciones, inquietudes, interpelaciones y críticas nos hacen reflexionar en nuestra actitud y acción como profesores y como seres humanos.

Retrocediendo más en el tiempo, quiero agradecer todo el apoyo recibido de mis padres Oscar y Margarita a lo largo de la vida. Ellos me inculcaron el sentido del deber y la responsabilidad, la generosidad y muchos otros valores, sin los cuales no habría podido superar los obstáculos enfrentados para hacer posible la realización de muchas de mis actividades profesionales, incluyendo el presente trabajo. También, a mis maestros de primaria y bachillerato, en particular, el seminarista en ese entonces, Carlos Gremone, quien me inculcó mi vocación hacia las ciencias biológicas y las ciencias naturales, por las cuales sentía pasión y enseñaba de una manera abierta y vivencial, y al profesor Urrutia, quien igualmente transmitió su entusiasmo y dedicación hacia la geografía física y económica y demás ciencias sociales. Al capitán de aviación comercial Harry Gibson, por haberme mostrado como ejemplo a seguir, su amor por Venezuela y sus recursos naturales, a quienes dedicó su vida entera.

A muchos otros profesores, ya como estudiante en la Universidad, que sembraron la semilla en nuestras mentes y en nuestros corazones, por el interés y el apego hacia la ecología, la conservación y lo que hoy llamamos desarrollo sustentable. Recuerdo especialmente a Manasés Capriles, Álvaro Martínez, Eduardo González

Jiménez, Antonio Mayorca, Baltazar Trujillo, Francisco Fernández Yépez, Ildefonso Pla Sentis, Luis Bascones y otros a quienes pido disculpas si no les nombré, y finalmente, a quien inspiró e inspira a varias generaciones de conservacionistas, el profesor Gerardo Yépez Tamayo, hoy en día mi suegro y amigo entrañable.

A mi tutor durante mis estudios de doctorado, profesor Alfred Zinck, quien en todo momento me ha promovido y apoyado para que escribiese ésta y otras publicaciones, a quien debo mi madurez profesional y cuya amistad sobrepasa los límites académicos, considerándolo parte de la familia.

Y, por último, pero no menos importante, le doy gracias a Dios por la gracia de la fe, y por haberme concedido la familia con quien comparto la razón de mi existir. Mi esposa Yudith, quien creyó en mí y me dio apoyo y amor incondicional para mantener la autoestima y la confianza en realizar este trabajo, así como para afrontar muchos otros compromisos, y a mis hijos, de quienes me enorgullezco enormemente, Yudith Belisa y Oscar Gerardo, que con su juventud y sonrisas son la esperanza del futuro y que espero compartan en un mundo más pacífico, más justo y más sustentable. Oscar Gerardo, estudiante de Diseño, me apoyó particularmente en la elaboración y edición digital de muchas de las figuras que ilustran los contenidos de este texto. Gracias a ellos por el tiempo sacrificado y sustraído de la vida familiar en los últimos meses. Que Dios y la patria se los recompense.

I. INTRODUCCIÓN

La conservación de suelos y agua ha evolucionado paulatinamente para dar respuesta a los graves problemas de degradación de tierras que ocurren en todos los continentes y en todas las latitudes. Para ello se han destinado innumerables esfuerzos y recursos con la finalidad de controlar o mitigar problemas de degradación de tierras a nivel mundial. Sin embargo, no todos los resultados han sido exitosos y existe todavía la amenaza de que se degraden o pierdan recursos esenciales como son los suelos y el agua, necesarios para satisfacer las demandas por bienes y servicios de las generaciones presentes y futuras.

El presente trabajo recoge una serie de experiencias que hemos llevado a cabo en la Cátedra de Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela en los últimos 25 años, las cuales se combinan con otras experiencias, ideas y conceptos que en conservación de suelos y agua se han realizado a nivel nacional e internacional, de manera de contribuir al desarrollo y aplicación de esta disciplina, que puede considerarse una premisa del desarrollo sustentable, tal como se subtitula esta obra, la cual debe servir de apoyo a estudiantes de Agronomía, Ingeniería Forestal, Conservación de Recursos, Ecología y Ciencias Ambientales, geógrafos, planificadores y otras carreras afines.

Para ello se han elaborado una serie de temas, partiendo de la problemática ambiental y la conservación de los recursos naturales en general, lo que nos ubica y relaciona con los principios ecológicos, económicos y sociales, de manera que se logre una visión integral a la

hora de seleccionar, diseñar y aplicar las prácticas, medidas o estrategias destinadas a evitar o mitigar la degradación de los recursos suelo y agua, así como a su mejoramiento y recuperación, de manera que rindan el mayor beneficio colectivo mediante el flujo sostenido de sus funciones básicas, optimizando y diversificando las opciones de desarrollo de las generaciones presentes y futuras, que es precisamente el significado que se le da a la conservación de suelos y agua en este amplio contexto.

El tema central expuesto contempla una descripción y análisis de los principales problemas de degradación de tierras y sus impactos en la productividad y el ambiente, en particular la erosión hídrica, que no siendo el único problema de degradación de tierras, presenta una considerable extensión a nivel global y se enlaza con muchos otros procesos de deterioro de los suelos, del régimen hídrico en las cuencas y de la colmatación y contaminación de los cuerpos de agua. Igualmente, se discuten las principales opciones técnicas y las estrategias conservacionistas que deben conducir al desarrollo de Sistemas de Manejo de Recursos cuando dos o más de éstas se combinan en una determinada situación. Son las llamadas prácticas de conservación, que aplicadas como un componente fundamental dentro de planes tanto estratégicos como tácticos, de uso conservacionista de la tierra, y apoyadas en un marco político-institucional favorable, podrían lograr el éxito deseado y contribuir al manejo sustentable de las tierras y al desarrollo de sistemas agrícolas o de uso de la tierra en general, que apoyen sustancialmente al deseado desarrollo sustentable. De no ser así, la aplicación de prácticas de conservación de suelos y agua de una manera aislada y puntual, que no responda a las necesidades de los agricultores y otros usuarios de la tierra, que no se integre con otros sectores y grupos de interés a diferentes niveles, y que no se adapte a las condiciones ambientales particulares, pueden resultar inviables económicamente, inaceptables socialmente o inapropiadas ecológicamente.

Es por ello que no se limitó este trabajo a una mera descripción de algunas de las prácticas de conservación más relevantes, que de por sí es

una necesidad primordial, ya que se requiere conocer las bondades y limitaciones de éstas, sino que se incluyeron dos capítulos complementarios: uno sobre planificación y otro sobre varios temas relevantes tales como desarrollo sostenible, política ambiental y extensión agrícola conservacionista. Estos dos capítulos intentan alertar sobre la necesidad de utilizar un enfoque integral para la resolución de problemas relativos a la conservación de suelos y agua, resaltando las particularidades y aportes de esta disciplina, insistiendo en el rol de ésta como premisa o condición para el logro del desarrollo sustentable, a la par de muchas otras disciplinas y actividades igualmente importantes.

En el capítulo VII se plantea que la extensión conservacionista tiene sus particularidades, ya que los beneficios de las medidas o prácticas de conservación de suelos y agua son generalmente de largo plazo, y que su implementación no es únicamente responsabilidad del usuario de la tierra, ya que en muchos casos se persiguen beneficios intangibles para las generaciones futuras. En este sentido se diferencia de las estrategias de extensión utilizadas en agricultura, que muchas veces van dirigidas hacia prácticas de manejo conservacionista que son comunes a una buena agricultura y que contribuyen al uso conservacionista de la tierra y al mantenimiento y mejora de la productividad de los cultivos en el corto plazo, lo que las hace atractivas a los agricultores, pero que en algunos casos son insuficientes para el control de la degradación de las tierras en el largo plazo, por lo que se deben considerar otros tipos de estrategias y medidas de apoyo como compensaciones, subsidios, incentivos y desincentivos, y otras disposiciones de tipo estructural que deben formar parte de una concepción integral del desarrollo agrícola sustentable y del desarrollo sustentable en general.

La sola divulgación de las prácticas y la educación ambiental hacia las comunidades pueden no ser suficientes si no van acompañadas de este tipo de medidas de soporte o enfoques, que constituyen las vías o medios de apoyo para ayudar a introducir, implementar, adaptar y aplicar una tecnología de conservación de suelos y agua, sobre el terreno, tal como lo menciona WOCAT, una iniciativa de la Asociación

Mundial de Conservación de Suelos que pone énfasis en el mejor uso de los escasos recursos disponibles con el objetivo de promover el manejo sostenible de la tierra.

Dado que el tema es muy amplio, se trabajó de manera limitada, se dejaron por fuera o sólo se tocaron de manera colateral algunos temas que forman parte de la conservación de suelos y agua o representan herramientas indispensables para su actuación. Podemos referirnos a algunos como el manejo, ordenación y gestión de las cuencas hidrográficas, que viene a conformar un caso particular de planificación conservacionista del uso de la tierra; el estudio de los modelos de simulación agroambiental, que sólo se describen de una manera resumida para destacar su utilidad en la evaluación; el diagnóstico y el análisis de alternativas sobre diferentes escenarios propuestos; la importancia de las prácticas de conservación no sólo para el control de la erosión y del deterioro de los suelos, sino además para la conservación del agua tanto en cantidad como en calidad, aspecto que se menciona y discute, pero que no se enfatiza o profundiza en todas sus ramificaciones, así como la remediación de suelos y aguas contaminados. Otro tema de gran interés se relaciona con las áreas naturales protegidas, su manejo y conservación, aspecto que tampoco se considera dentro de la temática desarrollada en este trabajo.

También, es importante considerar las potencialidades y aplicaciones de los sistemas de información geográfica, la teledetección, los sistemas de posicionamiento global, la telemetría y otras herramientas informáticas y de comunicación, que forman parte de cualquier actividad desarrollada por el hombre moderno, pero que en particular posibilitan, como nunca antes, el inventario, evaluación, toma de decisiones y seguimiento, en otras palabras, la gestión de actividades sobre los recursos naturales y el ambiente de una manera más eficiente y precisa.

Muchos conceptos y procedimientos de disciplinas como la ecología y la agroecología, la botánica, la climatología, la hidrología, la geología y la geomorfología, la edafología, la topografía, las técnicas agrícolas, la economía y la sociología ambiental, entre otras, sólo se tocan de

manera operativa y aplicada hacia el análisis de situaciones particulares, esperando que de alguna manera se haya percibido el carácter multidisciplinario y transdisciplinario de la conservación de suelos y agua.

Es imperativo que se complementen, profundicen y amplíen aquellos temas que por razones de tiempo, extensión, alcances, experiencias o enfoques no fueron desarrollados con el detalle o peso requerido, estando seguro de que los contenidos expuestos sirvan de orientación e inspiración para aquellos lectores que puedan encontrar en este texto un punto de partida para abordar los innumerables problemas y opciones que se presentan al buscar soluciones sostenibles en situaciones específicas sobre degradación de tierras y planes de acción conservacionistas al nivel de finca, comunidades o regiones.

Pimentel et al. (1995), citado por Theerawong (1996), reporta la pérdida de 75 millardos de toneladas de suelo por efecto de la erosión hídrica y eólica a nivel global, de los cuales dos tercios provienen de tierras agrícolas. Dicha pérdida ha sido estimada en 400 millardos de dólares americanos en términos de los costos de reemplazo de nutrientes y otros daños locales y a distancia. Las zonas rurales dependen de la calidad de sus recursos para impulsar sus economías y la promoción de sus comunidades. Frenar las tendencias de deterioro existentes en aquellas zonas ha sido reconocido por convenios internacionales, como el de la lucha contra la desertificación y la sequía. Sin embargo, no son sólo las zonas rurales o las actividades agrícolas las que causan problemas. El creciente grado de urbanización debido al crecimiento y redistribución de la población, con las consecuentes presiones sobre el ambiente y los riesgos asociados, el desarrollo de infraestructuras, las áreas de servicio como rellenos sanitarios, aeropuertos, parques recreacionales, la minería y la explotación petrolera, son también causa de degradación de las tierras, pudiendo afirmarse que todas las áreas intervenidas sufren algún grado de deterioro. La conservación de suelos y agua se convierte así en una disciplina de extraordinaria importancia y con un ámbito de aplicación, no sólo en la

agricultura y la silvicultura, sino en el manejo de áreas naturales y en el de áreas intervenidas por otras actividades en las que el suelo y el agua cumplan alguna función productiva, ecológica o de localización de infraestructura en sitios donde se realicen actividades de diversa naturaleza.

La conservación de suelos y agua puede contribuir no sólo a solucionar los problemas inmediatos de degradación de tierras que se presentan en zonas rurales y urbanas, sino que puede jugar un rol fundamental y complementario en la solución de problemas ambientales como la contaminación y deterioro de las aguas y de los ecosistemas acuáticos, el calentamiento global y la pérdida de la biodiversidad. Estos logros pueden alcanzarse si se estimula el uso de prácticas de conservación que promuevan la fijación y estabilización del carbono en los suelos y en la vegetación, en el uso de estrategias biológicas que incluyan rotaciones de cultivos, el establecimiento de áreas amortiguadoras con vegetación permanente, usos de la tierra con coberturas permanentes, en especial los sistemas agroforestales, en el control de la contaminación difusa propia de los sistemas agrícolas convencionales impulsando estrategias de producción agrícola mediante tecnologías alternativas que saquen el máximo provecho del componente biológico del suelo, y al estabilizar las poblaciones y comunidades humanas en tierras que no se degraden y que mejoren su calidad y productividad en el tiempo, de manera de reducir la presión sobre zonas más frágiles y vulnerables o de valor ecológico particular que sirven de reserva natural.

Es también la conservación de suelos y agua, simultáneamente con otras disciplinas, una herramienta invaluable en la lucha contra la pobreza y el fortalecimiento de las comunidades, ya que de una manera u otra todos dependemos y nos beneficiamos de los múltiples e incontables bienes y servicios que nos proveen los recursos suelo y agua en particular, conjuntamente con el resto de los recursos naturales renovables. Son éstos la verdadera fuente de riquezas, de una mejor calidad de vida y de un desarrollo que debe tender cada vez más hacia

la sostenibilidad. Para ello se requiere del ingenio y de las instituciones que logren convertir esas fuentes de riqueza en valores verdaderos.

Esperamos que este texto contribuya a un mejor entendimiento de la conservación de suelos y agua como disciplina y como herramienta práctica para enfrentar los problemas de degradación de tierras, que limitan las posibilidades de un desarrollo verdaderamente sustentable y, por tanto, de una mejor calidad de vida para el ser humano, que coadyuve en la formación de profesionales conscientes de los retos, dificultades y oportunidades que plantea la conservación de los recursos naturales y su importancia para el logro de un auténtico desarrollo sustentable.

II. CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES

II.1 RECURSOS NATURALES, ECOLOGÍA Y AMBIENTE

II.1.1 RECURSOS NATURALES

Por *recurso* se entiende cualquier elemento o parte del medio ambiente que el hombre pueda “utilizar” para satisfacer sus necesidades primarias o secundarias. Los recursos pueden tener valor económico, recreativo, estético o científico. Si bien anteriormente los recursos se referían sólo a los materiales brutos en la naturaleza (minerales, combustibles, bosques...), los cuales son desarrollados a través de procesos productivos, actualmente el concepto incluye el ambiente en su totalidad y se valorizan tanto los recursos que son intervenidos y desarrollados como los que son dejados intactos en su condición original, ya que se reconocen los servicios ambientales que éstos prestan y su importancia para el sostenimiento de la vida en la Tierra.

Para Zimmermann (1967), recurso no se refiere ni a una cosa ni a una sustancia, sino a una función que una cosa o una sustancia pueden realizar o a una operación en la cual pueden tomar parte, es decir, la función o la operación de alcanzar un fin dado, tal como satisfacer una necesidad. En otros términos, la palabra recurso es una abstracción que refleja la valoración humana y que se relaciona con una función o una operación. Según este autor, los recursos presuponen la existencia del ser humano, ya que son una expresión o un reflejo de la valoración del hombre. Enfatiza el carácter dinámico de los recursos en contraposición a la visión estática de los

mismos, destacando que los recursos intangibles como la sabiduría y conocimiento del hombre y el conjunto de factores institucionales, tecnológicos y políticos juegan un papel primordial en el aprovechamiento de los recursos naturales en función de necesidades individuales y objetivos sociales cambiantes.

II.1.2 NECESIDAD DEL HOMBRE POR RECURSOS

Ciertos recursos son necesarios para la existencia del hombre, por ejemplo, los alimentos con cantidades adecuadas de proteínas, grasas, carbohidratos, vitaminas y minerales, el agua de adecuada calidad, el aire, una fuente de energía para el calentamiento en climas fríos, y materiales para vestimenta y vivienda. Aunque estas necesidades son hoy día las mismas, por el incremento de la población y el agotamiento de los recursos naturales, se ha desarrollado una categoría secundaria de necesidades, que incluye aquellos materiales o fuentes de energía requeridos para proveer grandes cantidades de los materiales primarios, por ejemplo, los fertilizantes, que ayudan a incrementar la productividad agrícola. En adición, el hombre tiene una amplia gama de deseos por recursos que incluyen los materiales, experiencias o espacios, necesarios para hacer la vida más agradable.

Con el desarrollo urbano y la expansión de las necesidades secundarias los requerimientos por recursos han aumentado desmesuradamente, creándose de manera artificial una demanda por bienes innecesarios que generan un consumismo excesivo, el cual se traduce muchas veces en una sobreexplotación de los recursos naturales y en impactos indeseables en los sistemas ambientales. Es ésta una cuestión que nos plantea exigencias éticas y morales en relación con el uso de los recursos naturales y del ambiente, más allá de consideraciones científicas y técnicas, de manera de alcanzar una armonía del ser humano con la naturaleza y consigo mismo. Se requiere un cambio de actitud y de conciencia que conlleve un comportamiento al nivel de los individuos y de la sociedad, que refleje unas relaciones equilibradas entre el ser humano y

el ambiente, lo que debe responder a las particularidades locales, tanto del medio natural como del medio cultural y social y a la vez insertarse en las tendencias y acuerdos que a nivel global se vayan desarrollando. Podemos ver con optimismo los logros alcanzados desde la Conferencia de Estocolmo (1972) hasta el presente a nivel internacional, y la mayor participación e interés de las comunidades en la resolución de los problemas ambientales que les aquejan, así como la aparición de los movimientos ambientalistas que abogan por una mejor calidad de vida y la conservación de la naturaleza.

II.1.3 ECOLOGÍA Y AMBIENTE. LA VISIÓN DE SISTEMA

La ecología es la ciencia que establece las relaciones entre los organismos vivos y entre estos organismos y su ambiente. Modernamente, se define como el estudio de la estructura y función de la naturaleza que incluye al hombre como parte de ésta. En forma simplificada, podría hablarse de biología del medio (Odum, 1972).

El ambiente se refiere a la totalidad de las condiciones externas en las que viven los seres humanos y otros organismos, poblaciones o comunidades, es decir, a su medio o entorno. Los componentes del ambiente son la biosfera, la litosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la antroposfera. La gestión ambiental se refiere al ambiente desde el punto de vista del usuario como un conjunto de recursos naturales. Desde el punto de vista de la ecología humana, se considera adecuado definir el medio ambiente como el conjunto de parámetros externos que, en forma directa o indirecta, y en el corto o largo plazo, pueden tener una influencia en la calidad de vida del hombre (Enkerlin et al., 1997). Un paisaje se corresponde con el ambiente considerado en una localidad dada. En términos objetivos, el paisaje es la expresión espacial y visual del medio.

Los estudios del ambiente deben realizarse bajo el enfoque de sistema, entendiendo por éste un conjunto de elementos o componentes y las relaciones entre ellos. Las relaciones entre componentes

consisten en un transvase o intercambio de información, materia o energía. Un sistema viene definido por sus componentes (elementos constitutivos), su estructura (relaciones de influencia) y el entorno o límites del sistema (elementos ajenos a él). Los ambientes son sistemas multidimensionales de interrelaciones complejas en continuo estado de cambio (Velasco et al., 2003). El estudio de sistemas complejos se realiza estableciendo un modelo del sistema. Estos modelos son simplificaciones de la realidad que nos ayudan a explicarla.

El ecosistema es, en ecología, la unidad funcional básica. Éste se compone de la suma de todos los organismos vivientes (comunidad biótica) y su ambiente (entorno físico y componentes abióticos), ambos necesarios para la conservación de la vida. Los ecosistemas se caracterizan por los flujos de energía y de materia que en éstos ocurren y que se denominan ciclos. El ecosistema es un sistema abierto, ya que está sujeto a intercambios de materia y energía con su entorno.

Las ciencias ambientales buscan analizar las relaciones complejas que afectan el ambiente y los organismos vivos. Los factores involucrados en el proceso son de naturaleza física, química, biológica, socioeconómica y cultural. Es importante establecer interpretaciones multicausales, de modo que cualquier conflicto ambiental no puede ser nunca comprendido exclusivamente en términos ecológicos, como tampoco se reduce a una mera cuestión económica y social. Puede así concebirse al ambiente con una serie de subsistemas, cuyo estudio debe ser afrontado desde diversas disciplinas de las ciencias naturales y humanas (Velasco et al., 2003). En general, pueden considerarse cuatro grandes subsistemas ambientales (figura II.1):

La biosfera: es el sistema de la naturaleza y comprende el espacio donde se desarrolla la vida.

La tecnosfera: es un sistema de estructuras creadas por la especie humana y encuadradas en la biosfera (asentamientos humanos, fábricas, vías de comunicación).

La sociosfera: conjunto de entidades de creación humana que se han desarrollado para controlar las relaciones internas y sociales respecto de otros sistemas, tales como las instituciones políticas, económicas, culturales, etcétera.

La noosfera: cuerpo de conocimientos aplicado a la gestión de las relaciones entre los seres humanos y la biosfera. La información representa un activo intangible cada día más valorado al añadirse a productos y servicios.

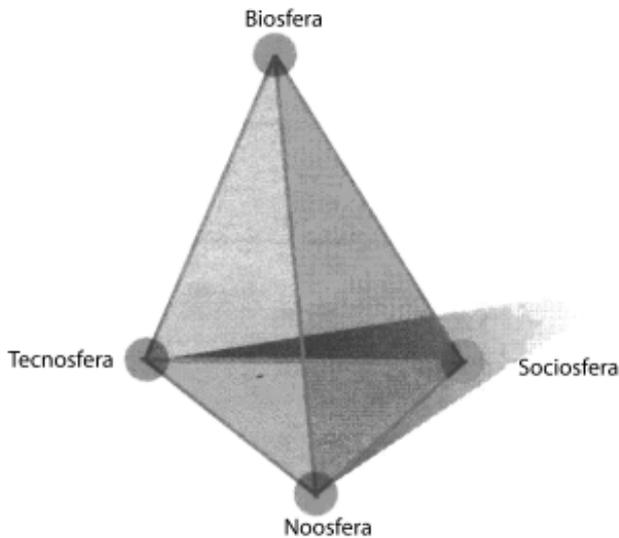


Figura II.1. Sistemas ambientales interrelacionados (Velasco et al., 2003).

Este enfoque resalta la presencia del ser humano como componente integrante del ambiente y no como una entidad aislada del mismo. Se reconoce, así, nuestra dependencia y condicionamiento a las leyes de la naturaleza y las interrelaciones entre las actividades humanas y el entorno natural donde se desarrollan dichas actividades. Los seres humanos hemos comprendido finalmente que somos componentes de los ecosistemas y, por tanto, debemos estar conscientes de las alteraciones y desequilibrios que podemos causar al

interactuar con otros componentes de estos sistemas singulares, siendo capaces de alterar su estructura y sus funciones, lo cual no implica que no deba cumplirse con fundamentos ecológicos como los de la homeostasis (Enkerlin et al., 1997).

En la figura II.2 se presenta un diagrama que ejemplifica la inserción de las actividades humanas que tienen que ver con el uso de los recursos naturales, conjuntamente con los atributos culturales de gran relevancia e impacto en los atributos naturales del sistema. Es decir, el hombre no es un simple componente biótico más, sino que modifica el sistema en su estructura y función al introducir las complejas estructuras de las instituciones socioeconómicas y tecnológicas producto del desarrollo cultural y del desarrollo actual de la civilización que interactúan con los componentes naturales del ecosistema. Habría que añadir en este esquema que de esas interacciones pueden surgir conflictos de intereses entre los diferentes sectores del componente cultural, cuya resolución define la forma e intensidad del uso de los recursos y los impactos negativos y positivos que puedan ocurrir en los componentes bióticos y abióticos del sistema.

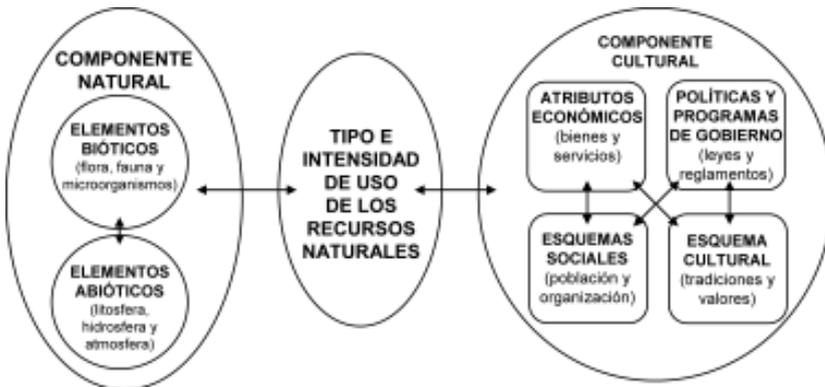


Figura II.2. Modelo de ecosistema que integra al hombre no sólo como ser viviente, sino como un componente cultural con atributos particulares incorporados al sistema (Enkerlin et al., 1997).

II.1.4 DEGRADACIÓN Y MAL USO DE LOS RECURSOS. IMPACTOS AMBIENTALES

Degradación es la pérdida de valor de uso de un recurso. El valor de uso viene dado por la capacidad de un recurso o un conjunto de recursos (ecosistema, paisaje) de realizar o generar una o más funciones en la naturaleza (funciones ecológicas) o de suplir bienes y servicios a la colectividad (funciones económicas y socioambientales).

Los impactos ambientales se refieren a los cambios y alteraciones del ambiente causados por las actividades humanas. Éstos pueden ser positivos o negativos, siendo estos últimos los más frecuentes, tales como la disminución y destrucción de los recursos naturales, la contaminación de los recursos, la acumulación de materiales de desecho, la pérdida de valor estético del paisaje y la generación de molestias e incomodidades a la población. Es decir, los impactos ambientales negativos se asocian predominantemente con la degradación de los recursos y de los ecosistemas donde se asientan. Dichos impactos pueden ocurrir a diferentes escalas. Sus efectos pueden apreciarse en el sitio o fuera del sitio, presentarse en forma inmediata o en el largo plazo, ser muy aparentes o permanecer de manera oculta. Los efectos simples son posibles, pero generalmente un impacto inicial genera una reacción en cadena de consecuencias múltiples. La evaluación de los impactos, cualitativa y cuantitativa, tiene por objeto considerar las diferentes alternativas (diferentes tipos de intervención y de implementación) y valorar el costo ambiental de éstos al plantearse un proyecto o intervención del ambiente.

II.1.5 PROBLEMAS AMBIENTALES RELEVANTES EN EL PRESENTE. LA PRESIÓN DEMOGRÁFICA

En la figura II.3 se resumen de manera concisa los principales problemas globales y locales de naturaleza ambiental que se presentan actualmente. La magnitud, extensión y repercusiones ambientales a nivel planetario hacen ubicar la problemática del



Figura II.3. Problemas ambientales a nivel mundial, regional y local (Enkerlin et al., 1997).

calentamiento global, la destrucción de la capa de ozono, la deforestación y la pérdida de biodiversidad como los principales problemas ambientales a nivel mundial. Esto no quiere decir que otros problemas no tengan una relevancia a ese nivel. Los problemas ambientales están íntimamente interrelacionados y problemas regionales y locales se encadenan con los que se manifiestan globalmente. Por ejemplo, la deforestación es una de las causas de la erosión y la desertificación, éstas, a su vez, deterioran las tierras al destruir hábitats de manera directa o al impulsar a los agricultores a movilizarse a nuevas tierras, desforestando y destruyendo mayores superficies, lo cual se traduce en pérdida de la biodiversidad. La destrucción de los bosques también genera emisiones de CO₂ a la

atmósfera, que fomentan el calentamiento global. El calentamiento global es también un factor promotor de la destrucción de hábitats, y por tanto, se desencadenan mayores presiones sobre la biodiversidad. Esto nos alerta sobre el altísimo grado de complejidad de los problemas ambientales y la necesidad de reconocer la interdependencia de los factores y procesos que degradan a los ecosistemas y los sistemas ambientales en general.

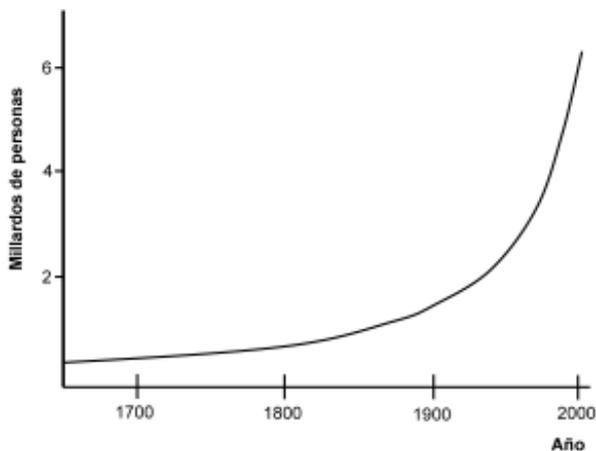


Figura II.4. Incremento exponencial de la población humana en los últimos siglos (Velasco et al., 2003).

Una de las más importantes, si no la más importante, de las fuerzas que desencadenan los problemas ambientales, son el crecimiento de la población y los estilos de vida (tecnología y consumo) asociados a esas poblaciones. La población humana ha permanecido en constante crecimiento durante los últimos siglos desde la revolución científico-industrial (figura II.4). Sin embargo, esta tendencia podría verse atenuada por factores de resistencia ambiental. El límite impuesto por la resistencia ambiental es la denominada capacidad de carga o de soporte y corresponde a la densidad máxima que puede ser tolerada o sostenida en el largo plazo por determinadas condiciones ambientales. Bajo la circunstancia de limitaciones impuestas

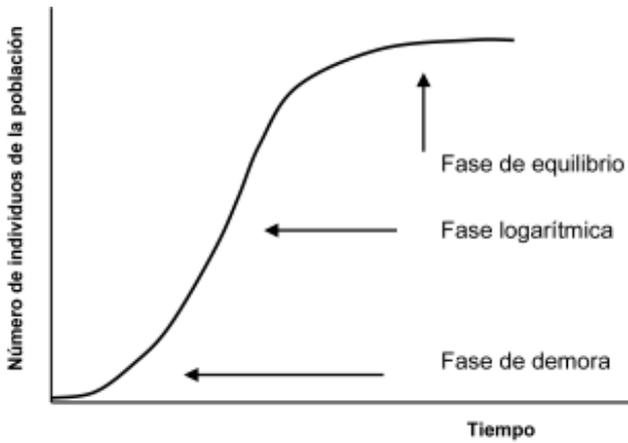


Figura II.5. Curva de crecimiento de una población según modelo logístico, sujeta a límites impuestos por la resistencia ambiental (Enkerlin et al., 1997).

por el medio, la curva de crecimiento poblacional debe ajustarse a un modelo logístico de crecimiento poblacional, el cual se caracteriza gráficamente por una curva sigmoidea o en forma de S (Enkerlin et al., 1997), tal como se ilustra en la figura II.5. La población humana no sólo ha crecido en tamaño, sino que se ha transformado cualitativamente en su distribución geográfica desde una sociedad rural hacia una población asentada en centros urbanos, siendo que para el año 2000 más del 50% de la población vive en las ciudades, con los estilos de vida y de desarrollo que ello conlleva. Esto implica una mayor presión hacia los recursos naturales debido al efecto dominó que se desencadena en la demanda de tierras, lo que genera cambios de uso muchas veces indeseables y de carácter irreversible, que dejan una huella ecológica más allá de los límites del área urbanizada que puede extenderse decenas y hasta cientos de kilómetros en las áreas rurales periféricas y remotas. Esta situación se ilustra en la figura II.6.

POLÍTICAS DE USO Y MANEJO DE LA TIERRA

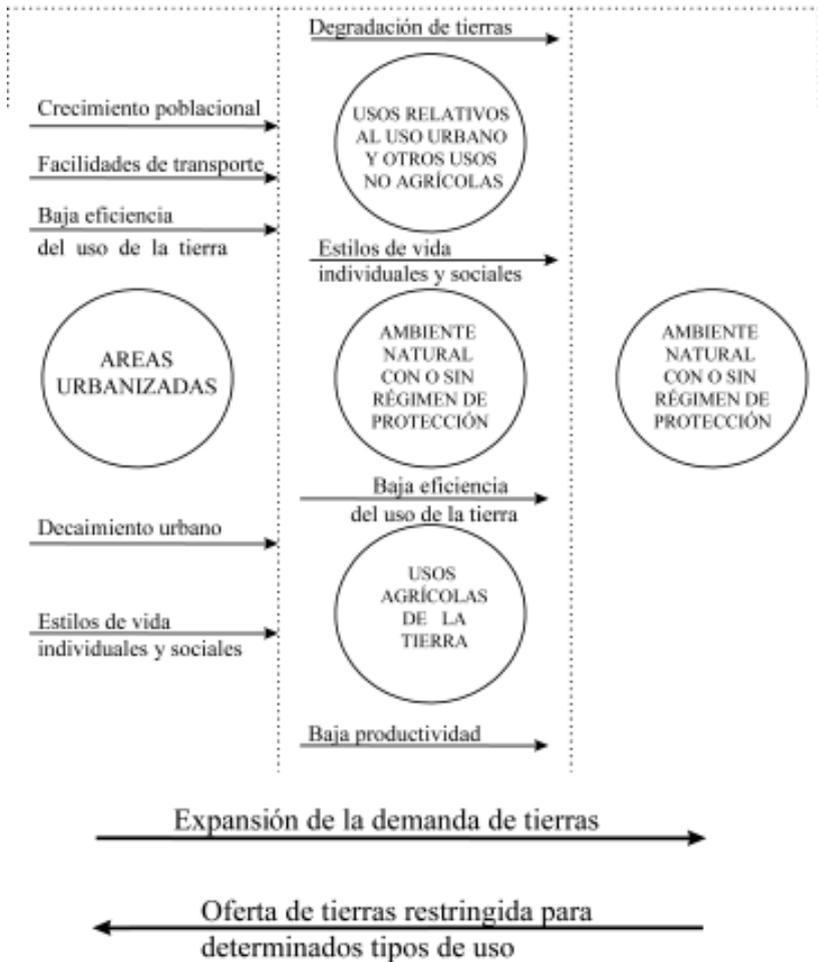


Figura II.6. Presión urbana sobre las tierras (Rodríguez, 1998).

Velasco et al. (2003) exponen un modelo sencillo para analizar la relación entre la población de un área determinada, el uso que hace de los recursos disponibles y el impacto ambiental que supone. Dicho modelo despliega la existencia de tres factores fundamentales:

- El número de personas.
- El número promedio de unidades de los recursos que cada persona usa.
- El grado de deterioro y contaminación ambiental generados cuando se produce y se usa cada unidad de recursos.

Según estos autores, la superpoblación ocurre cuando el número de personas que puede obtener sustento en un área excede la capacidad de sostén o capacidad de carga de dicha área. Distinguen dos tipos de superpoblación que se describen a continuación:

- La superpoblación de individuos, que es la que existe en países menos desarrollados, donde hay más personas que cantidades disponibles de alimentos, agua y otros recursos importantes. En esta situación el tamaño de la población y la degradación resultante por el uso de los recursos son los factores clave que determinan el impacto ambiental.
- La superpoblación de consumo, que es el caso de los países desarrollados, se caracteriza por un ritmo de utilización de los recursos que tiende a agotarlos debido a una alta tasa de su uso por persona, comprometiendo los sistemas sustentadores de la vida presente y futura, y en muchas ocasiones impidiendo la satisfacción de necesidades básicas de los países menos desarrollados.

Aunque este modelo es bastante simplista y deben analizarse los múltiples y variados factores que intervienen en el equilibrio de las poblaciones humanas, es conocido que uno de cada seis habitantes de los países en desarrollo sufre de malnutrición, y que la población de los países menos desarrollados está creciendo a un ritmo mayor que la de los países desarrollados (FAO, 1984). En estudios realizados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1984), se presentaban estimaciones para finales del siglo pasado que señalaban que la superficie de tierras

disponibles por habitante en los países en desarrollo se reduciría de 0,37 ha a 0,25 ha/hab. con el agravante de las tierras que se desincorporan por degradación de los recursos. La única manera de contrarrestar esa tendencia sería la intensificación de los cultivos, mejoras en los rendimientos y la incorporación de nuevas áreas a la producción. La gestión conservacionista de los recursos y la conservación de suelos y agua en particular pueden contribuir eficazmente en esta labor.

La capacidad de carga del planeta para la población humana va a depender indudablemente del modelo de desarrollo adoptado. Hasta tiempos muy recientes se debatía la humanidad entre dos corrientes (Velasco et al., 2003):

- La del desarrollo incontrolado, que tuvo su origen en la revolución industrial y que se asocia con las teorías liberales en las que la tecnología puede superar las limitaciones impuestas por el medio, promoviendo altas tasas de consumo y derroche. También llamada corriente utilitarista, el cual ha sido el modelo vigente con sus excepciones en los últimos doscientos a trescientos años.
- La del crecimiento cero, apoyada en la teoría neomalthusiana, basada en el principio de que los recursos son limitados y su agotamiento condicionará el futuro de la humanidad. Esta segunda corriente tuvo sus seguidores, representados en los años setenta por el llamado Club de Roma, que publicó un informe denominado *Los límites del crecimiento*. Obviamente, los países en desarrollo se opusieron a esa visión y siguen oponiéndose, ya que condenaba a una gran proporción de la humanidad a conformarse con un nivel de vida cercano al de la subsistencia.

Como salida alternativa a los dos modelos de desarrollo ha surgido el modelo de desarrollo sustentable, el cual busca un equilibrio entre las actividades económicas y sociales y la conservación del medio ambiente, compatibilizando el desarrollo económico y

social con la diversidad, complejidad y funcionamiento ecológico, que sirve de sostenimiento a la vida. Se reconocen los límites físicos al crecimiento, pero no se considera el desarrollo de una manera estática, sino dinámica, haciendo capaz a la economía y las instituciones sociales al utilizar los recursos naturales y al ambiente, de proveer una calidad de vida más próspera al ser humano. Otros aspectos del desarrollo sustentable y su relación con la conservación de suelos y agua serán profundizados en el capítulo VII de esta publicación.

II.2 ELEMENTOS BÁSICOS SOBRE CONSERVACIÓN

II.2.1 CONCEPTOS SOBRE CONSERVACIÓN

El término *conservación* se empezó a utilizar a finales del siglo XIX en relación con el manejo, en principio por razones económicas, de recursos de gran valor como la madera, la pesca, la cacería, las tierras de cultivo, los pastizales, los minerales, y también a los bosques, la vida silvestre, las cuencas hidrográficas y áreas naturales no intervenidas. La *conservación* es el uso racional de los recursos y el medio ambiente en general. Los estudios sobre conservación subrayan la necesidad de un uso ordenado y eficaz de los recursos, la eliminación del despilfarro económico y social y la elevación al máximo de las ganancias sociales netas a lo largo del tiempo. Para ello es preciso decidir sobre la distribución de los recursos entre el presente y el futuro. En contraposición, el *deterioro* de los recursos conduce a su transformación, de tal manera que pierden o disminuyan su valor de uso.

Desde el punto de vista económico y social, la conservación es principalmente un problema de *uso prudente* de los recursos. Sin embargo, este concepto tiene la debilidad de ser vago y confuso. Vago por la diferencia de opinión acerca del significado de “uso prudente” y confuso porque las prácticas de conservación varían ampliamente con los diferentes tipos de recursos.

La conservación consiste en la protección, mejoramiento y uso de los recursos naturales (vivos y no vivos) y del ambiente de acuerdo con principios que aseguren los más altos beneficios económicos y sociales para la humanidad ahora y en el futuro (Bergsma et al. 1996).

Dudal (1981), citado por Bergsma et al. (1996), define la conservación como el uso óptimo de la tierra en concordancia con su capacidad, de tal manera que se asegure su mantenimiento o mejora, e incluye también el control de la degradación y la restauración de la productividad cuando ésta ha disminuido.

II.2.2 OBJETIVOS DE LA CONSERVACIÓN

Aun cuando la conservación persigue una amplia gama de objetivos, éstos pueden agruparse en cuatro grandes objetivos principales, a saber:

La *preservación*, que permite el mantenimiento de ciertas áreas o recursos en una condición esencialmente intocable, por su interés científico, atractivo estético o valor recreacional. La preservación también persigue la protección de un ambiente para asegurar ciertos recursos, como el agua en las cuencas altas.

El *mantenimiento* de la calidad de los recursos, ligado al uso directo del recurso para el usufructo del hombre, mientras éste se perpetúa para el logro de una producción sostenida.

El *mejoramiento* del recurso, que implica elevar su capacidad productiva o valor económico, estético o recreativo. Por ejemplo, la incorporación de tierras áridas a la agricultura mediante el riego.

La *restauración*, por medio de la cual áreas degradadas pueden ser revegetadas y regeneradas, y fuentes de agua contaminadas pueden ser tratadas para obtener agua de alta calidad. Sin embargo, no siempre es posible afrontar el gasto y esfuerzo requerido. Este concepto está muy ligado a la factibilidad económica y social. En términos

del ecosistema, la restauración sólo es posible mientras las especies sean protegidas y sea mantenida la diversidad de vida.

II.2.3 CONFLICTOS DE LA CONSERVACIÓN

- El largo y el corto plazo

En la mayoría de los casos los problemas de conservación deben afrontarse en el largo plazo. Sin embargo, surgen contradicciones que se ejemplifican en las crisis políticas, reales o creadas, que promueven la destrucción de recursos como una forma transitoria de lograr una meta militar o fortalecer el tesoro público. El crecimiento de poblaciones por encima de la capacidad de sus recursos naturales, crean un continuo estado de crisis, que inciden en que siempre se encuentren necesidades inmediatas expansivas, con el costo de la declinación de la productividad y de la calidad ambiental futura.

- Intereses individuales e intereses sociales

Frecuentemente es considerado como esencial la supervivencia o el enriquecimiento individual o de un grupo de individuos, los cuales para obtener ganancias o provechos inmediatos pueden perjudicar la productividad futura de un área de tierra, paisaje, bosque o especie animal.

- Aspectos tecnológicos

El desarrollo de la tecnología es origen de muchos conflictos en la conservación. Ella, puesta al servicio de la sociedad, pudiera representar un gran beneficio para la humanidad, pero representa actualmente el mayor peligro para la destrucción de los recursos, pues ha permitido y permite cada vez más la rápida destrucción del ambiente.

- El modo de producción y las estrategias de desarrollo

Ninguno de los modos de producción, tanto el capitalista como el socialista, han podido solventar los problemas de deterioro de

los recursos y del medio ambiente. El hecho de que la propiedad de los medios de producción sea de naturaleza individual o colectiva, no es garantía del uso de tecnologías menos contaminantes o menos degradantes, de patrones de consumo adecuados o de ritmos de crecimiento demográfico convenientes.

El modo de producción capitalista es, sin lugar a dudas, el origen de muchos de los conflictos de la conservación, al basarse en la búsqueda de la ganancia económica sin considerar otros criterios del desarrollo ni el equilibrio de la naturaleza, que posibilita en muchos casos el predominio del beneficio individual sobre el beneficio social. Por otra parte, el modo de producción socialista no escapa de éstas y otras críticas. En la antigua Unión Soviética ocurrió uno de los desastres ecológicos de mayor magnitud, como fue la explosión del reactor nuclear de Chernobyl. El aparato industrial de la Europa del Este resultó ser una fuente de contaminación y de lluvia ácida con efectos negativos a nivel local y en la Europa oriental. China continental es uno de los países con la más alta tasa de contaminación y degradación de los recursos debido al crecimiento económico obtenido en los últimos años, paralelo a un alto crecimiento demográfico sostenido.

La distribución desigual de la riqueza y la explotación económica que ejercen los países más desarrollados, la carrera armamentista de cualquier ideología por el control del poder, el despojo de vastos territorios a poblaciones cada vez más necesitadas, el riesgo de un holocausto nuclear, generan un escenario en el cual la conservación adquiere casi una connotación de “utopía”, en muchos países desarrollados, por el despilfarro de los recursos que caracteriza a la sociedad de “consumo”, y en los países subdesarrollados, por el estado de pobreza crítica de los habitantes, que les obliga a pensar sólo en la sobrevivencia diaria más que en el bienestar futuro. La conservación propugna por sistemas de producción que fomenten una sociedad más justa y equilibrada en la cual se respeten los derechos humanos, se logre mayor prosperidad y calidad de vida y

también se respeten las leyes de la naturaleza, de manera que se utilicen los recursos y el ambiente en forma sostenible. Es por ello que ha surgido el nuevo paradigma del desarrollo sustentable.

- Uso de recursos globales

Ocurre en aquellos recursos utilizados en común, como la atmósfera y los océanos. Ejemplo de ellos es la contaminación del aire por los vehículos automotores que afecta a los ciudadanos en general; la destrucción de la capa de ozono por la desmedida emanación de gases provenientes del sector industrial; la destrucción de la selva amazónica y la emisión de gases invernaderos por el uso de combustibles fósiles y otras fuentes que afectan la temperatura del planeta; la contaminación de los océanos; y la disminución de las fuentes de pesca en los mares extraterritoriales. En estos casos se requiere un control por encima de las fronteras de cada país, lo cual sin lugar a dudas representa un conflicto para la conservación.

Son ejemplos de acuerdos a nivel global los convenios o tratados como el Protocolo de Kyoto, elaborado en 1997, en la ciudad de ese nombre, que busca reducir la emisión de gases que producen el efecto invernadero y que, por tanto, contribuyen al calentamiento global, y que entró en vigencia en febrero de 2005; la Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía, que entró en vigencia en 1996; y el Convenio sobre la Diversidad Biológica, firmado por más de 150 países en la cumbre de Río de Janeiro realizada en 1992. Venezuela ha sido país signatario y ha ratificado su adhesión a todos estos convenios.

II.2.4 DESARROLLO DE LA CONSERVACIÓN

La historia de la conservación transcurre paralela con la historia del hombre, sin embargo, el uso de la palabra en el contexto contemporáneo es relativamente reciente. El concepto actual persigue el logro de la más alta calidad de vida para la humanidad por la utilización racional del ambiente. La conservación es un

movimiento social que aboga por prácticas que perpetúen los recursos sobre la tierra, derivando sus principios de la ecología.

- Con relación a la antigüedad

Existen criterios divergentes en cuanto a las relaciones del hombre primitivo con su medio ambiente. Algunos autores sostienen que éste vivía en un equilibrio con la naturaleza, desarrollando prácticas que propendían a la conservación del ambiente, muchas veces de corte religioso o místico, lo cual es cierto en algunas culturas. Sin embargo, hay teorías que sostienen que la supervivencia del hombre primitivo se debió más al bajo desarrollo de las fuerzas productivas y las bajas densidades de población. Ciertamente, a través del uso del fuego el hombre primitivo causó grandes cambios al ambiente. Los cazadores primitivos promovieron la desaparición de algunas especies silvestres, como la casi extinción de los búfalos en Norteamérica, la agricultura, y especialmente el sobrepastoreo ovino y caprino en Europa también causaron deterioro de las áreas explotadas.

Entre las estrategias conservacionistas más importantes en la antigüedad figuran las basadas en tabúes religiosos que permitieron la conservación de especies animales, y las sanciones religiosas que previnieron la destrucción de bosques y montañas sagradas. También, el uso de fertilizantes orgánicos es de origen primitivo. En la Biblia se citan muchos mandatos conservacionistas sobre la explotación de la tierra. Los incas y los fenicios desarrollaron el terraceo de los terrenos y sistemas de irrigación. La creación de reservas o cotos de caza son típicas de culturas primitivas. Al desarrollarse la civilización surgieron otras prácticas de conservación. Un ejemplo de ésta fue el desarrollo de la agricultura de paisajes de la Europa occidental preindustrial y la agricultura orgánica en China y Japón, países que han mostrado gran habilidad en la conservación del suelo por milenios. Los sistemas de terrazas de los incas y los mayas permitieron el desarrollo sostenido de una agricultura de riego floreciente en muy fuertes pendientes, sin problemas de erosión.

- En el mundo contemporáneo

La conservación se caracteriza por una expansión creciente del papel de gobiernos en proteger el ambiente y un aumento del interés público en ofrecer apoyo para este proceso. Entre los nuevos alcances y problemas de la conservación, surgidos a raíz de la Segunda Guerra Mundial, resalta la contaminación en todos los campos de las actividades humanas. Por otra parte, el enfoque de la conservación persigue unas metas mucho más integradas a los problemas ambientales y al manejo de los recursos naturales como un todo.

En la conservación moderna surgen los ministerios del Ambiente y los consejos nacionales de Calidad Ambiental, para regir las acciones y políticas nacionales ambientales. Sin embargo, ya en 1970 se vislumbraba que los problemas de la conservación se escapaban del control de un solo país, planteándose la necesidad del enfoque internacional para el tratamiento de problemas como el control del uso de materiales radiactivos, metales pesados, plaguicidas y sustancias tóxicas o los derrames petroleros, los cuales, entre otros problemas, representan actualmente conflictos para la conservación.

Por otra parte, a través de la historia se han manifestado dos corrientes extremas: la *utilitarista*, que persigue el máximo beneficio económico del individuo en el corto plazo, en detrimento del bienestar futuro en el largo plazo; y la *proteccionista*, que enaltece el paisaje y los valores estéticos de los recursos y su resguardo en pro de las generaciones futuras, ignorando el valor económico inmediato de los mismos (Eichler, 1960). La primera conduce en muchas ocasiones a la sobreexplotación de los recursos, mientras la segunda a su subutilización.

Entre el proteccionismo a ultranza y el utilitarismo desmesurado hay un punto de equilibrio: la conservación (Enkerlin, 1997).

II.2.5 OBSTÁCULOS A LA CONSERVACIÓN

Los obstáculos a la conservación pueden agruparse en cuatro grandes categorías (Barlowe, 1986):

- Físicos. Factores naturales que inciden en altos riesgos de degradación y marginalidad de las tierras.
- Socioeconómicos. Factores como la falta de capital, la inestabilidad e incertidumbre económica, la ignorancia y la edad avanzada de los productores pueden afectar en forma negativa la decisión de los usuarios de los recursos acerca de usar medidas o prácticas de conservación.
- Institucionales. Las políticas sobre el uso de la tierra y la tenencia de la tierra (tamaño, régimen de propiedad, impuestos prediales) pueden favorecer o desfavorecer la conservación de los recursos.
- Tecnológicos. La disponibilidad, los costos y los modelos de transferencia de la tecnología pueden obstaculizar o inducir la conservación de los recursos.

II.3 CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS

Como se dijo al inicio de este capítulo, al hablar de conservación es preciso hablar de conservación de recursos específicos, pues las prácticas que se aplican para alcanzar las metas de la conservación varían con el tipo de recursos. Por ello se requiere clasificar los recursos en grupos que requieran prácticas similares para su conservación. Para establecer esta agrupación primero se hace necesario distinguir algunos criterios que nos permitan separar categorías de recursos afines para su conservación (Ciriacy-Wantrup, 1979).

II.3.1 CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE RECURSOS

Quizás uno de los principales criterios utilizados para clasificar los recursos con fines de conservación es la *renovabilidad* del recurso.

Las clasificaciones tradicionales hablan de recursos renovables y no renovables.

Aunque la renovabilidad de un recurso es relativa, un criterio utilizado para medirla es el *tiempo de ciclo* o longitud del tiempo requerido para reemplazar una cantidad dada de un recurso que ha sido utilizado por una cantidad equivalente del recurso en forma similarmente útil. El *tiempo de ciclo* expresa la habilidad de regeneración del recurso, sin embargo, hoy se sabe que un recurso renovable puede pasar a ser no renovable cuando la tasa de uso y la demanda del recurso exceden la capacidad de ciclaje de este recurso. Es el caso de una especie silvestre, la cual pese a su habilidad de regeneración puede ser extinguida de no tomar las debidas precauciones en su explotación.

Otro criterio de importancia para separar tipos de recursos es la presencia o no de una *zona crítica* o rango más o menos definido de tasas de uso, bajo las cuales un decrecimiento en flujo no puede ser revertido económicamente bajo las condiciones previsibles en el presente. Frecuentemente, tal irreversibilidad se plantea en términos económicos y tecnológicos. Un ejemplo de recurso con existencia de zona crítica es el suelo, la cual viene determinada por las limitaciones en su profundidad efectiva, ya que las capas limitantes al aflorar por erosión pueden disminuir marcadamente la productividad agrícola. Otro ejemplo son los ríos, cuya suplencia de agua puede disminuir en cantidad y calidad por sedimentación de sus cauces.

Ambos criterios, tiempo de ciclo y presencia de zona crítica, determinan la mejor forma de administración del recurso y son fuertemente dependientes de la tecnología existente para el momento de su utilización.

La *disponibilidad del recurso en espacios y/o intervalos de tiempo* iguales o diferentes es un criterio que sirve para separar una categoría de recursos ligados al clima, como son: la energía radiante, la precipitación, la temperatura y los vientos y otros dependientes de éstos como las corrientes de agua, los cuales no se encuentran disponibles al hombre permanentemente a una igual tasa.

La *mutabilidad o cambios químicos* diferencia a aquellos recursos que pueden ser almacenados en el largo plazo sin que pierdan su valor, de los que deben ser utilizados en el más corto plazo a riesgo de su deterioro. Ejemplo de éstos son los granos comestibles, que al ser almacenados en condiciones inadecuadas o por tiempo prolongado pierden su calidad alimenticia.

La *posibilidad de nuevo uso*, que agrupa en una categoría los recursos que pueden ser reutilizados y en otra a aquellos cuyo valor se pierde una vez que ellos son aprovechados.

Relacionada con ambos criterios está la *tasa de consumo con el uso*. Así, hay recursos que pueden ser utilizados “infinitamente” sin desgastarse, como el oro y las piedras preciosas, mientras que otros son rápidamente “consumidos” al usarse, como los combustibles.

La *intervención o no del hombre en su formación* permite distinguir dos grandes categorías de recursos, los culturales y los naturales.

La *susceptibilidad de cambio en la tasa de disponibilidad del recurso por acción del hombre* permite diferenciar una categoría de recursos que el hombre puede manejar o controlar de otra cuya disponibilidad se escapa a la acción del hombre.

Quizás uno de los criterios más importante desde el punto de vista de la conservación, es el criterio de que la *productividad sea susceptible a ser aumentada, mantenida o disminuida por el hombre*, ya que implica la posibilidad por parte de éste de hacer variar su productividad para su provecho o, por el contrario, de disminuirla o agotarla de no tomar las debidas precauciones. Ejemplos de este tipo de recursos son el suelo, la flora y la fauna.

La *procedencia y/o dependencia de uno de otro* orienta sobre el enfoque ecológico que debe prevalecer en el uso de muchos bienes. La *cantidad del recurso* agrupa determinados recursos que aun cuando son de carácter vital para el hombre, como el aire, no tienen valor

económico por su abundancia en la naturaleza. Ambos son criterios que permiten separar diferentes categorías de recursos.

II.3.2 CLASIFICACIÓN DE RECURSOS CON FINES DE SU CONSERVACIÓN

De acuerdo con el tratamiento común, se pueden diferenciar tres grandes clases de recursos: natural, cultural y humano, correspondientes a los factores de producción: tierra, capital y trabajo (Ciriacy-Wantrup, 1979). Según procedan y/o dependan o no uno(s) de otro(s), los recursos se clasifican en *primarios* y *secundarios*; este último tipo depende de uno o más de los anteriores. Esta clasificación varía según el objetivo y punto de vista del investigador, pues tanto en el sentido físico como económico la mayoría de los recursos son dependientes uno de otros.

Desde el punto de vista del análisis económico, los recursos se clasifican (Ciriacy-Wantrup, 1979) sobre la base de su renovabilidad en:

Recursos de fondo. Son aquellos cuyas existencias físicas totales son relativamente fijas y no renovables. Pueden reemplazarse en largos períodos, pero no puede esperarse ningún aumento apreciable de la cantidad total de estos recursos durante el tiempo en que se opera. Éstos se dividen en dos categorías:

- Los que se agotan o modifican químicamente con el uso: el petróleo y sus derivados, los gases, la hulla, la turba y el carbón.
- Los que se consumen muy lentamente con el uso y son susceptibles de nueva utilización: el oro y otros metales, las arcillas y las piedras.

Recursos fluidos. Son aquellos en los cuales las diferentes unidades del recurso se hacen disponibles para su uso en diferentes intervalos de tiempo. El flujo de estos recursos se produce en una corriente continua y previsible que fluye independientemente de que sean utilizados o no. Son renovables pero hay que usarlos a medida

que se presentan y el no hacerlo produce una pérdida permanente del valor que pudieron haber tenido. Ej.: agua de lluvia, agua en corrientes, lagos, la luz del sol, las mareas, los vientos. Los recursos fluidos son de dos clases:

- Recursos fluidos en los cuales la acción humana en un intervalo no afecta significativamente el flujo en intervalos futuros: la radiación solar, los vientos, las mareas.
- Recursos fluidos en los cuales la acción humana en algún intervalo puede decrecer o incrementar alguna o todas las tasas futuras de uso. En este grupo de recursos además se consideran dos clases:
 - Recursos fluidos con existencia de zona crítica, como ríos y lagos.
 - Recursos fluidos sin zona crítica, como la precipitación.

Recursos compuestos. Son aquellos en los cuales se combinan algunas características de las dos clases interiores y comprende tres subclases importantes:

Recursos biológicos. Estos recursos tienen algunos rasgos fluidos, pues son reemplazables con el tiempo siempre que se tome el cuidado de conservar y usar las existencias de simiente necesarias para cada nueva generación. Pero en un momento dado también pueden ser tratados como recursos de fondo, que pueden usarse o explotarse hasta reducir mucho, o aun impedir, su flujo o producción futura. A diferencia de los recursos de fondo y recursos fluidos, la productividad de los recursos biológicos puede ser disminuida mediante la explotación, mantenida a su nivel actual o aumentada por la acción del hombre: cultivos, bosques, pastos, ganado, animales.

- Los recursos del suelo. Representan una combinación de recursos de fondo, recursos fluidos y recursos biológicos. Un agricultor

puede explotar o hasta destruir un fondo de fertilidad acumulado durante períodos de varios siglos. Puede usar su tierra de tal modo que aproveche sólo el flujo anual de fertilidad creada por la acción de las raíces de las plantas, las soluciones contenidas en el suelo y los organismos que liberan diferentes nutrientes para uso posible de las plantas, o puede desarrollar un programa de reforzamiento del suelo (uso de leguminosas, estiércol y abono vegetal) que intensifique la acción de las raíces de las plantas y de los microorganismos del suelo para reforzar la capacidad productiva de la tierra. Los suelos no tienen el ciclo vital característico de las plantas y los animales, pero con excepción de las turberas (que son más propiamente consideradas recursos de fondo), su productividad puede ser disminuida, conservada o aumentada por la acción del hombre en el tiempo.

- Las mejoras hechas por el hombre. Representan una clase especial de recursos en tierra por cuanto no son recursos naturales. La mayor parte de las construcciones, las calles, los embalses para diferentes usos y otras mejoras análogas tienen una vida económica previsible. Aparte de esta característica, pueden ser tratadas para los fines de la conservación de un modo muy análogo al recurso suelo. Su productividad en cualquier período dado puede ser adversamente afectada por una acción abusiva o destructora, pero con una buena administración y la aplicación oportuna de gastos para mantenimiento, reparación y/o mejoras puede reforzarse su productividad en el largo plazo en forma sostenida.

II.3.3 ASPECTOS ESTRATÉGICOS A CONSIDERAR EN EL USO RACIONAL DE LOS RECURSOS SEGÚN SU CLASIFICACIÓN

La conservación o uso prudente de un recurso a lo largo del tiempo difiere con cada tipo de recurso. Como puede verse, su clasificación en clases específicas de recurso ayuda a determinar las

decisiones importantes sobre la conservación. La conservación de *recursos de fondo* requiere la distribución de las existencias relativamente fijas de dichos recursos en un largo período. “Implica una reducción de la velocidad de desaparición o consumo, y un aumento proporcional del excedente no usado que queda al final de un período determinado” (Barlowe, 1965).

La figura II.7 de Miller (1994), citado por Enkerlin et al. (1997), muestra tres curvas que ilustran lo que podría suceder con los recursos no renovables o de fondo según las estrategias que se sigan para su utilización. Estas curvas están elaboradas de manera relativa y comparativa y no representan valores absolutos específicos. La línea punteada representa un límite en el cual ya se ha consumido el 80% del recurso. Se asume que un recurso se ha abatido cuando ya se ha alcanzado ese límite, más allá del cual el recurso se considera escaso y los precios superarían límites prácticos, por lo que al traspasar ese límite el recurso se considera prácticamente agotado. En la curva A se refleja el tipo de sociedad en que vivimos actualmente, las llamadas sociedades de desperdicio o de usar y tirar. La “racionalidad” es explotar los recursos hasta su agotamiento. Debido a que la tasa de consumo es tan rápida, no hay tiempo de hacer nuevos descubrimientos, y lo único que limita la utilización del recurso es su creciente escasez; se llega rápidamente al punto de abatimiento. La curva B es característica de una sociedad en transición hacia el desarrollo sostenible. Se implementan ya algunas estrategias como el reciclado y se incrementa el número de reservas por mejores metodologías para recuperar los minerales, y ocurren aumentos de precios al mismo tiempo que hay nuevos descubrimientos, ya que los precios consideran las externalidades en el uso de minerales y energéticos y se busca incrementar la eficiencia en su uso al mismo tiempo de invertir en mejoras tecnológicas. Finalmente, la curva tipo C es la que corresponde a una sociedad que sigue los lineamientos del desarrollo sostenible, prolongando al máximo el tiempo para que se agote el recurso. Esto permitiría el logro de nuevas tecnologías. Se intensifican las estrategias de reciclado y

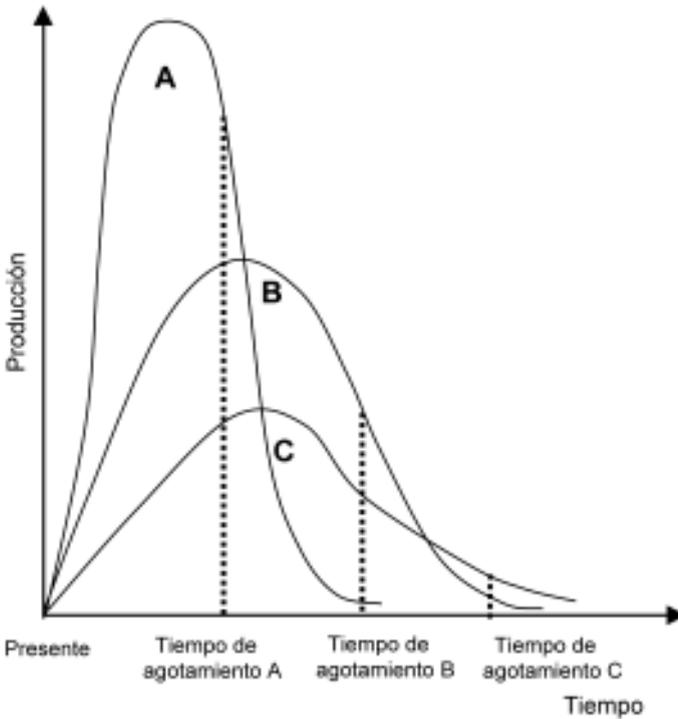


Figura II.7. Curvas de agotamiento para un recurso no renovable (recurso de fondo) que utiliza tres juegos de suposiciones. Las líneas punteadas verticales indican cuándo ocurre 80% de agotamiento. Miller (1994), citado por Enkerlin (1997).

de reuso que disminuyen los costos de obtención del mineral en comparación con su extracción en su lugar de origen. Se reduce también el consumo y se aumentan las reservas por medio del desarrollo tecnológico. Los precios son más altos porque es mayor la tasa impositiva aplicada al uso de recursos limitados.

Aunque a la fecha han sido explotados una gran cantidad de recursos minerales y en algunos lugares se han agotado gran parte de las reservas, es probable que ninguno de los recursos llegue a agotarse. Esto se debe a que hay que distinguir entre el término “reserva” y “recurso”, siendo los recursos la cantidad total existente, mientras

que las reservas están determinadas por la cantidad del recurso que puede ser recuperada económicamente para su uso. El tamaño de las reservas depende no sólo de la disponibilidad absoluta, sino de los costos de extracción, los precios de mercado y la eficiencia de la exploración (Ekerlin et al., 1997). Es importante que se cree conciencia a nivel social de la influencia que tiene la explotación racional y ambientalmente adecuada de los recursos de fondo para el logro de una mayor calidad de vida y un desarrollo sostenible.

Muy diferente es la situación respecto a los *recursos fluidos*. Salvo para los que son almacenables, que adquieren características de recursos de fondo, hay pocas posibilidades de que alguien procure ahorrar estos recursos para un uso futuro. Por el contrario, las buenas prácticas de conservación requieren la eliminación del derroche económico y social resultante de no usar estos recursos y el máximo uso económico practicable en las circunstancias existentes.

El uso conservacionista de los *recursos biológicos*, del suelo y de las mejoras hechas por el hombre requiere prácticas que rindan la retribución neta más alta, a lo largo del período de planeamiento de cada operador y al mismo tiempo mantener o mejorar su capacidad productiva.

En la conservación del *recurso suelo*, con una administración adecuada, la mayor parte de los recursos que componen el suelo pueden ser usados y conservar aun su capacidad productiva por mucho tiempo. Por el contrario, un uso inadecuado puede conducir al deterioro del recurso o a la disminución de la capacidad productiva, reflejada en erosión, disminución de la fertilidad química, disminución en la capacidad de suplir agua y/o aire, resistencia al desarrollo radicular, resistencia a la emergencia de las plántulas, altas concentraciones de elementos tóxicos, entre otros.

II.4 ELEMENTOS BÁSICOS DE ECONOMÍA DE LA CONSERVACIÓN

II.4.1 LA VALORACIÓN DEL AMBIENTE

La valoración del ambiente puede ayudar a apoyar la toma de decisiones en relación con el uso de los recursos y su conservación; por otra parte, contribuye a un mayor entendimiento de la importancia de los recursos y al análisis de los impactos generados por las actividades humanas. La valoración en sí es una tarea compleja, como puede apreciarse en la figura II.8. El análisis del beneficio económico de un programa de conservación considera no sólo los beneficios específicos a obtener del recurso a explotar, sino su repercusión o impacto ambiental en general. La moderna teoría económica sobre la conservación de los recursos reconoce que éstos poseen un valor económico, aun cuando no sean intervenidos ni desarrollados.

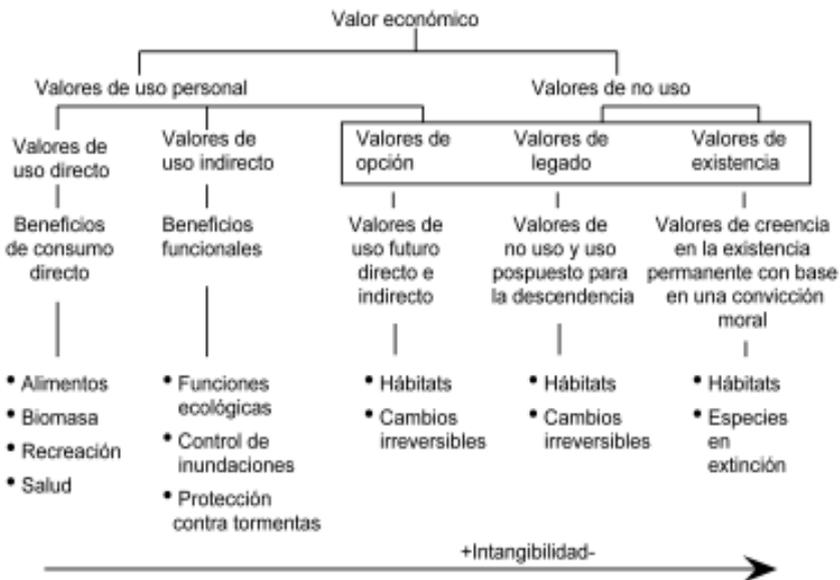


Figura II.8. Categorías de valor económico atribuidos a la evaluación ambiental Munasinghe (1992).

II.4.2 CURVAS DE INGRESO NETO EN EL TIEMPO CON Y SIN PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN

Las decisiones sobre conservación requieren elecciones deliberadas entre los usos presentes y futuros de los recursos. Las curvas de ingreso neto (IN) en el tiempo bajo el uso actual y usos alternativos de explotación conservacionista de la tierra, representan un criterio económico fundamental para la elección de opciones viables de uso de la tierra desde ese punto de vista (Barlowe, 1965; 1986).

Los IN generados por una unidad de tierra (UT) particular en el tiempo, bajo un uso dado, dependen tanto del tipo de utilización (TUT) como de las características intrínsecas de la tierra. El nivel de manejo puede venir representado por diferentes TUT que producen una gama de bienes y servicios similares, pero obtenidos bajo diferentes niveles de intensidad de uso de la tierra, con diferentes combinaciones de insumos y grados de mecanización. Tanto las características de la UT como del TUT van a repercutir en el nivel de productividad inicial y su evolución en el tiempo bajo sistemas de explotación agotadores o aquellos que consideran medidas de conservación que contribuyan a su sostenibilidad en el tiempo.

Debido a que el impacto de la degradación del suelo no sólo se refleja en una disminución de los rendimientos, sino en un aumento en los costos de producción debido a mayores requerimientos de insumos para compensar el estado de degradación, se deben considerar ambos efectos al realizar el análisis para la elaboración de las curvas de IN.

La expresión básica para la determinación de los ingresos netos es:

$$IN = IB - CP$$

IN: Ingresos netos esperados bajo un sistema de uso dado. Disminuyen con la degradación del suelo al disminuir la productividad intrínseca y aumentar los costos de producción.

IB: Ingresos brutos en función de los rendimientos esperados para un nivel de manejo determinado. Dependen de la productividad intrínseca del suelo. Disminuyen en la medida en que se reduce la productividad del suelo.

CP: Costos de producción. Vienen dados por el nivel de manejo, el cual influye en la cantidad de insumos a ser utilizados, tales como el riego y los fertilizantes. Al progresar el estado de degradación del suelo se incrementan los costos de las prácticas de manejo y conservación.

Pasos en la elaboración de las curvas de ingreso neto en el tiempo (Páez, 1992)

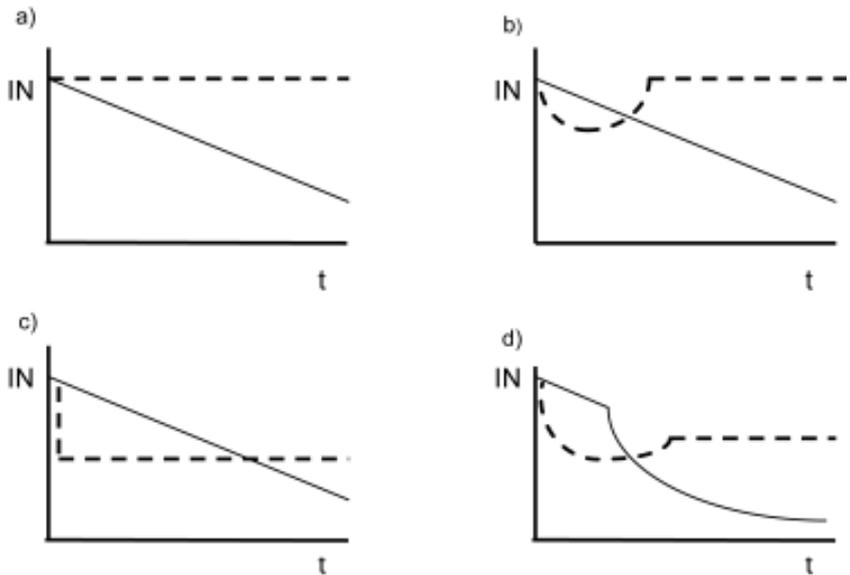
- Selección de las unidades de tierra representativas
- Selección de los TUT bajo uso actual (usualmente sin prácticas conservacionistas)
- Evaluación del impacto del proceso de degradación en la productividad a través del tiempo
- Estimación de las pérdidas o ganancias de profundidad efectiva del suelo según uso y manejo y características del perfil en el tiempo y su impacto en la productividad en el caso de la erosión hídrica.
- Evaluación de las pérdidas económicas a partir de t_0 bajo los sistemas sin prácticas de conservación y establecimiento de la curva de IN bajo el uso actual
- Selección de sistemas de conservación de recursos alternativos
- Elaboración de las curvas de ingreso neto para TUT alternativos
 - Descripción detallada del paquete tecnológico e insumos necesarios

- Estimación de los rendimientos esperados TUT-UT
- Inventario de los precios de mercado y costos de producción
- Estimación de los ingresos netos esperados

Curvas de ingreso neto en el tiempo en función de las relaciones entre cualidades de la tierra y sistemas de uso

Barlowe (1965; 1986) ejemplifica la tendencia de las curvas de ingreso neto en el tiempo, con y sin prácticas de conservación, en unidades de tierra con diferentes características y sistemas de conservación (figura II-9 a-d).

La figura II.9a representa el caso en el cual desde el inicio de la planificación (momento t_0), el usuario puede mejorar y estabilizar sus ingresos con el uso de prácticas sencillas de manejo de suelos



Bajo sistemas de explotación sin prácticas de conservación (—) y sistemas con prácticas de conservación (- - -)

Figura II.9 a-d. Curvas de ingreso neto en el tiempo (IN) Barlowe (1965; 1986).

como, por ejemplo, el encalado, la aplicación de fertilizantes y otras enmiendas. Éste sería el caso en que la adopción de la práctica sería más fácil. Sin embargo, en muchos casos el agricultor o usuario de la tierra no realiza prácticas de conservación, ya sea por ignorancia, falta de recursos u otras razones.

La figura II.9b corresponde al caso en que para estabilizar la capacidad de producir ingresos sostenidos al usar el suelo, el usuario debe aceptar primero un período de menos ingresos mientras invierte en prácticas de conservación, o mientras cambia su TUT de usos agotadores a usos protectores, es decir, se requiere de inversiones iniciales fuertes como la construcción de terrazas, que disminuirán los ingresos netos durante el período de amortización de la inversión. Una vez cancelado el costo de la práctica, los ingresos netos percibidos podrán igualar e incluso superar los obtenidos antes de su ejecución, con la diferencia de que a partir de ese momento los niveles de ingreso son sostenidos en el tiempo. En este caso se requiere que el usuario de la tierra tenga acceso a los recursos necesarios, ya sea de su propio patrimonio o a través de incentivos que ofrezcan organizaciones gubernamentales o no para realizar la inversión requerida.

En la figura II.9c se describe una situación en que es difícil recuperar la capacidad productiva del suelo a los niveles iniciales con cultivos que representan una explotación intensiva de la tierra y mantener los ingresos percibidos a los niveles del presente. Para garantizar el mantenimiento de los ingresos percibidos en el tiempo se requiere de un cambio radical de usos agotadores, representados generalmente por cultivos anuales hacia usos permanentes como frutales y pastos, que ofrecen mayor protección, pero que son de menor rentabilidad. En la medida en que se retrase esa decisión, se irá acumulando la pérdida progresiva de productividad, lo cual va a repercutir en una disminución progresiva de los ingresos netos en el tiempo.

La figura II.9d describe una situación similar a la de la figura II.9c en cuanto a los cambios de usos requeridos al implementar un uso conservacionista que genera menores ingresos en el presente,

pero que en el tiempo son estables y permanentes. La diferencia está en que la vulnerabilidad y fragilidad de los suelos es mayor, siendo que la curva de ingresos bajo el uso agotador presenta una caída más pronunciada al degradarse el recurso en forma más acelerada. Esto ocurre en unidades de tierra en cuyos suelos los procesos de degradación suceden de manera muy rápida, por ejemplo, altas tasas de erosión en suelos con horizontes de características indeseables a poca profundidad, que implican restricciones severas para el desarrollo de los cultivos, y que puede llegar a alcanzar niveles de deterioro irreversibles.

II.4.3 PRINCIPALES FACTORES ECONÓMICOS QUE AFECTAN LAS DECISIONES SOBRE CONSERVACIÓN

Los usuarios de la tierra comparan los beneficios que obtendrán para un período determinado y los costos en que incurran durante el mismo período para diversas opciones de uso, incluyendo alternativas de manejo y conservación. En la toma de decisiones sobre la adopción o no de un sistema de conservación existen dos factores que desempeñan un papel determinante en la selección que hará el usuario de la tierra. Dichos factores son: las tasas de interés o tipo de descuento aplicadas y el tiempo de planeamiento.

- El tipo de interés y las decisiones sobre conservación

En la toma de decisiones sobre conservación, los operadores (productores y/o planificadores) descuentan el valor de sus ingresos futuros esperados hasta el presente y aplican tipos de interés compuesto a todos los costos en que incurran para inversiones en conservación o para retener sus recursos hasta el momento en que pueden esperar que recobrarán esos costos. Si aplican tasas de interés altas, la práctica de conservación puede resultar demasiado costosa e impracticable y por ello rechazarían esa opción, o viceversa (Barlowe, 1965; 1986).

El tipo de interés aplicado depende de los ajustes realizados de acuerdo con las incertidumbres del mercado y, por otra parte, del tiempo de preferencia del usuario, que no es más que el peso relativo que se da a la percepción de una cantidad dada de ingreso o satisfacciones en una fecha futura, en comparación con la percepción de la misma cantidad de ingresos o satisfacciones en el momento presente.

En el cuadro II.1 se ilustra el efecto práctico de ambos elementos, incertidumbres del mercado y preferencia del tiempo, sobre la buena voluntad de un operador para realizar prácticas de conservación, partiendo del valor presente de un ingreso futuro de 1.000 bolívares, descontado a tipos de interés variables. A un tipo de descuento cero da igual que el operador reciba sus ingresos ahora o en ochenta años, mientras que con 2% de interés ese ingreso previsto tendría un valor presente de 205 bolívares y con 6% de interés tendría un valor de apenas 9 bolívares.

Cuadro II.1. Valor presente de un ingreso de mil bolívares en el tiempo descontado a diferentes tasas de interés. Adaptado de Barlowe (1965; 1986)

| Valor presente de un ingreso futuro | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|---------|---------|
| Tasa de interés o de descuento % | Ingreso de 1.000 Bs. en | | |
| | 30 años | 50 años | 80 años |
| 0 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 2 | 552 | 371 | 205 |
| 4 | 308 | 140 | 43 |
| 6 | 174 | 54 | 9 |

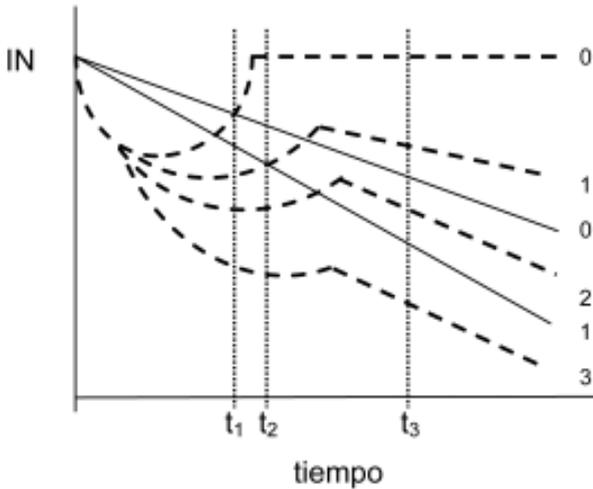
En la figura II.10 se observa la influencia de las tasas de interés aplicadas a las prácticas de conservación sobre la decisión o no de adoptar un programa conservacionista de la tierra, al aplicar diferentes tasas de interés y diferentes períodos de planeamiento.

Con un tipo de descuento cero y seleccionando las alternativas basándose en la tendencia de las curvas con y sin programas de conservación, se hallará ventajoso adoptar medidas de conservación si el período de planeamiento se prolonga varios años después de t_1 . Esta alternativa se elige porque el ingreso neto esperado que incorpora medidas conservacionistas supera el punto de cruce con la curva de IN sin adoptar medidas conservacionistas, es decir, los beneficios de incluir prácticas de conservación son atractivos para el usuario de la tierra. La elección puede variar considerablemente si se consideran tasas de interés superiores que requerirán períodos de planeamiento más largos para que se logren compensar los costos de la inversión en conservación. En casos extremos, bajo ambientes con altísimas tasas de interés, no es una opción atractiva ni viable la adopción de prácticas de conservación por los altos costos que éstas representan.

- El tiempo de planeamiento y las decisiones sobre conservación

El tiempo de planeamiento refleja, en gran parte, las diferencias entre los intereses antagónicos de los operadores individuales y de la sociedad en general, en relación con la conservación del suelo. Los operadores individuales manifiestan frecuentemente intereses de corto plazo mientras que a la sociedad le interesa el bienestar de largo plazo, incluyendo el de las generaciones futuras.

En la figura II.11 se representa cómo influye la tardanza en la adopción de sistemas de conservación, que manteniendo la productividad de la tierra estabilizan la renta en los ingresos esperados. La decisión de esta adopción dependerá de la ganancia neta o ingreso neto más cualquier cambio en el valor del capital tierra, como resultado de su mejoramiento o explotación. Posponer la decisión de incorporar las medidas de conservación significa una pérdida acumulada de los ingresos netos o de la ganancia neta. La ganancia neta está afectada por las tasas de interés y los cambios de valor de la tierra. A medida que se destruye la productividad del suelo, se



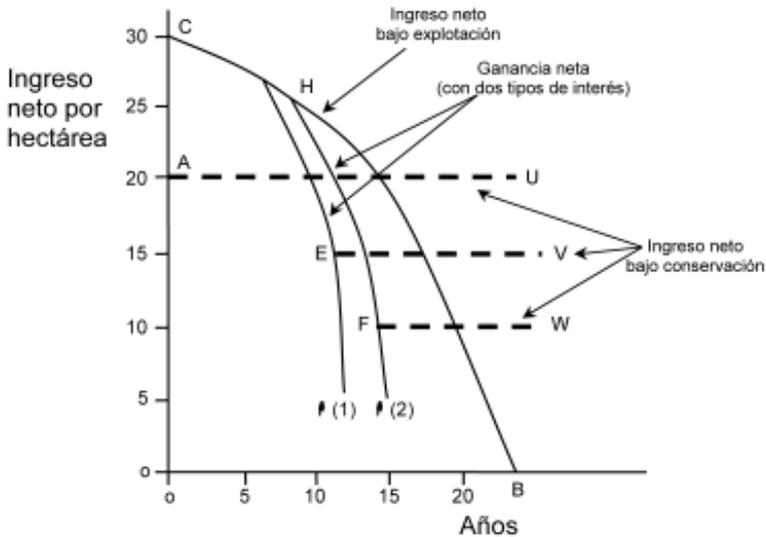
Sistemas de explotación sin prácticas de conservación (———)
 Sistemas con prácticas de conservación (- - - -) bajo diferentes tasas de interés

Figura II.10. Curvas de ingreso neto en el tiempo (IN) (Barlowe, 1965; 1986).

presenta una serie de curvas de renta paralelas al eje horizontal, las cuales son cada año más bajas (AU, EV, FW). En la medida en que se planifique a más largo plazo, mayores serán las posibilidades de que se perciban los beneficios de la conservación. Contra esta aseveración atentan sistemas de arrendamiento de corto plazo, políticas crediticias con pocos años para el pago del crédito y altas tasas de interés, niveles de pobreza y marginalidad de los agricultores, que les impide invertir y pensar en horizontes de planificación de largo alcance, entre otros factores.

- Factores relacionados con el momento de uso de los recursos

El usuario de la tierra no sólo tiene que elegir sobre el momento en que explotará los recursos (usarlo ahora o reservarlo para el futuro), sino también sobre la velocidad óptima presente o futura a la que hace uso del recurso.



Efecto de la explotación de la tierra (—)
del sistema de conservación (---)

Figura II.11. Efecto de la explotación de la tierra y del sistema de conservación sobre los ingresos netos y las ganancias netas en el tiempo (Suárez de Castro, 1980).

Entre los factores que inciden en la explotación temprana de los recursos, y en la decisión de obtener los máximos beneficios presentes aun a expensas de una disminución de los ingresos futuros, están:

- Necesidad presente de ingresos
- Preferencias de tiempo cortoplacistas
- Costos elevados de retención del recurso
- Falta de derecho de propiedad sobre la tierra
- Incertidumbres del mercado

Al contrario, entre los que inciden en la explotación tardía o el despilfarro que representa el no uso de los recursos a su máxima capacidad sostenida en el tiempo están:

- El conocimiento insuficiente
- La inercia del propietario (edad avanzada)
- Falta de respaldo financiero o capacidad crediticia
- Elevados costos de explotación y elaboración
- Demanda insuficiente
- Esperanza de mejores precios y tecnologías
- Esperanza de adelantos tecnológicos que abaraten los costos de producción

II.4.4 LAS CURVAS DE INDIFERENCIA EN LOS PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO

Las curvas de indiferencia, como su nombre lo indica, presentan diferentes opciones o programas de conservación, entre los cuales pueda elegir la mejor opción el operador de acuerdo con sus necesidades e inclinaciones particulares. Representan las distintas opciones o sistemas de conservación que garantizan el mantenimiento de la capacidad productiva de la tierra. En dichas curvas, por el eje de las abscisas se presentan diferentes niveles de intensidad de prácticas de conservación, y por el eje de las ordenadas se presentan diferentes niveles de intensidad de uso de la tierra con cultivos conservacionistas tales como pastos. Las diferentes opciones deben abarcar dos planos diferentes:

- Un primer plano relacionado con el objetivo de conservar el suelo, cubre la elección de diferentes niveles de tolerancia de pérdida de suelo. Los usuarios de la tierra pueden variar sus decisiones, ya que éstos pueden perseguir el reforzar la productividad de sus suelos (menor nivel de tolerancia), mantenerla a su nivel actual (nivel de tolerancia medio) o permitir un grado aceptable de agotamiento o degradación (mayor nivel de tolerancia de pérdidas de suelo)
- Un segundo plano relacionado con los medios utilizados para lograr las metas de conservación. En este caso, para cada uno

de los niveles de tolerancia de pérdidas de suelo seleccionados se ofrecen diferentes alternativas para alcanzar el objetivo propuesto. De este modo, las curvas de indiferencia representan diversas opciones o combinaciones posibles de uso y manejo de la tierra, que representan diferentes sustitucionalidades entre la intensidad de las prácticas de conservación aplicadas y la intensidad del uso de la tierra con cultivos de menor rentabilidad pero mayor grado de protección.

En la figura II.12 se presenta un ejemplo idealizado de curvas de indiferencia con tres niveles de tolerancia de pérdidas de suelo (2, 4 y 6 Mg/ha) y diferentes intensidades de prácticas de conservación. El uso más intensivo de la tierra lo representa el uso de terrazas con un mínimo porcentaje de la unidad de producción bajo pasto, mientras que el uso menos intensivo lo representa una rotación con un alto porcentaje de la superficie de la unidad de producción bajo pasto.

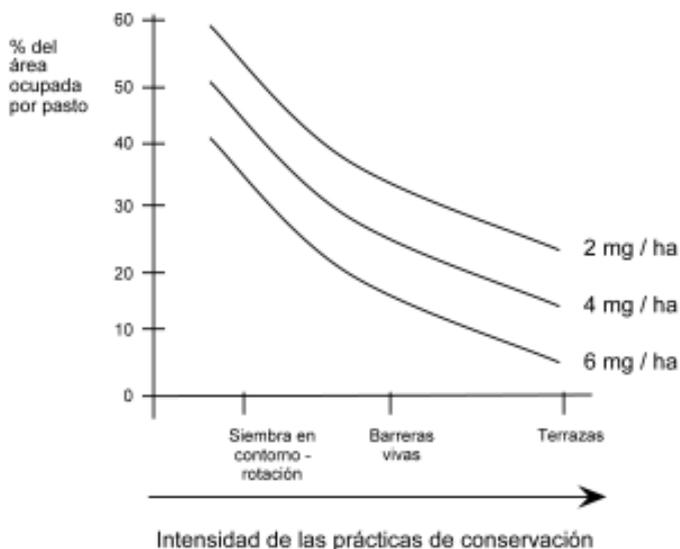


Figura II.12. Curvas de indiferencia que ilustran el margen de elección entre diferentes programas de conservación a diferentes niveles de tolerancia de pérdidas de suelo (Barlowe, 1965; 1986).

II.4.5 LA ACCIÓN SOCIAL PARA LA CONSERVACIÓN

Puede hacerse una clara argumentación a favor de la acción social para promover la conservación, siempre que las prácticas de un individuo o grupo de ellos se consideren dañinas para la seguridad de la nación y se necesiten programas públicos para facilitar la producción del recurso deseado. Los controles sociales están justificados cuando se usan para evitar prácticas individuales de uso de la propiedad que contribuyan a empeorar la vecindad o a mejorar problemas de drenaje de áreas, control de erosión, prevención y control de incendios forestales, prevención o control de filtraciones o movimientos del suelo a otros predios o propiedades. A veces puede ser necesaria una acción análoga para ayudar a los individuos a ayudarse a sí mismos. La acción social para realizar la conservación se justifica en tres casos (Suárez de Castro, 1980, adaptado de Bunce, 1945) cuando:

- Siendo económico para el individuo conservar, no lo hace. Por ejemplo, por ignorancia o por falta de capital un agricultor podría explotar un suelo ácido sin encalar, siendo que con el uso de esta práctica obtendría una mayor rentabilidad.
- La conservación no es económica para el individuo, pero sí lo es para la sociedad. Éste podría ser el caso, por ejemplo, de un agricultor en tierras de cuencas altas, que al utilizar dosis altas de biocidas contamina los cuerpos de agua que surten a poblaciones aguas abajo. Este caso amerita la acción del Estado.
- Sólo por la acción colectiva pueden alcanzarse fines intangibles deseados por la mayoría de los individuos de una sociedad. Esta situación se da cuando se quiere proteger a) especies silvestres en peligro de extinción, b) preservación de áreas de alto valor ecológico, que ameritan su preservación, c) recursos requeridos para las generaciones futuras.

II.4.6 RELACIONES USO(S)-RECURSO(S)

En la toma de decisiones sobre los recursos es importante considerar las relaciones que se establecen entre éstos y los diferentes usos de un mismo recurso, los cuales se basan en un criterio económico y cuyo grado depende del estado de oferta y demanda en la localidad y del momento o época en que se consideren.

Ciriacy-Wantrup (1979) analiza estas relaciones, estableciendo que cuando dos o más recursos se usan, en el sentido de oferta-suplencia o producción de materiales, y se consumen, en el sentido de materiales procesados o demandados, pueden existir relaciones de complementariedad o competitividad. Si tales relaciones no existen, los recursos son independientes y sus relaciones son neutrales.

Relaciones complementarias: se dan cuando existen varias alternativas de uso que se complementan y que pueden ser en oferta y en demanda, por ejemplo, la plata y el cobre se relacionan en oferta en forma complementaria porque se producen conjuntamente. El carbón está relacionado complementariamente al mineral de hierro en demanda, ya que ambos se consumen conjuntamente en la producción de hierro y acero. Una terminología empleada para definir relaciones complementarias en oferta y a veces en demanda entre dos o más usos del mismo recurso es la de “uso múltiple”.

Relaciones competitivas: se dan cuando existen diferentes alternativas de uso y son mutuamente excluyentes. Pueden ser en oferta y en demanda. Por ejemplo, el uso urbano y el uso agrícola de la tierra son competitivos en oferta, pues una excluye la posibilidad del otro; en demanda, el uso de energía eléctrica o química para el bombeo de agua, pues el uso de una excluye el uso de la otra en el momento en que se consume.

Otros ejemplos se presentan a continuación en el cuadro II.2.

Cuadro II.2. Relaciones económicas en oferta y en demanda entre uso(s)-recurso(s) (CCSA, 2001)

| Uso(s)-recurso(s) | Relación uso(s)-recurso(s) | |
|---|----------------------------|----------------|
| | En oferta | En demanda |
| Uso forestal y preservación de cuenca | Complementaria | Neutral |
| Nutrientos y agua en las plantas | Complementaria | Complementaria |
| Tracción mecánica <i>vs.</i> tracción animal | Neutral | Competitiva |
| Carbón, aceite, gas <i>vs.</i> energía hidroeléctrica | Neutral | Competitiva |
| Producción agrícola <i>vs.</i> explotación minera | Competitiva | Competitiva |
| Uso agrícola <i>vs.</i> uso urbano | Competitiva | Competitiva |
| Cultivos y ganado en fincas mixtas | Complementaria | Complementaria |
| Pesca y embalse para riesgo | Neutral | Neutral |

Opciones que se presentan y que pueden determinar el tipo de relación en un momento determinado:

- Alta demanda *versus* escasez
- Juego de intereses
 - Individuo *versus* sociedad
 - Industria *versus* agricultura
 - Gobierno *versus* sector privado
 - Campo *versus* ciudad (concentración de riquezas, altas tasas de interés)

III. DEGRADACIÓN DE TIERRAS

III.1 TIERRA. CONCEPTO. COMPONENTES. FUNCIONES. DISPONIBILIDAD

La tierra es un recurso natural esencial, tanto para la sobrevivencia y la prosperidad de la humanidad como para el mantenimiento de todo el ecosistema terrestre. A lo largo de los milenios la población se ha hecho progresivamente más experta en la explotación de los recursos de la tierra para satisfacer sus necesidades. Sin embargo, los límites de esos recursos son finitos, mientras que las necesidades no lo son. La creciente demanda, o sea, la presión sobre los recursos de la tierra, se asoma bajo la forma de producción declinante, de degradación de la tierra en calidad y cantidad y de competencia por la tierra (FAO, 2000).

Las antiguas civilizaciones fueron víctimas de procesos de degradación de tierras que indudablemente influyeron en su declinación y desaparición. Numerosas ruinas de ciudades en el Cercano Oriente, norte de África, costas mediterráneas y en el Lejano Oriente son remanentes de florecientes culturas que llegaron a desarrollar la agricultura de riego, la introducción del arado y otras técnicas de cultivo, pero que no se sostuvieron debido a procesos de erosión y sedimentación severos, así como a otras causas como la salinización, decaimiento de la fertilidad, sobrepastoreo, procesos de desertificación, además de otras causas de índole política y económica. En un reporte del doctor Lowdermilk en 1938 para el Servicio de Conservación de Suelos (USDA, 1989), se comenta dramáticamente

te la desaparición de antiguos imperios como los de Mesopotamia, Siria, Egipto, Grecia y Roma.

Tierra es definida por FAO-UNEP (2000) como una porción delimitada de la superficie terrestre, que incluye todos los atributos de la biosfera inmediatamente por encima y por debajo de la superficie, y abarca el clima, el suelo y las formas del terreno, la hidrología superficial –pequeños lagos de poca profundidad, ríos, pantanos y ciénagas–, las capas sedimentarias cercanas a la superficie, las reservas de aguas subterráneas asociadas, las poblaciones de animales y plantas, el patrón de asentamientos humanos y los cambios físicos resultantes de las actividades humanas pasadas y presentes (terrazas, estructuras de almacenamiento y drenaje de aguas, carreteras, edificaciones, etcétera).

Entre los componentes del recurso tierra se pueden mencionar el clima local, la vegetación, los suelos, las aguas superficiales y subterráneas, la fauna, el sustrato geológico y las mejoras hechas por el hombre.

El Consejo de Europa, citado por FAO (2001), reconoce tres funciones ecológicas de los suelos y tres funciones relacionadas con actividades humanas, a saber:

Funciones ecológicas:

- Producción de biomasa (suplencia de nutrientes, aire y agua para las raíces de las plantas), que provee alimentos, energía renovable, materias primas y soporte de la naturaleza (Ej.: los bosques constituyen el hábitat de muchas especies).
- Funciones de filtraje, transformación, almacenaje y amortiguación. Cabe mencionar el almacenaje de agua de lluvia y el filtraje, amortiguación y retención de contaminantes.
- Hábitat biológico y reserva de genes: la fauna y flora del suelo es abundante y variada y son indispensables para las especies de la superficie.

Funciones relacionadas con las actividades humanas:

- Medio físico: las funciones del suelo como base espacial para estructuras industriales, técnicas y socioeconómicas (edificaciones, carreteras y vías ferroviarias, campos deportivos, áreas recreacionales, vertederos y depósitos de desechos, etcétera).
- Fuente de materias primas: ejemplo agua, grava, arena y minerales.
- Herencia cultural y científica (geogenética): los suelos forman parte del paisaje y, por tanto, son depositarios de información geológica y geomorfológica. Éstos también preservan información cultural en la forma de materiales y estructuras paleontológicas y arqueológicas.

Las tierras representan un recurso finito, dadas las cualidades intrínsecas de éstas para diversos usos en distintas localizaciones. Su oferta es limitada por diversos factores tales como la falta de disponibilidad de agua, el mal drenaje interno y externo, la topografía, la baja fertilidad natural, el régimen de temperatura, la profundidad de los suelos, un alto potencial de contracción-expansión, la presencia de horizontes restrictivos, la salinidad y alcalinidad, bajos contenidos de materia orgánica, entre otros. Los patrones espaciales de limitaciones del recurso suelo a nivel mundial pueden observarse en la figura III-1.

A nivel mundial la disponibilidad de tierras agrícolas sin ninguna limitación se calcula en 11% de la superficie terrestre, alrededor de 1.500 millones de hectáreas, mientras que la superficie restante presenta limitaciones de variada naturaleza (excesivo frío 6%, excesiva humedad 10%, suelos poco profundos 22%, condiciones muy secas 28% y problemas químicos 23%) (FAO, 1984).

Al nivel de Venezuela la oferta de tierras es limitada, considerándose aptas para la agricultura sin limitaciones 2% de la superficie

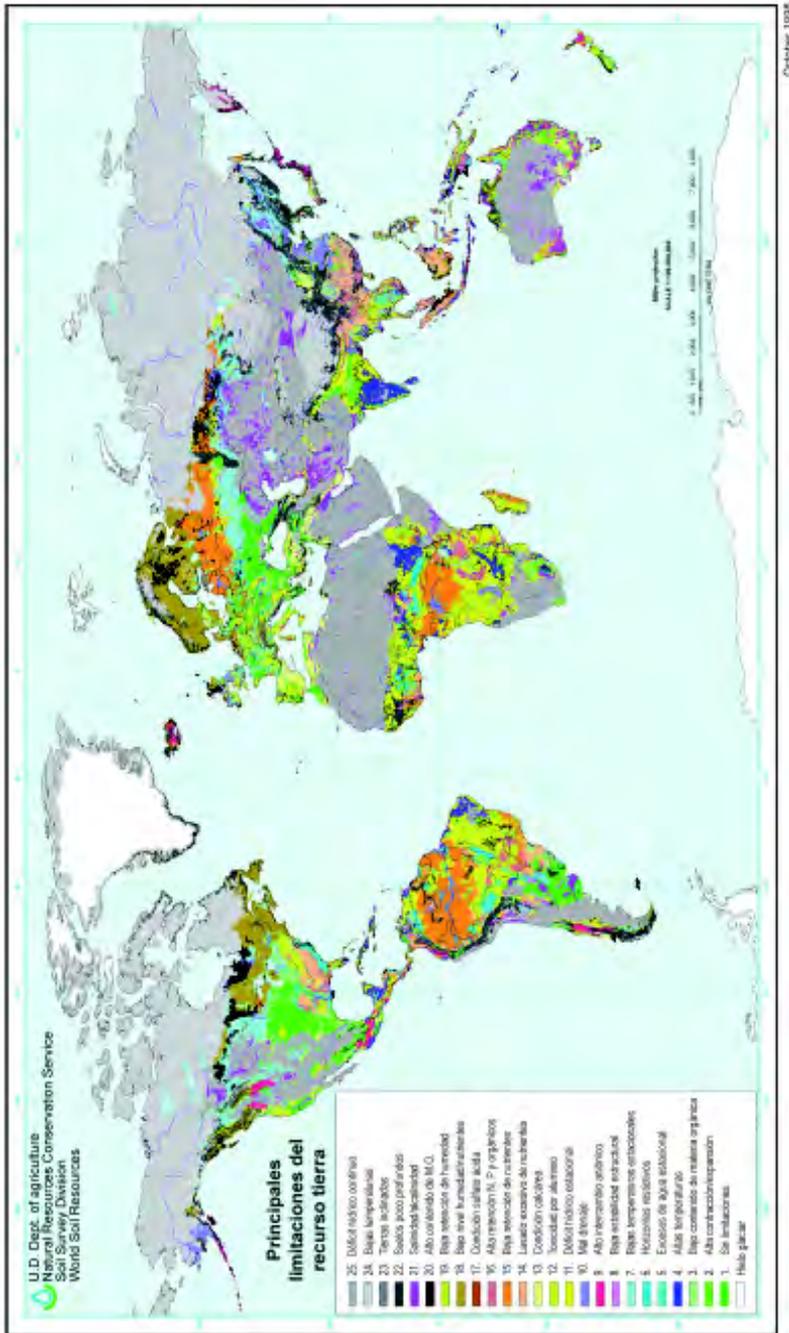


Figura III.1. Distribución espacial de las limitaciones del recurso tierra a nivel mundial (USDA-NRCS, 1998).

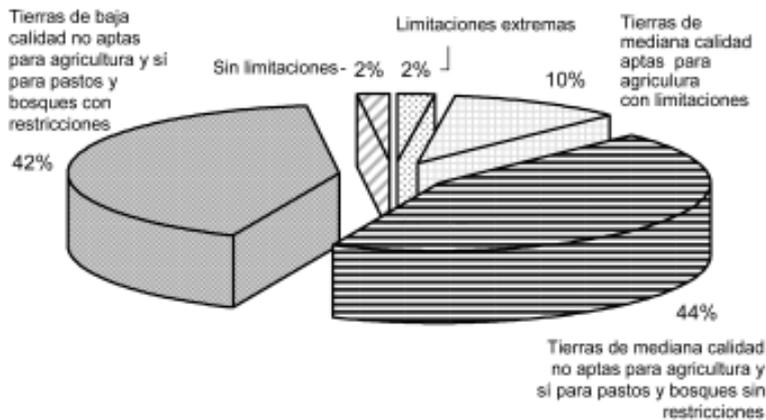


Figura III.2. Disponibilidad de tierras agrícolas en Venezuela (Marnr, 1984).

del territorio, 10% de mediana calidad, aptas para agricultura con limitaciones, 44% de tierras de mediana calidad no aptas para agricultura y sí para pastos y bosques sin restricciones y 42% de baja calidad no aptas para agricultura y sí para pastos y bosques con restricciones (Marnr, 1984). Estas proporciones se ilustran en la figura III.2.

Comerma y Paredes (1978), en su estudio sobre principales limitaciones y potencial agrícola de las tierras de Venezuela, coinciden en la cifra de 2% del territorio nacional sin limitaciones para un uso agrícola intensivo. Las principales limitaciones identificadas son la aridez, con una superficie del 4%, el mal drenaje, con 18%, la baja fertilidad, con 32% y el relieve accidentado, que abarca 44% del territorio.

Estos autores, asumiendo un cierto nivel de tecnología por parte de los agricultores, como el uso racional de enmiendas y fertilizantes, obras de drenaje, riego y otras prácticas de soporte conservacionistas, reclasifican el potencial de las tierras, ampliándose la superficie de tierras sin limitaciones para la agricultura a 4% del territorio nacional, y 14% adicional aptas para agricultura con limitaciones. El potencial pecuario se establece en 30% de las tierras y

el forestal en 41%. El 11% restante corresponde a asociaciones de áreas con una gama limitada de uso agrícola y de zonas restringidas a bosques y recreación.

La oferta restringida de tierras y la posibilidad de que su escasez sea aún mayor debido a su deterioro por procesos de degradación, hacen imperante un uso eficiente y eficaz de las tierras para asegurar las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

III.2 SUELOS PROBLEMA O SUELOS CON LIMITACIONES

No deben confundirse los suelos problema –o suelos con limitaciones producto de los procesos naturales de formación de suelos en una localidad determinada–, y los suelos degradados. Aunque el término es confuso, se utiliza para agrupar aquellos suelos que presentan una limitación particular específica en relación con un tipo de utilización dado. Su condición particular es producto de los procesos de formación natural de los suelos y no es el resultado de procesos de degradación derivados de la intervención humana de los ecosistemas.

El término es relativo, ya que lo que se considera una limitación para un determinado uso puede considerarse una cualidad deseable para otro uso de la tierra (AGL-FAO, 2000). Por ejemplo, los suelos pesados y mal drenados presentan limitaciones por falta de aireación y suplencia de oxígeno a las raíces, lo cual excluye cultivos exigentes en buen drenaje como el maíz, el aguacate o el girasol. Sin embargo, el arroz y algunos pastos requieren de condiciones de suelos saturados para un óptimo desarrollo. Los suelos problema generalmente deben ser sometidos a procesos de saneamiento o mejoramiento de tierras antes de ser incorporados a la producción agrícola.

Entre los principales suelos problema se pueden mencionar (AGL-FAO, 2000):

Suelos calcáreos. Aquellos que contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio. La presencia de un horizonte cálcico con más

de 15% de carbonato de calcio es un criterio para su clasificación. Se desarrollan en climas áridos y semiáridos sobre materiales parentales ricos en calcio. Los problemas asociados a este tipo de suelos son la falta de agua, procesos de salinización, sellado y encostramiento. Se presenta indisponibilidad de fósforo y de micronutrientes por las condiciones alcalinas de la solución del suelo y pueden presentarse deficiencias de potasio y magnesio debido a desbalances iónicos entre estos elementos y el calcio.

Suelos ácidos. Son suelos con pH menor a 5,5, baja capacidad de intercambio catiónico y baja saturación de bases. La toxicidad por altos niveles de aluminio se presenta en los suelos extremadamente ácidos y añade un nivel de dificultad adicional para el manejo de estos suelos con fines de producción agrícola. Otro caso particular se presenta en aquellos suelos con presencia de sulfuros (pirita) en el perfil y que da lugar al desarrollo de suelos sulfatoácidos cuando son drenados.

Histosoles. Estos suelos presentan horizontes con acumulaciones de materia orgánica superior al 30%. Se desarrollan en condiciones de mal drenaje. Presentan una alta porosidad y una muy baja densidad aparente y capacidad de sustentación. Al secarse se contraen irreversiblemente y adquieren propiedades hídricas indeseables como poca capacidad de retención de humedad, por lo que deben ser manejados cuidadosamente.

Suelos afectados por sales. Se refiere a aquellos suelos con altos contenidos de sales. Son frecuentes en zonas áridas y semiáridas donde la evapotranspiración excede con creces la precipitación. La acumulación de cationes y aniones como el calcio, magnesio, sodio, potasio, cloro, sulfato, carbonato y bicarbonato causan altos niveles de alcalinidad o salinidad. Para una producción eficiente de cultivos las sales deben ser lavadas de la zona radicular, lo cual es difícil debido a la escasez de agua en las zonas donde se encuentran estos suelos, lo que puede verse agravado por condiciones de mal drenaje o niveles altos de sales en las aguas mismas de riego. Cuando hay presencia de

sodio, se requiere el uso de enmiendas de calcio y la demanda de agua para su lavado es aún mayor.

Suelos arenosos. Se consideran suelos arenosos aquellos con más de 65% de arena y menos de 18% de arcilla en los primeros cien centímetros de suelo. Son suelos de muy poco desarrollo y abundan en zonas áridas y semiáridas. Presentan muy bajos contenidos de materia orgánica debido al escaso desarrollo de la vegetación en esos casos. Una excepción son las arenas ricas en cuarzo de las selvas tropicales húmedas, de muy baja fertilidad y sensibles a procesos erosivos. Su posibilidad de uso agrícola depende de la disponibilidad de agua para riego y del manejo adecuado de la fertilidad.

Suelos inclinados. Suelos con pendientes superiores al 12%, generalmente de poca profundidad. Sus características son muy variables debido a las diversas condiciones para su desarrollo. Su principal limitación es la alta propensión a la erosión debido al gradiente de la pendiente. Su uso se restringe generalmente a la ganadería y el uso forestal. Requieren de prácticas de soporte de conservación para ser utilizados con cultivos intensivos de manera permanente.

Vertisoles. Son suelos ricos en arcilla montmorillonita con propiedades de contracción y expansión características. Presentan más de 30% de arcilla en los primeros 50 cm y se agrietan al secarse. Las grietas son de 1 cm o más de ancho y 50 cm o más de profundidad. Los procesos de contracción y expansión de las arcillas dan lugar a un tipo de estructura característico. Son típicos de cuencas sedimentarias y en casos particulares pueden encontrarse en zonas de colinas y piedemonte. Su uso se restringe principalmente para la ganadería y con riego pueden desarrollarse cultivos como el arroz y pastos. Sus limitaciones vienen dadas por su consistencia extremadamente fuerte cuando secos, y excesivamente plástica cuando húmedos, por lo que presentan muy mala trabajabilidad. Generalmente, están sujetos a condiciones de mal drenaje. Estos suelos tienen un potencial considerable para la agricultura pero requieren de prácticas de labranza y de manejo del agua apropiadas.

Otros suelos que pueden considerarse problema son aquellos con muy alto contenido de piedras o *suelos pedregosos*, muy abundantes en las planicies de inundación de ríos y en las zonas montañosas de los Andes y de la cordillera Central, y los *suelos inundados*, los *suelos con metales pesados* y con otras limitaciones.

III.3 DEGRADACIÓN DE TIERRAS. CONCEPTO. TIPOS. FACTORES. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL. LA DESERTIFICACIÓN

Según FAO (1980), la degradación de tierras es el resultado de uno o más procesos que disminuyen la capacidad actual o potencial de éstas para producir bienes y servicios. La degradación de tierras incluye el deterioro de cualquiera de sus componentes, tales como la degradación del suelo, la degradación de la biota, la degradación del agua, tanto en calidad como en cantidad y distribución, el deterioro climático y las pérdidas debidas al desarrollo urbano-industrial.

La degradación del suelo, como se define para el mapa de GLASOD (Oldeman et al., 1991), es un proceso que describe los fenómenos inducidos por el hombre, que disminuyen la capacidad del suelo para soportar la vida humana. En términos más amplios, la degradación del suelo puede describirse como el deterioro de la calidad del suelo, en otras palabras, la pérdida parcial o total de una o más funciones del suelo. La calidad puede ser evaluada en términos de las diferentes funciones potenciales del suelo.

Lal et al. (1989) define a la degradación del suelo como una disminución de sus cualidades y, por lo tanto, de su productividad actual o potencial y en una reducción de sus habilidades de ser un recurso multipropósito debido a causas naturales o inducidas por el hombre.

III.3.1 TIPOS DE DEGRADACIÓN

Los tipos de degradación se refieren a la naturaleza de los procesos de degradación, que pueden ser por desplazamientos de material

del suelo por erosión hídrica y eólica, o por degradación *in situ* debido a procesos físicos, químicos y biológicos, según FAO (2001). Estos procesos no se manifiestan aislados y con frecuencia un tipo de degradación conduce a otra y se catalogan en función del proceso que prevalece con fines de su análisis y tratamiento.

En el proyecto GLASOD (Oldeman et al., 1991) sobre la evaluación global de la degradación de suelos inducida por el hombre, que se basó principalmente en el análisis cualitativo y fue expresado cartográficamente a una escala muy pequeña, se caracterizaron los diferentes tipos de degradación mediante el concepto, la descripción y las posibles causas, dándole a cada tipo un código específico que aparece como etiqueta en las unidades cartográficas. Éstos aparecen descritos en el cuadro III.1 y pueden servir como referencia de los distintos tipos de degradación de tierras posibles.

Cuadro III.1 Tipos de degradación y sus símbolos utilizados en el proyecto GASOD (Oldeman et al., 1991) para el mapeo de la degradación de suelos inducida por el hombre

| Tipo de degradación-símbolo | Concepto | Descripción | Posibles causas |
|-----------------------------|---|--|--|
| W | Pérdida del suelo superficial por erosión hídrica laminar | Decrecimiento de la profundidad del suelo superficial debido a la remoción uniforme de materiales del suelo por escorrentía superficial. | Uso y manejo inapropiado de la tierra (cobertura insuficiente, escorrentía sin obstáculos, estructura del suelo débil) que favorecen excesiva escorrentía y transporte de sedimentos |
| Wd | Deformación del terreno por erosión en surcos y cárcavas | Remoción de suelo y sustrato. Socavación y desplome en surcos y cárcavas. | Manejo inapropiado de tierras en actividades agrícolas, forestales y de construcción, dejando que los |

| | | | |
|----|--|---|---|
| Wo | Efectos fuera del sitio por la erosión que ocurre aguas arriba y que causa degradación aguas abajo | Tres subtipos: Wos: sedimentación de reservorios y cauces Wof: inundaciones Wop: contaminación de cuerpos de aguas con sedimentos | flujos de agua se concentren en obstáculos Las mismas que para Wt y Wd |
| Et | Pérdida de suelo superficial por acción del viento | Decrecimiento de la profundidad del suelo superficial debido a la remoción uniforme de materiales del suelo por el viento | Protección insuficiente de la superficie del suelo, falta de cobertura, humedad, destrucción de la estructura del suelo |
| Ed | Deformación del terreno por el viento | Desplazamiento irregular de materiales del suelo por acción del viento | Similares a Et |
| Eo | Efectos fuera del sitio por erosión eólica | Cubrimiento causando dunas del terreno con partículas de origen distante | Las mismas que para Et y Ed |
| Cn | Decrecimiento de la fertilidad y del contenido de materia orgánica | Decrecimiento neto de la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica | Balance negativo entre las salidas (cosecha, quemas, lavado) y entradas (fertilización, residuos de cultivo, inundaciones) de nutrientes y materia orgánica |
| Cp | Contaminación | Varios subtipos: Cph-metales pesados Cpa-acidificación Cpp-pesticidas Afectándose el suelo mediante tres vías, el agua, el aire y sobre el terreno. El total acumulado puede originarse en diferentes fuentes y por diferentes vías | Amplio rango de actividades humanas. Puede ser puntual o difusa |

DEGRADACIÓN DE TIERRAS

| | | | |
|----|---|--|---|
| Cs | Salinización y sodificación | Incremento neto del contenido de sales o del porcentaje de sodio intercambiable en las capas superficiales del suelo, que resultan en una baja de la productividad | Se pueden distinguir diversas causales como la intrusión de aguas salinas en cualquier tipo de clima. C _{ss} o la salinización causada por las malas prácticas de riego y drenaje y la ascensión capilar de aguas salinas en el manto freático C _{si} |
| Pc | Compactación | Deterioro de la estructura del suelo por pisoteo o paso frecuente de maquinaria pesada | Uso consecutivo de maquinaria pesada con efecto acumulativo. El sobrepastoreo puede conducir también a la compactación |
| Pk | Sellado y encostramiento | Taponamiento de poros por material fino y desarrollo de una delgada capa impermeable en la superficie que obstruye la infiltración y el intercambio gaseoso | Poca o ninguna cobertura, que permite el impacto de las gotas en la superficie (salpique), aunado a un deterioro estructural y la pérdida de materia orgánica |
| Pw | Aguachinamiento (saturación con agua) | Efectos de hidromorfismo inducido por la acción antrópica | Elevación de la mesa freática o inundaciones debido a picos de crecidas mayores |
| Ps | Disminución del nivel original de la superficie | Subsidencia de suelos orgánicos, asentamiento de los suelos | Oxidación de turberas, asentamiento del suelo por disminución del nivel de la capa freática, disolución de capas de carbonato por irrigación y la extracción de agua, gas y petróleo |

| | | | |
|----|---|---|---|
| Pu | Pérdida de función de producción | Conversión de tierras hacia actividades no bioproductivas, excluyendo efectos degradantes secundarios de estas actividades | Urbanismo e industrias, minería y otras obras de infraestructura |
| Pa | Aridificación | Decrecimiento del contenido de humedad promedio | Disminución del nivel de la capa freática por extracción de agua, decrecimiento de la cobertura y del contenido de materia orgánica |
| Dc | Degradaciones de tipo complejo | Efectos combinados de varios tipos de degradación en diferentes proporciones | Todas las mencionadas para cada tipo particular de degradación |
| Sn | Estable en condiciones naturales | La intervención humana es casi nula y las condiciones son estables | Potencialmente vulnerables al romper el equilibrio mediante intervención |
| Sh | Estable bajo influencia de intervención humana | La influencia puede ser pasiva (no se requieren soportes para mantener la estabilidad) o activa (se han tomado medidas para revertir o evitar la degradación) | |
| X | Tierras misceláneas. Tierras sin vegetación y casi o ninguna intervención humana. Desiertos, altas montañas | La degradación mediante procesos naturales puede ocurrir | |

III.3.2 FACTORES Y PROCESOS

Se han identificado de manera genérica los factores de la degradación de tierras, entre los que resaltan la deforestación, el sobrepastoreo, el manejo de los cultivos, la sobreexplotación de la vegetación y las actividades bioindustriales como las principales causas, cuya extensión a nivel mundial y por continente puede observarse en el cuadro III.2. Las actividades industriales tienen una incidencia cualitativamente muy alta pero de extensión localizada, principalmente en las regiones más industrializadas como Europa y Norteamérica.

Cuadro III.2. Extensión de los factores causales de la degradación del suelo (Oldeman et al., 1991)

| Región | Deforestación | Sobre- pastoreo | Manejo de cultivos | Sobre- explotación vegetación* | Actividades bio- industriales |
|---------------------------|------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| | (millones de ha) | | | | |
| África | 67 | 243 | 121 | 63 | * |
| Asia | 298 | 197 | 204 | 46 | 1 |
| Suramérica | 100 | 68 | 64 | 12 | - |
| Norte y Centro América | 18 | 38 | 91 | 11 | + |
| Europa | 84 | 50 | 64 | 1 | 21 |
| Australia | 12 | 83 | 8 | - | + |
| Mundial | 579 | 679 | 552 | 133 | 23 |

* Con fines domésticos

Según Lal et al. (1989), la degradación del suelo es producto de la acción e interacción de tres tipos de procesos. Éstos son de carácter físico, químico y biológico y, a su vez, son modificados por una serie de factores que son agentes o catalizadores de dichos procesos (cuadro III.3). La multiplicidad de procesos y factores involucrados nos permite imaginar la alta complejidad que conlleva

un proceso de degradación de tierras, y dada la alta variabilidad espacial y temporal que determina la ocurrencia de los procesos y factores mencionados, nos indica la infinidad de posibilidades en que puede manifestarse la degradación de las tierras en las distintas condiciones que se presentan en localidades específicas.

Cuadro III.3. Factores y procesos de degradación de suelos (Lal et al., 1989)

| DEGRADACIÓN DEL SUELO | | |
|--|---|---|
| PROCESOS <i>(Acciones e interacciones)</i> | | |
| FÍSICOS | QUÍMICOS | BIOLÓGICOS |
| a. Deterioro de la estructura del suelo conducente a: -compactación -sellado y encostramiento -erosión b. Desbalance en la relación agua-aire c. Extremos de temperatura | a. Lavado de nutrientes b. Reducción de la fertilidad c. Sodificación d. Salinización e. Laterización f. Contaminación con elementos tóxicos (Al ⁺³ , Mn ⁺³ , metales pesados) | a. Disminución del carbono orgánico en la biomasa b. Reducción del contenido de materia orgánica c. Decrecimiento de la actividad de las poblaciones d. Declinación de la bio-diversidad del suelo |
| FACTORES <i>(Agentes y catalizadores)</i> | | |
| ACTIVIDADES AGRÍCOLAS | ACTIVIDADES INDUSTRIALES | ACTIVIDADES URBANAS |
| a. Deforestación de desechos industriales b. Laboreo excesivo c. Monocultivo intensivo d. Uso excesivo e indiscriminado de agroquímicos e. Excesivo pastoreo y cargas animales f. Riego con aguas de mala calidad | a. Disposición de desechos industriales b. Lluvia ácida | a. Disposición de desechos urbanos b. Conversión de tierras a usos no agrícolas |

III.3.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

De acuerdo con el tipo de degradación inducida por el hombre (antrópica), se puede apreciar cuáles son las que predominan en relación con su extensión en millones de hectáreas en Sudamérica (cuadro III.4) y en el mundo (cuadro III.5). En ambos casos, destaca la extensa distribución de la erosión hídrica, que es la más ampliamente extendida como proceso de degradación universal asociado comúnmente a los demás tipos de degradación. Aunque esas estadísticas muestran tan sólo una primera aproximación, muchos otros informes han reciclado la información señalada. En la figura III.3 se presenta un mapa generalizado con las principales áreas afectadas por la degradación de tierras a nivel mundial. En un estudio sobre las condiciones del recurso suelo en los agroecosistemas, dentro de un análisis piloto de los ecosistemas globales denominado

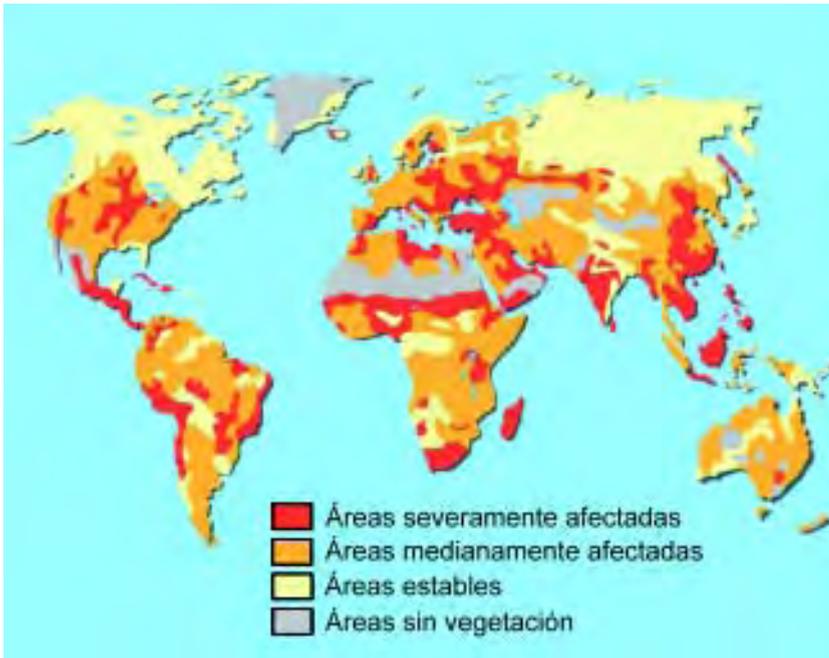


Figura III.3. Áreas afectadas por la degradación de tierras a nivel mundial (Pnuma-Isric, 1990).

PAGE (Wood et al., 2000) se verifica la extensión de la degradación dentro de las tierras agrícolas propiamente dichas, encontrando que 48% está ligeramente degradada o no degradada, 43% entre moderada y fuertemente degradada y 9% severamente degradada. Es decir, que la mayoría de las tierras presenta algún grado de avance de procesos degradativos que afectan la productividad y el ambiente y que requieren algún tipo de atención conservacionista.

Cuadro III.4. Degradación de suelos inducida por el hombre en Sudamérica
(En millones de hectáreas) (Oldeman et al., 1991)

| TIPO | SUAVE | MODERADA | FUERTE | EXTREMA | TOTAL |
|----------------------------------|------------------|------------------|-----------------|---------|------------------|
| Wt Pérdidas de suelo superficial | 34,9 | 51,9 | 8,3 | - | 95,1 |
| Wd Deformación del terreno | 11,0 | 13,2 | 3,8 | - | 28,1 |
| W HIDRÍCA | 45,9 | 65,1 | 12,1 | - | 123,2 (50,6%) |
| Et Pérdidas de suelo superficial | 12,7 | 10,0 | - | - | 22,7 |
| Ed Deformación del terreno | 13,1 | 5,3 | - | - | 18,4 |
| Eo Invasión de dunas | - | 0,8 | - | - | 0,8 |
| E EÓLICA | 25,8 | 16,1 | - | - | 41,9 (17,2%) |
| Cn Pérdida de nutrientes | 24,5 | 31,1 | 12,6 | - | 68,2 |
| Cs Salinización | 1,8 | 0,3 | - | - | 2,1 |
| Cp Contaminación | - | - | - | - | - |
| Ca Acidificación | - | - | - | - | - |
| C QUÍMICA | 26,3 | 31,4 | 12,6 | - | 70,3 (28,8%) |
| Pc Compactación | 2,9 | 0,8 | 0,3 | - | 4,0 |
| Pw Inundación | 3,9 | - | - | - | 3,9 |
| Ps Subsistencia | - | - | - | - | - |
| P FÍSICA | 6,8 | 0,8 | 0,3 | - | 7,9 (3,2%) |
| TOTAL | 104,8 (43,1%) | 113,5 (46,6%) | 25,0 (10,3%) | - | 243,4 (100%) |

DEGRADACIÓN DE TIERRAS

 Cuadro III.5. Degradación de suelos inducida por el hombre en el mundo
 (En millones de hectáreas) (Oldeman et al., 1991)

| TIPO | SUAVE | MODERADA | FUERTE | EXTREMA | TOTAL |
|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|--------------------|
| Wt Pérdidas de suelo superficial | 301,2 | 454,5 | 161,2 | 3,8 | 920,3 |
| Wd Deformación del terreno | 42,0 | 72,2 | 56,0 | 2,8 | 173,3 |
| W HIDRÍCA | 343,2 | 526,7 | 217,2 | 6,6 | 1.093,7 (50,6%) |
| Et Pérdidas de suelo superficial | 230,5 | 213,5 | 9,4 | 0,9 | 454,2 |
| Ed Deformación del terreno | 38,1 | 30,0 | 14,4 | - | 82,5 |
| Eo Invasión de dunas | - | 10,1 | 0,5 | 1,0 | 11,6 |
| E EÓLICA | 268,6 | 253,6 | 24,3 | 1,9 | 548,3 (27,9%) |
| Cn Pérdida de nutrientes | 52,4 | 63,1 | 19,8 | - | 135,3 |
| Cs Salinización | 34,8 | 20,4 | 20,3 | 0,8 | 76,3 |
| Cp Contaminación | 4,1 | 17,1 | 0,5 | - | 21,8 |
| Ca Acidificación | 1,7 | 2,7 | 1,3 | - | 5,7 |
| C QUÍMICA | 93,0 | 103,3 | 41,9 | 0,8 | 239,1 (28,8%) |
| Pc Compactación | 34,8 | 22,1 | 11,3 | - | 68,2 |
| Pw Inundación | 6,0 | 3,7 | 0,8 | - | 10,5 |
| Ps Subsistencia | 3,4 | 1,0 | 0,2 | - | 4,6 |
| P FÍSICA | 44,2 | 26,8 | 12,3 | - | 83,3 (4,2%) |
| TOTAL | 749,0 (38,1%) | 910,5 (46,4%) | 295,7 (15,1%) | 9,3 (0,5%) | 1.964,4 (100%) |

En la figura III.4 puede observarse un sector del mapa del proyecto GLASOD (PNUMA/ISRIC, 1990) sobre el estado de degradación del suelo inducida por el hombre, en el cual se ubica el territorio venezolano. En el mismo se presentan los tipos de degradación predominante, el porcentaje afectado de la unidad de mapeo,

el grado de la degradación y el factor causante según el símbolo de la unidad de mapeo. Puede apreciarse que casi todo el territorio presenta algún tipo de degradación, predominando, en primer lugar, la erosión hídrica laminar y en cárcavas, junto a otros tipos de degradación tales como la acidificación, la pérdida de nutrientes, la compactación y la erosión eólica.

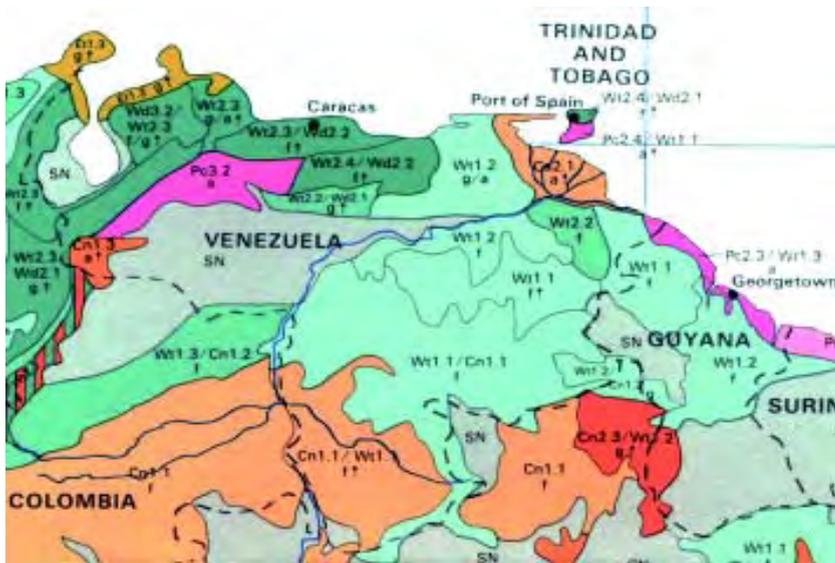
Dada la escala de publicación y su carácter cualitativo, este mapa sólo sirve para identificar los principales tipos de degradación y a muy grandes rasgos su distribución espacial, grado de severidad y factores causantes. Usando una leyenda similar pero trabajando a una escala de mayor detalle, podría establecerse una cartografía de carácter cuantitativo sobre la degradación de los suelos en Venezuela. Esta información sería de gran utilidad para la planificación conservacionista del recurso tierra e insumo para la formulación de políticas ambientales y de gestión de tierras en el país.

III.3.4 LA DESERTIFICACIÓN

Debido a la alta fragilidad de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, cualquiera de los procesos de degradación tipificados pueden ocasionar que las tierras sean afectadas por dichos procesos. Estas zonas son extremadamente vulnerables a la sobreexplotación y a un uso inadecuado de la tierra. Más de 250 millones de personas están directamente afectadas por la desertificación. Además, alrededor de mil millones (o un billón) de personas en más de cien países están en riesgo. Más de la mitad de las tierras del mundo presentan una condición de árida o semiárida, según Wilsie (1962), citado por FAO (1993a). En este estudio se reconocen como causas de la desertificación a las fluctuaciones climáticas, las malas técnicas de cultivo, la deforestación, el continuo aumento de la población, la recolección de leña y residuos como combustible, el pastoreo destructivo continuo y la ausencia de políticas de uso de la tierra.

De acuerdo con el Pnuma, citado por Flores (2006), los procesos primarios de desertificación son la degradación de la cubierta

DEGRADACIÓN DE TIERRAS



DEGRADATION SEVERITY/SEVERIDAD DE LA DEGRADACIÓN/SEVERITE DE LA DEGRADATION

| MAIN TYPES OF DEGRADATION TIPOS PRINCIPALES DE DEGRADACIÓN TIPOES PRINCIPALES DE DEGRADATION | LOW BAJO LEBBER | MEDIUM MEDIO MIDDESE | HIGH ALTO HOOG | VERY HIGH MUY ALTO ZEER HOOG |
|--|-----------------------|----------------------------|----------------------|------------------------------------|
| WATER EROSION EROSIÓN HÍDRICA EROSION HYDRISCHE | [Light Green] | [Yellow] | [Orange] | [Red] |
| WIND EROSION EROSIÓN EÓLICA EROSION EOLINSE | [Light Green] | [Yellow] | [Orange] | [Red] |
| CHEMICAL DETERIORATION DETERIORO QUÍMICO DETERIORING CHEMISCH | [Light Green] | [Yellow] | [Orange] | [Red] |
| PHYSICAL DETERIORATION DETERIORO FÍSICO DETERIORING FYSIEK | [Light Green] | [Yellow] | [Orange] | [Red] |
| STABLE TERRAIN TERRENO ESTABLE | [Light Green] | [Yellow] | [Orange] | [Red] |
| WELL SERVED AND/OR LAND TERRENO BIEN SERVIDO TERREIN GOED BEHEERD | [Light Green] | [Yellow] | [Orange] | [Red] |
| DESERT WITH DEGRADED CLAYS DESERTO CON CLAYES DEGRADADAS DESERT MET ALLEDE GRADIGED | [Light Green] | [Yellow] | [Orange] | [Red] |

The most important types of soil degradation data shown are shown on this map. It has legend information regarding types shown.
El tipo de degradación del suelo más importante de acuerdo al nivel de la actividad de la tierra, cuando incluye una forma de degradación de la misma importante, se presenta en color en este mapa.
Le type de dégradation du sol le plus important d'après le niveau de l'activité agricole ou la forme de dégradation est d'importance majeure, cela est montré par une couleur de couleur.



Figura III.4. Sector del mapa del proyecto GLASOD sobre el estado de degradación del suelo inducida por el hombre, en el cual se ubica el territorio de Venezuela. (Pnuma/Isric, 1990).

svegetal, la erosión eólica, la erosión hídrica y la salinización; y los procesos secundarios: la reducción de la materia orgánica, el encostramiento y compactación y la acumulación de sustancias tóxicas.

De la misma manera, el Pnuma, citado por Flores (2006), menciona dos grupos de causas de la desertificación que agrupa en: 1) causas de origen natural: características generales del clima, efectos de la radiación solar, el régimen de lluvias caracterizado por escasez de precipitación y variabilidad de las mismas, los antecedentes geomorfológicos, las características de los suelos altamente susceptibles a la salinidad y a la erosión, la escasa producción de biomasa y baja densidad de cobertura vegetal, la ausencia o baja densidad del caudal de los ríos y la influencia de los procesos naturales de la erosión hídrica y eólica; y 2) causas de origen antrópico: manejo irracional de los bosques, incendios forestales, manejo inadecuado de pastizales, empleo excesivo de agroquímicos, quemadas inducidas, excesiva carga animal, técnicas inadecuadas de cultivo, desarrollo de sistemas de riego inadecuados que originan procesos de salinización, el tipo y tenencia de la tierra, regulaciones insuficientes o ausentes sobre el uso de los suelos, actividades relacionadas con el desarrollo de infraestructura y falta de planificación y de políticas sobre el uso de la tierra y de otras actividades del desarrollo.

Flores (2006) encontró para la subcuenca Callecitas del río El Castreño en el estado Guárico, tomando en cuenta los indicadores para seleccionar áreas sensibles a la desertificación (calidad de suelo, clima, vegetación y manejo), una alta sensibilidad a la desertificación, que califica la subcuenca desde crítica (69,2%) a frágil (30,3%), no existiendo zonas sin amenazas de desertificación.

A raíz de la Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992, se elaboró la CLD (Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación) en reconocimiento de la estrecha relación que existe entre la pobreza y la degradación del medio ambiente (MM, 2007). La CLD es el primer tratado internacional en el que:

- Se abordan las cuestiones de la pobreza y la degradación del medio ambiente en las zonas rurales, en particular en África.
- Se reconoce que los usuarios de los recursos al nivel de base desempeñan una función decisiva en la búsqueda y aplicación de soluciones.
- Se adopta un planteamiento de abajo hacia arriba, que supone la activa participación de las mujeres y los hombres de las comunidades locales en todas las etapas del proceso de desarrollo.
- Se hace hincapié en la necesidad de adoptar un enfoque integrado en la lucha contra la desertificación.
- Se pide el establecimiento de un mecanismo innovador –el Mecanismo Mundial– encargado de movilizar recursos sustanciales mediante la creación de asociaciones a todos los niveles.

La Convención se aprobó en París en 1994 y entró en vigor en 1996. Más de 170 países han ratificado hasta la fecha la Convención como marco jurídicamente vinculante que contribuye a dar una respuesta global a los problemas relacionados con el medio ambiente y lograr medios de subsistencia sostenibles. Venezuela es uno de los países signatarios y se han elaborado planes de acción para el combate de la desertificación por parte del MARN en diferentes regiones del país en condiciones de riesgo de desertificación.

III.4 LA EROSIÓN

La erosión en términos geológicos se refiere a los procesos que generan los cambios de forma que sufre la superficie terrestre, es decir, el modelado de los paisajes por los agentes erosivos, principalmente agua y viento, pero en el que intervienen también la gravedad, los cambios de temperatura y de contenido de humedad y los factores bióticos. Este tipo de erosión ocurre de forma independiente a la intervención antrópica y ocurre a tasas muy bajas, manteniéndose en equilibrio con las tasas de formación del suelo por

meteorización y alteración del material parental; o por saltos bruscos durante eventos catastróficos asociados con terremotos, erupciones volcánicas, tormentas milenarias, tsunamis y otras manifestaciones de la naturaleza en la que ocurre una movilización de material en forma masiva y caótica.

La erosión acelerada, en cambio, es producto de la intervención del hombre en los procesos de erosión, generalmente asociados a cambios de intensidad de uso de la tierra. Cuando se elimina la cobertura natural se expone la superficie del suelo a los agentes erosivos —el agua en el caso de la erosión hídrica y el viento en el caso de la erosión eólica—, aumentando dramáticamente las tasas de erosión y las consecuencias asociadas a ésta como pérdida de la capacidad productiva de los suelos en el sitio, incremento de los volúmenes y velocidad de la escorrentía, generando inundaciones aguas abajo, la contaminación de las aguas y la colmatación de los cuerpos de agua, todo ello traducido en enormes pérdidas económicas y algunos casos lamentables de pérdida de vidas humanas.

La erosión hídrica y la eólica representan los dos procesos de degradación de tierras más ampliamente extendidos en el planeta, como se observa en el cuadro III.4, y aunque generalmente se asocian con otros procesos de degradación, ya que la erosión del suelo implica problemas de compactación, encostramiento y sellado, pérdida de nutrientes y pérdida de materia orgánica, la pérdida neta de materiales del suelo es el efecto principal que se observa o mide como fenómeno conjunto predominante.

La erosión puede definirse como un proceso en el que ocurre la separación de los materiales del suelo, de sedimentos o de mantos alterados y su movilización hasta un punto donde se reubican o depositan, por haber cesado o disminuido la energía suministrada por el agente erosivo, principalmente el agua y el viento. Cuando esto ocurre hablamos del proceso de sedimentación. Algunos autores incluyen en el proceso de la erosión dos fases o subprocesos, la

separación y el transporte (Morgan, 1997), mientras que otros (Foster, 2005) incluyen la sedimentación como una tercera fase de la erosión al referirse a la erosión hídrica.

III.4.1 LA EROSIÓN EÓLICA

Aunque esta publicación hace mayor énfasis en la erosión hídrica, la erosión eólica reviste la mayor importancia en zonas de clima árido y semiárido y puede tener una importancia local en zonas de clima húmedo con períodos secos prolongados.

La erosión eólica consiste en la separación, transporte y sedimentación de materiales del suelo como efecto de la acción del viento.

El factor principal para que ocurra la erosión eólica es la velocidad del viento. Ésta se desarrolla en campos amplios y expuestos a su acción. La velocidad del viento se incrementa exponencialmente con la altura desde un plano con velocidad del viento nula inmediato a la superficie. Se requiere una velocidad crítica para iniciar el movimiento de partículas de determinado diámetro (0,5-0,05 mm), las cuales deben estar secas y sueltas (mecanismo de *saltación*). Una vez iniciado el movimiento, la superficie es bombardeada por las partículas que ya están en movimiento y que impactan nuevamente la superficie, desatando una reacción en cadena (abrasión), para lo cual se requiere una velocidad crítica menor. Las partículas menores a 0,05-0,2 mm alcanzan las corrientes turbulentas y son transportadas a gran distancia (mecanismo de *suspensión*). Las partículas superiores a 0,5 mm y hasta 2 mm se mueven localmente rodando por la superficie (mecanismo de *arrastre*). Las partículas más erosionables se encuentran en el rango de 0,1-0,15 mm, siendo el proceso altamente selectivo. Finalmente, al cesar el viento se depositan los materiales hasta que se inicie nuevamente el proceso (Morgan, 1997; Hudson, 1982).

Los factores que determinan la erosión eólica son:

El clima, el cual favorece el efecto del viento al permitir superficies del suelo secas debido a la baja precipitación y alta evaporación en las regiones áridas y semiáridas, y al suministrar altas velocidades de viento. Cuando el suelo está húmedo permanecerá inmóvil. Sin embargo, los vientos de las regiones secas son capaces de reducir rápidamente la humedad de la capa superficial del suelo. Regiones más húmedas favorecen el desarrollo de la vegetación, la cual protege la superficie del suelo del efecto del viento, elevando la altura del perfil de velocidad del mismo.

El suelo, cuya resistencia va a depender del tamaño medio de las partículas. Partículas primarias o agregados con diámetros superiores a 1 mm se consideran no erosionables, entre 1 mm y 0,5 mm son erosionables sólo con velocidades de viento muy altas, y menores de 0,5 mm son altamente erosionables. Los suelos sueltos, secos y finamente divididos son más propensos a ser afectados por la acción del viento. Los granos y agregados del suelo de tamaños mayores y resistentes a la separación pueden llegar a conformar una cubierta residual resistente a la fuerza del viento.

La rugosidad del terreno: camellones de alturas medias y orientados en sentido perpendicular a la dirección del viento reducen efectivamente la cantidad de material arrastrado al reducir la velocidad del viento junto al suelo. Camellones demasiado altos sufren extensos daños con altas velocidades del viento por su efecto en las crestas del camellón, y los muy pequeños no logran influir significativamente en la velocidad de los vientos (Troeh et al., 1980). La rugosidad se ve afectada también por la cantidad y tamaño de los terrones superficiales.

La topografía: en la medida en que las superficies de los terrenos son planas y amplias, sin obstáculos al viento, favorecerá incrementos en la velocidad de los mismos. La máxima carga de material alcanzable por el viento requiere de un recorrido o longitud de área

expuesta menor si es un suelo arenoso fino sin estructura y mucho mayor para un suelo bien estructurado de textura media. En suelos de topografía irregular con lomas, el efecto de abrasión en las crestas puede ocasionar un daño conjunto para todo el campo mayor que en terrenos con pequeños cambios de nivel que no excedan de 1,5% (Troeh et al., 1980).

La cobertura vegetal: ésta constituye un factor primordial para el control de la erosión eólica cuando es factible su establecimiento. Aspectos como la biomasa, altura, textura relativa y residuos en superficie van a determinar el grado de protección ofrecido por la vegetación. Es importante la disposición de las hileras de plantas en relación con la dirección principal de los vientos.

Los daños ocasionados por la erosión eólica son variados y ocurren tanto en el sitio como a distancia. Entre éstos podemos mencionar la pérdida neta de suelo. En algunos casos se ha llegado a reportar la pérdida de toda la capa arable en una sola tormenta de polvo. En suelos arenosos bajo condiciones favorables se han estimado pérdidas mayores a 700 Mg/ha (Troeh et al., 1980). Otro daño local son los cambios texturales ocasionados por el viento, el cual es muy selectivo, llevándose las partículas finas y dejando los materiales más gruesos que poseen menor capacidad de retención de humedad, menor capacidad de intercambio catiónico y, por ende, de retención de nutrientes. Estos cambios pueden ser muy dramáticos en suelos de texturas gruesas, donde el escaso material fino es removido por el viento, siendo la importancia relativa de la pérdida más acentuada. Todo esto conlleva una pérdida de la capacidad productiva de las tierras. Las plántulas pueden ser afectadas por el efecto abrasivo de las partículas transportadas por el viento. A distancia, este efecto abrasivo puede afectar la pintura de edificaciones y vehículos y el polvo puede ocasionar daños a filtros y conductos de las maquinarias. Los sedimentos en suspensión pueden convertirse en un problema de salud por la contaminación que en sí mismo éstos producen, así como por los agroquímicos asociados

con dichos sedimentos. La sedimentación que se presenta donde se depositan los materiales transportados por el viento puede significar graves daños físicos a cultivos y edificaciones que son sepultados bajo una capa de espesor variable, alcanzando en algunos casos proporciones catastróficas.

III.4.2 LA EROSIÓN HÍDRICA

- Procesos y mecanismos

La erosión hídrica es el proceso que consiste en la separación, transporte y sedimentación de materiales del suelo por el agua. La erosión hídrica producida por la lluvia es la de mayor interés, existiendo otros tipos de erosión hídrica, como la ocasionada por el efecto de las olas en las zonas costeras y las corrientes fluviales a orillas de ríos y canales. La erosión pluvial se ve afectada por determinados mecanismos en cada uno de los subprocesos que la componen:

La *separación* es un proceso mediante el cual los materiales del suelo son disgregados y disociados de la matriz en partículas primarias o secundarias de tamaño transportable, denominados sedimentos. Los mecanismos para que ocurra la separación son *el salpique*, producto del golpeteo de las gotas de lluvia y el cual ocurre en los espacios entre surcos, y *la socavación*, producto de la acción directa del agua y los sedimentos en suspensión, la cual ocurre cuando el agua escurre en forma concentrada en los espacios correspondientes a los surquillos y surcos; ésta se incrementa con la profundidad, velocidad, turbulencia y carga de sedimentos. Cuando el flujo alcanza velocidad suficiente las fuerzas ejercidas son superiores a la resistencia del suelo y empiezan a desprenderse las partículas. Para que esto ocurra, la capacidad de transporte del escurrimiento debe superar la carga de sedimentos. La separación se mide en unidades de masa/área (Mg/ha o g/m²).

El transporte es el proceso mediante el cual las partículas y agregados son movilizados a través de la pendiente. El salpique transporta partículas a muy corta distancia, hasta 1,5 m, y ese desplazamiento se ve favorecido por la inclinación de la pendiente y el efecto del viento. La importancia del salpique en el proceso de transporte es relativamente baja. El escurrimiento superficial en el espacio entre surcos se encarga de movilizar material hacia los surcos. El escurrimiento en los surcos será responsable de arrastrar el material previamente separado por salpique o socavación en función de la capacidad de transporte, de acuerdo con la velocidad y el volumen del agua que conducen los surcos. Este mecanismo se le denomina *arrastre*. La *carga de sedimentos* transportada se expresa en unidad de masa/ancho de ladera considerado y representa un valor instantáneo en un punto particular a lo largo del perfil de una ladera. La carga de sedimentos al final de una ladera representa la producción de sedimentos o entrega de sedimentos. Otros estudios expresan en forma agregada el transporte en unidades de masa/longitud (mg/km o g/m) y la carga de sedimentos como una concentración de los materiales en suspensión por unidad de volumen de agua (mg/m^3 o g/ml)

La sedimentación es el proceso que ocurre al depositarse las partículas o agregados transportados como consecuencia de cambios en el gradiente de la pendiente o de la presencia de barreras permeables o impermeables que detienen el flujo o disminuyen su velocidad, promoviendo la decantación de los materiales en suspensión. Esto ocurre cuando la carga de sedimentos iguala o supera la capacidad de carga del escurrimiento. La socavación y la sedimentación no ocurren en forma simultánea, pero el salpique sigue actuando uniformemente en los espacios entre surcos cuando ocurre sedimentación en los surcos. La sedimentación es selectiva y los sedimentos más gruesos y/o densos son los primeros en decantar en relación con los menos densos y finos. El asentamiento de las partículas y agregados se rige por la Ley de Stoke, que determina la velocidad de asentamiento en función del diámetro y densidad de los sedimentos. Las características de los sedimentos que son movilizados

fuera de una ruta de escorrentía al final de una ladera o de una estructura de conservación como un canal de desviación o una terraza, son muy diferentes del suelo que ha sido erosionado. En la medida en que ocurre sedimentación a lo largo de la ladera o estructura, se incrementa la relación de enriquecimiento del sedimento que la abandona, es decir, ocurre un incremento en los materiales finos y coloides en relación con los materiales gruesos. Estos sedimentos de alta superficie específica son los que se asocian con agroquímicos contaminantes y son responsables de su acarreo hasta cuerpos de agua sujetos a procesos de eutrofización de las aguas y de que ocurran procesos de magnificación biológica en las cadenas alimenticias existentes en los ecosistemas acuáticos que reciben los sedimentos contaminantes.

El proceso de sedimentación se ve mayormente afectado por la escorrentía que por el efecto combinado de la escorrentía y el impacto de las gotas de lluvia. La sedimentación se expresa en unidades de masa/área (mg/ha o g/m^2). Pueden considerarse dos tipos de sedimentación, la *local*, en la cual el sedimento se detiene a unos pocos centímetros de donde fue separado, como ocurre en las microdepresiones y surcos de poca pendiente; y la *remota*, donde el sedimento es acarreado a una cierta distancia, varios metros de su lugar de origen, como la que ocurre en el pie de una ladera o en la parte superior de una franja de vegetación densa u otro tipo de barrera (Foster, 2005). Las prácticas de conservación que promueven la sedimentación local se les da una consideración total y las que promueven una sedimentación remota se les acredita una efectividad parcial, ya que en algún punto de la ladera ha ocurrido una remoción importante de la superficie del suelo que afecta negativamente su calidad.

La relación entre la separación, el transporte y la sedimentación viene dada por el principio de conservación de masas y la capacidad de transporte del escurrimiento. En un punto a lo largo de una pendiente o ladera, la carga de sedimentos saliente viene dada por la cantidad de sedimentos entrante en un determinado segmento y la

sedimentación o separación neta (diferencia entre ambas) en el segmento (ver figura III.5). Este enfoque es seguido por algunos modelos de erosión que integran este balance a lo largo de una pendiente (Foster, 2003).

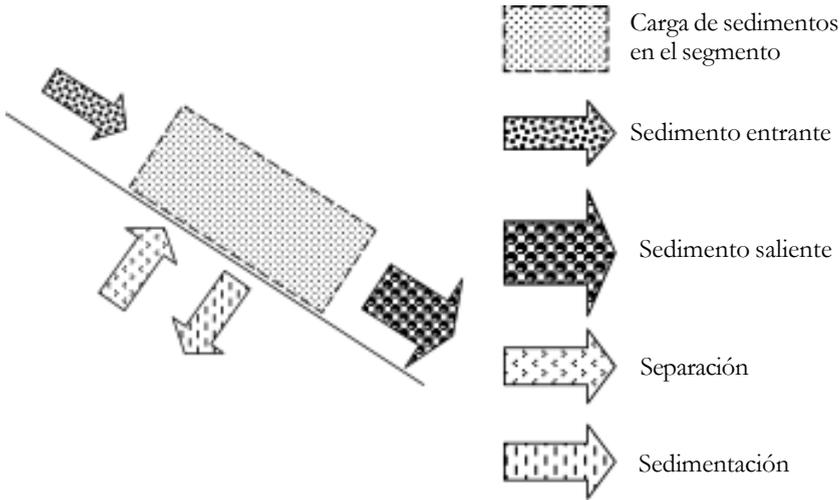


Figura III.5. Esquema ilustrativo de la relación entre transporte, separación y sedimentación en un segmento de ladera en el que ocurre erosión laminar. Modificado de Foster (2005).

Factores que afectan la erosión hídrica. Los factores que afectan la erosión son el clima o agente activo, el suelo o agente pasivo, la topografía, que es un factor condicionante que afecta de manera positiva o negativa en relación con una situación de referencia, y el uso y manejo de la tierra que conforma el factor de resistencia al proceso y es el que puede alterarse o modificarse con mayor facilidad por la intervención antrópica.

El clima. El factor climático de mayor relevancia en el trópico es la precipitación. La lluvia en forma de gotas es el principal agente activo de la separación. Los excedentes de lluvia que no infiltran escurren sobre la superficie, lo que tiene un efecto en la separación y el acarreo de sedimentos por parte del escurrimiento superficial.

Los tres atributos de la lluvia que se relacionan con su capacidad erosiva son la intensidad, la duración y la frecuencia.

La *intensidad* es importante porque ésta se relaciona con el tamaño (masa) y la velocidad de las gotas de lluvia, que conjuntamente determinan la energía con que éstas impactan la superficie del suelo y, por tanto, la capacidad de separación del suelo por salpique. Éste representa el efecto directo de la lluvia en la erosión. La intensidad de las lluvias se expresa en mm/h. La relación energía-intensidad es variable según la localidad, siendo que las precipitaciones en zonas tropicales presentan mayores cargas energéticas a altas intensidades, como señala Páez (1980) para Venezuela. Las ecuaciones de energía-intensidad pueden compararse en la figura III.6.

La tendencia es a que incremente la energía a medida que incrementa la intensidad hasta llegar a un umbral determinado por la física de

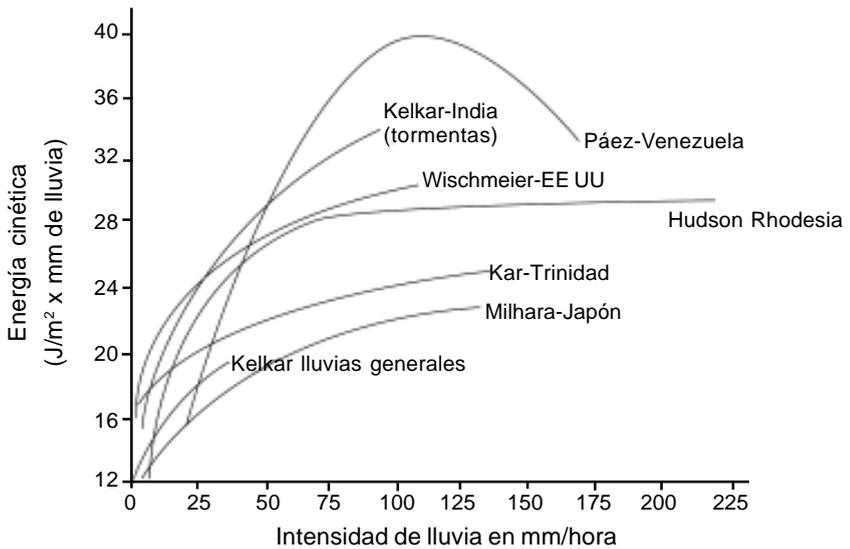


Figura III.6. Relación energía-intensidad, según varios autores, en diferentes localidades (Páez, 1980; Hudson, 1982).

las gotas de lluvia. La mediana del tamaño de las gotas se incrementa al incrementarse la intensidad, hasta un límite cercano a los 4 mm, causados en parte por el choque y ruptura entre éstas a altas intensidades y por efectos del roce con la atmósfera y los vientos, siendo que los valores extremos se hallan entre <1 y >6 mm. Las gotas de mayor diámetro tienen mayor masa y alcanzan mayores velocidades terminales y, por tanto, mayor energía cinética.

La velocidad terminal de las gotas de lluvia depende de la gravedad y de las fuerzas de roce con la atmósfera, alcanzando velocidades terminales cercanas a 9 m/s con las gotas de mayor diámetro. Ésta puede verse incrementada, tanto por el viento como por la energía, que puede aumentar según el ángulo de choque de la gota con la superficie.

Según la masa de las gotas, la resistencia del aire será mayor en la medida en que las gotas son más pequeñas, por lo que éstas alcanzan menores velocidades terminales y su energía es menor al momento de encontrarse con la superficie del suelo. Las diferencias en los patrones de lluvia producto de diversas intensidades y en las cargas energéticas de éstas determinan diferencias regionales importantes, aun cuando las láminas de lluvia anual sean similares. Esta diferencia es aún más marcada entre zonas templadas y países tropicales donde la erosividad de las lluvias es varias veces mayor que en las primeras.

Hudson (1982) menciona un valor umbral mínimo para que ocurra erosión de 25 mm/h en zonas tropicales. Morgan (1997) señala que este valor es muy alto para Europa occidental y refiere valores menores que se han establecido en forma arbitraria.

La *duración* de las lluvias, conjuntamente con la intensidad, determina la carga energética total de un evento. En el trópico predominan lluvias cortas de alta intensidad que tienen una alta capacidad de separación y también de transporte, ya que las altas intensidades

exceden la capacidad de infiltración de los suelos, generando escorrentía, pero en zonas templadas encontramos lluvias de baja intensidad pero de larga duración que saturan los suelos, generando también escorrentía o *flujo superficial difuso*, capaz de transportar sedimentos, pero en estos casos la capacidad de separación es menor, o *flujo concentrado*, el cual posee mayor poder erosivo. La escorrentía superficial representa el principal efecto indirecto de la lluvia sobre la erosión.

Hudson (1982) ejemplifica la gran energía que provee la lluvia cayendo en forma de gotas e impactando el suelo en comparación con el flujo superficial, según los datos suministrados en el cuadro III.6.

Cuadro III.6. Comparación relativa del poder de separación de la lluvia y del flujo laminar de acuerdo con su energía cinética (Hudson, 1982)

| Parámetro | Lluvia (R) | Escorrentía |
|------------------|--|---|
| Masa | R | 25% de R (R/4) |
| Velocidad | 8 m/s | 1 m/s |
| Energía cinética | $\frac{1}{2}(R) \cdot (8 \text{ m/s})^2$ 32 R | $\frac{1}{2}(R/4) \cdot (1 \text{ m/s})^2$ R/8 |

Cuando el flujo se concentra alcanzando mayores volúmenes (masa) es capaz de adquirir mayores velocidades de alrededor de 4 m/s y valores muy superiores de energía que le confieren mayor capacidad de separación y transporte. Esto puede ocurrir cuando existen depresiones naturales en el terreno o por efecto de las huellas producto del tráfico de maquinaria o de animales en que confluyen las aguas provenientes del escurrimiento difuso.

La *frecuencia* se refiere a la cantidad de veces en que ocurren eventos de precipitación durante el período lluvioso. Se puede referir a eventos con una determinada característica. El inverso de la frecuencia puede considerarse el período de retorno. La frecuencia es importante porque afecta la humedad antecedente de los suelos, por lo que estará afectada la capacidad de infiltración de los mismos, siendo que a mayor frecuencia, mayores probabilidades de que existan excedentes de lluvia que se transformarán en escurrimiento superficial, ya sea difuso o concentrado. A mayor frecuencia de las lluvias, mayor es el riesgo de escurrimiento superficial. Indirectamente, en la medida en que la cantidad y frecuencia de las lluvias son altas, se relacionan con un mayor desarrollo de la vegetación y, por tanto, con una mayor cobertura y protección del suelo, o viceversa.

Los eventos lluviosos de determinada magnitud o lluvias extremas son los responsables de un alto porcentaje de la erosión. Las precipitaciones extremas a menudo son responsables de inundaciones y de niveles de erosión excepcionales. Páez et al. (1989) determinan la probabilidad de ocurrencia de lluvias excepcionales y láminas máximas ocurridas en estaciones meteorológicas seleccionadas de Venezuela. Definen como lluvia excepcional una lluvia de lámina total igual o superior a 45 mm. Encuentran sitios como San Felipe y Guanare, donde ocurren lluvias de esta magnitud con 100% de probabilidad todos los años y con láminas máximas superiores a 100 mm en algunos años, en contraste con localidades como Valencia y Yaritagua, donde la probabilidad de que ocurran precipitaciones de esa magnitud es menor del 75%, es decir, no ocurren todos los años y con láminas máximas menores a 100 mm. Rodríguez y Fernández (1992), trabajando con parcelas de escorrentía en zonas montañosas, reportan que de un total de 74 tormentas, 6 en el rango de 30-50 mm fueron las causantes del 49% de la escorrentía y 58% de las pérdidas de suelo, poniendo de relieve la importancia relativa de las lluvias extremas en los procesos erosivos. La efectividad de algunas prácticas de conservación se ve

afectada por la magnitud de las lluvias extremas como el cultivo en contorno y las franjas en contorno, cuya eficiencia depende de un valor de escorrentía crítica preestablecido.

Otro efecto importante de la frecuencia de las lluvias es sobre la separación. Suelos previamente humedecidos, es decir, donde ocurren lluvias frecuentes, pueden presentar menor separación que aquellos que están secos. Una de las causas es el mecanismo de explosión de agregados, debido al aire que queda atrapado al humedecerse éstos muy rápidamente, producto de lluvias muy intensas, como es el caso de los trópicos. Sin embargo, en suelos con altos contenidos de arcillas expansibles o de agentes dispersantes como el sodio, el efecto es contrario, ya que el principal mecanismo es el hinchamiento osmótico, es decir, que una mayor frecuencia de las lluvias favorece su separación (Páez, 1986).

Interacción impacto de las gotas-escorrentía. Cuando las gotas de lluvia impactan el flujo superficial aumenta la capacidad erosiva del flujo, ya que lo hacen más turbulento. Sin embargo, cuando ocurre empozamiento y la profundidad del flujo superficial es tres veces el diámetro de la gota, el salpique deja de ocurrir y se reduce la erosividad del evento lluvioso. Esto ocurre en suelos muy planos con menos de 1% de pendiente (Foster, 2005).

El suelo es el agente pasivo que va a ser separado y transportado por los agentes erosivos y eventualmente redepositado. La *erosionabilidad* del suelo es su susceptibilidad a ser erosionado. Viene dada por tres propiedades intrínsecas del suelo: su *separabilidad*, su *transportabilidad* y sus *riesgos de escurrimiento*. Mientras la separabilidad y transportabilidad dependen básicamente de las características superficiales del perfil del suelo, el riesgo de escurrimiento va a estar afectado por las condiciones de drenaje interno del perfil.

La separabilidad es la susceptibilidad del suelo a ser disgregado y separado de la masa del suelo; se relaciona con la erosión en los espacios entre surcos. La transportabilidad es la susceptibilidad del

suelo a ser removido y movilizado hasta un punto en que la capacidad de transporte de sedimentos por el escurrimiento superficial disminuye o la partícula salpicada se asienta. La transportabilidad se relaciona con la erosión en el surco. La textura es la característica individual que en mayor proporción afecta la erosionabilidad y transportabilidad de un suelo. Los suelos limosos son altamente erosionables porque son fácilmente separados, tienen una alta tendencia al sellado y encostramiento, produciendo altas tasas de escorrentía, independientemente de las condiciones internas del perfil, y los sedimentos generados son finos, por lo que son fácilmente transportados. Los suelos arcillosos tienden a ser más cohesivos y a formar agregados de mayor tamaño y más resistentes, por lo que son menos susceptibles a la separación y al transporte. Dependiendo del tipo y estabilidad de la estructura, podremos encontrar una diferenciación entre suelos con un mismo contenido de arcilla. La mineralogía de las arcillas afecta la cohesión entre las partículas, siendo mayor en aquellas con mayor superficie específica, favoreciendo una mayor estabilidad estructural. Los suelos arenosos son altamente separables, pero menos transportables, con excepción de las arenas muy finas que se comportan como el limo, siendo las partículas que presentan la máxima separabilidad. La materia orgánica actúa como agente cementante, facilitando la formación de agregados que le confieren mayor resistencia del suelo a la separación y disminuye su transportabilidad al aumentar el tamaño y peso de las partículas. Otros agentes cementantes como los óxidos de hierro y aluminio y los cationes divalentes promueven la formación y estabilidad de los agregados del suelo. Por el contrario, agentes dispersantes como el sodio con alto radio de hidratación promueven la separación de las partículas. Siendo éstas de menor tamaño, son más fácilmente transportables por la escorrentía.

La *separabilidad* (S) puede medirse con copas de salpicadura por diferencia de peso del suelo antes y después de ser sometido a una lluvia de lámina conocida, en relación con la arena estándar tratada

similarmente y con una condición de humedad antecedente determinada mediante la siguiente relación:

$$(S) = \frac{\text{Suelo separado}(\text{gr}/\text{m}^2\text{-mm de lluvia})}{\text{arena estándar separada}(\text{gr}/\text{m}^2\text{-mm de lluvia})}$$

Cuando el suelo está seco, el efecto de explosión de agregados es más pronunciado, generando valores de separabilidad mayores que cuando el suelo es humedecido por capilaridad antes de realizar la prueba. Páez (1986) reporta valores de separabilidad muy bajos en suelos tropicales evolucionados de alta estabilidad estructural y altos contenidos de arcilla y muy altos en suelos de bajo desarrollo estructural y alto porcentaje de partículas de limo y arena muy fina.

El riesgo de escurrimiento es una propiedad inherente del suelo, independiente de la pendiente y que está afectada por su permeabilidad y estructura. Representa el riesgo de acumular excedentes de lluvia en la superficie al exceder la precipitación la capacidad de infiltración del suelo. Va a estar afectado por propiedades como alto porcentaje de poros continuos, alta capacidad de percolación debido a la ausencia de estratos impermeables, alto porcentaje de partículas primarias y secundarias grandes y una alta conductividad hidráulica. Cuando estas variables se incrementan disminuye el riesgo de escurrimiento.

Conjuntamente con la transportabilidad, el riesgo de escurrimiento se relaciona con la erosión en el espacio de los surquillos y surcos. La erosionabilidad final de un suelo viene dada por una relación entre la susceptibilidad de los suelos a ser erosionados en el espacio en el surco y su susceptibilidad a ser erosionados en el espacio entre surcos. Esta relación decrece cuando aumenta el contenido de arcilla, la cual hace al suelo más resistente a la erosión en el surco en relación con su contribución en hacerlo más resistente a la erosión entre surcos y se incrementa con un mayor contenido de limo, ya que altos contenidos de estas partículas disminuyen la resistencia del suelo a la erosión en el surco con mayor efecto que en

el espacio entre surcos (Foster, 2005). Esta relación, de acuerdo con la clase textural de los suelos, se presenta en el cuadro III.7.

Cuadro III.7. Relación entre la erosionabilidad en el surco y la erosionabilidad entre surcos en función de la textura del suelo (Foster, 2005)

| Clase textural del suelo | Relación entre erosionabilidad en el surco y erosionabilidad entre surcos |
|--------------------------|---|
| Arcilloso | 0,36 |
| Franco-arcilloso | 0,50 |
| Franco | 0,65 |
| Franco-arenoso | 0,82 |
| Arenoso | 0,89 |
| Arcillo-arenoso | 0,61 |
| Franco-arcillo-arenoso | 0,65 |
| Franco-arenoso | 0,70 |
| Limoso | 1,91 |
| Franco-limoso | 1,04 |
| Arcillo-limoso | 0,53 |
| Franco-arcillo-limoso | 0,73 |

En forma conjunta, se puede resumir que los suelos tropicales evolucionados (ultisoles y oxisoles), presentan baja erosionabilidad debido a su estructura más desarrollada, alto contenido de arcillas, si es el caso, y presencia de sesquióxidos, que le confieren una alta estabilidad a los agregados y una adecuada permeabilidad en el perfil, mientras que los suelos aluviales recientes (entisoles e inceptisoles) ostentan una muy baja estabilidad estructural y altos contenidos de

limo y arena muy fina, presentando alta erosionabilidad, siendo que la materia orgánica no parece presentar un papel de agregación importante debido a su bajo contenido (Páez, 1986).

La erosionabilidad presenta una *variabilidad temporal* en función del clima, principalmente. Los riesgos de escurrimiento se incrementan cuando las lluvias son muy frecuentes y la evaporación es baja, incrementándose la erosionabilidad. Aumentos en la temperatura disminuyen la erosionabilidad, lo que pudiese estar relacionado con mayores tasas de evaporación y mayor actividad biológica. En la medida en que un suelo se va degradando, se reducen sus contenidos de materia orgánica y pierden estabilidad los agregados, lo que incrementa la erosionabilidad en el tiempo. Los suelos sujetos a descongelamiento presentan una mayor erosionabilidad inmediatamente después de que ocurre dicho proceso.

La topografía es un factor condicionante de los procesos erosivos que se ven influenciados por el *gradiente o inclinación* de la pendiente, la *longitud* de la pendiente, la *forma* y la *exposición*.

El gradiente o inclinación de la pendiente es el más importante e influyente de los atributos topográficos sobre la erosión que puede ocurrir a lo largo de un perfil de una ladera. Se mide por la relación entre la altura vertical por unidad de desplazamiento horizontal, lo que representa la tangente del ángulo que forma una ladera con respecto a la horizontal. Comúnmente se expresa en porcentaje.

A mayor pendiente, mayor es la velocidad del escurrimiento superficial, incrementando la fuerza del flujo superficial, lo que aumenta la capacidad erosiva del mismo. En suelos de texturas medias y finas la escorrentía usualmente se incrementa con aumentos en la inclinación de la pendiente. En suelos arenosos la escorrentía no siempre se incrementa con aumentos en la inclinación de la pendiente. La erosión, a su vez, siempre aumenta al incrementar la inclinación de la pendiente (Troeh et al., 1980). El incremento de la erosión con la pendiente es de naturaleza exponencial. Al duplicarse la pendiente las pérdidas de suelo por erosión hídrica se

incrementan hasta en 2,5 veces. La erosión en surcos se ve afectada en forma proporcionalmente mayor por la inclinación de la pendiente que la erosión entre surcos (Foster, 2005).

La longitud de la pendiente es la distancia desde la cresta de una vertiente o colina hasta un punto, donde decrece bruscamente el gradiente de la pendiente, por lo que se inicia la sedimentación del material transportado o la escorrentía se incorpora a un drenaje natural o construido. A los fines de evaluar la erosión, se considera el límite superior de la pendiente donde se inicia el escurrimiento superficial. El efecto de la longitud de la pendiente es de naturaleza geométrica, encontrándose experimentalmente que al duplicar la longitud de la pendiente las pérdidas de suelo por erosión hídrica aumentan 1,5 veces, pero este efecto es decreciente en la medida en que la longitud de la pendiente es mayor.

El efecto de la longitud de la pendiente se ve afectado por la relación entre la erosión en los surcos y surquillos y la erosión entre surcos. Esta relación, a su vez, se ve afectada por parámetros constantes como la inclinación de la pendiente, y dinámicos como la cobertura a nivel del suelo, las condiciones por debajo de la superficie del suelo (biomasa y consolidación del suelo) y la erosionabilidad del suelo (Foster, 2005). Esto hace muy complejos los análisis con respecto a la longitud, que se corresponde con los procesos de erosión laminar, que pueden alcanzar cerca de los 400 m en suelos con cobertura, pero que se reduce a alrededor de cien metros en suelos sin cobertura, donde las posibilidades de que se concentre la escorrentía y que el flujo laminar se convierta en concentrado son mayores.

La longitud de la pendiente se puede considerar limitada en forma absoluta cuando se interpone una estructura impermeable, como una terraza o un canal de desviación. Sin embargo, cuando las estructuras son permeables, como franjas de pasto o de cultivos densos, la longitud de la pendiente no se ve interrumpida.

La forma de la pendiente afecta la magnitud de la erosión a lo largo de una pendiente. Se pueden considerar varios perfiles en una pendiente: el uniforme, el cóncavo, el convexo y el complejo o mixto (ver figura III.7). Las pendientes uniformes y las complejas arrojan valores intermedios de erosión, mientras que las pendientes de forma cóncava presentan valores más bajos de erosión y las convexas los valores más altos. Esto debido a que en la pendiente cóncava hay una disminución progresiva de la inclinación de la pendiente a lo largo de la ladera, mientras que, por el contrario, en una pendiente convexa la inclinación de la pendiente se incrementa paulatinamente. En el perfil cóncavo la erosión ocurre principalmente en el tercio superior de la ladera, mientras en el convexo entre la mitad y el tercio inferior. La forma lateral de la pendiente hace que el flujo sea convergente (forma de hueco o tazón) y se incremente la erosión, o divergente (forma de nariz), y disminuya la erosión.

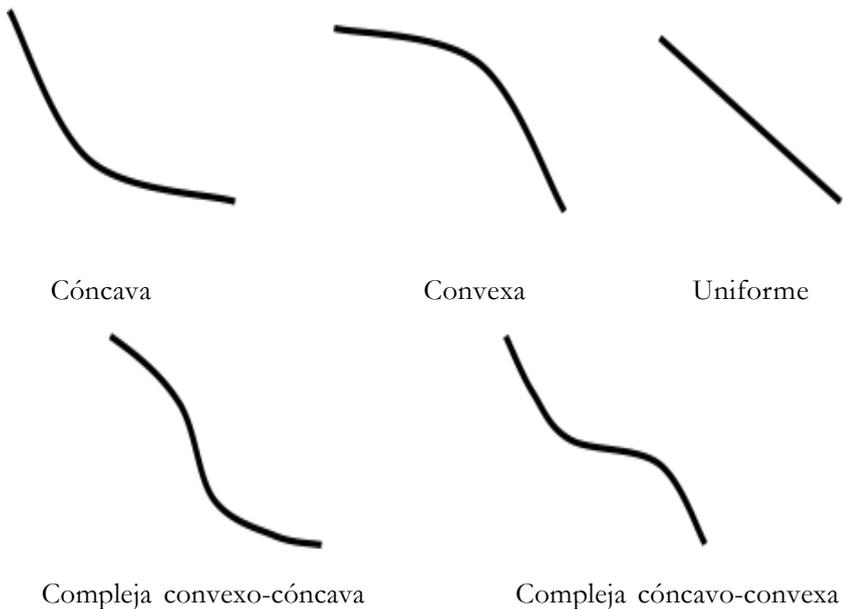


Figura III.7. Formas de perfiles de pendiente (Foster, 2005).

Casi todos los perfiles de las laderas en condiciones naturales húmedas son de forma compleja.

La exposición de la pendiente afecta los procesos erosivos, ya que debido a la exposición la ladera puede recibir mayor cantidad de radiación solar y, por tanto, desarrollarse un microclima de mayor temperatura y más seco al haber mayor evapotranspiración o, por el contrario, recibir menor radiación solar y desarrollar un microclima más fresco y húmedo. El microclima va a influenciar el desarrollo de vegetación, las condiciones de humedad antecedente y, por ende, los procesos de erosión que ocurran en una determinada ladera.

El uso y manejo de la tierra. Este factor viene dado por la cobertura, las prácticas de manejo asociadas y las prácticas de soporte. Representan el factor de resistencia en el proceso de erosión. El uso y manejo de la tierra y las prácticas de soporte son considerados los factores más importantes; por una parte, éstos en su conjunto afectan el proceso de erosión en forma muy amplia e intensa en relación con los factores físicos (clima, suelo y topografía), y por otra, son éstos los más alterables y manipulables por el usuario de la tierra, siendo los elementos a tomar en cuenta de manera inmediata cuando se quiere mitigar o controlar el proceso de erosión hídrica.

La cobertura y el manejo vienen dadas por el dosel de las plantas, la cobertura basal o a ras del suelo, la rugosidad, la biomasa del suelo, la consolidación del suelo y la humedad antecedente (Foster, 2005). Estas variables se ven afectadas principalmente por prácticas culturales como rotaciones de cultivo, labranza, manejo de residuos, entre otras.

La *cobertura del dosel* se define como la cobertura vegetativa viva o muerta sobre la superficie del suelo que intercepta las gotas de lluvia, pero no hace contacto con la escorrentía superficial ni con la superficie del suelo. Su grado de protección va a depender de la cobertura de dosel efectiva y la altura de caída efectiva, la cual, a su vez, depende de la arquitectura y gradiente de densidad del dosel

(ver figura III.8). La altura de caída efectiva es la altura desde la cual las gotas generarían la energía total si todas las gotas cayeran desde esa altura.

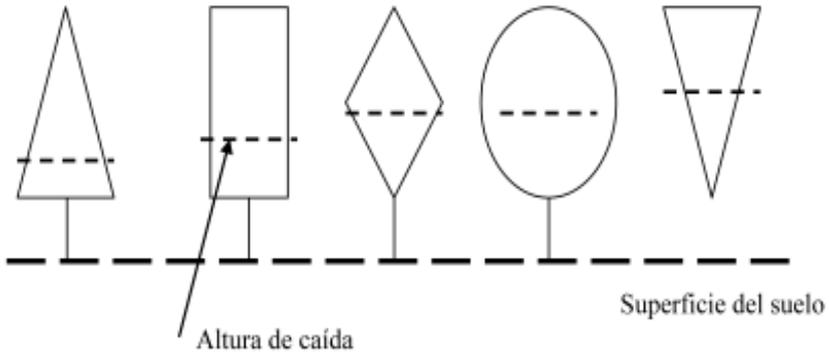


Figura III.8. Efecto de la arquitectura del dosel en la altura de caída (Foster 2003)

La cobertura del dosel afecta la energía de impacto de las gotas de lluvia en muchas formas. El dosel incrementa el tamaño de las gotas que caen de éste y, por tanto, la altura de caída debe ser poca para que éste reduzca la velocidad de impacto y se compense el incremento en tamaño. Si la altura de la base del dosel es mayor de 10 m, la energía de impacto será mayor que la de la lluvia cayendo a campo abierto (Foster, 2005). También, parte de la lluvia llega al suelo como flujo en el tallo o regresa a la atmósfera por evaporación. A este proceso se le denomina intercepción, y es mayor en un bosque que en un cultivo anual o una vegetación rala. La intercepción disminuye el volumen de agua que llega al suelo y también altera su distribución espacial, concentrando agua a través del flujo en el tallo y sectores de goteo concentrado, lo que podría generar escorrentía con precipitaciones, cayendo a intensidades por debajo de la tasa de infiltración del suelo en zonas localizadas (Wiersum, 1985; de Ploey, 1985, citados por Bergsma et al., 1996).

La cobertura de dosel que se proyecta verticalmente sobre la cobertura basal o directamente en contacto con el suelo no tiene efecto sobre la erosión, por lo que la cobertura de dosel efectiva se refiere a la cobertura de dosel total, substrayéndole aquella que coincide con cobertura basal. Las operaciones de cosecha, pastoreo, poda, quema, entre otras, reducen la cobertura de dosel.

La *cobertura basal* o a ras del suelo es todo material en contacto directo con la superficie del suelo. Ésta afecta el impacto de las gotas, al interceptar las gotas de lluvia que caen directamente o desde el dosel, por lo que reduce la erosión entre surcos; y también afecta a la escorrentía, al reducir su velocidad, por lo que reduce también la erosión en surcos y surquillos al disminuir la capacidad de separación y transporte del escurrimiento.

La cobertura basal neta toma en consideración los solapamientos entre distintos componentes de la cobertura (piedras, hojarasca, residuos vegetales, plantas de hábito de crecimiento rastrero, aserrín y otros materiales naturales o sintéticos). La eficiencia de la cobertura puede verse afectada por el tamaño y orientación de las piezas. Los tallos de maíz en sentido perpendicular a la pendiente pueden formar pequeños diques en comparación con la hojarasca. Existe una interacción de la cobertura basal con la rugosidad; a mayor rugosidad menor es el efecto de la cobertura.

La eficiencia de la cobertura en la erosión entre surcos es menor que en la erosión en surcos. Es quizás el factor individual con mayor efecto sobre las pérdidas de suelo por erosión y, por tanto, una de las formas más eficaces para controlarla. Cuando el suelo ha sufrido procesos de degradación previos como el sellado y encostramiento o la compactación, su efectividad se ve reducida. Para visualizar la cobertura basal neta es más fácil contabilizar la fracción de suelo desnudo o expuesto. Es más efectivo expresar la cobertura como porcentaje o fracción de la superficie cubierta, pero puede expresarse también en unidades de peso/superficie. Esta última puede transformarse a fracción de cobertura mediante ecuaciones desarrolladas para

cada tipo de residuo, las cuales deben tomar en consideración el solapamiento. Las coberturas muertas están sujetas a procesos de degradación de la materia orgánica y a operaciones de manejo como la labranza, la quema o el pastoreo.

Rodríguez y Páez (1989) evaluaron el efecto de la labranza y los residuos en superficie sobre la erosión hídrica en varios suelos agrícolas de Venezuela. La cobertura de residuos fue eficiente en reducir la pérdida de suelo por erosión hídrica en suelos labrados y no labrados, pero no lo fue en reducir las pérdidas de agua por escorrentía en el sistema de no labranza debido a las condiciones hidrológicas iniciales que presentaban dichos suelos.

Tejada y Rodríguez (1989), en estudios con diferentes residuos vegetales, encontraron una alta eficiencia de éstos en controlar la erosión y que los materiales correspondientes a residuos de pastos son más eficientes en alcanzar un determinado grado de cobertura que los residuos de cultivos para un mismo nivel de residuos. Recomiendan que en lo posible los residuos de las cosechas sean dejados en el campo para proteger los suelos contra la erosión.

En diversos estudios se ha demostrado la alta efectividad de la vegetación permanente, bosques y pastos densos en el control de la erosión hídrica y del régimen hidrológico. En la figura III.9 se ilustra la importancia de la cobertura en la protección del suelo.

La *rugosidad* producida por efecto de la labranza en forma aleatoria disminuye la erosión en la medida en que se incrementa el índice de rugosidad (La desviación estándar de las elevaciones de la microtopografía con respecto a una elevación promedio). Los arados, escarificadores y discos tienden a crear superficies del suelo rugosas $R_m > 35$ mm y pulverizadoras $R_m < 5$ mm. La rugosidad viene dada, principalmente, por la geometría de los terrones resultantes de la mecanización. A esta rugosidad se le llama de corto plazo. En la medida en que avanza el tiempo después de la última operación de labranza, la rugosidad va decayendo. Según la textura del suelo, la

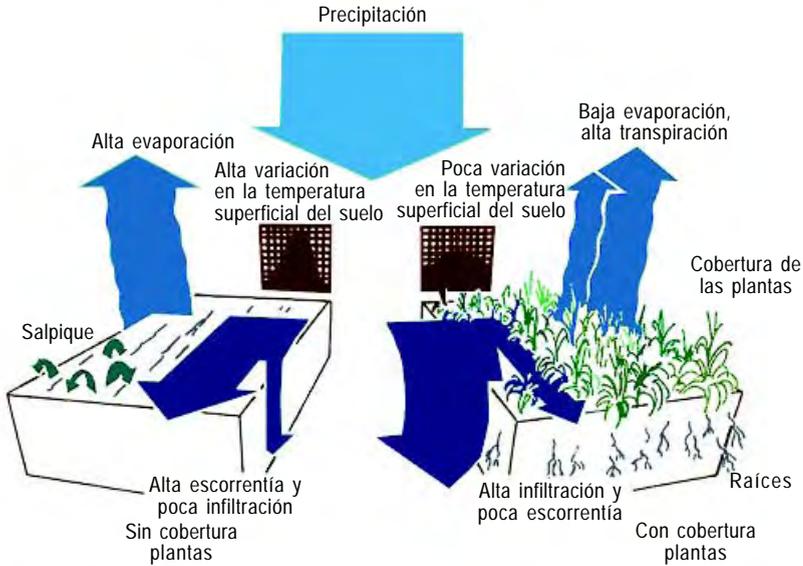


Figura III.9. La importancia de la cobertura del suelo. Ilustración de Herweg, en Bergsma (1996).

disminución de la rugosidad puede ser más rápida (suelos de texturas gruesas y medias) o menos acelerada (suelos de texturas finas). La biomasa por raíces finas también afecta la estabilidad de los terrones y, por tanto, su longevidad. La rugosidad en el largo plazo puede derivarse de otros factores tales como el desarrollo de plantas tipo macolla, raíces cerca de la superficie, tráfico de animales y sedimentación. Las depresiones almacenan agua y atenúan la velocidad del escurrimiento, disminuyendo su capacidad de transporte y promueven la sedimentación. También, se incrementa la infiltración disminuyendo el volumen de la escorrentía y la resistencia al sellado es mayor.

La rugosidad no aleatoria u orientada por la implantación de surcos también afecta la erosión. Si éstos se orientan en dirección de la pendiente, obviamente favorecen la erosión. Este efecto es mayor en pendientes menores al 30% y depende de la altura del camellón (Foster, 2003). Los surcos en contorno son considerados una práctica de soporte y reducen la erosión.

La *biomasa del suelo* incluye las raíces vivas y muertas, residuos y materia orgánica incorporados. Las raíces vivas afectan la erosión por su efecto mecánico de amarre y por los exudados que producen y que reducen la erosionabilidad del suelo al incrementar la estabilidad de los agregados. Las raíces vivas son un conducto para extraer agua del suelo al transpirar las plantas y, por lo tanto, se incrementa la infiltración y se reduce la escorrentía. Las raíces muertas y residuos enterrados contribuyen a proteger el suelo al quedar expuestos o a mantener unidos los terrones cuando el suelo es disturbado mecánicamente.

La *consolidación del suelo* se refiere al grado de cohesión alcanzado por el suelo en presencia de agentes cementantes como coloides orgánicos y partículas con alta superficie específica como las arcillas, debido al tiempo transcurrido desde la última alteración por mecanización. Los suelos disturbados mecánicamente son generalmente más susceptibles a la erosión.

La *humedad del suelo* afecta la relación infiltración/escorrentía. Cuando las lluvias son frecuentes el efecto es menos marcado que cuando éstas son más dispersas, como en las zonas semiáridas, donde la extracción de agua por los cultivos puede alterar el contenido de agua en el perfil del suelo severamente.

Las *prácticas de soporte* se refieren a un conjunto de prácticas adicionales a las prácticas culturales, normalmente realizadas en un cultivo. La mayoría de éstas afectan la erosión, reorientando la dirección de la escorrentía o reduciendo su capacidad de transporte. Entre éstas pueden mencionarse el cultivo en contorno, las terrazas y canales de desviación, las franjas de pasto, los cultivos en franjas y las barreras vivas o muertas. A diferencia de las prácticas culturales, que son distribuidas uniformemente, éstas se distribuyen en forma intermitente a lo largo de una pendiente.

Según Ellison (1952), se pueden categorizar cuatro *tipos de erosión hídrica* para aquellas producidas por el agua en forma de lluvia:

Erosión física o por salpique. Representa una forma de daño causado por la erosión, que no implica pérdida de suelo. El daño se manifiesta mediante el sellado del suelo, disminuyendo su capacidad de infiltración y el encostramiento, que impide un buen intercambio gaseoso y a veces limita la emergencia de los cultivos.

Erosión de fertilidad. Se manifiesta principalmente en suelos de texturas gruesas y pendientes moderadas, en los cuales ocurre un lavado selectivo de la materia orgánica, partículas finas y nutrientes, ocasionando un enriquecimiento en el sedimento de estas partículas. La calidad del sedimento rico en partículas de alta superficie específica responsable de almacenar los nutrimentos y agua para las plantas y que es removido en este tipo de erosión, supone una pérdida de la fertilidad del suelo que le dio origen.

Erosión laminar y en surquillos, en la cual los mecanismos de salpique y arrastre interactúan en diferentes combinaciones. El daño ocasionado es cualitativo y cuantitativo, ya que se refleja en una disminución más o menos homogénea del perfil del suelo y de su productividad. Ocurre donde el flujo superficial de agua producido cuando las lluvias exceden la capacidad de infiltración del suelo se distribuye de manera uniforme, a pesar de concentrarse en pequeños microcanales o surquillos, conocido como flujo hortoniano. Su efecto es acumulativo y, por tanto, su importancia es subvalorada por los usuarios de la tierra al no percibirse su ocurrencia ni sus efectos de manera inmediata.

Erosión en cárcavas. En este tipo de erosión el flujo de escorrentía se concentra en puntos del terreno, teniendo un efecto directo sobre la separación y el arrastre del suelo por donde circula dicho flujo. Es la más visible y, por tanto, la más fácilmente reconocida como síntoma característico de erosión. A veces se inicia en donde quedó una cicatriz producto de movimientos en masa o por efecto de pisoteo del ganado. A diferencia de cursos de agua estables, presentan mayor profundidad en relación con su anchura y forman parte de procesos de erosión acelerada en paisajes inestables. Es a

veces sobrevalorada por las características dramáticas y catastróficas que se observan cuando ésta ocurre en un paisaje. La evolución de una cárcava se ilustra en la figura III.10a. Las cárcavas pueden presentar una sección transversal en forma de U, si el material es homogéneo en profundidad en función de su susceptibilidad a la erosión, o en forma de V si el material en profundidad presenta mayor resistencia; una V escalonada reflejaría la presencia de más de dos materiales con diferentes comportamientos ante la erosión.

Existen tres tipos de mecanismos para que se desarrolle la cárcava:

- 1) La erosión por frotamiento o en canal. El flujo de agua concentrado junto con los materiales arrastrados ejercen un efecto abrasivo sobre el fondo y las paredes de la cárcava, ampliándola y profundizándola.
- 2) La erosión en cascada o regresiva. El material de la base en la cabecera de la cárcava es removido por efecto de la turbulencia del agua que cae, salpica y se arremolina contra el talud o escarpe, socavando por abrasión la parte inferior de la pared y dejando la parte alta saliente, la cual, finalmente, se desploma, iniciándose un nuevo ciclo. Es el mecanismo responsable del crecimiento de la cárcava en contra de la pendiente, por lo que se conoce como erosión regresiva. Puede ocurrir lateralmente si existen flujos adicionales de escorrentía concentrada, dándole un patrón de crecimiento de tipo dendrítico, paralelo o subparalelo.
- 3) Desmoronamiento o desplome. Los laterales socavados finalmente se caen debido al efecto de la gravedad sobre la masa de suelo inestable en los taludes o escarpes de borde y de cabecera. Esto también puede ocurrir cuando ocurre *erosión hipodérmica* o subsuperficial, también conocida como *sufusión*. En estos casos el material fino y disperso más erosionable migra conjuntamente con el flujo subterráneo, formando túneles de erosión, cuyas bóvedas al final se desploman por efecto de la gravedad (figura III.10b).

Erosión en cárcavas

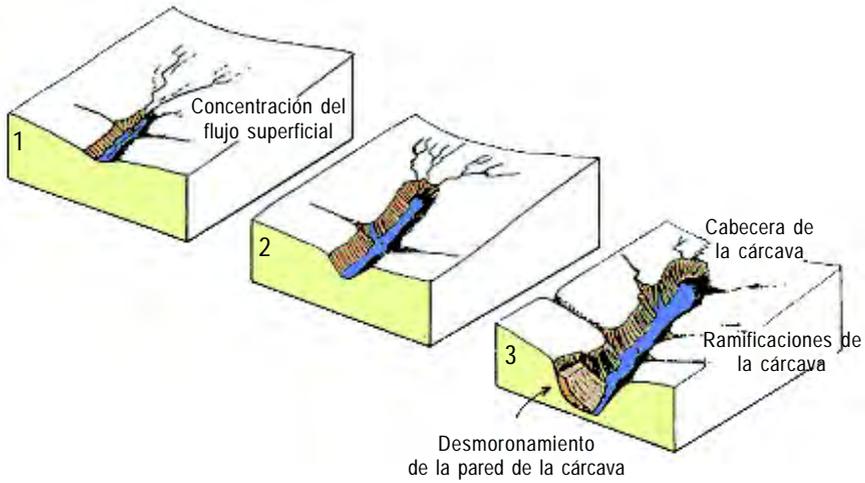


Figura III.10a. Evolución de una cárcava en el tiempo Ilustración de Herweg, en Bergsma et al. (1996).

Sufusión o erosión en túneles
y la consecuente erosión en cárcavas

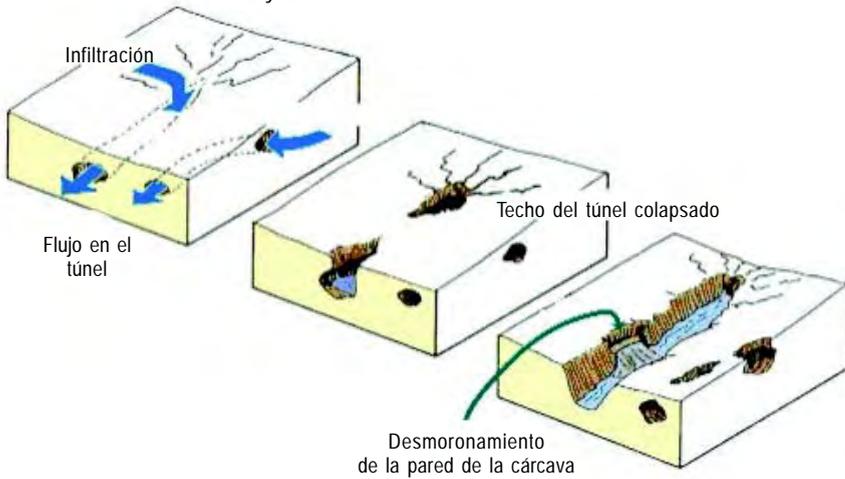


Figura III.10b. La sufusión o erosión hipodérmica como proceso inicial en la evolución de una cárcava y fases consecutivas. Ilustración de Herweg, en Bergsma et al. (1996).

Luego, el proceso continúa mediante el crecimiento de la cárcava por cabecera. Es muy típico en los valles de Quíbor en el estado Lara.

Los tipos de erosión previamente mencionados podemos agruparlos como fenómenos de carácter recurrente o frecuente, ya que forman parte de ciclos que se repiten año tras año, siendo las cárcavas un fenómeno más complejo que puede o no presentar un ajuste a períodos de recurrencia. Existen otros tipos de erosión de naturaleza poco frecuente y que se agrupan y denominan en su conjunto *erosión masal o movimientos en masa*. Generalmente, la actividad agrícola no se ve afectada por estos fenómenos, ya que éstos ocurren en tierras de calidad limitada para su cultivo, pero cuando ésta se practica en áreas susceptibles a este tipo de fenómenos puede convertirse en un factor acelerador de los mismos.

La estabilidad del suelo en una ladera en relación con el movimiento de masas, según Morgan (1997), puede evaluarse mediante un factor de seguridad (F), definido como la relación entre la resistencia al esfuerzo cortante total σ a lo largo de una superficie dada y la fuerza cortante desarrollada sobre una superficie γ , cuya expresión matemática es:

$$F = \sigma / \gamma$$

Cuando F es > 1 la pendiente es estable y si $F < 1$ la pendiente puede fallar. Las variables de resistencia y de fuerza cortante están relacionadas con la cohesión del suelo, la profundidad vertical del suelo sobre el plano de deslizamiento, la carga de agua sobre el plano de deslizamiento, el ángulo de la pendiente y el ángulo efectivo de la fricción interna del suelo. El valor de F se menciona como altamente sensible a los valores de cohesión del suelo y su profundidad.

Morgan (1997) sugiere que en estudios de erosión se consideren los distintos tipos de erosión en masa como un *continuum* de flujo que va desde deslizamientos de materiales con una relación de sólido a

líquido alta hasta flujos de barro y agua que tienen una relación de sólido a líquido menor. En estos fenómenos de naturaleza habitualmente catastrófica actúan las fuerzas de gravedad y el contenido de humedad de los materiales. Cuando éstos se saturan por efecto de lluvias extremas se facilita el movimiento del material al perder cohesión las partículas, pasando de un estado sólido a plástico y con un mayor contenido de agua al de un líquido viscoso y denso. El poder de arrastre en los denominados deslaves es mucho mayor, llegando a movilizar rocas de varios metros de espesor, troncos de árboles y grandes cantidades de sedimentos, lo que les confiere un potencial de destrucción inmenso. Cuando estos fenómenos ocurren en zonas pobladas o en su periferia, los daños materiales y la pérdida de vidas humanas son incalculables, como se ha manifestado en varias catástrofes en las zonas montañosas del país, pudiendo mencionar a Boconó, estado Trujillo; El Limón, estado Aragua; La Guaira, estado Vargas; y Santa Cruz de Mora, estado Mérida, por mencionar algunas de las más sobresalientes en los últimos treinta años.

Zinck (1986), al estudiar varios perfiles en una transecta que atraviesa una ladera al sur del Parque Nacional Henri Pittier en la serranía del litoral de la cordillera de la Costa en el estado Aragua, atribuye altos riesgos de movimientos en masa en estas laderas por efecto del bajo valor de índice de plasticidad de los materiales que los constituyen, ricos en limo, arenas finas y muy finas, pasando de estado sólido a líquido con relativamente poca cantidad de agua; anisotropía vertical de los valores de límites de consistencia relacionados con discontinuidad mecánica de la superficie de los horizontes maestros de un mismo perfil de suelo, los cuales conforman planos de debilidad expuestos a rupturas y deformaciones, mientras que los horizontes superficiales son susceptibles a coladas de barro y lupias de soliflucción. Deslizamientos en plancha pueden ocurrir en el plano de contacto con la alterita o entre alterita y el sustrato rocoso. En la zona correspondiente a la selva nublada propiamente dicha, donde las lluvias son más abundantes, existe un

mayor riesgo de movimientos en masa. El autor advierte que aun cuando estos fenómenos pueden ocurrir de forma natural ante eventos de lluvia extremos, también pueden verse estimulados si se hace una intervención desmedida de este tipo de ambientes, que elimine la cobertura boscosa, la cual juega un papel de protección y estabilización muy importante.

Estos fenómenos de movimientos en masa son también muy frecuentes en taludes de carreteras que adolecen de tratamientos adecuados, o se ven influenciados por asentamientos humanos que no han sido dotados de adecuadas obras de drenaje de aguas de escorrentía ni de aguas servidas. Esto pone en peligro las vidas humanas de quienes allí viven y la vida útil de las obras de infraestructura aledañas, ya que estas aguas percolan hacia capas profundas y saturan los materiales geológicos en profundidad, disminuyendo el factor de seguridad de la ladera y aumentando las posibilidades de fallas en su estabilidad, que desencadenan la ocurrencia de los movimientos en masa. En estos casos no se requiere de lluvias extremas para que ocurran los deslizamientos, ya que las aguas servidas y la escorrentía de las áreas impermeabilizadas por las construcciones contribuyen directamente a saturar los materiales inestables. Un caso extremo, posiblemente acelerado por la existencia de barrios en su cercanía, es el que causó la caída del viaducto en la autopista Caracas-La Guaira por desplazamiento del cerro en las bases del mismo a principios del año 2006.

III.5 IMPACTOS DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA PRODUCTIVIDAD Y EL AMBIENTE

Las relaciones entre erosión y productividad tienen un carácter complejo debido a los múltiples factores que la afectan, como diversas cualidades de los suelos, el clima, el cultivo de referencia, el nivel de manejo y otros factores de orden socioeconómico, que interactúan de manera muy dinámica y hacen difícil interpretar las relaciones causa-efecto que puedan estar presentes.

La pérdida de productividad de los suelos causada por la erosión se explica por una pérdida de la capacidad de almacenamiento de agua, pérdida de nutrientes, degradación de la estructura del suelo y una menor uniformidad de las condiciones del suelo en los campos de cultivo.

El suelo superficial, o la llamada capa arable, es generalmente el más adecuado para el crecimiento de las raíces de las plantas, salvo en casos atípicos de horizontes enterrados de mejor calidad. En éste se concentran mayormente los nutrientes, la materia orgánica y los microorganismos del suelo y es el primero en ser removido por la erosión, por lo que la caída de los rendimientos es más pronunciada al perderse los primeros centímetros de suelo y posteriormente tiende a estabilizarse en el tiempo.

Estudios realizados en los llanos altos centrales determinaron el efecto detrimental de la erosión en la productividad mediante la medición del rendimiento en siembras comerciales de sorgo y el análisis de su relación con la profundidad al horizonte argílico y con las características y propiedades del horizonte superficial, encontrando una relación de tipo potencial que explicó el 62% de los rendimientos en función de la profundidad al argílico. Otras variables como la porosidad, la conductividad hidráulica, la distribución del tamaño de partículas y la densidad aparente contribuyeron mayormente en explicar los rendimientos. En ensayos en bandeja encontraron que al exponer el horizonte argílico a la superficie se incrementan los niveles de escorrentía, lo cual afectaría el balance hídrico de suelos severamente erosionados donde aflora dicho horizonte, encontrando experimentalmente rendimientos más bajos para el sorgo que crece sobre dicho material (Castillo y Páez, 1989).

Fernández y Arismendi (1994) evaluaron el efecto de remoción del suelo utilizando sustrato superficial a tres niveles de profundidad, 10, 20 y 30 cm, y como cultivo indicador la remolacha y aplicando estiércol de gallinaza y la pulpa de café en diversas dosis desde 0 hasta 15 Mg/ha. El ensayo se realizó en macetas y se ubicó

en la zona hortícola de la zona montañosa de la cordillera Central, específicamente en la Estación Experimental Bajo Seco de la UCV, obteniendo el sustrato de las capas superficiales de un suelo clasificado como Aquic Paleudult. El efecto más marcado sobre los rendimientos de raíz fresca se encontró en el testigo sin aplicaciones de estiércol, mientras que en los tratamientos con enmiendas de gallinaza y pulpa de café el efecto fue menor. En promedio, para todos los tratamientos los rendimientos decrecieron en 28,8% y 31,3% para los sustratos provenientes de niveles de remoción a 20 y 30 cm de profundidad. Las enmiendas aplicadas tuvieron un efecto mejorador de la fertilidad física y química de los sustratos, compensando en parte la disminución de los rendimientos por efecto de la remoción del suelo superficial, pero los mejores rendimientos relativos se obtuvieron en el suelo sin remoción.

Mediante remoción artificial del suelo superficial (0,50 y 100%) en un alfisol de la faja maicera del estado Yaracuy, cultivado con maíz bajo diferentes sistemas de manejo, Flores (1994) encontró que los rendimientos decrecen en 6% para 50% de remoción y 30% para 100% de remoción de la capa arable, ocurriendo cambios negativos en las propiedades físicas y químicas del suelo. Las raíces del cultivo alcanzaron mayores profundidades en el suelo sin remoción. Las diferentes enmiendas aplicadas no generaron cambios significativos en las propiedades de los suelos aunque la aplicación de cachaza mostró algunos efectos positivos interesantes.

Estudios realizados con cultivo de maíz por Lal (1985), en Nigeria, bajo dos niveles de fertilización y remoción del suelo superficial a 0, 10 y 20 cm de profundidad, demostraron que aun en condiciones de manejo adecuadas y un buen programa de fertilización, las pérdidas de suelo no siempre son compensadas con los insumos aplicados.

La profundidad enraizable de un suelo y las características de los horizontes que se relacionan con el desarrollo de las raíces, refleja su potencial productivo al haber una relación estrecha entre la

profundidad de enraizamiento potencial y su productividad. Esta profundidad puede determinarse de forma directa en campo mediante análisis de densidad de raíces en un corte del perfil, trinchera o calicata, usando un cultivo anual de referencia en estado de madurez. La densidad de raíces puede variar entre 10-100 por dm^2 y se aceptan valores de 25 como adecuados. En forma indirecta, se definen limitaciones a la profundidad enraizable, que Grossman y Berdanier (1982) agrupan en físicas no taxonómicas (consistencia, densidad aparente y conductividad hidráulica), físicas taxonómicas (presencia de horizontes pedogenéticos, contactos líticos y paralíticos y fuertes contrastes texturales entre horizontes) y químicas no taxonómicas (calcio extractable, calcio extractable en relación con la suma de bases y el aluminio extractable), estableciendo valores umbrales en cada caso.

Dada la complejidad, altos costos y la falta de precisión y continuidad en el tiempo en los estudios de erosión en campo, se ha recurrido a índices y modelos de simulación para evaluar los efectos de largo plazo de la erosión en la productividad.

El índice de productividad IP desarrollado a finales de los años setenta y principios de los ochenta en EE UU, y modificado posteriormente por Pierce et al. (1983), se basa en el grado de suficiencia de varias cualidades del suelo o ambiente que éste ofrece para el desarrollo de las raíces como lo son: la suficiencia de agua aprovechable, la suficiencia de densidad aparente, la suficiencia de pH y un factor de ponderación que atribuye una importancia relativa a cada horizonte. La aplicación del IP en diferentes suelos a diferentes grados de remoción del perfil permite desarrollar curvas de vulnerabilidad a la erosión, las cuales reflejan cómo aquellos suelos homogéneos en profundidad son menos susceptibles a disminuir su capacidad productiva al ser sometidos a un nivel de erosión dado, en comparación con suelos que presentan horizontes restrictivos, cuya productividad declina más fácilmente (ver figura III.11).

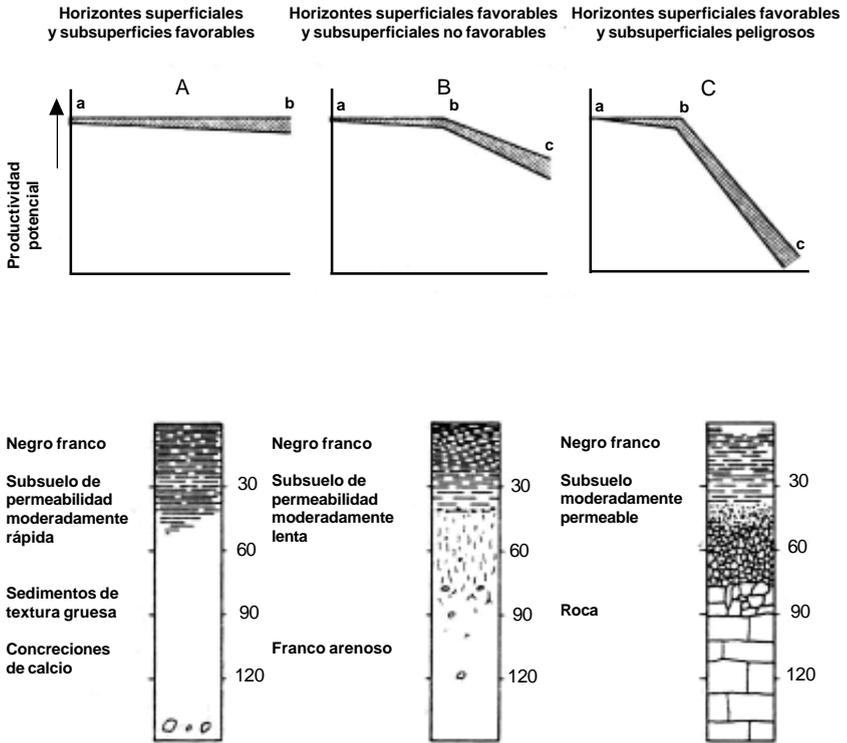


Figura III.11. Evolución del índice de productividad IP en tres suelos con diferentes condiciones en los horizontes subsuperficiales (Pierce y col., 1983).

Risjberman y Wolman (1985) modifican el IP, incluyendo parámetros importantes en suelos tropicales como el contenido de grava, la resistencia a la penetración y el contenido de materia orgánica. Aplicando el índice encuentran un menor impacto de la erosión en suelos oxisoles y vertisoles en relación con un alfisol, cuya vulnerabilidad es originada por su poca profundidad efectiva. Estas diferencias son de gran importancia a la hora de establecer programas de conservación de suelos en zonas tropicales, ya que estas diferencias implican requerimientos de manejo y conservación diferentes para cada suelo.

En Venezuela, Delgado y López (1995) adaptan el IP y lo validan para las condiciones de los Andes venezolanos trabajando con el cultivo de caraota. Concluyen que: a) la productividad decrece con la pérdida de suelo, aun si se aplican prácticas de manejo para contrarrestar dicho efecto; b) existe una buena correlación entre variables edáficas y productividad del suelo, relación que varía en función del clima, el cultivo y el manejo; y c) los resultados obtenidos estimulan la utilización del modelo IP para evaluaciones preliminares del impacto que la pérdida del suelo pudiera ocasionar sobre la productividad de estos suelos de las montañas andinas, cuando no se dispone de un buen cúmulo de información para evaluar las relaciones erosión-productividad.

Los impactos de la erosión no sólo se reflejan en la productividad de los cultivos, efecto local del proceso erosivo, sino que también afectan el ambiente de diversos modos, por los daños que causa a distancias remotas diferentes del sitio donde se generó el proceso erosivo. El mayor efecto fuera de sitio es en la calidad de las aguas, que se ven afectadas por la contaminación causada por los sedimentos y su efecto al reducir la capacidad de almacenamiento de los reservorios de agua, la capacidad de conducción de las aguas en los canales de drenaje de obras de infraestructura y cauces naturales, el deterioro de los ecosistemas acuáticos y la contaminación producida por los agroquímicos que son incorporados en los sistemas acuáticos. La erosión eólica también causa contaminación en la atmósfera, generando discomfort en animales y seres humanos, problemas de salud en las vías respiratorias y disminución de la visibilidad.

Los sedimentos representan el principal agente contaminante de las aguas en volumen. Los requerimientos de dragado en cuencas fluviales son muy altos y la capacidad de dragado es generalmente menor que la tasa de sedimentación.

La erosión tiene también un impacto económico al incrementarse los costos de los insumos y operaciones agrícolas para mantener

niveles de productividad adecuados. Por otro lado, la reducción en los rendimientos implica una reducción en los ingresos derivados de la venta de las cosechas. De esta manera, se reducen los márgenes de ganancia en las explotaciones agropecuarias.

En la figura III.12 se muestra el doble efecto económico (disminución de ingresos brutos y aumento de costos) de la degradación del suelo por efecto de la compactación, proceso asociado a la erosión del suelo, ya que la promueve al disminuir la infiltración del agua en el perfil del suelo.

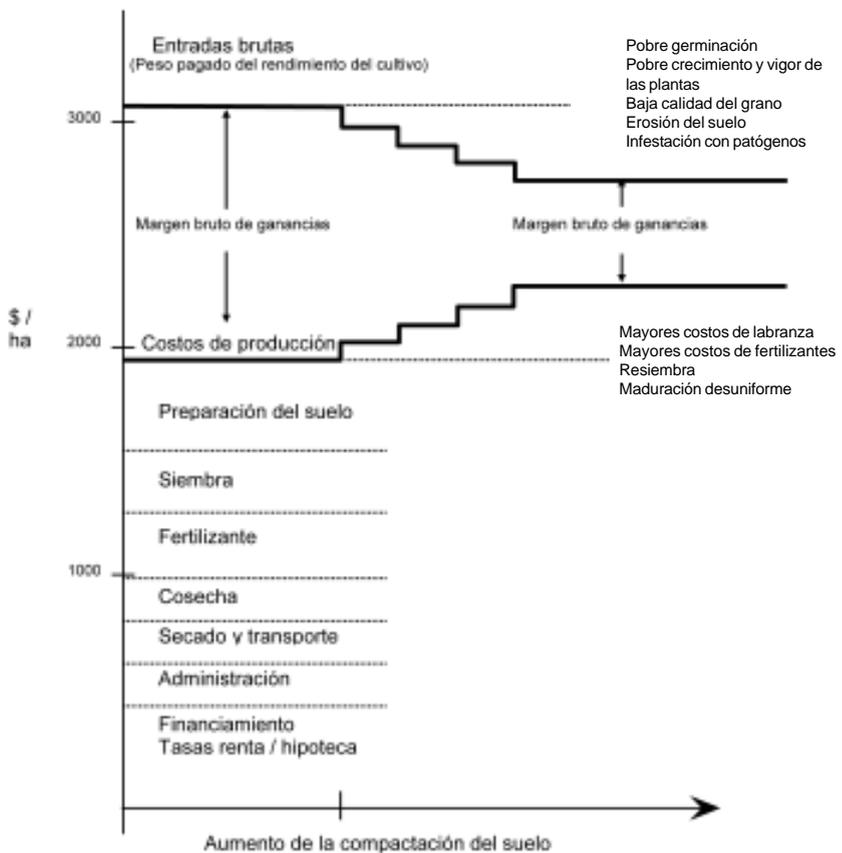


Figura III.12. Efectos de la compactación del suelo sobre los márgenes brutos bajo cultivos continuos (Shepherd, 1992, citado por Sazón, 2001).

El impacto social y cultural de la erosión es también muy marcado. Los pequeños agricultores se ven obligados a usar sus suelos intensivamente para obtener unos ingresos acordes con sus necesidades, pero al sobreexplotar el recurso debido a su escasez o a la falta de medios técnicos, éste se degrada y se generan cada vez menores ingresos, promoviendo la pobreza y la marginalidad de las familias campesinas. Éstas muchas veces se ven obligadas a abandonar sus campos de cultivo por improductivos y migrar hacia otras regiones, expandiendo la frontera agrícola, desarraigándolos de su cultura y, en el peor de los casos, incorporándolos a los cinturones de miseria en las ciudades. Por no tener acceso a tierras de buena calidad, éstos se asientan en áreas con riesgos altos de erosión y otras limitaciones, facilitando un nuevo reinicio del ciclo. Esto genera un círculo vicioso que afecta a dichas poblaciones, pero que también tiene consecuencias en otros sectores (ver figura III-13).

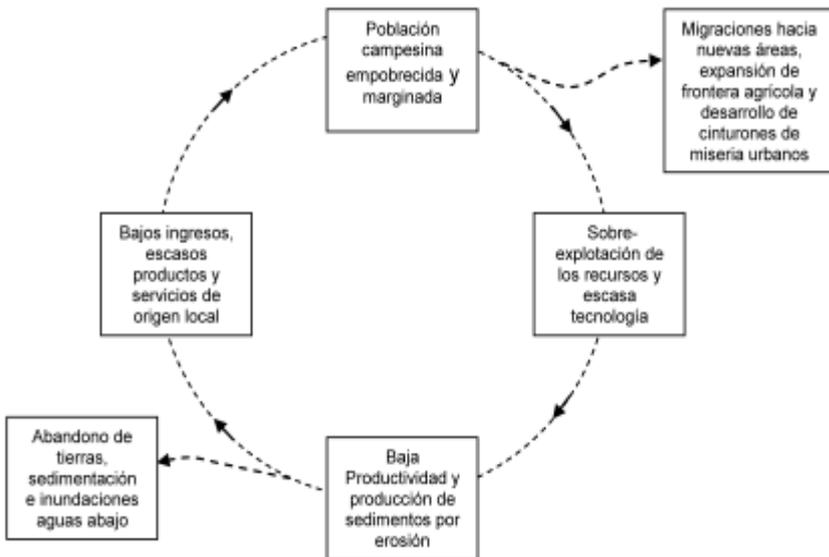


Figura III.13. Ciclo de pobreza y marginalidad inducida por la degradación de tierras. Impacto social y cultural de la erosión y otros procesos de degradación del suelo, el agua y los recursos asociados.

La expansión de la frontera agrícola implica la intervención de ecosistemas naturales con la pérdida de hábitats y disminución de la biodiversidad. La erosión tiene efectos a distancia que afectan los cuerpos de agua, obras de infraestructura, los ecosistemas acuáticos y aumentan el riesgo de inundaciones.

Los medianos y grandes agricultores también pueden generar daños similares y aun peores a los ocasionados por pequeños agricultores, pero éstos cuentan con recursos financieros para afrontar algunos de los daños ocasionados por sus explotaciones, haciendo uso de tecnología como el riego, la fertilización y el uso de otras enmiendas. Además, tienen acceso a tierras de mejor calidad y menores riesgos de degradación. Esta situación es quizás aplicable a los productores de papa, ajo y otras hortalizas en las zonas montañosas de Venezuela, así como a la ganadería extensiva en tierras marginales de ladera.

Aunque el análisis previo es muy somero y generalizado, subraya la importancia social y cultural de los impactos de la degradación de tierras en general, y de la erosión en particular, en las comunidades menos favorecidas y la obligación de intervenir con medios técnicos y financieros para asistirles en sus necesidades.

III.6 CALIDAD DEL SUELO, ÍNDICES E INDICADORES

La evaluación de la calidad del suelo, más que una metodología, se corresponde con un enfoque para hacerle seguimiento y pronosticar las tendencias sobre la degradación o mejoramiento en una o más unidades de tierra de acuerdo con diferentes escenarios de uso y manejo que se estén aplicando. La complejidad de los sistemas a evaluar y los múltiples atributos y procesos involucrados hacen de este enfoque una herramienta invaluable para desarrollar medidas y técnicas de conservación que sean apropiadas para detener o mitigar procesos de degradación y mejorar las condiciones que propicien una mejor calidad del ambiente, que contribuyan a la sostenibilidad de los sistemas de uso de la tierra.

La calidad del suelo se define como la capacidad de un suelo para la producción sostenida de plantas y animales, con un manejo sustentable y sin deterioro del ambiente (Parr et al., 1992; Karlen et al., 1997). En un sentido más amplio, se conceptualiza como la capacidad que tiene un suelo para cumplir con sus funciones relevantes en un ecosistema determinado (natural o intervenido) e interactuar positivamente con el ambiente externo del mismo.

Las funciones básicas del suelo incluyen: a) Suministrar un medio adecuado para el crecimiento de las plantas; b) Proporcionar las condiciones físicas, químicas y biológicas requeridas para la productividad, diversidad y actividad biológica sustentable; c) Regular el flujo de agua y la disponibilidad de nutrientes en el ecosistema; d) Comportarse como un filtro ambiental efectivo; y e) Proveer soportes para las estructuras socioeconómicas, así como para proteger los tesoros arqueológicos asociados con la vida humana (Larson y Pierce, 1994; Karlen et al., 1997).

La habilidad del suelo para cumplir con las funciones básicas, es decir, su calidad, depende de muchos procesos que ocurren debido a la interacción de los componentes físicos, químicos y biológicos de éstos. La calidad es variable en el tiempo y puede deteriorarse, mantenerse o mejorarse como una resultante de las interacciones de los componentes del suelo y del uso y manejo al que esté siendo sometido.

La calidad del suelo se puede medir por los cambios que suceden en sus atributos físicos, químicos y biológicos, a los cuales denominamos indicadores de calidad del suelo. Los atributos visuales y de evaluación directa en campo, como apariencia, textura al tacto, consistencia, cambios de color, aguas estancadas, malezas presentes, entre otros, pueden ser útiles para agricultores y técnicos de campo por ser repetibles, de fácil ejecución e interpretación, de bajo costo y respuesta inmediata (Shepherd, 2000). Los indicadores seleccionados deben ser relevantes a las funciones que se tengan como referencia, tales como producción agrícola, filtro biológico,

regulador del ciclo hidrológico, entre otras. Los indicadores seleccionados servirán para evaluar la calidad del suelo y valorar las tendencias de evolución para varios escenarios.

Para que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo sean consideradas indicadores de calidad deben cubrir las siguientes condiciones (Doran y Parkin, 1994):

a) Describir los procesos del ecosistema; b) integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; c) reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir; d) ser sensitivas a variaciones de clima y manejo; e) ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo; f) ser reproducibles; g) ser fáciles de entender; h) ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica; i) y, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente.

Larson y Pierce (1994) desarrollan un índice de calidad del suelo (*ICS*) que en forma agregada expresa la contribución colectiva de varios atributos individuales (*qi*), en los cuales es importante considerar los cambios ocasionados en determinado período de tiempo (*t*), desde su inicio (*to*), según la expresión:

$$ICS = dQ = f[(qit - qito) / qito + \dots (qnt - qnto) / qnto]$$

Donde *i* se refiere a los atributos del suelo y *t* al tiempo de cambio. Valores positivos de *dQ* revelan mejoramiento de la calidad del suelo; negativos, deterioro de su calidad, mientras que valores iguales o cercanos a cero, equilibrio.

Florentino (2004) desarrolló una metodología para obtener un índice de degradación y de calidad del suelo, según la expresión:

$$(ID) = \Sigma (V_i / V_{max}) / \text{Número de variables}$$

donde:

$$ID = \text{Índice de degradación}$$

V_i = Valor de la clase para la variable i ($V_{\text{mínimo}} = 1; V_{\text{máximo}} = 5$)

El $ICS = 1/ID$

donde ICS = Índice de calidad del suelo

En la medida en que el índice de degradación se aproxima a 0,2 la intensidad de la degradación es muy baja y en ese caso los valores de calidad del suelo se aproximan a 5 con una calidad muy alta, es decir, la condición más óptima en que el sistema suelo contribuye a la sostenibilidad del uso de la tierra.

Obsérvese que lo que se muestran son fórmulas genéricas para los índices, pero los indicadores no son preseleccionados, ya que éstos deben escogerse localmente y según los objetivos de la investigación. Para ello se utilizan herramientas estadísticas como análisis de correlación y regresión, análisis multivariado, análisis de componentes principales y en algunos casos siguiendo criterios de expertos y que, según su opinión, reflejen valores críticos para una o varias funciones del suelo para los que la calidad del suelo es sensible.

Herweg et al. (1998) describe una metodología para la selección de indicadores que puede resumirse como sigue: a) De cuál información se dispone y cuál es el propósito de seleccionar el indicador. b) Definir y formular las hipótesis que se espera cumplir con el diseño del manejo de la tierra, de tal manera de seleccionar los indicadores apropiados para medir el impacto previsto. c) Se seleccionan los indicadores, los cuales deben ser prácticos, medibles y relevantes. d) Establecer las metodologías apropiadas para el seguimiento de algunas variables seleccionadas como indicadores. e) Analizar los datos para constatar si los indicadores seleccionados permiten establecer el efecto de las prácticas de manejo sobre la calidad del suelo del sistema en estudio.

La calidad del suelo, como hemos mencionado, contribuye en cierta medida a la sostenibilidad de un sistema de uso de la tierra en su dimensión ecológica, así como también debe contribuir a la calidad del agua, la biodiversidad y otros componentes del ecosistema.

La sostenibilidad es mucho más compleja, ya que ésta debe ser el producto de varias dimensiones: la dimensión ecológica, la dimensión económica y la dimensión social.

III.7 ALGUNOS MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Medición de los cambios de nivel en el terreno. Para ello se pueden utilizar estacas de metal o madera de poco diámetro, de manera de no interferir con el flujo superficial. Las franjas de pintura en elementos no transportables, como rocas de tamaño medio a grande o raíces de árboles, pueden servir también de nivel de referencia. También, se han utilizado chapas de botellas y los pedestales formados directamente en terrenos protegidos por la pedregosidad superficial. Este método se utiliza en sitios localizados y en casos en los cuales la tasa de erosión es alta y la localización de la erosión es predecible, como en caminerías de ganado o en tierras deforestadas en altas pendientes. No se recomienda en tierras de cultivo sujetas a mecanización, ya que la superficie es afectada por el manejo del cultivo. Las lecturas pueden interpretarse en una, dos o tres dimensiones, desde la lámina perdida en profundidad hasta el cambio en el perfil o el volumen, en el caso de surcos y cárcavas (Hudson, 1993).

Copas de salpicadura. Utilizadas para evaluar el salpique como mecanismo de separación de partículas y agregados del suelo. Son recipientes circulares de 5 a 10 cm de diámetro y 5 cm de profundidad. Su pequeño tamaño se debe a que el material salpicado debe salirse del recipiente. Sirven para evaluar capacidad de separación de la lluvia, la susceptibilidad a la separación de los suelos o separabilidad, y el factor de separación o eficiencia de tratamientos o condiciones de cobertura, acondicionadores, tamaño de agregados, entre otros. Pueden utilizarse bajo condiciones de lluvia natural o simulada (CCSA, 2001).

Bandejas de erosión. Se utilizan generalmente bajo condiciones de lluvia simulada, aun cuando pueden establecerse bajo condiciones de lluvia natural y sirven para evaluar el efecto de diversos

factores o condiciones sobre los procesos de erosión y de la relación infiltración/escorrentía, así como establecer la eficiencia relativa de tratamientos. Sus dimensiones pequeñas la hacen una buena herramienta para evaluar la erosión entre surcos. Para la erosión en surcos se requieren longitudes de, al menos, cinco metros y de simuladores de lluvia grandes que sólo poseen laboratorios de erosión especializados y con recursos abundantes (CCSA, 2001).

Parcelas de erosión o parcelas de escorrentía. Las parcelas de erosión consisten en lotes de terrenos delimitados de tal forma que evitan la entrada y salida de agua de escurrimiento superficial (ver figura III.14). Las aguas de escorrentía y los sedimentos se conducen a través de un sistema de medición y recolección aguas abajo de la parcela. El sistema colector debe ser capaz de subdividir la muestra, de manera de disminuir el volumen del material colectado. Existen infinidad de diseños para lograr este cometido y va a depender de los recursos y condiciones locales del estudio. La dimensión

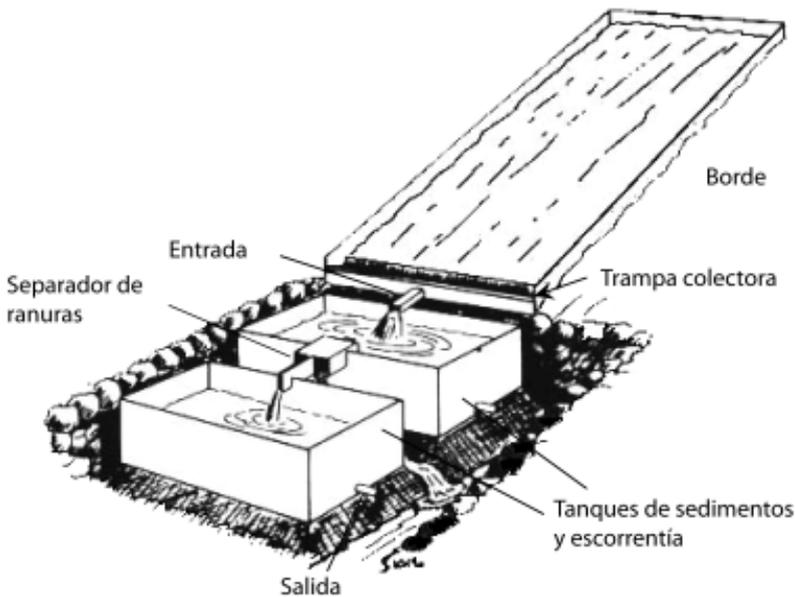


Figura III.14. Parcela de erosión y sistema colector-separador de la muestra. Ilustración de Herweg, en Bergsma et al. (1996).

utilizada por el Servicio de Conservación de Suelos en Estados Unidos para las parcelas de campo es de 22 m de longitud y 2 m de ancho o más, dependiendo del cultivo y manejo evaluado. Aunque la parcela estándar se considera de 9% de pendiente, ésta puede variar según la localidad donde se establezca. La longitud mínima para que se manifieste el fenómeno de erosión en surcos es de 5 m (Foster, 2005), por lo que parcelas de menor tamaño están midiendo, principalmente, la erosión entre surcos. En general, las mediciones se realizan para condiciones de lluvia natural. Las parcelas de erosión son costosas de mantener, requieren de personal permanente y los datos obtenidos deben provenir de una serie de años suficientemente larga. Por otro lado, la variabilidad de los suelos requiere de un diseño que controle dicha variación y podría requerir de un número mayor de parcelas. El sistema colector debe ser capaz de coleccionar eficientemente las muestras, especialmente en eventos extremos, que son los que producen mayor cantidad de erosión.

Los estudios en parcelas de erosión son particularmente útiles para comparar tratamientos y apreciar el efecto relativo de éstos sobre la escorrentía y la erosión. También, han sido ampliamente utilizados para efectos demostrativos para enseñar a los agricultores y gestores de tierras las bondades de determinadas prácticas. El uso de este tipo de parcelas ha sido particularmente útil en el desarrollo de modelos de erosión, con las salvedades ya mencionadas de requerirse un conjunto de datos muy amplio y confiable, como lo fue para el desarrollo de la EUPS o USLE en el este de Estados Unidos durante los años cincuenta y principios de los sesenta (Hudson, 1993). En algunos casos el sistema colector consiste en lagunas de sedimentación recubiertas con plástico, en las cuales todo el material transportado es atrapado en las mismas sin subdividir la muestra. Este sistema ha sido utilizado por Sombatpanit et al. (2002) en Tailandia.

Microcuencas. Son similares a las parcelas de erosión pero de dimensiones mucho mayores de hasta 2 o 3 hectáreas. Requieren para

su aplicación de una instrumentación más exigente, con un sistema de medición de escurrimiento y colector de muestras apropiado a las dimensiones de la misma. Tiene la ventaja de integrar la variabilidad del paisaje y de un sistema de uso de la tierra.

Cuencas. Es la escala de evaluación de mayor extensión y sirve para hacer seguimiento o diagnosticar una cuenca al colocar una o más estaciones de aforo en sitios estratégicos. En ellos se coloca un vertedero calibrado para tal fin, y la instrumentación requerida para conocer las variables climáticas e hidrológicas que reflejen el comportamiento de la cuenca, siendo la variable de mayor interés el gasto a través del tiempo, medido en unidades de volumen/tiempo (gasto medio, estiaje y picos de crecida), así como concentración de sedimentos y otros elementos asociados. Este tipo de estudios tiene la posibilidad de incluir el efecto de sedimentación en partes intermedias de la cuenca, aspecto que no puede ser evaluado en pequeñas parcelas de campo.

Simuladores de lluvia. Los simuladores surgen ante la necesidad de poder controlar condiciones experimentales debido a la poca confiabilidad e incertidumbre asociada a las lluvias naturales. Las lluvias simuladas permiten controlar el lugar y el momento de un evento lluvioso con unas determinadas características, hacer observaciones directas y realizar las réplicas necesarias en un determinado estudio. Esto acelera la consecución de resultados para distintas condiciones experimentales. El factor limitante principal, generalmente, se refiere a la escala de trabajo, debido al tamaño reducido de las parcelas, aunque existen simuladores de grandes proporciones en cuyo caso la limitante sería la disponibilidad de recursos por su alto costo de construcción y operación. La extrapolación de los resultados es limitada, ya que los resultados obtenidos son de carácter relativo y por la diversidad de métodos de simulación. A pesar de las desventajas inherentes, las numerosas ventajas que presentan los simuladores los hacen una herramienta de suma utilidad en estudios de erosión (Rodríguez y Rodríguez, 1989).

Blanquies et al. (2003) resumen los criterios que, según diversos autores, deben tomarse en cuenta para el diseño de un simulador de lluvia como son: distribución de tamaño de gotas y velocidad de impacto similar al de una lluvia natural, distribución uniforme de la intensidad y distribución aleatoria del tamaño de gotas, distribución uniforme de la lluvia sobre la parcela experimental, reproducibilidad de los patrones de lluvia, entre otros.

Existen dos tipos principales de simuladores de lluvia: A) Los de *tipo gotero*, que se usan principalmente en estudios de laboratorio e invernadero, en los cuales las características de la lluvia generada van a depender del diámetro de gotas producidas y la altura de caída de éstas, lo cual determina la energía de impacto de la misma. La menor energía debido a poca altura es compensada por mayores diámetros de gota y mayores intensidades. B) Los de *tipo boquilla* en dos modalidades, bajo condiciones de gravedad y presurizados. Estos últimos son los más recomendables y ventajosos a ser utilizados bajo condiciones de campo. En Venezuela, Rodríguez y Rodríguez (1989) adaptaron un simulador tipo boquilla para estudios en conservación de suelos con resultados satisfactorios y de utilidad en varios estudios realizados en el país. Los simuladores tipo boquilla presentan la característica de tener altas descargas por boquilla por lo que la misma debe ser segmentada mediante oscilación de las boquillas, o mecanismos como discos rotatorios con aperturas que retornan parte de la descarga para mantener las intensidades en rangos similares a los de la lluvia natural. Estos simuladores presentan una distribución de tamaño de gotas que asemejan mejor una lluvia natural y la reproducibilidad de una lluvia tipo es más fácil de obtener, ya que la calibración es menos engorrosa que con los simuladores tipo gotero. Un simulador de este tipo se presenta en la figura III.15.

Los modelos de simulación. Son hoy por hoy una herramienta disponible para realizar evaluaciones que nos permiten estimar, para un escenario determinado (definido inicialmente por el conjunto de variables de entrada), la respuesta a un determinado uso y manejo

DEGRADACIÓN DE TIERRAS

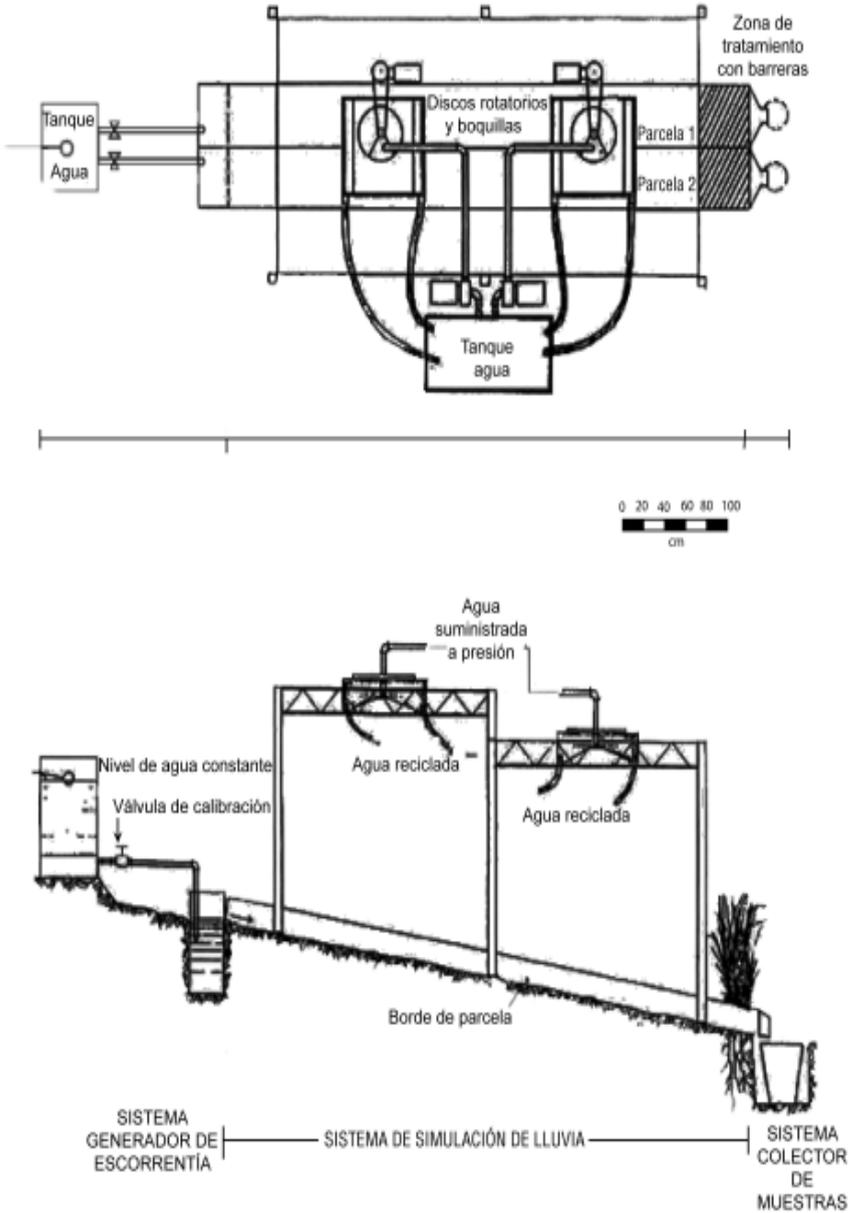


Figura III.15. Vista superior (arriba) y lateral (abajo) de un simulador de lluvia tipo boquilla, utilizado para evaluar en condiciones de campo la eficiencia de barreras vivas en controlar la erosión (Rodríguez, 1997).

de la tierra bajo condiciones climáticas particulares (variables de salida) con un grado aceptable de confiabilidad, según la información suministrada sea de calidad y el modelo cumpla con los requisitos necesarios para modelar una determinada situación. Pueden ser muy útiles para obtener una información rápida y un número muy variado de escenarios. Sin embargo, éstos no sustituyen la información de campo y deben ser debidamente calibrados/validados y valorados sus resultados por investigadores y técnicos con experiencia en el campo de aplicación. En otro capítulo se discutirá brevemente las bondades de los principales modelos de simulación hidrológica y de erosión mayormente utilizados en conservación de suelos y agua (Silva, 1995; 2000).

Técnicas radiactivas. Las técnicas radiométricas permiten la medida del movimiento del suelo mediante radioisótopos trazadores. El cesio 137 es un método de base física que por su distribución a nivel mundial y su asociación estrecha con las partículas de suelo con las que se transporta por procesos físicos, permite la medida de la erosión, en ambientes muy diversos, tras la comparación de los inventarios de referencia con las radiactividades en el lugar de estudio. Tras la calibración de las medidas de cesio 137 mediante distintos modelos matemáticos, se obtienen las tasas de erosión, que permiten estimar la magnitud del proceso erosivo en diversos ambientes edáficos y climáticos. También, es posible evaluar los efectos que sobre la pérdida de suelo tienen diversos factores, tales como su uso y manejo, factores fisiográficos y el ambiente edáfico. Estas técnicas deben ser llevadas a cabo por personal especializado en la manipulación de material radiactivo (Navas et al., 2005).

IV. EUPS. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO Y SUS DERIVACIONES. MODELOS DE SIMULACIÓN AGROAMBIENTAL

La necesidad de una herramienta para predecir las pérdidas de suelo es imperativa en diversas situaciones, ya que se requiere disponer de ésta para colmar expectativas de diversa índole, que se resumen a continuación:

- En la selección de prácticas de conservación que controlen la erosión y satisfagan las necesidades del agricultor y otros usuarios, evitando el despilfarro originado por el sobrediseño; y/o evitando los daños por la ineficacia, cuando se realizan prácticas que son insuficientes para solventar los problemas ocasionados por la erosión hídrica. Estos aspectos se enmarcan dentro de la planificación del uso y manejo de la tierra al nivel de parcelas (planificación táctica).
- En la implementación de políticas agrícolas y ambientales.
- En la transferencia de tecnología.
- En el desarrollo de inventarios regionales y nacionales para evaluar la erosión y sus impactos. Tal es el caso de actividades de ordenación del territorio (planificación estratégica), y en los estudios de impacto ambiental, como son aquellos que analizan la distribución y extensión de fuentes no puntuales de contaminantes y la evaluación de la sedimentación de embalses.
- En la investigación, asistiendo en el diseño de tratamientos, selección de sitios de ensayo y evaluación de resultados.

La ecuación de pérdidas de suelo, EUPS o USLE por sus siglas en inglés, es una herramienta ampliamente conocida, que ha sido utilizada para la estimación de pérdidas de suelo por erosión en una gran diversidad de condiciones a nivel mundial. Su relativa sencillez y adaptabilidad la convirtieron en un “caballo de batalla” en tareas de investigación y desarrollo en la conservación de suelos y agua en las últimas décadas del siglo XX, tanto en la valoración y diagnóstico de los riesgos de erosión como en el diseño y selección de medidas de control efectivas y eficientes. Su vigencia se justifica, en determinadas situaciones, gracias a esas virtudes, y su estudio es un punto de referencia para la comprensión de la evolución de las técnicas de predicción de la erosión hídrica y de los factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica laminar y en surquillos. Su uso fuera del contexto de aplicación para el cual fue desarrollada, sin el conocimiento local suficiente, o en manos inexpertas, le ha generado en algunos casos a esta útil herramienta una mal infundada valoración negativa. Nuevos conceptos y herramientas han surgido en los últimos años, pero desde el punto de vista práctico, la EUPS sigue siendo una herramienta fundamental en la conservación de suelos y agua, mientras no se cuente con los recursos materiales y humanos requeridos en la aplicación de las nuevas tecnologías o no se justifiquen los costos que éstas impliquen.

IV.1 ANTECEDENTES E HISTORIA

Baver (1938), referido por Laflen y Moldenhauer (2003), hace mención a los estudios en parcelas de erosión realizados por Wollney en Alemania, cuyos inicios se remontan al año 1874, y a Miller, en la Universidad de Missouri, en Estados Unidos, en 1917. Los mismos autores describen la oportuna situación histórica que se presentó en mayo de 1934, mediante la decidida intervención de H.H. Benett, fundador del Servicio de Conservación de Suelos, ante el Congreso de Estados Unidos, que coincidió con una tormenta de polvo proveniente de las llanuras del oeste en dirección al Atlántico y que oscureció temporalmente a la ciudad de Washington.

Como consecuencia, fue reconocida públicamente la importancia de la conservación de suelos para el bienestar de la sociedad mediante leyes que comprometieron al Gobierno norteamericano, asegurándose el apoyo necesario y la asignación de recursos para la investigación y el desarrollo tecnológico. Durante los años treinta se establecieron diez estaciones experimentales que representaban grandes regiones naturales de Norteamérica, en las cuales se establecieron parcelas de erosión cuyas dimensiones más comunes representaban el 1% de un acre (72,6 pies de largo x 6 pies de ancho). Esta iniciativa, más otras que se agregaron posteriormente, dieron lugar a una base de datos de investigación en diferentes condiciones de clima, suelo y topografía, así como de uso y manejo de la tierra, incluso mediante la utilización de simuladores de lluvia, poniendo a disposición información utilizada por muchos investigadores en el desarrollo de ecuaciones empíricas para la predicción de la erosión.

Zingg, en 1940, publicó la primera ecuación para calcular pérdidas de suelo de un lote de terreno. Ésta representaba matemáticamente el efecto de la longitud y el grado de la pendiente en la erosión (Laflen y Moldenhauer, 2003; Renard et al., 1977).

$$A = C \times L^{0,6} \times S^{1,4}$$

Donde:

A: Pérdidas de suelo en toneladas/acre

C: Coeficiente

L: Longitud de la pendiente

S: Gradiente de la pendiente

Smith, en 1941, amplió la ecuación de Zingg, incluyendo un factor de prácticas mecánicas de conservación (Laflen y Moldenhauer, 2003; Renard et al. 1977), en la siguiente ecuación:

$$A = C \times S^{1,4} \times L^{0,6} \times P$$

donde

P: Relación de pérdidas de suelo con una práctica mecánica.

A Smith también se la atribuye la introducción del concepto de pérdidas de suelo permisibles, conocido hoy en día como tolerancia "T". Esta ecuación es modificada en 1947 por Browning y colaboradores, incluyendo elementos de erosionabilidad y manejo del suelo, incorporados indirectamente en el coeficiente C.

Smith y Whitt presentan, en 1948, lo que llamaron una ecuación racional para la estimación de la erosión aplicable a los principales suelos de Missouri, en donde aparece explícitamente el factor K de erosionabilidad (Renard et al., 1977). La primera ecuación que consideró todos los factores de la erosión hídrica laminar y en surquillos, incluyendo la precipitación, fue la ecuación de Musgrave en 1947, producto de una reunión de expertos provenientes de diversas localidades donde se llevaban a cabo investigaciones de campo en condiciones variables (Laflen y Moldenhauer, 2003; Renard et al., 1977). La ecuación se expresa como:

$$A = (P_{30}/1,25)^{1,75} \times K \times (L/72)^{0,35} \times (S/10)^{1,35} \times C$$

Donde:

- A*: Pérdidas de suelo en pulgadas por año
- P₃₀*: Máxima precipitación en pulgadas que cae en 30 minutos durante una tormenta
- K*: Factor de erosionabilidad del suelo (adimensional)
- L*: Longitud de la pendiente
- S*: Gradiente de la pendiente
- C*: Factor vegetación, expresado en términos de erosión relativa, siendo 100 para cultivos limpios en hilera y menores de 1 para bosques y pastos

A pesar de los esfuerzos realizados y los avances alcanzados, la ecuación de Musgrave y otras modificaciones desarrolladas no eran aplicables indistintamente a todas las regiones de Estados Unidos, por lo que se concentraron esfuerzos desde mediados de los años cincuenta, en desarrollar una tecnología que fuese aplicable de una manera más general, extensible a zonas donde se carecía de datos

experimentales y se creó un centro de investigación en Purdue, EE UU, donde se centralizó la información generada en parcelas de erosión, lo que permitió el desarrollo de una ecuación de amplia aplicación para predecir las pérdidas de suelo. Como resultado, se publicó en 1961 por Wischmeier y Smith la primera versión de la ecuación universal de pérdidas de suelo (Laflen y Moldenhauer, 2003).

IV.2 LA EUPS Y SUS FACTORES COMPONENTES

La ecuación universal de pérdidas de suelo debe su nombre de “universal” para ser diferenciada de las ecuaciones previamente desarrolladas que tenían un alcance regional. Se desarrolló basada en más de diez mil datos de erosión y escorrentía de años-parcela y su análisis estadístico conjunto. La ecuación, originalmente desarrollada por Wischmeier y Smith (1961) y paulatinamente enriquecida y perfeccionada por Wischmeier y Smith (1965, 1978), se describe a continuación:

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

A: Pérdidas de suelo

R: Erosividad de la lluvia

K: Erosionabilidad del suelo

L: Longitud de la pendiente

S: Gradiente de la pendiente

C: Cobertura y manejo

P: Prácticas de conservación

T: Tolerancia de pérdidas de suelo

A: Pérdidas de suelo estimadas por unidad de área, expresada en las unidades elegidas para *K* y el período seleccionado para *R*. En unidades métricas se expresa en Mg/ha y generalmente se eligen períodos anuales.

R: Factor erosividad de la lluvia. Factor de precipitación y escorrentía expresado en unidades de índice de erosividad de la lluvia, Mj mm / ha-h

K: Factor erosionabilidad del suelo. Tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosividad en una parcela unitaria (22,1 m de longitud y 9% de pendiente en terreno labrado y sin cobertura). En unidades métricas se expresa en Mg/ha /Mj mm /ha-h.

L: Factor longitud de la pendiente. Relación de pérdidas de suelo entre una parcela de longitud determinada y la de una parcela de 22,1 m de longitud, ambas en condiciones críticas (suelo sin cobertura y labrado en sentido de la pendiente). Es adimensional.

S: Factor gradiente de la pendiente. Relación de pérdidas de suelo de una parcela de terreno con un gradiente de la pendiente determinado con relación al de una parcela, con 9% de gradiente de la pendiente en similares condiciones del resto de los factores. Es adimensional.

C: Factor cobertura y manejo. Relación de pérdidas de suelo de una parcela de terreno con una cobertura y manejos determinados con relación al de una parcela idéntica en condiciones críticas (suelo sin cobertura y labrado en sentido de la pendiente). Es adimensional.

P: Factor prácticas de conservación. Relación de pérdidas de suelo de una parcela de terreno con una práctica de soporte determinada con relación al de una parcela idéntica sin la aplicación de esa práctica. Es adimensional.

T: Tolerancia de pérdidas de suelo. Las máximas pérdidas de suelo permisibles sin que se afecte la productividad del cultivo y se sostenga indefinidamente su viabilidad económica. Puede extenderse este concepto cuando se consideran daños fuera del sitio que afecten la calidad de las aguas, vida útil de obras de infraestructura o así lo requieran políticas de manejo de los recursos naturales.

IV.3 ALCANCES Y APLICACIONES DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO

- Predicción de pérdidas de suelo por erosión hídrica laminar y en surquillos
- Metodología sencilla para evaluar el riesgo de erosión hídrica y en surquillos en diferentes condiciones al nivel de parcela de terreno
- Permite establecer el requerimiento de conservación para diferentes TUT (tipos de utilización de la tierra)
- Herramienta para la selección y diseño con especificaciones de las prácticas de conservación de suelos y su transferencia
- Marco de referencia para la enseñanza y el estudio científico de los factores que intervienen en la erosión

IV.4 LIMITACIONES DE LA EUPS (USLE)

De orden práctico:

- En muchos casos no se cuenta con la información requerida
- Refleja valores anuales promedio y no el de tormentas individuales o de años particulares
- Fue desarrollada para ser aplicada dentro de ciertos límites establecidos:
 - Suelos de texturas medias
 - Procesos de erosión laminar y en surquillos
 - Pendientes entre 2 y 20%
 - Agricultura mecanizada intensiva

De orden teórico:

- No considera las interrelaciones entre sus factores en forma explícita, ya que es de origen empírico y, en consecuencia, no explica los procesos físicos que ocurren entre los factores de la erosión.
- No considera el factor escorrentía en forma directa
- No separa los procesos de erosión laminar de los de erosión en surquillos

- No toma en cuenta el carácter selectivo de la erosión ni la sedimentación

IV.5 FACTORES COMPONENTES Y ALGUNOS ESTUDIOS BÁSICOS EN VENEZUELA

La aplicación de la EUPS para unas condiciones y localidad dadas está sujeta a la existencia de información sobre los valores que adquieren cada uno de los factores de la ecuación. En algunos casos existe información referente a dichos valores en listados, cuadros y mapas, en otros casos hay que generarla de forma directa (procesamiento de información primaria y experimentación) o son determinados de forma indirecta a través de estimaciones apoyadas en el uso de ecuaciones, ábacos, figuras y aproximaciones mediante juicios de expertos.

IV.5.1 EROSIVIDAD DE LA LLUVIA O FACTOR R

El potencial erosivo de la lluvia se considera en la EUPS a través de índices que lo cuantifican. El desarrollado originalmente por Wischmeier (1959), consta de dos elementos, la energía de la tormenta y la intensidad máxima en 30 minutos, cuyo producto conforma el índice denominado EI_{30} . Los valores de EI_{30} son directamente proporcionales a las pérdidas de suelo cuando se mantienen constantes los demás factores. El total anual promedio de los valores de EI_{30} de las tormentas erosivas del año (se omiten aquellas con lámina inferior a 12,5 mm a excepción de aquellas con intensidades mayores de 6,25 mm en 15 minutos) es el índice de erosividad anual R. Este índice no considera la energía erosiva de la escorrentía proveniente del descongelamiento de la nieve o del riego. El índice integra la energía de la tormenta y su interacción con los picos de intensidad prolongada que facilitan y determinan la capacidad de separación y de transporte de sedimentos. Existen otros índices de erosividad como el $KE > 1$ (Hudson, 1982) o el AI_m (Lal, 1976), pero en nuestro país este índice ha mostrado un buen ajuste con las

pérdidas de suelo obtenidas en parcelas de erosión (Páez y Rodríguez, 1989a; Páez, Rodríguez y Lizaso, 1989; Rodríguez, Fernández y Fernández, 1994) y además, se encuentra más abundantemente en la literatura, lo que facilita su valoración y comparación.

Cálculo del índice de erosividad EI_{30} a partir de registros de pluviógrafo

La energía cinética de una tormenta o evento de lluvia depende del tamaño y velocidad terminal de las gotas, y estas características de la lluvia se relacionan con su intensidad. Una tormenta puede representarse mediante segmentos de similar intensidad. El tamaño medio de las gotas aumenta en la medida en que aumenta la intensidad y la velocidad terminal de las gotas en caída libre aumenta con su tamaño. Como la energía cinética de una determinada masa depende proporcionalmente de su velocidad al cuadrado, la energía de la lluvia está directamente relacionada con su intensidad. La expresión matemática que representa esta relación fue desarrollada por Wischmeier (1959) y se presenta a continuación:

$$E = 0,119 + 0,0873 \log (i)$$

Donde:

E: Energía cinética (MJ/ha por mm de lluvia)

i: Intensidad (mm/h) con un límite máximo de 75 mm/h, ya que se ha determinado que a mayores intensidades las gotas no son de mayor diámetro por limitaciones físicas

Brown y Foster, en 1987, citados por Renard et al. (1997), expresan la relación entre energía e intensidad mediante la siguiente ecuación:

$$E = 0,29 [1 - 0,72 \exp (-0,05i)]$$

Ellos aducen que esta ecuación se ajusta a los resultados encontrados por diversos autores dentro y fuera de Norteamérica, y

representa matemáticamente y de forma continua la forma asintótica de la curva cuando las intensidades son altas.

En la figura IV.1 se presenta una banda de pluviógrafo de sifón que se presenta como ejemplo para el cálculo del índice de erosividad EI_{30} de esa tormenta individual. La energía total del aguacero resulta de la sumatoria de los productos de las energías unitarias, correspondientes a un nivel de intensidad, por la lámina de lluvia que cae con dicha intensidad. Para su cálculo se divide el evento en segmentos de lluvia con igual intensidad (igual pendiente de la curva), y se calcula la energía de cada segmento, siguiendo los pasos dados en el cuadro IV.1 del ejemplo tomado de CCSA (2001). La metodología original excluye las tormentas individuales con láminas de lluvia inferiores a 12,7 mm por considerarlas no erosivas.

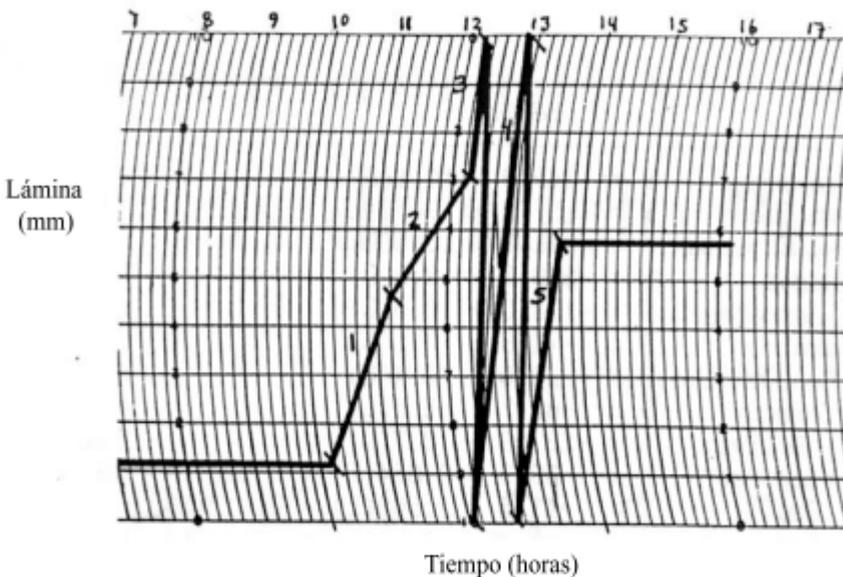


Figura IV.1. Banda de pluviógrafo de sifón de registro diario que muestra una tormenta individual (CCSA, 2001).

Cuadro IV.1. Cálculo de la energía cinética de una tormenta individual (CCSA, 2001)

| Segmento de la tormenta | (a) Lámina caída (mm) | b) Duración del segmento (min) | (c=a x 60/b) Intensidad del segmento (mm/h) | (d) Energía unitaria (Mj/ha-mm) | (a x d) Energía del segmento (Mj/ha) |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--|------------------------------------|---|
| 1 | 3,4 | 60 | 3,4 | 0,1654 | 0,5624 |
| 2 | 2,5 | 65 | 2,3 | 0,1318 | 0,3295 |
| 3 | 2,9 | 10 | 1,7 | 0,1391 | 0,4034 |
| 4 | 10 | 40 | 15,0 | 0,2217 | 2,2170 |
| 5 | 5,7 | 60 | 5,7 | 0,1850 | 1,0544 |
| Energía total (E): | | | | | 4,5666 |

La estimación de la intensidad máxima se realiza ubicando el segmento de mayor pendiente o intensidad máxima sostenida por un tiempo de 30 minutos.

$$I_{30} = 15 \text{ mm/h}$$

El EI_{30} de la tormenta se obtiene, finalmente, multiplicando la energía cinética total por la intensidad máxima en 30 minutos.

$$EI_{30} = E * I_{30}$$

$$EI_{30} = 4,5666 \text{ Mj/ha} * 15 \text{ mm/h} = 68,5 \text{ Mj} * \text{mm/ha} * h$$

La erosividad promedio anual R para una localidad particular es la suma de todos los EI_{30} significativos de un período de varios años (mayor de 15 a 20 años), dividido por el número de años considerados. Lluvias separadas por períodos de más de seis horas

con precipitaciones menores de 12,5 mm se consideran eventos individuales. Eventos separados por períodos mayores a seis horas y láminas menores de 12,5 mm se omiten como insignificantes, a menos que la intensidad máxima en 15 minutos sea mayor de 25 mm/h.

Métodos indirectos para obtener valores anuales de R y su distribución mensual

Debido a la inexistencia de registros de pluviógrafo o a la magnitud y dificultad de trabajo para la lectura directa de los registros, se han ideado vías indirectas para obtener valores anuales o mensuales e, incluso diarios, mediante el uso de ecuaciones de regresión que estiman el EI_{30} mensual o diario en función de la lámina de precipitación diaria o mensual, información más fácilmente encontrada para una gran diversidad de localidades. Es importante tomar en cuenta las posibilidades de extrapolación en el uso de estas ecuaciones, ya que el patrón de tormentas debe ser similar al de la localidad donde se originó la ecuación. Ejemplos de estas ecuaciones se presentan en el cuadro IV.2. Otra forma de hallar valores de R es ubicarlos en la literatura, ya sea en mapas (ver figuras IV.2a y IV.2b) o cuadros publicados provenientes de investigaciones realizadas en la localidad de interés. En el cuadro IV.4 se presentan valores del índice de erosividad de cuatro localidades donde se llevaron a cabo experimentos de campo con parcelas de erosión.

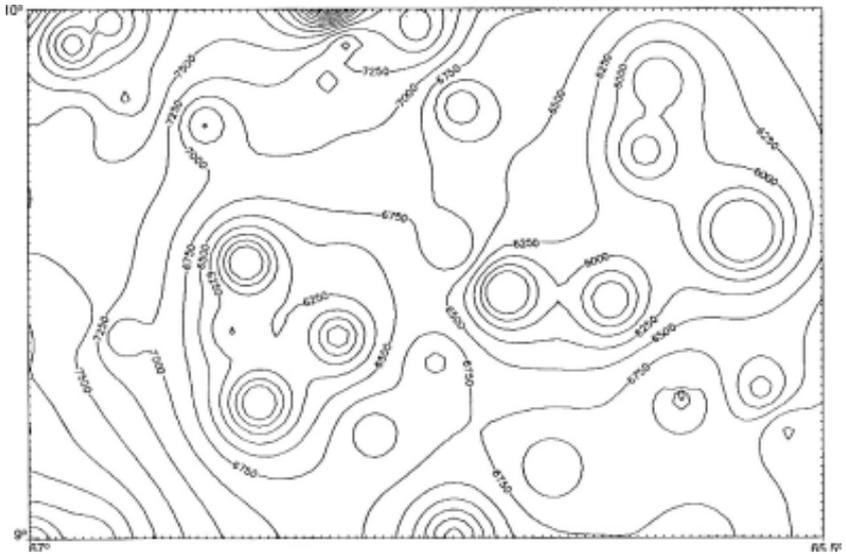


Figura IV.2a. Mapa isoerodante en la región norte del estado Guárico. (Rodríguez et al., 1989).

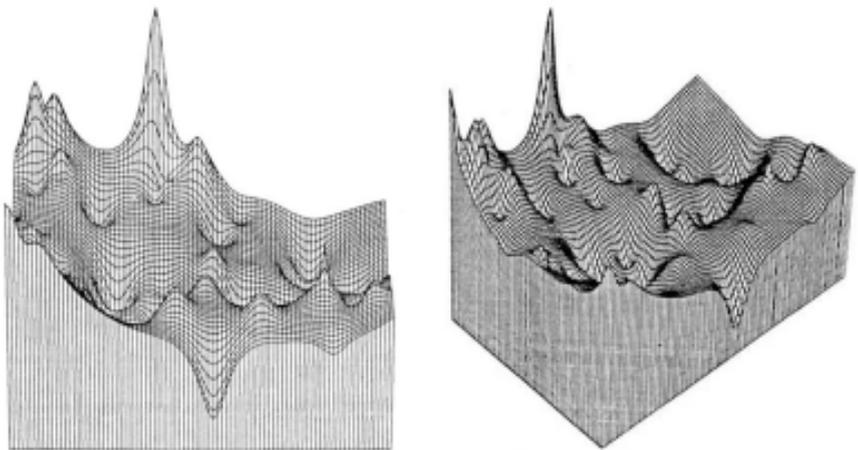


Figura IV.2b. Vista tridimensional de la distribución del índice de erosividad en la región norte del estado Guárico (Rodríguez et al., 1989).

La distribución anual del índice de erosividad

En la figura IV.3 se presenta un ejemplo para la localidad de Yaritagua en el estado Yaracuy, de la distribución porcentual del índice de erosividad. Esta distribución es de suma importancia, ya que en combinación con las fechas de siembra y etapas del cultivo, particularmente en cultivos anuales donde progresivamente se va estableciendo una cobertura protectora en el terreno, se puede obtener un factor C ponderado por el índice de erosividad, que se ajusta mejor localmente para describir el grado de protección que ejerce un determinado cultivo o secuencia de cultivos (rotación). Mientras mayor sea la pendiente de la curva que coincide con etapas tempranas de un cultivo anual, menor el grado de protección, por lo que los valores del factor C serán más altos.

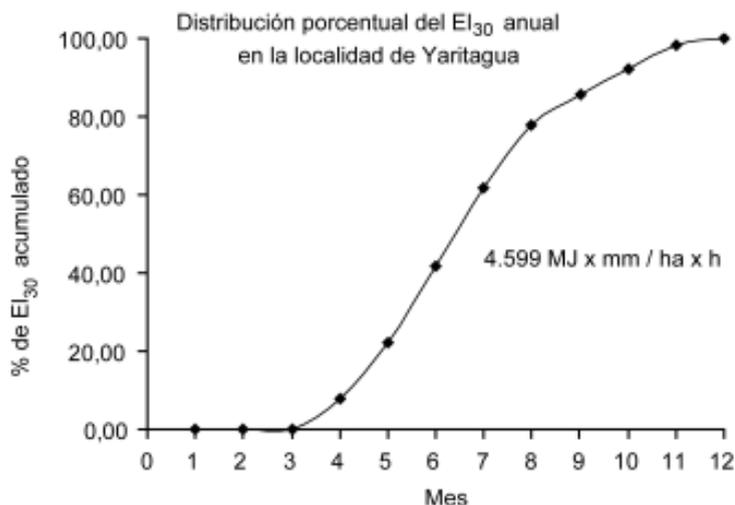


Figura IV.3. Distribución mensual del índice de erosividad anual en la localidad de Yaritagua, estado Yaracuy, según la ecuación de regresión del cuadro IV.2.

Cuadro IV.2. Modelos de predicción del factor R mensual en función de la lámina de precipitación mensual (ℓ) en diferentes localidades de Venezuela

| Localidad | Modelo predictivo | Fuente |
|---|--|------------------------------|
| San Felipe, estado Yaracuy | $R = - 345,9 + 10,1 (\ell)$ | Páez et al. (1989) |
| Guanare, estado Portuguesa | $R = - 158,2 + 9,38 (\ell)$ | |
| La Asunción, estado Nueva Esparta | $R = - 251,7 + 10,0 (\ell)$ | |
| Maturín, estado Monagas; Aragua de Barcelona, estado Anzoátegui | $R = - 249,3 + 8,2 (\ell)$ $R = - 118,0 + 8,0 (\ell)$ | |
| Valencia, estado Carabobo | $R = - 70,6 + 7,6 (\ell)$ | |
| Valle de la Pascua, estado Guárico | $R = - 216,9 + 10,4 (\ell)$ | |
| Yaritagua, estado Yaracuy | $R = - 82,7 + 6,5 (\ell)$ | |
| La Paragua, estado Bolívar | $R = - 237,9 + 8,7 (\ell)$ | Páez y Agüero (1995) |
| Boconó, estado Trujillo * | $R = 39,3 - 0,654 (\ell) + 0,019 (\ell)^2$ | Acosta y Cordero (1982) |
| Santa Ana, estado Trujillo * | $R = - 41,5 + 2,5 (\ell) + 0,013 (\ell)^2$ | Cidiat (1990) |
| Bajo Seco, estado Vargas * | $R = - 36,36 + 2,61 (\ell) + 0,007 (\ell)^2$ | Páez, s.p. |
| Bajo Seco, estado Vargas * | $R = - 6,17 + 0,60 (\ell)$ | Rodríguez y Fernández (1992) |
| Bosque seco tropical | $R = - 190,5 + 8,8 (\ell)$ | Páez et al. (1989) |

* Tierras de cuencas altas

IV.5.2 EROSIONABILIDAD DEL SUELO O FACTOR K

El factor erosionabilidad o factor K representa la susceptibilidad del suelo a erosionarse debido a sus propiedades intrínsecas y no debe confundirse con la tasa de erosión o factor A de la ecuación, que representa la erosión del suelo producto de la combinación del efecto del clima, suelo, topografía, uso y manejo y prácticas de soporte. Es decir, en iguales condiciones de todos los demás factores, algunos suelos se erosionan más fácilmente que otros en función de las características y propiedades de los suelos. Por definición, la erosionabilidad del suelo K es la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosividad en las condiciones de una parcela unitaria definida arbitrariamente (9% de pendiente y 22,1 m de longitud mantenida sin cobertura y labrada en sentido de la pendiente por un período de al menos dos años). Cuando se cumplen estas condiciones los factores L, S, C y P tienen un valor de 1 y la erosionabilidad se expresa como $K = A / EI_{30}$ (Wischmeier y Smith 1965; 1978).

En condiciones experimentales se obtienen los valores de K en forma directa y éstos pueden requerir ajuste cuando las condiciones de topografía no satisfacen las condiciones de la parcela unitaria. En tales casos, C y P mantienen el valor de 1 y $K = A / EI_{30} * LS$. Ejemplos de valores obtenidos experimentalmente en parcelas se muestran en el cuadro IV.4 que se presenta más adelante. Se puede acelerar la obtención de valores mediante el uso de simuladores de lluvia, pero en este caso no se presentan todas las condiciones antecedentes y las clases de tormenta son limitadas.

Estimación de la erosionabilidad del suelo K de forma indirecta

Debido a que la determinación experimental de valores de K es muy costosa y requiere de varios años para su obtención, se han ideado metodologías que de forma indirecta nos permiten asociar valores de K para un determinado suelo en función de sus características y propiedades intrínsecas. El más conocido y ampliamente aplicado

es el nomograma de erosionabilidad desarrollado por Wischmeier et al. (1971) (ver figura IV-4). Éste considera parámetros del suelo superficial y del perfil del suelo. La expresión algebraica de dicho nomograma cuando la fracción de limo más arena muy fina no sobrepasa el 70% es:

$$K = \{ [2,1 \times 10^{-4} (12-MO) M^{1.14} + 3,25(s-2) = (2,5(p-3))] / 100 \} / 7,59$$

(Renard et al., 1977).

Donde:

K: Erosionabilidad del suelo en Mg x ha⁻¹ / unidad de EI₃₀

MO: Materia orgánica en porcentaje

M: (% de limo + arena muy fina) (% de limo + % de arena)

s: Código de estructura (1=granular muy fina, 2=granular fina, 3= granular media o gruesa, 4=blocosa, laminar o masiva)

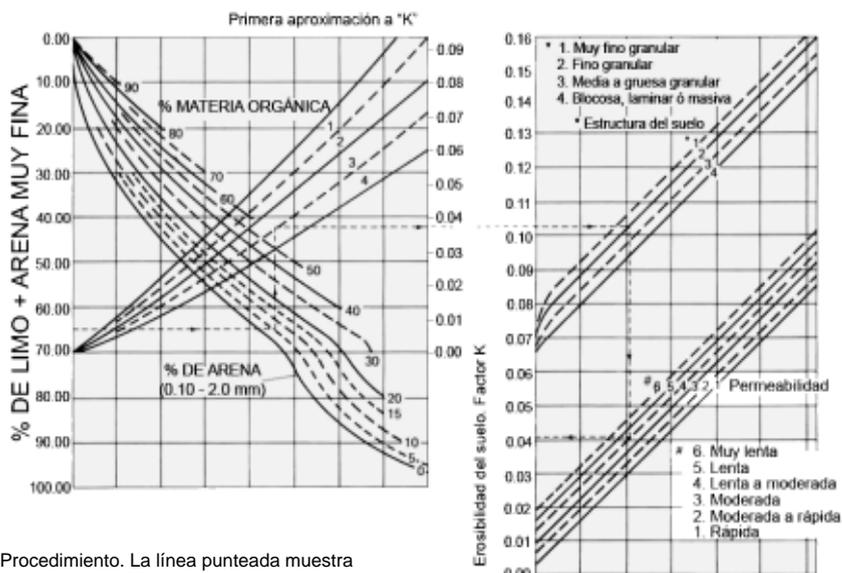
p: Código de clase de permeabilidad (1=rápida, 2=moderada a rápida, 3=moderada, 4=lenta a moderada, 5=lenta, 6=muy lenta)

El único parámetro no relacionado con características del suelo superficial (primeros 15 cm) se refiere a la permeabilidad del perfil. Si la pedregosidad superficial es sustancial, ésta ejerce un efecto de “mulch” o cobertura superficial que debe considerarse dentro de los subfactores del factor *C* a ser discutidos más adelante.

Es útil y se facilita resolver la ecuación de *K* apoyándose en el uso del nomograma de la figura IV.4.

Se han publicado ecuaciones de regresión para condiciones particulares por diversos autores. En Venezuela, Páez (1986) obtiene ecuaciones de regresión múltiple en función de diversos parámetros del suelo en experimento con suelos representativos de diversas zonas agrícolas del país. Entre dichas ecuaciones destaca, por ser fácilmente obtenibles los parámetros que la determinan, la siguiente:

$$K = - 0,3136 + 0,0093 (\% \text{ Limo} + \% \text{ Arena muy fina}) - 0,0044 (\% \text{ de arcilla}) + 0,0742 (pH) - 0,0086 (\% \text{ de grava})$$



Procedimiento. La línea punteada muestra el ejemplo de un suelo con:

- 1) 65% de limo + arena muy fina
- 2) 5% de arena (0,1 - 2,0 mm)
- 3) 2,8% de materia orgánica
- 4) estructura fina granular y
- 5) permeabilidad lenta moderada
- 6) erosionabilidad = 0,04

Siempre debe seguirse la secuencia indicada

Figura IV.4. Nomograma de erosionabilidad (Factor K). adaptado a las unidades métricas $[Mg\ ha^{-1}] / [Mj\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}]$ (Wischmeier, Johnson y Cross, 1971).

Páez y Pla (1989) destacan la importancia del uso de índices de agregación (índice de sellado, separabilidad, porcentaje de agregación, distribución de agregados al agua, relación silicio/óxidos de hierro + aluminio, otros) en suelos que difieran en alto grado de los utilizados para derivar el nomograma de Wischmeier, el cual funciona mejor con suelos de texturas medias y poco evolucionados. Todos los autores concuerdan en que el tamaño de partículas, particularmente la cantidad de limo y arena muy fina, es el factor más influyente en la erosionabilidad del suelo.

El más sencillo, pero quizás el menos preciso, es la determinación de K a partir de la textura y el contenido de materia orgánica

mediante el cuadro IV.3 adaptado por Jegat y Espinosa (1991) a unidades métricas, a partir del reportado por Kirkby y Morgan (1980).

Cuadro IV.3. Valores indicativos de *K* en función de la textura y el contenido de materia orgánica (Jegat y Espinosa, 1991).

| Textura del suelo | Contenido de materia orgánica MO% | | |
|-------------------------|-----------------------------------|---------|---------|
| | < 0,5% K | 2% K | 4% K |
| Arena | 0,007 | 0,004 | 0,003 |
| Arena fina | 0,021 | 0,018 | 0,013 |
| Arena muy fina | 0,055 | 0,047 | 0,037 |
| Arena franca | 0,016 | 0,013 | 0,011 |
| Arena fina franca | 0,032 | 0,026 | 0,021 |
| Arena muy fina franca | 0,058 | 0,050 | 0,040 |
| Franco arenoso | 0,036 | 0,032 | 0,025 |
| Franco arenoso fino | 0,046 | 0,040 | 0,032 |
| Franco arenoso muy fino | 0,062 | 0,054 | 0,043 |
| Franco | 0,050 | 0,045 | 0,038 |
| Franco limoso | 0,063 | 0,055 | 0,043 |
| Limo | 0,079 | 0,068 | 0,055 |
| Franco arcillo arenoso | 0,036 | 0,033 | 0,028 |
| Franco arcilloso | 0,037 | 0,033 | 0,028 |
| Franco arcillo limoso | 0,049 | 0,042 | 0,034 |
| Arcillo arenoso | 0,018 | 0,017 | 0,016 |
| Arcillo limoso | 0,033 | 0,030 | 0,025 |
| Arcilloso | 0,017-0,038 | | |

en unidades anglosajonas, citado por dichos autores. Originalmente, fue desarrollado por USDA-ARS en 1975. A pesar de la imprecisión, puede ser la única alternativa para obtener una aproximación de valores de K en una situación de limitada disponibilidad de información o inexistencia de la misma.

IV.5.3 LOS FACTORES TOPOGRÁFICOS L Y S

El factor LS es la relación esperada de pérdidas de suelo en una parcela de longitud y gradiente de la pendiente dados y las obtenidas en una parcela unitaria (22,1 m de longitud y 9% de pendiente), siendo el resto de los factores constantes.

La ecuación que describe el factor L es la siguiente:

$$L = (\ell / 22,1)^m$$

Donde:

ℓ : longitud de la pendiente en metros

m : exponente que varía según la pendiente ($m = 0,5$ si la pendiente es $> 5\%$, $m = 0,4$ en pendientes entre $3-5\%$, $m = 0,3$ en pendientes entre $1-3\%$ y $m = 0,2$ en pendientes $< 1\%$)

La longitud de la pendiente se define como la distancia en la que se inicia el escurrimiento superficial hasta el punto donde el cambio del gradiente de la pendiente disminuye, hasta que empieza a ocurrir sedimentación o cuando el flujo de escorrentía superficial entra en un canal bien definido que puede ser parte de una red de drenaje o un canal construido. Pendientes complejas requieren de análisis particulares (figura IV.5).

La ecuación que describe el factor S es la siguiente:

$$S = 0,065 + 4,56 \operatorname{sen} \Theta + 65,41 \operatorname{sen}^2 \Theta$$

donde Θ : ángulo de la pendiente

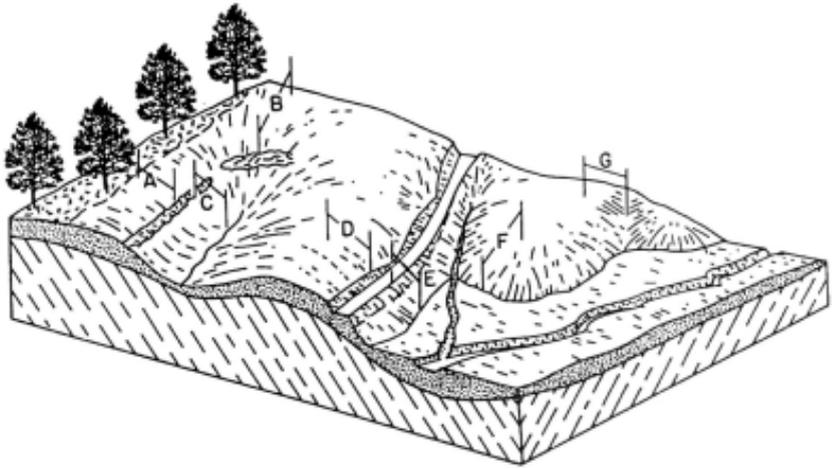


Figura IV.5. Longitudes de la pendiente en diversas posiciones del paisaje (Renard et al., 1997).

La expresión del factor S en función del seno del ángulo de la pendiente es más precisa que al hacerlo en función de la tangente, debido a que las fuerzas de impacto de la gota a lo largo de la pendiente y las fuerzas cortantes del escurrimiento superficial son una función del seno. Sin embargo, el sustituir $100 \text{ sen}\Theta$ por el % de la pendiente, que es $100 \text{ tan}\Theta$, no se afectan significativamente los valores obtenidos para S cuando las pendientes no sobrepasan el 20%. La ecuación que utiliza el gradiente de la pendiente es:

$$S = 0,0654 + 0,0456 (s) + 0,0065 (s)^2$$

donde s : gradiente de la pendiente en %

McCool et al. (1987) proponen las siguientes ecuaciones:

$$S = 10,8 \text{ sen}\Theta + 0,03 \quad s < 9\%$$

$$S = 16,8 \text{ sen}\Theta - 0,50 \quad s \geq 9\%$$

En pendientes mayores al 20% se sugiere usar la ecuación propuesta por McCool y colaboradores, ya que ésta presenta valores más realísticos en ese rango de pendientes.

En caso de trabajar manualmente es útil hacer uso de diagramas y cuadros como el de la figura IV.6.

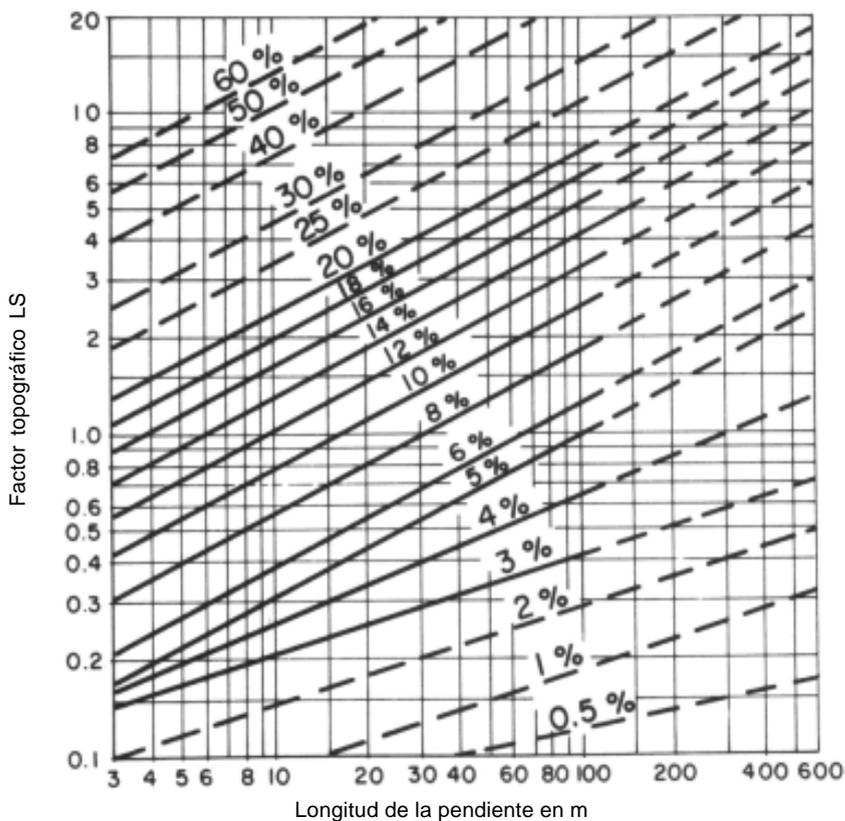


Figura IV.6. Factor LS para diferentes combinaciones de longitud y gradiente de la pendiente (Wischmeier y Smith, 1978).

IV.5.4 LOS FACTORES C Y P DE LA EUPS

El *factor C* se define como la relación entre las pérdidas de suelo obtenidas bajo un uso y manejo de la tierra dados y las pérdidas de suelos en condiciones de suelo sin cobertura y labrado en forma continua. Este factor mide el efecto combinado de todas las variables de manejo y cobertura interrelacionadas.

El enfoque de subfactores subdivide el factor C resultando éste el producto de dos o más subfactores: $C = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \times C_n$. Este enfoque es el que ha hecho posible que la ecuación sea independiente del uso de la tierra al aplicarla en una localidad dada. Wischmeier y Smith (1978) reconocen cinco subfactores para cultivos anuales mecanizados, a saber: la arquitectura del follaje (altura y densidad de la copa en proyección horizontal o dosel del cultivo), los residuos en superficie, los residuos incorporados, la labranza y el efecto residual del uso de la tierra. Dissmeyer y Foster (1980) incorporan subfactores propios de tierras forestales intervenidas, como el alto contenido de materia orgánica y la presencia de raíces finas entrelazadas.

El efecto del subfactor C de cobertura de follaje del cultivo. El dosel o follaje de la copa o parte aérea de las plantas intercepta la precipitación, disipando la energía de las gotas de lluvia. El efecto es mayor en la medida en que la altura de caída efectiva es menor, lo que depende de la arquitectura de la planta (ver figuras III.8 y IV.7). El efecto de la cobertura del dosel también depende de la proporción

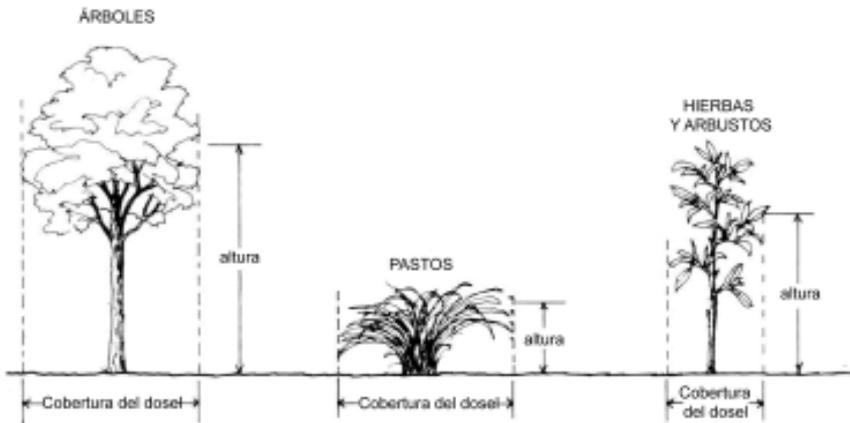


Figura IV.7. Efecto del dosel y alturas de caída típicas para tres tipos de vegetación (Dissmeyer y Foster, 1980).

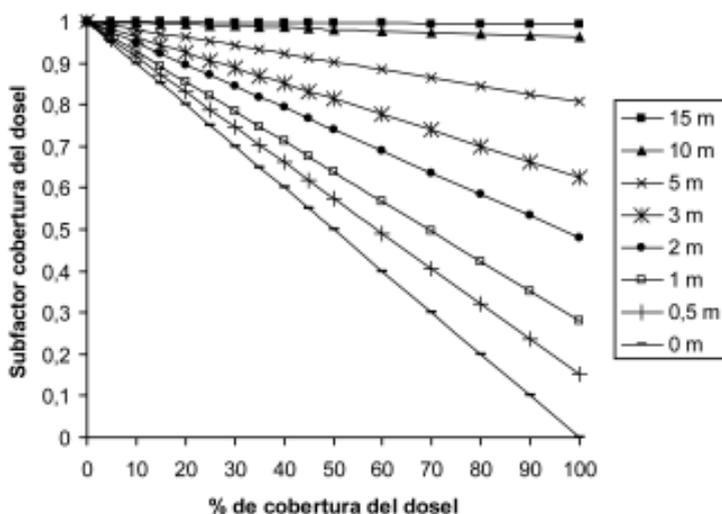


Figura IV.8. Subfactor C del efecto del porcentaje de cobertura del follaje de la copa o dosel a diferentes alturas de caída promedio de las gotas desde el follaje (adaptado de Renard et al., 1997).

del área de suelo desnudo bajo la proyección vertical de éste. Si la altura del dosel es mayor de 10 m, el efecto del dosel puede ser contrario, incrementando la energía del impacto de las gotas al aumentar el tamaño de las mismas y alcanzar la máxima velocidad terminal desde esa altura. Las curvas del factor C para dos alturas de plantas (0,5 m y 1 m) en combinación con la cobertura de residuos en superficie se presentan en la figura V.21 del próximo capítulo. El efecto de diferentes alturas de caída y porcentajes de cobertura se presenta en la figura IV.8. Este gráfico se calculó con base en la fórmula señalada por Renard. et al. (1997), adaptándola a unidades métricas y expresando la fracción de cobertura en porcentaje. La expresión matemática es:

$$CC = 1 - Fc * \exp(-0,1 * (H/0,3048))$$

donde:

$$CC = \text{Subfactor de cobertura del dosel}$$

F_c = Fracción de la superficie cubierta por el dosel

H = Altura promedio de caída de la gota según arquitectura del dosel

Una forma de estimar el porcentaje de cobertura de manera visual en el campo es utilizando una guía con patrones, como la presentada en la figura IV.9.

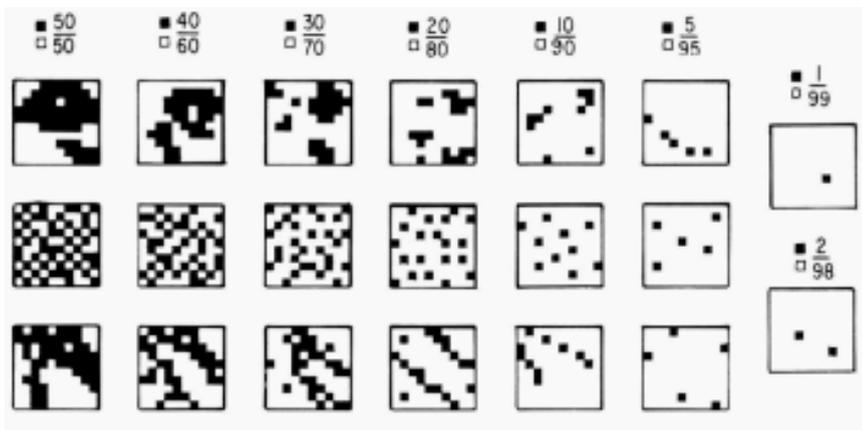


Figura IV.9. Guía para estimar porcentaje de suelo desnudo, porcentaje de cobertura de dosel y porcentaje de raíces finas (Dissmeyer y Foster, 1980).

Subfactor C de residuos en superficie. La cobertura basal, a ras del suelo o cercana a la superficie, es la más efectiva en controlar el salpique al impedir el impacto de las gotas, y también el arrastre, al reducir la velocidad y capacidad de transporte del flujo superficial. El efecto combinado de cobertura de dosel y a ras de suelo se puede estimar a partir de las curvas de la figura V.21.

Subfactor C alto contenido de materia orgánica. Bajo uso permanente forestal, el horizonte superficial acumula un alto contenido de materia orgánica que no se considera en el nomograma de erosionabilidad, el cual sólo llega hasta 4% de materia orgánica.

Dissmeyer y Foster (1980) sugieren multiplicar por un factor de 0,7 cuando el suelo presenta altos contenidos de materia orgánica para tomar en cuenta su efecto en tierras forestales.

Subfactor C residuos incorporados: Los residuos incorporados tienen mayor influencia en las primeras etapas de cultivo, correspondiendo a la siembra y establecimiento del mismo. La curva de la figura IV-10 permite evaluar el efecto mejorador de las propiedades del suelo por la incorporación de dos abonos orgánicos.

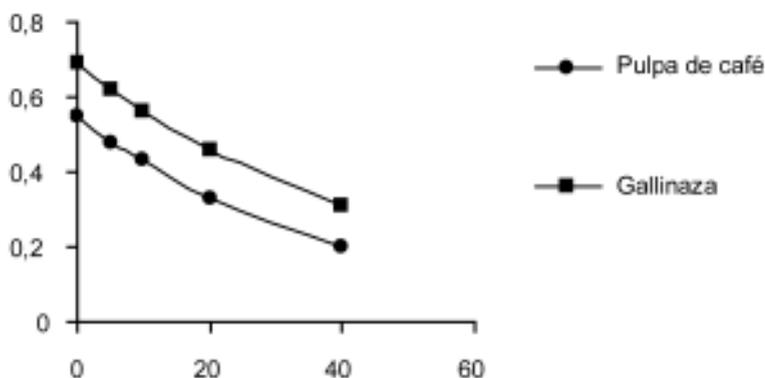


Figura IV.10. Subfactor residuos incorporados para dos abonos orgánicos (Urbina y Rodríguez, 1992).

Subfactor C de labranza. El tipo, frecuencia y época de las operaciones de labranza influye sobre la porosidad, la rugosidad, la compactación y la microtopografía del terreno. Este efecto es también de mayor importancia en las etapas en que el cultivo no ha alcanzado un alto nivel de cobertura. Foster (2005) reporta para RUSLE2 una ecuación para estimar el subfactor rugosidad citando a Cogo et al. (1984) de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Sr = \exp[-0,66(R - 0,24)]$$

donde

R = rugosidad en pulgadas

Los valores de rugosidad pueden asignarse de manera visual por comparación con fotografías que aparecen en el manual de RUSLE (Renard et al., 1997). Para suelos forestales, Dissmeyer y Foster (1980) establecen unas condiciones de referencia para asignar un subfactor *C* por efecto de las depresiones de almacenaje de acuerdo con una guía visual.

La rugosidad presenta efectos de interacción con el nivel y tipo de residuos en superficie.

Subfactor *C* reconsolidación del suelo: Este factor considera el efecto residual debido al tiempo transcurrido después de la última labranza, que evalúa la resistencia del suelo a la erosión cuando éste no es alterado mecánicamente por efecto de las operaciones de labranza (ver figura IV.11).

Subfactor *C* raíces finas entrelazadas en el horizonte superficial: Una densa alfombra de raíces finas entrelazadas se presenta usualmente

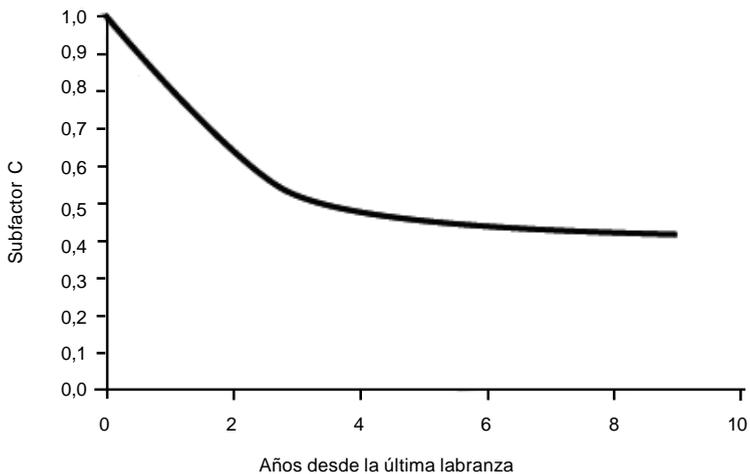


Figura IV.11 Subfactor *C* de reconsolidación del suelo luego de labrado (Dissmeyer y Foster, 1980).

en los primeros 5 centímetros de los suelos forestales, incluso después de que los árboles han sido removidos. Este efecto está presente también en sistemas de cultivo permanente con coberturas boscosas, como las plantaciones de café y cacao o el manejo de frutales con coberturas vivas (figura IV.12).

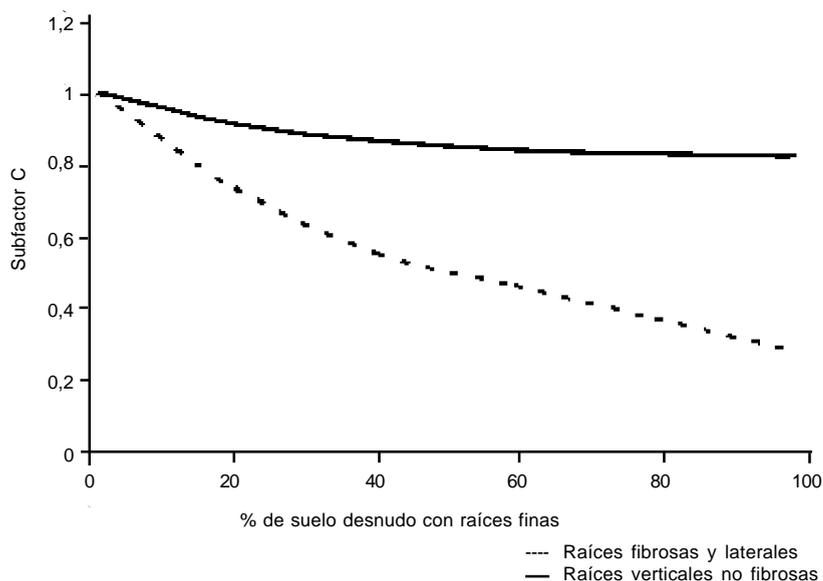


Figura IV.12. Subfactor C para raíces finas en la capa superficial (Dissmeyer y Foster, 1980).

Subfactor C efecto residual del uso de la tierra. Este subfactor incluye el efecto de las raíces, la incorporación de residuos en el largo plazo por el arado, los cambios en la estructura del suelo debido al deterioro por el uso de cultivos intensivos, la actividad biológica y otros factores relacionados con el uso y manejo de la tierra. La complejidad de estos factores y su carácter dinámico hacen difícil incorporar sus efectos en ecuaciones o modelos para su estimación.

En relación con el conjunto de subfactores mencionados, los cultivos anuales mecanizados están influenciados básicamente por el subfactor cobertura de dosel y a ras del suelo, residuos incorporados

y por la rugosidad. Sólo los cultivos permanentes o cultivos anuales ubicados en tierras recién deforestadas van a estar afectados por los subfactores alto contenido de materia orgánica, efecto de las raíces finas entrelazadas, reconsolidación del suelo y otros efectos residuales, además de los ya mencionados para cultivos anuales. Esto se debe a que el manejo de los cultivos permanentes, como los sistemas de plantación o los de subsistencia tipo conuco, alteran en menor grado los niveles de materia orgánica y la actividad biológica en el suelo.

Es muy importante ajustar el valor de C del cultivo de acuerdo con la cobertura que éste ofrece durante las diferentes etapas de su desarrollo, al ponderarlo en función de la distribución de la energía erosiva de la lluvia o factor R que corresponde a cada etapa del cultivo.

Wischmeier y Smith (1978) establecen seis etapas o períodos para los cultivos anuales mecanizados. Éstas son:

- Etapa F: (Barbecho grueso) Desde la labranza primaria hasta la labranza secundaria en que se prepara la cama para la semilla. Es importante cuando se realizan estas operaciones de manera anticipada en relación con la labranza secundaria.
- Etapa SB: (Siembra) Desde el inicio de las operaciones de labranza secundaria hasta que el cultivo ha desarrollado 10% de cobertura de dosel. Es el período más crítico, ya que se ofrece la menor protección contra la erosión.
- Etapa 1: (Establecimiento) Desde el final del período de siembra hasta que el cultivo desarrolla 50% de la cobertura del dosel.
- Etapa 2: (Desarrollo) Final de la etapa 1 hasta que la cobertura del dosel alcanza 75% (60% para el algodón).
- Etapa 3: (Maduración) Final de la etapa 2 hasta la cosecha.
- Etapa 4: (Residuo o rastrojo) Desde la cosecha hasta un nuevo ciclo de labranza.

Estas etapas se pueden ajustar según el manejo local y el cultivo considerado, agrupándolas o separándolas según convenga. En el caso de las etapas clásicas planteadas, el cálculo del C ponderado se realizaría como sigue:

$$C_{pond} = (C_F * R_F + C_{SB} * R_{SB} + C_1 * R_1 + C_2 * R_2 + C_3 * R_3 + C_4 * R_4) / R_{TOTAL}$$

Los R parciales se pueden expresar en fracción o en porcentaje, dividiendo en ese caso por uno o cien en sustitución del R total. Aplicando este enfoque se obtuvo un valor de C ponderado para el maíz en la localidad de Maturín (estado Monagas) de 0,29, mientras que en Chaguaramas (estado Guárico) fue de 0,37, lo que refleja una mayor concentración de la erosividad en Chaguaramas durante las etapas iniciales del cultivo (CCSA, 2000).

El *factor P* se define como la relación entre las pérdidas de suelo obtenidas cuando se utiliza una práctica de soporte dada y las pérdidas de suelo sin aplicar dicha práctica. Se incluyen prácticas como la labranza en contorno, las franjas amortiguadoras, las barreras vivas y las franjas en contorno. Cuando no existe ninguna práctica de soporte el valor de P es uno.

La labranza en contorno, las terrazas, las barreras vivas y las franjas de cultivo se consideran prácticas de soporte cuya eficiencia se evalúa a través del factor P y están dirigidas principalmente a disminuir la capacidad erosiva del agua de escurrimiento, ya sea disminuyendo su volumen, su velocidad o ambas. Ver detalles en la descripción de la práctica respectiva en el capítulo V.

En algunos casos, cuando se miden en forma conjunta los factores C y P , desconociéndose la contribución individual de cada uno, se hace referencia al factor CP de manera combinada, incorporando ambos en un solo valor.

IV.5.5 OBTENCIÓN DE VALORES CP DE LA EUPS EN TRABAJOS REALIZADOS POR LA CÁTEDRA DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA-UCV

Mediante la revisión de artículos y trabajos publicados previamente, se resume la información obtenida en parcelas de erosión bajo condiciones de lluvia natural y simulada, utilizando el factor "CP" de la ecuación universal de pérdidas de suelo (Wischmeier y Smith, 1978) como indicador del grado de protección ofrecido por los diferentes usos y prácticas de manejo y conservación asociadas en diferentes sistemas de producción. Se hace énfasis en la práctica de barreras vivas, y se reportan algunos datos relativos a coberturas ofrecidas por vegetación natural y residuos en superficie.

Las parcelas de erosión presentan diversas dimensiones y sistemas colectores separadores para el muestreo y se ubican en distintas localidades, cuyas características climáticas, edáficas y de relieve, en los sitios de los ensayos, son variables y se resumen en el cuadro IV.4.

Es importante recalcar el gran valor de la información aquí suministrada, ya que se trata de información obtenida en campo en nuestras condiciones locales durante dos décadas. Existe una amplia información en la literatura internacional sobre factores *C* y *P* de la EUPS, pero por ser esta ecuación un modelo de naturaleza empírica, la información producida a nivel local cobra una mayor importancia.

Es de hacer notar que al nivel de órdenes de magnitud y de las tendencias para los diferentes cultivos y sistemas de manejo, el comportamiento de la EUPS en nuestras condiciones dio resultados similares a los obtenidos en otras regiones del mundo. Las mejoras y modificaciones realizadas posteriormente, en particular el enfoque de subfactores para determinar el factor *C*, hacen posible mejorar las estimaciones de pérdidas de suelo a nivel local cuando se aplica el modelo. El juicio del técnico o investigador son de suma

importancia al interpretar la información obtenida con este tipo de modelos.

Cuadro IV.4. Características de los sitios de localización de las parcelas de erosión

| Localidad | Zona de vida | Precipitación media mm | EI ₃₀ anual MJ mm / ha h | Suelo | Erosio- nabilidad “K” | Paisaje | Rango de pendiente % |
|------------------|--|------------------------------|--|---|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Maracay | Bosque seco premontano* | 922 | 6.230 | Cumulic Haplustoll | 0,014- 0,044 | Piede- monte | 6-17 |
| Chaguara- mas | Bosque seco tropical * | 821 | 5.610 | Typic Haplustalf | 0,036 0,060 | Colinas | 4-6 |
| Yaritagua | Bosque seco tropical | 842 | 4.510 | Oxic Paleustalf | 0,023 | Valle | 4 |
| Petaquire | Transición bosque seco bosque húmedo montano bajo | 860 | 2.613 | Aquic Paleudult Orthoxic Tropudult | 0,0013- 0,028 0,001- 0,011 | Ladera de montaña | 15-36 42-70 |

* Se presentan lluvias extremas más frecuentemente.

En el cuadro IV.5 se presentan los valores de “CP” ofrecidos por diferentes sistemas de producción y coberturas y las distintas prácticas de manejo y conservación asociadas en diferentes condiciones agroecológicas. Los cultivos anuales mecanizados de cereales como el maíz, el sorgo y el trigo presentan valores de “CP” entre 0,22 y 0,65. Cuando se aplica la labranza en contorno en el caso del maíz, los valores de “CP” son reducidos, aproximadamente, a la mitad y, por tanto, en igual proporción, las pérdidas de suelo. En el caso de unidades de tierra con baja vulnerabilidad a la erosión, esta práctica puede ser efectiva en mantener los niveles de erosión en límites tolerables. En caso contrario, esta práctica por sí sola

Cuadro IV.5. Valores del factor “CP” en diferentes sistemas de producción y/o coberturas obtenidos en parcelas de erosión sometidas a lluvias naturales y en distintas condiciones agroecológicas

| Localidad | Zona de vida / Suelo | Año | Longitud de parcela | Pendiente del terreno % | Sistema de producción/ uso de la tierra o cobertura | Manejo y prácticas de conservación | Factor “CP” EUPS | Fuente | |
|-----------|---------------------------|------|---------------------|-------------------------|---|---|------------------|--|--------------------------|
| Maracay | Bosque seco premontano | 1981 | 22 | 15 | CAM Maíz-canavalia | Labranza convencional, cultivo en franjas en contorno | 0,09 | Rodríguez Lizaso y Páez (1982) | |
| | | | | | CS Maíz, yuca, ñame | Cultivos asociados | 0,08 | | |
| | | 1982 | | | CAM Maíz-millo | Labranza convencional, cultivo en franjas en contorno | 0,04 | | |
| | | | | | CS Maíz, yuca, auyama | Cultivos asociados | 0,001 | | |
| | | 1983 | | | CAM maíz mono-cultivo | Labranza convencional. en sentido de la pendiente | 0,30 | | Páez y Rodríguez (1989a) |
| | | | | | CAM Maíz-barbecho | Labranza convencional, franjas en contorno | 0,03 | | |
| | Suelo: Cumulic Haplustoll | 1983 | 17 | 17 | Bosque seco semi-deciduo | No intervención | 0,0001 | | |
| | | | | | 40 | 6 | CAM Maíz-pasto | Labranza convencional, franjas en contorno y en rotación | 0,02 |
| | | 1985 | 20 | 15 | CAM Maíz mono-cultivo | Labranza convencional en sentido de la pendiente | 0,22 | | |

EUPS. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO Y SUS DERIVACIONES...

| Localidad | Zona de vida / Suelo | Año | Longitud de parcela | Pendiente del terreno % | Sistema de producción/ uso de la tierra o cobertura | Manejo y prácticas de conservación | Factor "CP" EUPS | Fuente |
|-------------|---|------|---------------------|-------------------------|---|--|------------------|-------------------------------|
| Maracay | Bosque seco premontano Suelo Cumulic Haplustroll | 1985 | 20 | 15 | CAM Maíz-monocultivo | Labranza convencional en contorno | 0,14 | Páez y Rodríguez (1992; 1995) |
| | | | | | CPP Pasto | Labranza convencional, de año inicial de establecimiento | 0,21 | |
| | | | | | CS Maíz, yuca, auyama | Cultivos asociados | 0,03 | |
| | | | 17 | Bosque seco semidecuido | No intervención | 0,0001 | | |
| | | | 30 | 15 | CAM Maíz-pasto | Franja 5 m amortiguadora | 0,01 | |
| Chaguaramas | Bosque seco tropical | 1981 | 22 | 6 | CAM sorgo-cana-valia | Labranza convencional franjas en contorno | 0,02 | Páez y Rodríguez (1989a) |
| | | 1982 | | | CAM Sorgo-barbecho | Labranza convencional, franjas en contorno | 0,04 | |
| | | 1983 | | | CAM Sorgo monocultivo | Siembra al voleo, labranza convencional | 0,23 | |
| | | | | | | Siembra en hileras, labranza cero | 0,02 | |
| | | | | | CAM Sorgo-pasto | Labranza convencional franjas en contorno | 0,02 | |
| | Suelo Typic Haplustalf | 1985 | 20 | 4 | CAM Sorgo monocultivo | Siembra en hileras, labranza convencional en sentido de la pendiente | 0,65 | |

CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA. UNA PREMISA DE DESARROLLO SUSTENTABLE

| Localidad | Zona de vida / Suelo | Año | Longitud de parcela | Pendiente del terreno % | Sistema de producción/ uso de la tierra o cobertura | Manejo y prácticas de conservación | Factor "CP" EUPS | Fuente |
|---|--|-----------|---------------------|-------------------------|---|--|------------------|---|
| Chaguaras | Bosque seco tropical Suelo Typic Haplustalf | 1985 | 12 | 4 | CAM Sorgo monocultivo | Siembra en hileras, tropical convencional en sentido de la pendiente | 0,52 | Páez y Rodríguez (1992, 1995) |
| | | | 20 | | | Siembra en hileras, labranza cero | 0,06 | |
| | | | | CPP Pasto | | Año de establecimiento | 0,12 | |
| Yaritagua | Bosque seco tropical Suelo: Oxic Paleustalf | 1985 | 20 | 4 | CAM Maíz monocultivo | Siembra en hileras, labranza convencional en sentido de la pendiente | 0,54 | Páez y Rodríguez (1992, 1995) |
| | | | | | | Siembra en hileras, labranza convencional en contorno | 0,32 | |
| | | | | | | Siembra en hileras, labranza cero | 0,03 | |
| Petaquire Estación Experimental Bajo Seco UCV | Transición bosque seco-bosque húmedo montano bajo | 1984-1985 | 10 | 20 | CHPA Zanahoria-remolacha | Platabandas | 0,36 | Fernández (1989) |
| | | | 20 | 15 | | Platabandas | 0,20 | |
| | | | 20 | 15 | | Platabanda + mulch 4,5 Mg/ha | 0,008 | |
| | | 1986 | 10 | 20 | CHPA Repollo-coliflor | Surcos en contorno | 0,21 | Fernández (1995a) |
| | | | | | | 20 | 15 | |
| | | | | | | Terreno liso | 0,26 | |
| | | 1988 | 10 | 15 | CHPA Zanahoria-lechuga | Terreno liso | 0,90 | Rodríguez, Fernández y Fernández (1995) |
| | | | | | | Surcos en contorno | 0,70 | |
| | | | | | | Platabanda | 0,30 | |

EUPS. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO Y SUS DERIVACIONES...

| Localidad | Zona de vida / Suelo | Año | Longitud de parcela | Pendiente del terreno % | Sistema de producción/ uso de la tierra o cobertura | Manejo y prácticas de conservación | Factor "CP" EUPS | Fuente | |
|---|--|-----------------|---------------------|-------------------------|---|--|--|------------------------------|------------------------------|
| Petaquire Estación Experimental Bajo Seco | Transición* bosque seco-bosque húmedo montano bajo | 1988 | 10 | 20 | CHPA Zanahoria-lechuga | Terreno liso + mulch 5 Mg/ ha | 0,50 | Rodríguez y Fernández (1992) | |
| | | | | | | Platabanda + mulch 5 Mg/ha | 0,50 | | |
| | | | | | | Surcos en contorno * mulch 5 Mg/ha | 0,30 | | |
| | | 1989 1er. ciclo | 15 | 15 | CHPA Remolacha | Terreno liso | 0,06 | Syoufi (1990) | |
| | | | | | | 10 | 20 | | Terreno liso + mulch 5 Mg/ha |
| | | | 36 | CPP Pasto | Pasto Taiwan denso para corte | | | | 0,0004 |
| | Suelo* Aquic Paleudult | 1989 2do. ciclo | 10 | 15 | CAM Trigo | En hileras, labranzas convencional | 0,52 | Urbina y Rodríguez (1995a) | |
| | | | | | | En hileras, labranza convencional + emulsión asfalto | 0,13 | | |
| | | | | | | 20 | En hileras, labranza cero sin residuos | | 0,25 |
| | | | | | | En hileras, labranza cero + mulch 5 Mg/ha | 0,006 | | |
| | | | 36 | CPP Pasto | Pasto Taiwan denso para corte | 0,047 | | | |
| | 1990 | 10 | 15 | CHPA Papa | Terreno liso | 0,07 | Castillo (1991) | | |
| Surcos en contorno | | | | | 0,02 | | | | |
| 20 | | | | | Terreno liso + mulch 5 Mg/ha | 0,025 | | | |

CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA. UNA PREMISA DE DESARROLLO SUSTENTABLE

| Localidad | Zona de vida / Suelo | Año | Longitud de parcela | Pendiente del terreno % | Sistema de producción/ uso de la tierra o cobertura | Manejo y prácticas de conservación | Factor "CP" EUPS | Fuente | |
|---|---|---------------------------|---------------------|-------------------------|---|------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Petaquire Estación Experimental Bajo Seco UCV | Idem* | 1990 | 10 | 20 | CHPA papa | Surcos en contorno + mulch 5 Mg/ha | 0,0004 | Castillo (1991) | |
| | | 1991 | 10 | 15 | CHPA Zanahoria, remolacha, ajoporro | Terreno liso liso | 0,45 | Fernández (1995b) | |
| | | | | 20 | | Platabanda | 0,10 | | |
| | | | | 36 | CPP Pasto | Pasto Taiwan denso para corte | < 0,0001 | | |
| | Transición Bosque seco-bosque húmedo montano bajo | 1989 | 11 | 42 | CPF Durazno | Durazno en terrazas individuales | 0,15 | Syoufi (1990) | |
| | | 1990 | | | | | 0,15 | | |
| | | 1991 | | | | | < 0,0001 | | |
| | | Suelo: Orthoxic Tropudult | 1989 | 10 | 70 | Bosque natural | No intervención | 0,0001 | Fernández (1995b) |
| | | | | | | Bosque de pinos | | 0,0001 | |
| | | | | | | Bosque natural | | 0,017 | |
| | | | 1990 | | | Bosque de pinos | | 0,079 | |
| | 1991 | Bosque natural | < 0,0001 | | | | | | |
| | | Bosque de pinos | 0,0002 | | | | | | |

Abreviaturas: CAM - Cultivos anuales mecanizados
 CS - Cultivos de subsistencia
 CPP - Cultivos permanentes pasto
 CHPA - Cultivo de hortalizas piso alto
 CPF - Cultivos permanentes frutales

sería insuficiente. Las franjas en contorno y las franjas amortiguadoras logran reducir hasta en 30 veces los valores de “CP”, siendo más eficientes cuando se trata de un pasto la cobertura de la franja protectora. La labranza cero logra similares niveles de eficiencia siempre y cuando exista un nivel de residuos adecuados. En ausencia de residuos, su eficiencia está en el orden de magnitud de la labranza en contorno.

Las hortalizas, evaluadas en la localidad de Petaquire, presentan durante sus cortos ciclos valores de “CP” en el rango 0,1 a 0,9, siendo el grado de protección ofrecido muy bajo, en general, menor al de los cereales. El uso de residuos “mulches” aplicados localmente puede ser muy eficiente si se realiza en el inicio del ciclo del cultivo, caso de los años 1984-85, 1989 y 1990. Aplicaciones tardías no permiten el grado de protección requerido cuando la exposición de la superficie del terreno a las lluvias es máxima, caso del año 1988. El uso de surcos en contorno y platabandas corresponde a grados de eficiencia similares a los de la labranza en contorno en los cereales y por sí solos no son suficientes en reducir las pérdidas de suelos a límites tolerables en las condiciones de vulnerabilidad a la erosión, que presentan las laderas y vertientes de pendientes pronunciadas, donde se presentan sistemas de producción dedicados a estos cultivos.

Los sistemas de cultivos de subsistencia representados por el uso de cultivos asociados presentan grados de protección mayores a los cereales y hortalizas, con valores de “CP” en el rango de 0,01 a 0,08, valores que dependen mucho del grado de intervención por efecto de la preparación de tierras y control de malezas. El sistema de cultivo manual y la protección ofrecida por plantas con diferentes hábitos de crecimiento les confiere a estos sistemas una capacidad de protección mayor. En algunos casos pueden requerir de prácticas suplementarias para evitar la degradación de las tierras que ocupan, generalmente susceptibles a procesos erosivos.

Los cultivos permanentes representados por frutales como el duraznero presentan valores muy bajos, $<0,001$ hasta $0,15$, dependiendo del grado y tipo de control de malezas aplicado. Similares resultados reportan Useche et al. (1986) para el cultivo de café a plena exposición solar, variando el "CP" desde $0,088$ con cobertura de vegetación natural limpiada a machete hasta $0,396$ limpiando con escardilla. En el caso de los pastos, se obtuvieron valores "CP" desde muy bajos, $<0,0001$ a $0,047$, en el caso del pasto Taiwan para corte ya establecido y con una cobertura densa en comparación con valores de $0,12$ - $0,22$ para otros pastos en el año de establecimiento.

Las coberturas permanentes y no intervenidas de bosques naturales y protectores presentaron valores de "CP" desde muy bajos $<0,0001$ hasta $0,017$. El bosque de pinos presentó valores ligeramente superiores a los bosques naturales, lo cual puede deberse a la muy baja o nula diversidad del sotobosque. Los bosques y pastos densos presentan el grado de protección más alto contra la degradación por efecto de erosión hídrica.

En el cuadro IV.6 se reportan valores de "CP" correspondientes a sistemas de cultivos asociados con barreras vivas. Las barreras vivas, evaluadas solas o en conjunto con cultivos y otras prácticas, y espaciadas a diferentes distancias, reflejan variados valores de "CP" menores a $0,001$, al asociarse con altos niveles de residuos y/o cultivos permanentes hasta $0,53$, cuando se encuentra sola y en su primer año de establecimiento.

Cuadro IV.6. Evaluación de la eficiencia de barreras vivas en parcelas de erosión bajo condiciones de lluvia natural en diversas condiciones agroecológicas

| Material vegetativo | Localidad | Año | Zona de vida | Pendiente del terreno % | Longitud de parcela (metros) | Espaciamiento entre barreras vivas (metros) | Uso y manejo entre barreras BV | Factor C/P | Fuente | |
|---|--------------|------|---|-------------------------|------------------------------|---|------------------------------------|------------|--|--|
| <i>Cenchrus ciliaris</i> (cadillo bobo) | Maracay | 1980 | Bosque seco premontano Suelo: Cumulic Haplustoll | 15 | 22 | 11,5 | Suelo desnudo (1 BV) | 0,53 | Rodríguez Lizaso y Páez (1982) y Rodríguez (1989a) | |
| | | 1981 | | | | | | 0,37 | | |
| | | 1982 | | | | | | 0,25 | | |
| <i>Andropogon geyanans</i> | Chagua-ramas | 1985 | Bosque seco tropical Suelo: Typic Paleustalf | 4 | 20 | 20 | Maíz, labranza convencional (1 BV) | 0,09 | Páez y Rodríguez (1992) | |
| | | | | | | | | 10 | 0,07 | |
| | | 20 | | | | | | 0,22 | Páez y Rodríguez (1992) | |
| <i>Andropogon geyanans</i> | Yaritagua | 1985 | Bosque seco tropical Suelo: Oxic Paleustalf | 4 | 15 | 15 | Maíz, labranza convencional (1 BV) | 0,12 | Páez y Rodríguez (1992) | |
| | | | | | | | | 20 | 0,12 | |
| | | | | | | | | 30 | 0,25 | |

| Material vegetativo | Localidad | Año | Zona de vida | Pendiente del terreno % | Longitud de parcela (metros) | Espaciamiento entre barreras vivas (metros) | Uso y manejo entre barreras BV | Factor CP | Fuente | | |
|--|--|-------------|---|-------------------------|------------------------------|---|--|-----------|-------------------------------------|-------------------|------------------------|
| <i>Vetiveria zizanioides</i> (vetiver) | Petaquire Estación Experimental Bajo Seco, UCV | 1984 - 1985 | | 15 | 20 | 10 | Secuencia remolacha-zanahoria en plataforma (2 BV) | 0,008 | Fernández (1989) | | |
| | | | | | | | Secuencia repollo y coliflor en surcos (2 BV) | | | | |
| | | 1986 | Transición bosque seco-bosque húmedo montano bajo | 15 | 20 | 10 | 10 | 10 | 0,001 | Fernández (1995a) | |
| | | | | | | | | | | | Suelo: Aquic Paleudult |
| | | 1989 | 1er. ciclo | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 | Remolacha terreno liso (1 BV) | 0,01 | Syoufi (1990) |
| | | | | | | | | | Trigo en hileras, labranza c. (1BV) | | |
| 1989 | 2do. ciclo | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0,11 | Urbina y Rodriguez (1995a) | | |

| Material vegetativo | Localidad | Año | Zona de vida | Pendiente del terreno % | Longitud de parcela (metros) | Espaciamiento entre barreras vivas (metros) | Uso y manejo entre barreras BV | Factor C P | Fuente |
|--|--|------|--|-------------------------|------------------------------|---|--|------------|--|
| <i>Vetiveria zizanioides</i> (vetiver) | Petaquire Estación Experimental Bajo Seco, UCV | 1989 | Transición bosque seco-húmedo montano bajo Suelo: Ortoxic Tropudult | 42 | 11 | 10 | Durazno en terrazas individuales (1 BV) | 0,004 | Urbina y Rodríguez (1995a) Castillo (1991) Fernández (1995b) |
| | | 1990 | | | | | | | |
| | | 1991 | | | | | | | |
| | | 1992 | | | | | | | |
| | | 1990 | Transición bosque seco-húmedo montano bajo Suelo: Aquic Paleudult | 15 | 10 | 10 | Papa en surcos (1 BV) | 0,006 | Castillo (1991) |
| | | 1991 | | | | | | | |
| | | 1992 | Transición bosque seco-húmedo montano bajo Suelo: Aquic Paleudult | 15 | 10 | 10 | Zanahoria remolacha y ajoporro (2 ciclos) (1 BV) | 0,0016 | Fernández (1995b) |
| | | 1992 | | | | | | | |
| | | | | | | | Mulch 1,5a 5 Mg/ha (1 BV) | | Fernández (1995c) |

IV.6 MODIFICACIONES Y DERIVACIONES DE LA USLE. MODELOS DE SIMULACIÓN AGROAMBIENTAL

IV.6.1 ECUACIONES Y MODELOS DERIVADOS DE LA USLE

MUSLE: Williams (1976) propuso que el término de energía de la lluvia, el índice EI_{30} de la USLE, podría ser reemplazado por un término de energía del escurrimiento para predecir el rendimiento de sedimentos directamente sin necesidad de utilizar un coeficiente de entrega, al aplicar la USLE en pequeñas cuencas, ya que la USLE no considera la sedimentación. Desarrolló un procedimiento para cuencas homogéneas; en cuencas heterogéneas deben seguirse procedimientos de tránsito de los sedimentos.

Silva (2002) haciendo referencia al componente de erosión del modelo EPIC con base en la documentación publicada por USDA-ARS-BRC(1997), señala las seis ecuaciones utilizadas por EPIC para calcular erosión y que se basan en la energía de las lluvias (USLE), energía del escurrimiento (MUSLE, MUSS, MUST Y MUSI) y una combinación de ambas (Onstad-Foster). A continuación la expresión general de las ecuaciones de erosión:

$$Y=X (K) (CE) (PE) (LS) (ROKF)$$

Donde:

- Y: Producción de sedimentos (Mg/ha)
- X: Factor energético, variable según ecuación
- K: Erosionabilidad del suelo
- CE: Relación de pérdidas de suelo por uso y manejo de la tierra
- PE: Relación de pérdidas de suelo por prácticas de conservación
- LS: Relación de pérdidas de suelo por longitud y gradiente de la pendiente
- ROKF: Relación de pérdidas de suelo por pedregosidad superficial

Las correspondencias del factor energético (X), según el caso, son:

| | |
|----------------|---|
| USLE: | $X = EI_{30}$ |
| MUSLE: | $X = 1,586(Q q_p)^{0,56} A^{0,12}$ |
| MUST: | $X = 2,5(Q q_p)^{0,5}$ |
| MUSS: | $X = 0,79(Q q_p)^{0,65} A^{0,009}$ |
| MUSI: | $X = b y_1 Q^{b y_2} q_p^{b y_3} A^{b y_4}$ |
| Onstad-Foster: | $X = 0,646 EI_{30} + 0,45(Q q_p)^{0,33}$ |

EI_{30} es la energía erosiva de la lluvia (N/h), equivalente a 10 MJ mm/ha h; Q es la lámina del escurrimiento en mm; q_p es el caudal pico (mm/h); y A es el área del terreno. En MUSI las variables de calibración $b y_n$ son ajustadas por el usuario según mediciones de campo.

La ecuación de Onstad-Foster combina la energía de la lluvia y el escurrimiento, lo cual, según sus autores, podría mejorar la capacidad de predicción de la ecuación para estimar la erosión, mas no fue desarrollada con la intención de predecir la producción de sedimentos (Onstad y Foster, 1975, citados por Barfield et al., 1981).

Las variables volumen de escorrentía Q y escorrentía pico q_p se calculan mediante el método de la curva número CN del Servicio de Conservación de Suelos USDA-ARS (1977) y una modificación de la fórmula racional señalados por Silva (2002).

Para la predicción del rendimiento de los sedimentos en cuencas, William y Berndt (1977) proponen una manera de calcular la pendiente promedio y la longitud promedio para una cuenca. Para la pendiente(s) sugieren la siguiente ecuación:

$$s = 0,25 Z (LC_{25} + LC_{50} + LC_{75}) / DA$$

siendo:

s : Pendiente promedio de la cuenca

Z : Altura total de la cuenca

$LC_{25} + LC_{50} + LC_{75}$ = longitud de las líneas de contorno a 25, 50 y 75% de Z

DA : Área de la cuenca

En cuanto a la longitud de la pendiente (λ), los autores proponen la siguiente ecuación:

$$\lambda = (LC + LB) / 2EP \sqrt{LC^2 + LB^2}$$

donde:

λ = Longitud promedio de la pendiente de la cuenca

LC = Longitud total de las líneas de contorno

LB = Longitud total de las líneas base de contorno

EP = Número de puntos extremos (la línea del contorno se cruza con la línea de un drenaje) sobre las líneas de contorno

En relación con los factores K , C y P , se sugiere ponderar en función de la superficie ocupada por el tipo de suelo, el uso o la práctica, aunque es preferible separar las subcuencas homogéneas y calcular los rendimientos de sedimentos por separado cuando esto sea posible. El coeficiente de entrega está incorporado en la formulación de MUSLE, ya que la ecuación fue derivada usando la producción de sedimentos en cuencas.

SLEMSA. Es la versión europea del modelo de la USLE, siendo la estructura del modelo muy similar. Fue desarrollado por Elwell (1981), citado por Morgan (1997), para ser aplicado en Sudáfrica. Se reconocen cuatro sistemas físicos: cultivo, clima, suelo y topografía. Los efectos de la labranza y el manejo en el suelo se contabilizan dentro del sistema suelo.

Se consideran cinco variables de control: la interceptación de la lluvia por la vegetación, la energía de la lluvia, la erosionabilidad del suelo, la longitud y la inclinación de la pendiente.

El modelo se divide en tres submodelos: 1) Una relación de cultivo, 2) una combinación de la erosionabilidad del suelo y la erosividad de la lluvia, representando la erosión en suelos sin cobertura y topografía estándar, 3) una relación de topografía. Para cada submodelo se desarrolló un nomograma. Las pérdidas de suelo

se obtienen combinando los resultados de los tres submodelos en un nomograma final.

RUSLE o ecuación universal de pérdidas de suelo revisada

La USLE es una ecuación de predicción de la erosión basada en índices y derivada en forma empírica. Ésta empezó a sufrir modificaciones metodológicas y ampliación de su base de datos desde el mismo momento en que se publicó su última versión en 1978, y a lo largo de casi dos décadas se acumuló información y nueva tecnología para determinar los factores que intervienen en la erosión hídrica. Además, con la aparición de las computadoras personales se facilitó el desarrollo de programas que asisten y facilitan la realización de los cálculos requeridos. El propósito original de servir como una guía para la planificación conservacionista sigue siendo válido en el desarrollo de modelos de predicción de la erosión y la experiencia de campo acumulada durante las últimas cuatro décadas del siglo XX da origen a la versión revisada de la USLE, denominada RUSLE1 (Renard et al., 1997).

La RUSLE1 es un modelo híbrido que combina índices derivados empíricamente y ecuaciones basadas en procesos. Los factores componentes del modelo RUSLE1 que determinan la erosión siguen siendo los mismos, sólo que se establecen métodos para determinarlos con mayor precisión; además, se incluyen nuevas condiciones de uso de la tierra no consideradas en la USLE o insuficientemente desarrolladas, como el caso de áreas bajo pastos, bosques disturbados y condiciones no agrícolas, entre estas, las zonas afectadas por la minería, rellenos sanitarios, campos de entrenamiento militar y los sitios de construcción. El concepto de parcela unitaria o parcela de referencia se sigue utilizando en RUSLE1, siendo el valor correspondiente al de la parcela unitaria para un determinado factor igual a 1, y aquellas condiciones que difieren a esa condición de referencia presentarán valores por encima o por debajo de 1. El modelo calcula en el largo plazo pérdidas promedio anuales de suelo por erosión laminar y en surcos en condiciones particulares de laderas

específicas, bajo un sistema de uso y manejo de la tierra, con base en una resolución temporal de períodos correspondientes a la mitad de un mes para el cálculo del factor C y K .

RUSLE1 incorpora bases de datos mejoradas con mapas nuevos o revisados de líneas de isoerosividad (R) en EE UU; además, se pueden realizar correcciones en el valor de R por efecto del empozamiento que absorbe el impacto de las gotas en terrenos de muy baja inclinación de la pendiente. RUSLE1 incluye un enfoque que considera los cambios en el tiempo de la erosionabilidad (K) de los suelos, es decir, su variabilidad temporal, afectada por procesos de congelamiento y descongelamiento, y por efectos en la consolidación del suelo causada por cambios en el contenido de humedad debido al consumo de agua por los cultivos; también, incluye rutinas de cálculos de erosionabilidad para suelos volcánicos y el efecto del contenido de rocas en el perfil sobre la permeabilidad.

En RUSLE1 se presentan nuevas ecuaciones para determinar el factor de topografía (LS) por el efecto de la pendiente, la longitud de la pendiente y de la relación entre la erosión en el surco y entre surcos. Esta relación afecta el exponente m de la fórmula para obtener el factor L de la longitud de la pendiente. Los valores de longitud crítica para el contorno y otras prácticas son reajustados; y son incorporados nuevos valores de conservación para el factor (P) de prácticas de conservación (Renard et al., 1997). Los valores de longitud crítica para el contorno y otras prácticas en RUSLE1 van a depender del grupo hidrológico de suelo, las condiciones de manejo-cobertura, la inclinación de la pendiente y la tormenta de máxima erosividad en un período de retorno de 10 años. Los valores de longitud crítica presentados para RUSLE1 son mayores que los originales propuestos para USLE, sobre todo en condiciones de pendientes bajas, riesgo de tormentas erosivas pequeñas, niveles de cobertura y manejo asociados con usos permanentes como pastizales y cultivos de no labranza, así como para suelos con buena permeabilidad.

La determinación del factor (C), en RUSLE1 se realiza con base en un conjunto de subfactores en áreas de cultivo, pasturas y áreas intervenidas y es este procedimiento el que permite aplicar la ecuación en forma independiente al uso de la tierra. El efecto de la pedregosidad superficial es considerado como parte del subfactor cobertura basal o a ras del suelo, afectando la relación de pérdidas de suelo del factor cobertura y manejo o factor C.

Otra adición importante es que se toma en cuenta la tasa de descomposición de los residuos como una función de las características del residuo y de las variables climáticas, precipitación y temperatura, fundamentalmente.

El efecto de la biomasa viva y muerta enterrada es considerado como parte del subfactor uso antecedente de la tierra en interacción con operaciones de labranza, correspondiente al llamado factor reconsolidación del suelo.

El impacto de la rugosidad superficial en la erosión se define para una condición de referencia equivalente a la de la parcela unitaria, donde la rugosidad superficial aleatoria tiene un valor de 0,24 pulgadas, y el subfactor de rugosidad tiene un valor de 1. En esta condición la superficie es lisa con terrones de pequeño diámetro; superficies muy pulverizadas presentarán un valor del subfactor mayor a 1 y superficies más rugosas valores menores a 1. La rugosidad decae en el tiempo por efecto de la precipitación acumulada y generalmente se incrementa por efecto de las operaciones de labranza primaria, aspectos considerados por el modelo.

En RUSLE1 se considera una limitada interacción entre los factores componentes de la ecuación. Los autores consideran que esta ecuación revisada sustituye las anteriores versiones de USLE y que se espera será reemplazada por los modelos basados en procesos como WEPP en algún momento en el futuro.

Aun cuando RUSLE1 se apoya en un programa computacional que corre bajo ambiente UNIX y DOS para facilitar el cuantioso número de cálculos necesarios, es todavía posible aplicarla

manualmente haciendo uso de tablas y fórmulas contenidas en la publicación del Manual de Agricultura N° 703 USDA-ARS (Renard et al., 1997).

La RUSLE2 es un modelo que se expande en su estructura híbrida utilizando numerosas ecuaciones basadas en procesos y una estructura que asemeja la de la USLE en sus factores componentes, pero que utiliza una integración matemática diferente a la utilizada en USLE y RUSLE1 (Foster et al., 2003). Los cálculos sólo son realizados mediante un programa de computación bajo ambiente Windows que organiza y resuelve las ecuaciones matemáticas y que incluye herramientas para el mantenimiento de la base de datos y una interfase gráfica para la entrada y salida de éstos. Ya no es posible aplicarla mediante cálculos manuales. Este modelo sigue teniendo, al igual que sus antecesores, el propósito de servir de guía para la planificación conservacionista de la tierra. Los estimados de erosión son comparados con un criterio como el de tolerancia de pérdidas de suelo y son preseleccionadas aquellas alternativas dentro del criterio. Las tres ecuaciones o modelos estiman pérdidas anuales promedio. La sedimentación no es estimada por la USLE, mientras que RUSLE1 y RUSLE2 estiman la sedimentación en pendientes con un perfil cóncavo, en franjas de vegetación densa, en los canales de terrazas y en las lagunas de sedimentación. RUSLE2 toma en cuenta la calidad del sedimento a lo largo de un perfil de escorrentía y cómo va cambiando su relación de enriquecimiento aguas abajo, mientras que RUSLE1 asume un solo coeficiente en función de la textura para hacer los cómputos de sedimentación. El promedio de erosión anual es calculado por RUSLE2 con base en la expresión:

$$A = S \sum (r_k K_k l_k c_k p_k)$$

donde:

k = Indicador del día del año

Como puede observarse, el único valor constante e independiente es el factor S, siendo que los demás factores se integran según valores promedio diarios y se calculan utilizando ecuaciones que consideran las diversas interacciones entre éstos (Foster et al., 2003).

En RUSLE2 también se realiza una integración espacial cada día a lo largo de la ladera, considerando la erosión, carga de sedimentos y la sedimentación mediante algoritmos que permiten el enrutamiento de la escorrentía y los sedimentos. Esto permite su aplicación a laderas no uniformes con cambios en la topografía, suelo, cobertura-manejo y prácticas de conservación donde ocurre sedimentación (Foster, 2005). Si ocurre un enriquecimiento en partículas finas en un segmento superior de la ladera, la sedimentación en un segmento inferior será menor. Esta particularidad es diferenciada por RUSLE2 mas no por RUSLE1, donde el coeficiente de sedimentación es uno solo.

En RUSLE2 se considera la relación erosión en el surco/erosión entre surcos como una variable afectada por la relación de la erosionabilidad del suelo en el surco y entre surcos y que se estima en función de la textura, principalmente, el efecto relativo de la cobertura, la pendiente, la biomasa del suelo y la consolidación del mismo. En forma virtual se considera la condición estándar para la parcela unitaria de referencia cuando la relación erosión en el surco/erosión entre surcos es igual a 1.

La RUSLE1 está limitada en la complejidad de la ladera que puede representar, en comparación con RUSLE2, que es capaz de representar formas de perfiles de ladera muy complejos con una combinación de suelos, cobertura-manejo y prácticas de conservación variadas (Foster, 2003).

La escorrentía crítica es calculada con base en la metodología del número de curva y este último es obtenido basado en índices para una determinada condición de manejo-cobertura en RUSLE1, mientras que en RUSLE2 es calculado mediante ecuaciones en función de las fuerzas de corte ejercidas por el escurrimiento y la carga de sedimentos (Foster, 2005; Foster et al., 2003).

En ningún caso estos modelos son modelos de simulación, ya que las condiciones de campo les son dadas mediante descripciones detalladas realizadas por el usuario, usando herramientas provistas

por el modelo. Este enfoque, aunque parezca primitivo, le confiere fortaleza, precisión y flexibilidad. No incluyen un modelo de crecimiento del cultivo ni de otros procesos relacionados, pero sí ecuaciones que representan los efectos principales sobre el proceso de erosión. Estos modelos siguen estando limitados a procesos de erosión laminar y en surquillos, y no sirven para calcular erosión ocasionada por flujo concentrado en cárcavas y cauces de ríos ni para estimados de erosión generados por movimientos en masa.

Es de esperar que los modelos basados en procesos y que integran otras variables y procesos agroambientales reemplacen en el mediano y largo plazo a los modelos empíricos y a los híbridos. Es allí donde se están llevando a cabo los mayores esfuerzos en el área de la investigación. Sin embargo, debido a que no existe una descripción matemática para todos los procesos o se carece de la información para la aplicación de modelos de simulación más avanzados, sigue siendo razonable la aplicación de herramientas más sencillas, pero que responden a las necesidades del usuario y sus posibilidades técnicas y financieras.

IV.6.2 LOS MODELOS DE SIMULACIÓN AGROAMBIENTALES

Silva et al. (2001), citado por Silva (2002), emplean el término “modelos agroambientales” para referirse a los modelos de simulación que permiten evaluar los procesos de productividad y degradación según las relaciones entre el ambiente, el uso y el manejo de las tierras. Definen estos modelos como un conjunto de ecuaciones y reglas que asocian información de entrada para calcular variables de interés agronómico, hidrológico y de calidad ambiental y, a su vez, permiten cuantificar procesos de productividad y/o degradación en unidades ambientales bajo diversos escenarios de uso y manejo.

Silva (2000) expone que para el análisis de la sostenibilidad los modelos agroambientales permiten evaluaciones que serían

imprácticas, inviables o imposibles de llevar a cabo mediante experimentación o medición de campo, debido al tiempo y recursos requeridos, y que con dichos modelos pueden establecerse tendencias sobre los procesos de productividad y degradación ambiental, de una manera rápida y económica, para una serie de escenarios de ambiente, uso y manejo de la tierra. Silva (2002) menciona que, independiente del objeto de la aplicación de modelos agroambientales, es conveniente efectuar ajustes en la base de datos (y coeficientes de calibración, si es el caso) para que se simulen procesos y características con valores dentro de intervalos racionales.

A continuación se describen algunos de los principales modelos agroambientales, entre muchos que pueden ser encontrados en la literatura, por su afinidad y coevolución con los modelos de erosión ya descritos.

EPIC, anteriormente *erosion productivity impact calculator* Williams et al. (1984), ahora *environmental policies integrated climate* (USDA-ARS-BRC, 1997) se diseñó para ser aplicado en campos de cultivo homogéneos con el objetivo de: a) evaluar el impacto de la erosión sobre la productividad de los cultivos, b) evaluar el efecto del uso de la tierra y manejo de los cultivos sobre la erosión y el balance de nutrimentos y plaguicidas en los sedimentos y el agua, c) evaluar el efecto de las prácticas de manejo sobre el rendimiento del cultivo. El modelo se desarrolló basado en el componente de escorrentía superficial del modelo CREAMS (Chemical, Runoff, Erosion on Agricultural Management Systems, Knisel, 1980), citado por Silva (2002), pero a diferencia de éste, que trabaja en función de eventos de lluvia individuales, opera en forma continua, tomando en cuenta las precipitaciones diarias. Se le añade un componente de cultivo para simular la cobertura en cuanto afecte escurrimiento y erosión y, a su vez, cómo estos procesos afectan de manera recíproca el crecimiento del cultivo; además permite analizar la influencia de las prácticas de manejo. La erosión es calculada con base en la ecuación de la MUSLE y sus modificaciones anteriormente descritas. El balance hídrico se actualiza diariamente y son considerados

diferentes estratos del suelo. Igualmente, se considera la dinámica del nitrógeno y del fósforo y se incluye un componente de plaguicidas derivado del modelo GLEAMS. Para analizar escenarios de largo plazo y el impacto de la erosión acumulada en la productividad, se añadió un componente de generación climática con el que se pueden analizar períodos hasta de un siglo. Un aspecto importante es que los suelos y el manejo se consideran espacialmente homogéneos.

APEX. El modelo APEX (Williams et al., 1998) fue desarrollado para ser usado en el manejo de pequeñas cuencas agrícolas, y específicamente se elaboró para evaluar varias estrategias de manejo de la tierra, que consideran la sostenibilidad, erosión (eólica, e hídrica laminar y concentrada), economía, suplencia y calidad de agua, calidad del suelo, competencia entre plantas, clima y plagas. Las capacidades de manejo incluyen riego, drenaje, surcos con tapas, franjas amortiguadoras, terrazas, drenajes protegidos, fertilización, manejo de estiércol, lagunas y reservorios, rotaciones de cultivo, selección de cultivos, aplicación de plaguicidas, pastoreo y labranza. Además de estas funciones de manejo agrícola, APEX puede ser utilizado en evaluar los efectos de cambios de clima global y de CO₂, diseño de sitios para rellenos sanitarios ambientalmente seguros, diseño de sistemas de producción de biomasa para generación de energía y otras aplicaciones de interés. El modelo opera sobre una base diaria de escala temporal y es capaz de simular cientos de años si es necesario. Las áreas pueden ser divididas en lotes, tipos de suelo, posiciones del terreno o cualquier otra configuración requerida.

SWRRBB. *Simulator for water resources in rural basins* (Williams et al., 1985), citado por Silva (2000; 2002), es un modelo para ser aplicado en cuencas sin registros con la finalidad de estimar los efectos de los cambios de uso y manejo de la tierra en la producción de agua y sedimentos. Se basa en el componente hidrológico de CREAMS y varios de sus componentes fueron extraídos de EPIC. Considera procesos como escorrentía, flujo de retorno, percolación, evapotranspiración, pérdidas de transmisión, almacenamiento en

lagunas y represas, sedimentación y crecimiento del cultivo. Permite el análisis de varias subcuencas simultáneamente, hasta diez, para reflejar diferencias por cultivo y suelo; considera hasta diez horizontes del suelo en sentido vertical. Los cálculos son realizados sobre una base diaria en forma continua. Posee una rutina de tránsito sencilla desde la salida de cada subcuenca directamente conectadas con la salida de la cuenca. A finales de los años ochenta le fueron incorporados componentes del modelo GLEAMS que considera la carga de plaguicidas. Silva (1996a;b), reporta una alta sensibilidad del modelo a variables como el número de curva, erosionabilidad, conductividad hidráulica saturada y capacidad de agua disponible en el suelo. El mismo autor señala que la utilidad del modelo radica en reflejar tendencias en cuanto a degradación o respuesta general ante cambios de uso y manejo y no debe ser usado para la planificación detallada en cuencas.

SWAT. *Soil and water assessment tool* (Arnold et al., 1995) y USDA-ARS-BRC (1999), citados por Silva (2002), se desarrolló para simular cuencas fluviales grandes, agregando un componente más elaborado de tránsito para sedimentos y escurrimiento en canales y reservorios de agua fundiendo su antecesor SWRRB con un programa denominado ROTO. El modelo es continuo y trabaja sobre una base temporal diaria. Se han propuesto varias versiones. Una para Windows, en la cual se deben describir las características físicas de las subcuencas consideradas, y otra para ARC VIEW y GRASS, en la cual se automatiza el proceso de entrada de datos en gran parte, al utilizar modelos de elevación digital, mapas de suelo y mapas de uso de la tierra y extraer de éstos las variables de entrada al asociarlas con las bases de datos relacionadas. SWAT se emplea para estimar los efectos de los cambios de uso y manejo de la tierra en la producción de agua y sedimentos y en la calidad de las aguas (nutrientes, agroquímicos, bacterias) en cuencas fluviales. Se considera separadamente la heterogeneidad de las subcuencas mediante el uso de unidades de respuesta hidrológica homogéneas en cuanto a clima, suelo, cobertura y manejo (HRU). Este enfoque permite que la producción de agua, de sedimentos y de agroquímicos

asociados con los sedimentos sea ponderada en relación con la superficie ocupada por cada unidad de respuesta hidrológica, permitiendo un considerable detalle espacial sin simular los lotes de terreno individuales (Arnold et al., 1999). Los componentes principales del modelo son: hidrología, clima, sedimentación, crecimiento del cultivo, nutrimento, manejo agrícola y pesticidas y los componentes de tránsito en canal y en reservorios. Tanto en SWAT como en SWRRB se utiliza la MUSLE para predecir la producción de sedimentos.

WEPP. *Water erosion prediction project* (Flanagan y Livingston, 1995). Consiste en un modelo de parámetros distribuido, de simulación continua para predecir erosión en un perfil de ladera, que puede incluir cambios de pendiente, suelos, coberturas y manejo, o en cuencas, asociando dos o más perfiles. El modelo se basa en procesos físicos sobre hidrología y erosión.

Los componentes del modelo son generación del clima, procesos invernales, riego, hidrología, suelos, crecimiento del cultivo, descomposición de residuos, hidráulica del flujo superficial y erosión. Se utiliza un modelo separado, CLIGEN, para generar los datos de precipitación, temperatura, radiación solar y velocidad del viento. Considera valores de erosionabilidad separados para la erosión entre surcos y en el surco, así como un valor umbral de fuerza hidráulica de corte crítica. El componente de erosión utiliza una ecuación de continuidad que estima los cambios en la carga de sedimento del flujo de aguas a lo largo del perfil de la pendiente y los aportes de sedimentos por separación en las áreas entre surcos y en el surco, teniendo en cuenta la cobertura del dosel, la cobertura basal y los residuos enterrados. El modelo también considera la sedimentación selectiva a lo largo del perfil y la calidad del sedimento que sale del perfil. Para su aplicación en cuencas se consideran tres componentes adicionales, la hidrología e hidráulica del canal, la erosión en canal y los reservorios.

Las salidas principales de WEPP son el escurrimiento y la producción de sedimentos para todo el perfil de la ladera, así como la pérdida y acumulación de suelo en cada elemento de flujo superficial

(*overland flow element* –OFE). También se obtiene información del crecimiento y cobertura de los cultivos, características del suelo afectadas por la labranza y variables de escurrimiento.

Silva (2002) señala como la principal limitación de WEPP el tipo de información climática que requiere, ya que demanda valores asociados a duración e intensidad de cada lluvia en particular. La base de datos climáticos con que cuenta es muy rígida, lo que hace extremadamente difícil construir los archivos de clima con información propia.

A manera de resumen se presenta el cuadro IV.7 con las ecuaciones y modelos previamente discutidos y sus principales rasgos. Éste puede ayudar a seleccionar el modelo apropiado para una tarea determinada. Como puede notarse, existe una amplia gama de modelos existentes, de los cuales sólo se han nombrado los principales. Las utilidades, restricciones y ventajas que presenta cada uno deben ser evaluadas concienzudamente antes de emprender un proyecto que requiera del apoyo de este tipo de herramientas.

A la hora de seleccionar un modelo deben de tenerse en cuenta los objetivos planteados, los recursos disponibles, la información de entrada existente y la que se pueda obtener razonablemente, la capacidad computacional y los modelos disponibles.

La validez de un modelo se juzga por la medida en que éste satisface los propósitos de su aplicación. La precisión puede ser muy importante, pero en conservación de suelos y agua la toma de decisiones con base en escenarios planteados puede ser aun de mayor importancia (Toy, 2002, citado por Foster et al., 2003).

Generalmente, se selecciona el modelo que con la mayor simplicidad y menores requerimientos de información que cumpla con los objetivos de la evaluación planteada (Silva, 1995). Otros criterios importantes son la consistencia de las estimaciones y la sensibilidad de los resultados ante cambios de los parámetros de entrada.

Cuadro IV.7. Algunas ecuaciones y modelos agroambientales usados para estimar erosión, escorrenia, producción de sedimentos y contaminación difusa

| Modelo | Tipo de modelo | | Fundamento | | Agregación | | | | | | | Erosión | | | Escurrimento | | | | Conta-minación | | | | | |
|---------|--------------------|-----------------------|------------|--------------------|----------------------------|-------------------|------------------------|----------------|---------------|----------------|----------|----------|-------------------|---------------|--------------------------|--------------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|------------|----------|-----------|---|
| | Predicción erosión | Modelo agro-ambiental | Empírica | Basado en procesos | Parcela o unidad de tierra | Ladera segmentada | Área colectora pequeña | Cuenca pequeña | Cuenca grande | Cuenca Fluvial | Espacial | Temporal | Pérdidas de suelo | Sedimentación | Producción de sedimentos | Producción de agua | Escorrenia superficial | Flujo de retorno | Flujo de base | Escorrenia pico | Nutrientes | Biocidas | Bacterias | |
| EUPS | • | | • | | • | | | | | | | A/C | AP | | | | | | | | | | | |
| MUSLE | • | | • | | • | | • | | | | | E | E | | | | | | | | | | | |
| SLEMSA | • | | • | | • | | | | | | | A | AP | • | | | | | | | | | | |
| RUSLE 1 | • | | • | • | • | • | | | | | | M/2 | AP | • | | | | | | | | | | |
| RUSLE 2 | • | | • | • | • | • | | | | | | D | AP | • | | | | | | | | | | |
| EPIC | • | • | • | • | • | | | | | | | D | S | • | | | | | | • | • | • | • | • |
| APEX | • | • | • | • | • | | | | | | | D | S | • | | | | | | • | • | • | • | • |
| SWRRB | • | • | • | • | | | | | • | | | D | S | | | | | | | • | • | • | • | • |
| SWAT | • | • | • | • | | | | | • | | | D | S | | | | | | | • | • | • | • | • |
| WEPP | • | • | • | • | • | • | • | | | | | E | S | • | | | | | | • | • | • | • | • |

A: Anual E: Evento M: Mes D: Día S: Siglo C: Etapa de cultivo P: Promedio

V. PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

V.1 ASPECTOS GENERALES

Las tecnologías utilizadas para contrarrestar el efecto negativo de la degradación de tierras pueden denominarse, en su conjunto, prácticas de conservación de suelos y agua. Algunas de ellas, de origen ancestral, como las terrazas de riego en los sistemas de producción de arroz en las regiones asiáticas, y las terrazas de banco de los fenicios y los incas, han contribuido a la estabilidad de sistemas de producción agrícola que permitieron el desarrollo de esas civilizaciones. Sin embargo, se atribuye la desaparición de otras culturas a la erosión del suelo y la degradación de los recursos locales. En la figura V.1 se ilustra cómo las prácticas de conservación buscan establecer un balance que permita una adecuada productividad del suelo, lo que depende de la intensidad y exposición del recurso a los procesos de degradación, y de la eficiencia y capacidad de las prácticas en contrarrestar dichos procesos. Este balance debe considerar también otras funciones ecológicas del recurso suelo a la hora de seleccionar e implementar el uso de una determinada tecnología o conjunto de prácticas.

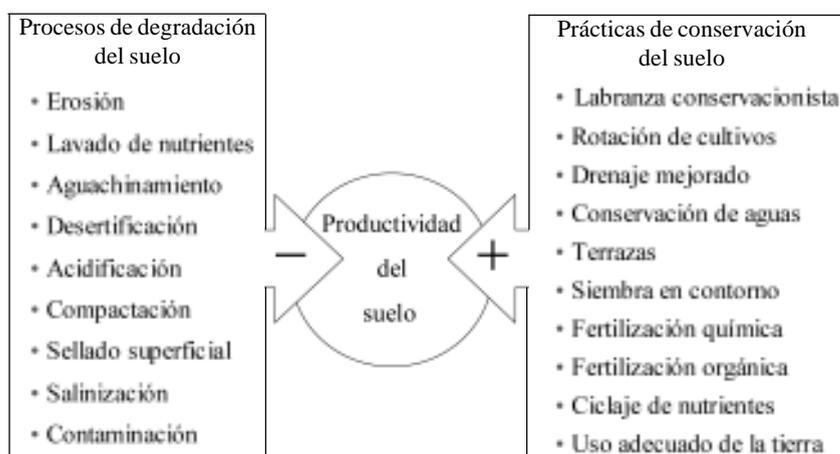


Figura V.1. Relaciones entre productividad, procesos de degradación del suelo y prácticas de conservación (Stewart et al., 1991).

V.1.1 CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA –CSA. CONCEPTO. PRINCIPIOS

La conservación de suelos, en sus inicios, fue concebida como el conjunto de medidas o prácticas orientadas a la protección y defensa de los suelos contra la erosión u otros tipos de deterioro. Actualmente, el concepto es más amplio, considerándose una premisa de la agricultura sostenible y del desarrollo sustentable.

La conservación de suelos y agua –CSA– puede definirse como el conjunto de acciones, medidas y estrategias destinadas a evitar o mitigar la degradación de los recursos suelo y agua, así como a su mejoramiento y recuperación, de manera que rindan el mayor beneficio colectivo mediante el flujo sostenido de sus funciones básicas, optimizando y diversificando las opciones de desarrollo de las generaciones presentes y futuras.

Esta definición es compatible con la concepción de *desarrollo sostenible* que, según la FAO (1992), consiste en la ordenación y conservación de la base de recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de tal manera que se asegure

la continua satisfacción de las generaciones presentes y futuras. Este desarrollo viable conserva los recursos, no degrada el medio ambiente y es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable.

En el ámbito agrícola, es componente indivisible de agricultura conservacionista, agricultura sustentable, manejo agrícola integrado y otras denominaciones que abogan por una producción agrícola eficiente, productiva y ambientalmente sana, que haga un uso racional de los recursos en el presente y a la vez los conserve para las generaciones futuras. Hudson (1988) subraya que la conservación de suelos *per se* es de poco valor, y que debe considerarse como parte integral del desarrollo agrícola general y no como una disciplina aislada. Es por ello que se puede considerar a la conservación de suelos y agua como una premisa del desarrollo sustentable, por las contribuciones que ésta realiza en pro de alcanzar los múltiples objetivos no sólo de naturaleza ecológica, sino también económica y social que exigen los criterios de la sostenibilidad.

La conservación de suelos y aguas como disciplina y como actividad debe tener como principio básico el contribuir al desarrollo de *sistemas de uso de la tierra sostenibles*. Por éstos se entiende aquellos sistemas que utilizan recursos biofísicos y socioeconómicos para producir bienes, que el actual ambiente socioeconómico (sociedad de hoy) valora por encima de los insumos requeridos y, que al mismo tiempo, el ambiente biofísico mantiene su productividad futura; es decir, son aquellos *sistemas económicamente viables y ecológicamente sostenibles* (Hart y Sands, 1990).

En la figura V.2 se resume esquemáticamente el logro del desarrollo de sistemas de producción sostenibles, incluyendo las prácticas de manejo y conservación en función del potencial del sistema para generar ingresos y controlar la degradación de las tierras. Si ambos objetivos son alcanzados, se logra un sistema más sostenible de uso de la tierra, y al contrario, si se falla en alcanzar ambos objetivos se nos presenta una situación de bajos beneficios mutuos, existiendo situaciones intermedias altamente insostenibles o zonas

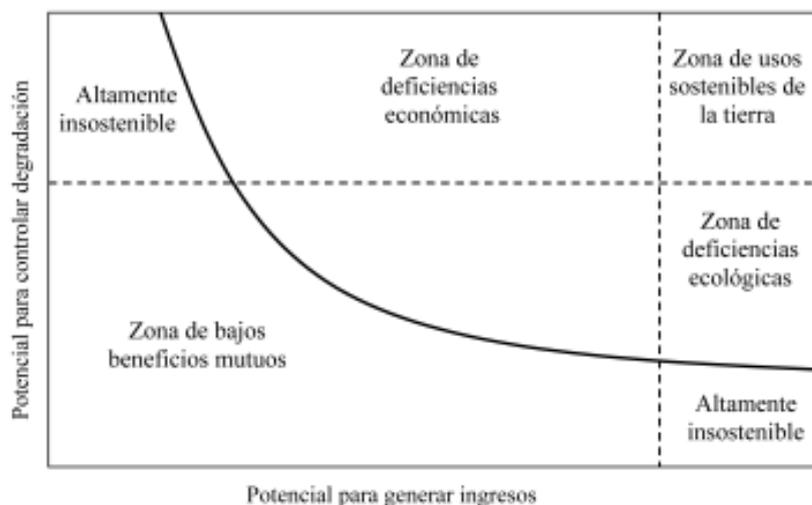


Figura V.2 Marco lógico para el desarrollo de sistemas de producción sostenible laderas (Müller-Samänn, CLAT, 1997).

de deficiencias ecológicas y económicas. Habría que añadir a este gráfico una tercera dimensión, la dimensión social, ya que las prácticas deben ser aceptables socialmente, es decir, compatibles con la cultura, idiosincrasia y costumbres de la comunidad.

En la figura V.3 se presenta un esquema para establecer un proceso de investigación-desarrollo de sistemas de uso de la tierra sostenibles, en el cual se incluyen los componentes del sistema y sus interacciones con el ambiente local y regional, así como las diferentes etapas del proceso de cambio (Hart y Sands, 1990).

La primera etapa consiste en la recopilación de información básica, tanto de carácter biofísico como socioeconómico, al nivel de finca, localidad y región, incluyendo inventario de recursos, la definición de unidades agroecológicas o ambientales, los estudios socioeconómicos, la definición de los sistemas de producción existentes, sus componentes e interacciones a nivel cualitativo y cuantitativo, con el objeto de obtener una descripción de la situación.

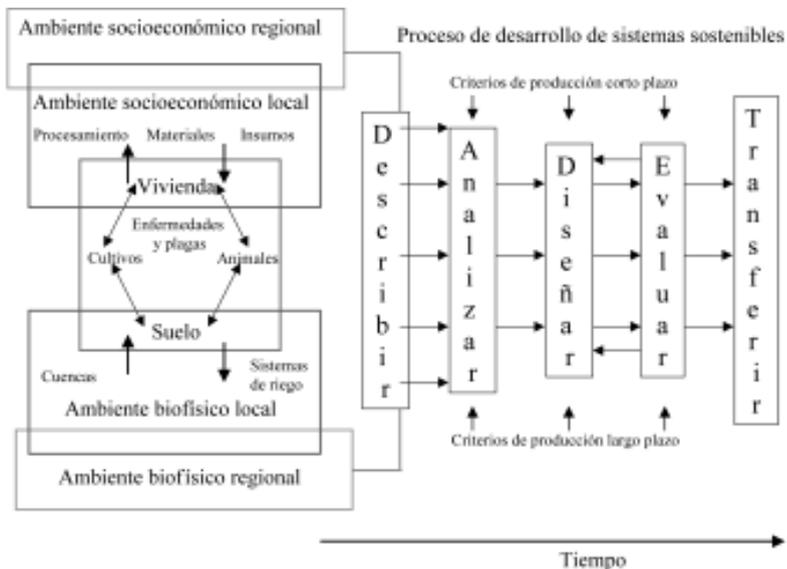


Figura V.3 Guía del proceso de investigación y desarrollo para el diseño de sistemas de uso sostenible de las tierras (Hart y Sands, 1990).

La segunda etapa es de análisis y se realiza a nivel local y de finca. La identificación y análisis de las interacciones de los sub-sistemas susceptibles a cambios puede guiar en la identificación de tecnologías y estrategias potenciales que hagan más sostenibles los sistemas de uso de la tierra (ver figura V.4). Se reconocen tres grandes categorías de interacciones:

- De la finca con el ambiente socioeconómico
- De los componentes de la finca
- De la finca con el ambiente biofísico

Al nivel de finca, la interacción cultivos/plagas puede requerir cambios que conlleven el establecimiento de un programa de manejo integrado de plagas; al nivel del ambiente biofísico local puede requerirse de cambios que modifiquen el drenaje de los suelos en la zona, aspecto que puede superar los límites de una finca particular;

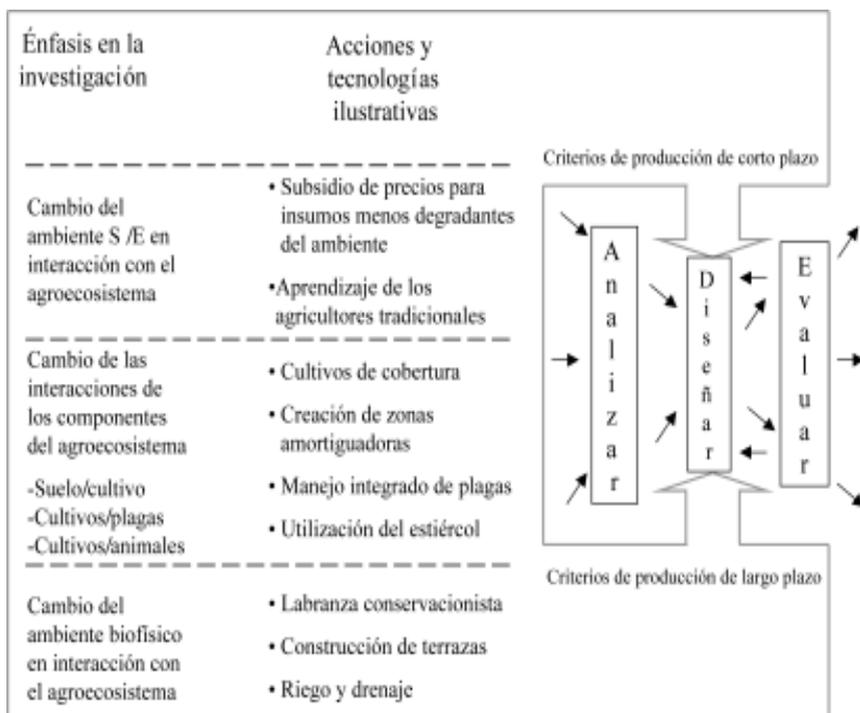


Figura V.4 El análisis de las interacciones de los subsistemas susceptibles a cambios puede guiar a la identificación de tecnologías que hagan más sostenible los sistemas de uso de la tierra (Hart y Sands, 1990).

al nivel del ambiente socioeconómico pueden requerirse cambios a nivel de la organización del mercadeo o pueden detectarse oportunidades y fortalezas que pueden extraerse de los conocimientos tradicionales locales.

La tercera etapa es la correspondiente al diseño, la cual afecta principalmente al sistema al nivel de finca, aunque pueden ser necesarios cambios en los ambientes socioeconómicos y físicos locales.

La cuarta y quinta etapas se refieren a la evaluación y diseminación de los cambios propuestos. Esta evaluación se ve reforzada cuando se realiza en experimentos al nivel de finca con la participación activa de los agricultores, lo cual aumenta la confianza en la

viabilidad y posterior adopción de la tecnología por otros productores en condiciones similares. La evaluación debe considerar, tanto la viabilidad socioeconómica (criterios mayormente de corto plazo) como la integridad ecológica (criterios fundamentalmente de largo plazo), en función de las salidas del sistema. De no cumplirse estos criterios deben proponerse cambios y ajustes correspondientes en los tres grandes tipos de interacciones mencionadas. Los indicadores de sostenibilidad pertinentes al contexto específico son una herramienta idónea para hacer análisis, evaluación y seguimiento a los sistemas de producción desarrollados o transformados.

El enfoque sistémico e integral como principio de la CSA se fundamenta en la ecología, así como en las ciencias económicas y sociales en las que se aceptan las múltiples y variadas interrelaciones entre los componentes de los sistemas naturales e intervenidos, y en las que diversas disciplinas aportan sus conocimientos para resolver el dilema del balance entre degradación y productividad en un contexto natural, económico y social específico. Shaxson (1988), en la figura V.5 ilustra la necesidad de satisfacer simultáneamente la necesidades de los agricultores y los de la conservación. Este autor afirma que los agricultores y usuarios de la tierra en general están interesados primordialmente en la producción y no en la conservación *per se*, por lo que deben buscarse alternativas que satisfagan sus metas agronómicas y económicas y que es necesario integrar la conservación de suelos a la producción y no lo contrario.

La conservación de suelos es una disciplina que persigue el uso adecuado de la tierra, a fin de mantener su capacidad productiva por tiempo indefinido, por lo que se basa en el uso de cada suelo según sus potencialidades, y en el manejo según sus limitaciones.

Las particularidades y especificidades locales donde se aplica un programa de CSA hacen imposible la generación de recomendaciones tipo “receta” o “paquete”, aun cuando no deben ignorarse las numerosas experiencias y conocimientos acumulados a nivel mundial, que forman parte de las herramientas con que se cuenta a la

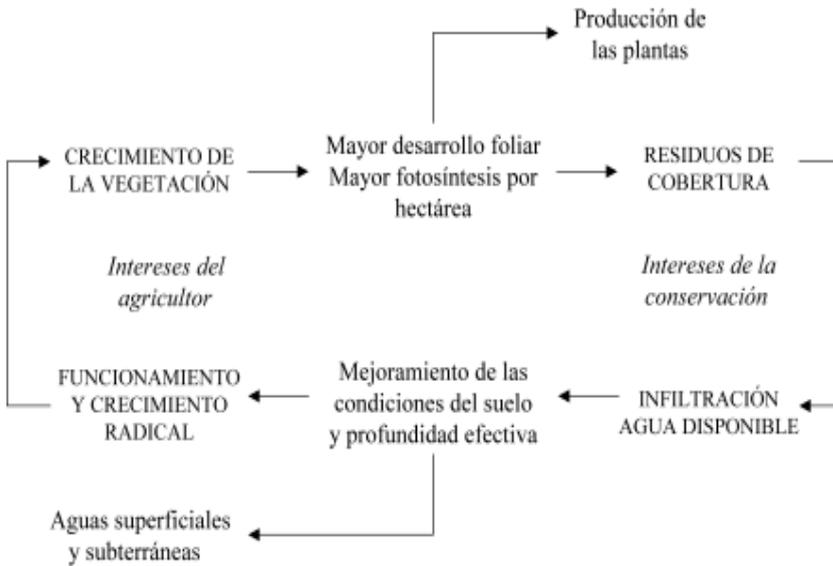


Figura V.5. Integración de la conservación de suelos y agua con la agricultura sustentable (Shaxson, 1988).

hora de establecer un plan de CSA determinado. Como menciona Rodríguez (1991), no hay una panacea universal, presentándose múltiples posibilidades que varían con las condiciones locales, y en ese sentido el uso de modelos es una estrategia fundamental para analizar los diversos escenarios posibles, apoyado en investigación y experiencias locales que sirvan de referencia. Es decir, no deben transferirse tecnologías y enfoques sin una debida adaptación y ajuste a las condiciones locales, requiriéndose en algunos casos el poder generar nuevos métodos y prácticas o el rescate y readaptación de aquellas ya desarrolladas por las comunidades indígenas. Generalmente, se combinan dos o más tecnologías de acuerdo con las diversas demandas de manejo y conservación a nivel local, conformando un sistema de manejo de recursos SMR (ver figura V.6).



Figura V.6. Los sistemas de manejo de recursos SMR consisten en la combinación de dos o más tecnologías conservacionistas y pueden incluir los enfoques o medidas de apoyo que posibilitan la aplicación de prácticas específicas en unos ambientes biofísicos y socioeconómicos particulares. (Ilustración de Herweg, en Bergsma et al., 1996).

V.1.2 CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA –CSA. OBJETIVOS

Entre los objetivos de la conservación de suelos y agua están:

–Preservar, mantener, mejorar y restaurar: la fertilidad química, física y biológica de los suelos, y la disponibilidad (cantidad, distribución) y calidad de las aguas.

–Hacer el mejor uso de los recursos tierra, capital y trabajo (máximo beneficio sostenido = desarrollo sustentable) y contribuir al desarrollo de sistemas de uso de la tierra sostenibles.

–Mantener la degradación de suelos y aguas en límites tolerables, de manera que rindan un flujo sostenido de sus funciones básicas.

–Optimizar y diversificar las opciones de desarrollo de las generaciones presentes y futuras.

En relación con el control de la erosión de los suelos, la conservación persigue:

–Condicionar el suelo para hacerlo más resistente a la separación y transporte y disminuir los riesgos de escurrimiento del agua superficial.

–Proteger la superficie del suelo de las lluvias y el viento mediante coberturas.

–Disminuir las velocidades del escurrimiento y de los vientos sobre la superficie de los suelos.

–Proveer de vías protegidas para eliminar el escurrimiento superficial inevitable.

–Mantener las pérdidas de suelo en límites tolerables, basándose en los parámetros de la EUPS o USLE. Esto se cumple cuando:

$$A_{\text{ uso propuesto}} < T_{\text{ unidad de tierra}}$$

$$CP_{\text{ uso propuesto}} < CP_{\text{max}}_{\text{ unidad de tierra}}$$

Las posibilidades del hombre en reducir los riesgos de erosión mediante el manejo de los factores que intervienen en el proceso, se resumen en el cuadro V.1.

V.1.3 EVOLUCIÓN Y ENFOQUES EN LA CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

La conservación de suelos y agua adquiere particular auge a inicios de los años treinta con la creación del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura en Estados Unidos debido a las tormentas de polvo que llegaron a ciudades de la costa este en ese país, originadas por una fuerte sequía y al indebido manejo de suelos en las planicies continentales. Esto sensibilizó

Cuadro V.1. Posibilidades de disminuir la erosión (Konke y Bertrand, 1959)

| Factores de erosión | Debe aceptarse | Puede alterarse |
|---------------------|------------------------------------|--|
| Precipitación | Cantidad-Intensidad- | Energía del impacto de las gotas en la superficie del suelo |
| Suelo | Frecuencia | Estructura (MO, agregación, separabilidad, transportabilidad) |
| Escurrimiento | Textura | Masa y velocidad |
| Viento | Velocidad ambiente | Velocidad cerca de la superficie |
| Temperatura | Temperatura del aire | Variaciones extremas de la temperatura del suelo |
| Pendiente | Escarpado medio, dirección general | Escarpado de extensiones individuales, longitud de la pendiente, microtopografía |

a la población y a los políticos ante el problema de la degradación de los suelos y es por ello que la CSA recibió apoyo para sus actividades. Al poco tiempo, otros países siguieron ese ejemplo y han sido aplicados programas de desarrollo rural a través de agencias internacionales en diversos países del mundo, usando como elemento fundamental la premisa de la conservación de los suelos y el agua. A lo largo del tiempo se han presentado diversos enfoques en la medida en que evolucionan los conocimientos acerca del ambiente y sus recursos, lo cual se ilustra en la figura V.7.

Según el proyecto WOCAT (2003), un enfoque de CSA define las formas y los medios utilizados para realizar y apoyar una tecnología de CSA y lograr un uso más sostenible de los suelos y el agua. Los elementos de un enfoque de CSA son: *todos los participantes* (políticos,

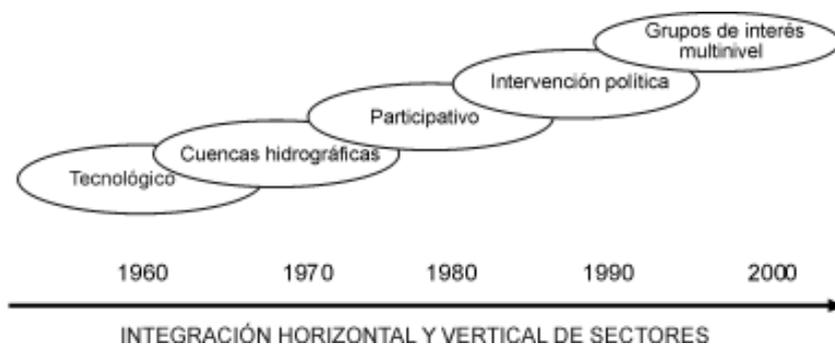


Figura V.7. Evolución de enfoques en conservación de suelos y agua (Hurni et al., 1996, Müller-Samann, 1997).

administradores, expertos, técnicos, usuarios de la tierra, es decir, actores en todos los niveles), *insumos y recursos* (financieros, materiales, legislativos, etcétera), *conocimientos* (técnicos, científicos, prácticos). Un enfoque puede incluir diferentes *niveles de intervención*, desde la finca individual, pasando por la comunidad, el sistema de extensión, la administración regional o nacional, las políticas, hasta el nivel internacional. Los diferentes enfoques no son excluyentes y su aplicación en cada país depende de las circunstancias particulares presentes. La tendencia es hacia enfoques más integrados entre sectores (productores, centros de investigación, industria y comercio), así como la búsqueda de consenso entre diversos grupos de interés a diferentes niveles (local, regional, nacional, global), siendo que la tecnología es apenas un componente de la conservación de suelos y agua y del desarrollo sustentable.

Las medidas o estrategias en conservación de suelos y agua son diversas y abarcan diferentes ámbitos, pudiendo considerarse aquellas de carácter tecnológico, económico, social, institucional, legal, cultural y político. Todo programa de CSA debe considerar todas estas opciones en diferentes combinaciones de acuerdo con las situaciones particulares y los objetivos perseguidos. Rara vez una medida de carácter técnico tiene éxito si no se apoya en una o más de las otras medidas mencionadas.

V.1.4 PRÁCTICAS EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA –CSA. CLASIFICACIÓN

En el presente capítulo se hará una descripción y análisis de las diferentes prácticas de conservación de suelos y agua o tecnologías conservacionistas, haciendo énfasis en el carácter técnico de éstas. No por ello debe obviarse la importancia de las medidas mencionadas al final del punto anterior, que deben siempre acompañar estas prácticas y formar parte de un programa de conservación concebido integralmente.

El gran número de prácticas o tecnologías de conservación de suelos y agua hace necesaria su agrupación con fines didácticos, científicos o de aplicación práctica. No siempre se puede identificar una práctica con una categoría particular debido a la multifuncionalidad o a la participación simultánea de diversos elementos o atributos en una misma práctica. Por otra parte, las tecnologías conservacionistas se aplican generalmente en combinación de dos o más prácticas, conformando los llamados sistemas de manejo de recursos “SMR”, los cuales incluyen las medidas de apoyo de carácter no técnico en situaciones particulares.

De acuerdo con su naturaleza, las prácticas de conservación se agrupan en: a) culturales, b) agronómicas o biológicas, c) mecánicas o estructurales (también llamadas ingenieriles) y d) las prácticas especiales de conservación. Éste es el esquema clásico seguido por otros autores y es el que servirá de base para organizar la información sobre tecnologías conservacionistas en este texto (cuadros V.2 y V.3). La terminología usada por WOCAT (2007a) agrupa las tecnologías en agronómicas, vegetativas, estructurales y de manejo (gestión), solapando algunas de las llamadas agronómicas en la categoría de las culturales, según el esquema clásico.

Según su intensidad, frecuencia de uso o necesidad de aplicación, podemos separar aquellas prácticas que son comunes de una buena agricultura y que frecuentemente son aplicadas, ya que son requeridas en casi todas las situaciones en que se desarrolla un cultivo, de

aquellas que sirven de soporte y son complementarias usadas sólo cuando son requeridas por la existencia de una limitación específica o existen riesgos de degradación particulares (cuadro V.2).

Según la estrategia principal o forma de distribución en el terreno, podemos distinguir aquellas prácticas que se ubican o aplican de manera uniforme en toda la superficie del terreno, en contraposición de aquellas que se distribuyen de manera intermitente o interrumpida en un sentido particular sobre dicha superficie (cuadro V.2).

También, podemos agrupar las prácticas de CSA según su función, lo cual orienta específicamente sobre el tipo de impacto que tiene dicha práctica en modificar o alterar un proceso o atributo en el suelo o el agua. Delgado (1997) propone una clasificación funcional

Cuadro V.2. Prácticas en conservación de suelos y agua

| Según su naturaleza | Según su intensidad / frecuencia / necesidad | Según estrategia principal o forma de distribución en el terreno | Según su función |
|---|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Culturales • Agronómicas /biológicas | <ul style="list-style-type: none"> • Prácticas comunes • Prácticas de soporte | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicadas uniformemente (coberturas) | <ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento del suelo • Manejo de coberturas vegetales |
| <ul style="list-style-type: none"> • Mecánicas • Casos especiales | | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicadas en forma intermitente (barreras) | <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la velocidad del escurrimiento • Captación y/o conducción del escurrimiento • Modificación de la pendiente del terreno |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> • Prácticas complementarias |

Cuadro V.3. Ejemplos de prácticas de conservación agrupadas según su naturaleza

| Culturales | Agronómicas / Biológicas | Mecánicas / Ingenieriles |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Fertilización y enmiendas químicas y orgánicas • El riego conservacionista • Agricultura de precisión • Los sistemas de siembra conservacionista • Los acondicionadores de suelo • La labranza conservacionista • Despedramiento | <ul style="list-style-type: none"> • Las coberturas sobre el suelo • Los abonos verdes • Los sistemas de cultivo conservacionistas <ul style="list-style-type: none"> – Asociados – Agroforestería – Rotaciones • Los cultivos en franjas • Los rollos de vegetación • Las barreras vivas | <ul style="list-style-type: none"> • Canales de desviación y acequias de ladera • Bermas • Zanjas de absorción • Terrazas • Sistemas de torobas y trincheras • Diques o presas de retardación y sedimentación |

Casos especiales en conservación:

- Control de cárcavas
- Estabilización de taludes
- Control de erosión y sedimentación en áreas de construcción, minería, otros.
- Control de erosión de banco de río
- Restauración de la vegetación en áreas intervenidas

de las prácticas de manejo y conservación para tierras montañosas, agrupándolas en seis grupos: mejoramiento del suelo, manejo de coberturas vegetales, reducción de la velocidad del escurrimiento en laderas, captación o conducción de escurrimiento en laderas, modificación de la pendiente del terreno y prácticas complementarias (cuadro V.2). Éstas, a su vez, las agrupa en tres categorías principales: I. Prácticas dirigidas a mejorar la productividad y resistencia del suelo, II. Prácticas dirigidas a reducir el efecto de la escorrentía y III. Prácticas complementarias.

V.1.5 EL USO ADECUADO DE LA TIERRA

El uso adecuado de la tierra es la estrategia de conservación de suelos y agua más importante y necesaria, previa a cualquier otra decisión sobre el uso de tecnologías particulares. Es el fundamento de todo programa de conservación. Implica evitar o minimizar los procesos de degradación mediante la prevención de los mismos, ocupando el terreno con aquellas coberturas o usos de la tierra que se ajustan a las potencialidades y limitaciones que presentan las unidades de tierra, sin la aplicación de tecnologías de soporte, más allá de las requeridas comúnmente por el cultivo o sistema de uso de la tierra considerado.

El uso adecuado de la tierra puede integrarse en el conjunto de prácticas comunes de una buena agricultura. En la selección del uso adecuado de la tierra se deben considerar también las preferencias sociales y culturales de los usuarios y la viabilidad económica del sistema o sistemas potencialmente utilizables. La decisión final está siempre en el usuario de la tierra y es deber de los técnicos orientar e influir positivamente en ese proceso.

En el capítulo VI sobre planificación conservacionista del uso de la tierra, se exponen mayores detalles sobre los pasos a seguir para alcanzar un uso adecuado de la tierra, cónsono con las limitaciones que deben ser manejadas eficazmente y con las potencialidades de cada unidad de tierra en particular, que deben ser optimizadas mediante los usos más pertinentes. La planificación se enfoca a dos niveles de intervención o escalas, a nivel regional y local.

WOCAT (2007a) considera el uso de la tierra dentro de la categoría de medidas de manejo o gestión. Entre éstos se incluyen los cambios de uso de la tierra, como el impedimento del paso del ganado hacia un área mediante el cercado de la misma, cambios en el nivel de intensidad de uso, como sería el caso de realizar corte y acarreo de pasto para animales estabulados o semiestabulados en sustitución del pastoreo directo, cambios mayores en el calendario de actividades

o un control de las especies componentes de una rotación o un cultivo mixto.

Uso adecuado de la tierra y control de la erosión

En el caso particular de la erosión hídrica, se debe cumplir para cada unidad de tierra, basándose en los parámetros de la EUPS o USLE que:

$$A_{\text{ uso propuesto}} < T_{\text{ unidad de tierra}}$$

$$CP_{\text{ uso propuesto}} < CP_{\text{max unidad de tierra}}$$

Siendo A el uso propuesto (las pérdidas de suelo esperadas bajo un uso determinado); T , unidad de tierra (la tolerancia de pérdida de suelos admitida en la unidad de tierra). CP uso propuesto (el grado de protección ofrecido por el uso propuesto producto de la cobertura, el manejo y las prácticas de soporte que componen dicho uso); y CP_{max} *unidad de tierra* (la vulnerabilidad a la erosión de la unidad de tierra considerada).

Las pérdidas de suelo A se pueden estimar aplicando la EUPS según las condiciones de sitio y de uso de la tierra propuesto, incluyendo las prácticas de soporte utilizadas. La tolerancia T puede asignarse de manera aproximada, usando los valores propuestos por Mannering (1981), de acuerdo con la profundidad efectiva del suelo, que aparecen en el cuadro V.4.

Cuadro V.4. Valores de tolerancia de pérdidas de suelo de acuerdo con la profundidad efectiva del suelo (Mannering, 1981)

| Profundidad radical cm | Tolerancia de pérdidas de suelo Mg/ha/año |
|---------------------------|--|
| < 25 | < 4 |
| 25 - 30 | 4 - 8 |
| 50 - 100 | 8 - 2 |
| 100 - 150 | 12 - 16 |
| 150 - 200 | 16 - 20 |
| > 200 | 20 - 24 |

Shertz (1983) señala que el valor de tolerancia de 12 Mg/ha por año se estableció para suelos profundos, asumiendo una tasa anual de formación del horizonte A de 1 mm/año, que en general se corresponde con un horizonte superficial rico en materia orgánica, de textura media, permeable y bien manejado, pero este valor puede reducirse en suelos menos profundos o con materiales parentales más resistentes a la meteorización.

La fijación de un nivel de tolerancia persigue mantener la capacidad productiva de la tierra, lo que, a su vez, implica mantener una profundidad de enraizamiento adecuada, una pérdida de nutrientes aceptable, condiciones de trabajabilidad adecuadas, impedir el afloramiento de horizontes o capas indeseables y evitar la pérdida de semillas o plántulas por arrastre o sedimentación. Los efectos fuera del sitio de la erosión generan criterios adicionales para fijar niveles de tolerancia, como son el mantenimiento de la calidad de las aguas, control de la sedimentación y el aumento de la vida útil de presas y embalses.

Otra manera de fijar niveles de tolerancia es determinando un nivel aceptable de disminución de la productividad del suelo en un período de tiempo seleccionado, generalmente de 50 a 100 años, y usando las curvas de vulnerabilidad o disminución de la productividad en función de la erosión acumulada. Como estimador de la productividad puede usarse el índice de productividad adaptado en Venezuela por Delgado y López (1995) y Delgado et al. (1998). Esta metodología tiene la ventaja de ponderar la importancia relativa que tiene cada horizonte en la productividad, a diferencia del cuadro de Mannering (1981) ya mencionado, que toma en cuenta sólo el criterio de la profundidad efectiva.

La vulnerabilidad a la erosión, CP_{max} , integra el riesgo de erosión hídrica de una unidad de tierra y el riesgo de disminución de su productividad por erosión. Esta cualidad de la tierra representa la susceptibilidad de una unidad de tierra a perder su capacidad productiva por erosión hídrica, en función de su riesgo de erosión y

de su tolerancia de pérdidas de suelo, convirtiéndose en un índice que orienta sobre el requerimiento de conservación o de prácticas de control de erosión de una unidad de tierra. El CP_{max} viene dado por el valor máximo que podrían alcanzar los factores C y P en una unidad de tierra para mantener las pérdidas de suelo por erosión dentro de los niveles de tolerancia aceptables (Páez y Rodríguez, 1989b; Páez, 1989). La expresión matemática de este índice, de acuerdo con los parámetros de la EUPS, es:

$$CP_{max} = T / R * K * L * S$$

Con fines de clasificación de tierras fue propuesto utilizar este índice, utilizando la longitud máxima de contorno para el cálculo del factor L (Páez y Rodríguez, 1989b) con el objeto de uniformizar criterios debido a la alta variación de este parámetro en las unidades de tierra y obtener así la clase por vulnerabilidad a la erosión, cuya expresión matemática es:

$$CP_{max} = T / R * K * L * S$$

La subclase por vulnerabilidad a la erosión agrupa unidades con similar vulnerabilidad a la erosión y similar influencia de los factores de erosión. El símbolo de la unidad se representa por un número arábigo que indica la clase de vulnerabilidad a la erosión, seguido de cuatro subíndices numéricos, que representan el grado en que los factores erosividad, erosionabilidad, gradiente y tolerancia de pérdidas de suelo influyen en determinar la vulnerabilidad a la erosión de la unidad (figura V.8). Las calificaciones de los factores pueden determinarse de acuerdo con el cuadro V.5, basado en la propuesta revisada de Páez (1994).

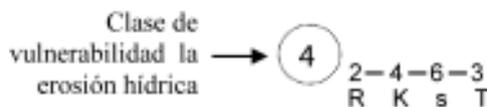


Figura V.8. Símbolo de la subclase por vulnerabilidad a la erosión (CCSA, 2005).

Cuadro V.5. Clases por vulnerabilidad a la erosión y valoración de características y factores de erosión (Páez, 1994)

| Valoración | Muy bajo | Bajo | Mod. bajo | Moderado | Mod. alto | Alto | Muy alto | Ext. alto |
|-------------------------|-------------|--------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|---------------|
| Clase/factor o cualidad | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
| R | ≤2.000 | 2.000-4.000 | 4.000-6.000 | 6.000-8.000 | 8.000-1.0000 | 10.000-12.000 | 12.000-14.000 | ≥14.000 |
| K | ≤0,001 | 0,001-0,005 | 0,0005-0,015 | 0,015-0,030 | 0,030-0,045 | 0,045-0,060 | 0,060-0,075 | ≥0,075 |
| s | <1 (≤3)* | 1-3 (3-8) | 3-5 (8-12) | 5-10 (12-20) | 10-15 (20-30) | 15-20 (30-50) | 20-25 (50-100) | ≥25 (≥100) |
| | Ext. alto | Muy | Alto | Mod. alto | Moderado | Mod. | Bajo | Muy bajo |
| T | ≥24 | 20-24 | 16-20 | 12-16 | 8-12 | 4-8 | 2-4 | ≤2 |
| CP maxc (e') | ≥0,5 | 0,5-0,12 | 0,12-0,08 | 0,08-0,045 | 0,045-0,018 | 0,018-0,012 | 0,012-0,001 | ≤0,001 |

(*) Los valores entre paréntesis se refieren a límites de clase para tierras de cuencas altas o tierras bajo usos no mecanizables.

Valor conservacionista de los cultivos. Clasificación antierosiva

Los cultivos en las tierras agrícolas son los que brindan una determinada cobertura o grado de protección, y ésta es función de una serie de atributos de las plantas que lo conforman y del manejo que se les presta (CCSA, 2001).

Entre los atributos de las plantas a considerar están:

- La arquitectura, la cual determina la cobertura del dosel, la altura del dosel y la cobertura basal.
- La producción de biomasa, que va a determinar el volumen residual del cultivo.
- El tipo de sistema radical. Si éste es fibroso y denso va a aportar mayor cantidad de materia orgánica y va a tener un efecto de amarre del suelo más efectivo.

- La relación carbono/nitrógeno, que determina la tasa de descomposición del residuo.
- La capacidad de asociarse con bacterias fijadoras de nitrógeno.
- La precocidad y resistencia a la sequía, al aguachinamiento y a otras limitaciones, lo cual permite una mayor protección del terreno.
- Hábitos de crecimiento y permanencia en el tiempo.

El manejo de los cultivos determina su mayor o menor grado de protección y éste va a depender de factores como:

- Sistema de cultivo (monocultivo, intercalado), época y tipo de labores agrícolas
- Sistema de labranza y manejo de residuos
- Densidad de población
- Sistema de protección vegetal y control de malezas

En función del grado de protección relativa que los cultivos ofrecen al terreno sobre el cual se cultivan, se puede realizar la siguiente agrupación (CCSA, 2001):

Cultivos limpios: son aquellos que exigen escardas frecuentes; mantienen el terreno con mayores riesgos de erosión, ya que exigen una intensiva preparación del terreno y labores periódicas de desyerbe, cultivo y control de plagas y enfermedades. La situación se agrava cuando son ubicados en zonas con pendientes y sembrados en hileras con el sentido de la pendiente, lo cual favorece la formación de surcos y cárcavas. A su vez, estos cultivos se agrupan en dos categorías:

- Cultivos limpios de alto volumen residual (maíz, sorgo)
- Cultivos limpios de bajo volumen residual (algodón, soya, ajonjolí, tabaco, hortalizas)

Cultivos densos: ofrecen una mayor protección al terreno debido a su alta densidad de población y crecimiento tupido. En pendientes altas se comportan como cultivos limpios debido al

tipo de preparación similar del terreno. Como ejemplos se pueden mencionar el arroz, la cebada, el trigo y el centeno.

Cultivos de larga duración y hábito rastrero: por su naturaleza, densidad de cobertura y área foliar, constituyen un grupo muy valioso para fines de conservación de suelos. Interceptan eficazmente el impacto de las gotas de lluvia y obstaculizan el flujo de la escorrentía, por ello constituyen una cobertura que controla la erosión hídrica. Requieren moderadas a pocas labores culturales, lo que implica una menor alteración de los suelos en superficie. Entre este grupo se pueden mencionar muchas de las plantas usadas como coberturas y abonos verdes, tales como el kudzú tropical, el frijol terciopelo, el trébol, el maní forrajero y muchas otras.

Pastizales tipo césped y de macolla densa: estas coberturas ofrecen la más alta protección, pues además de poseer una gran densidad de cobertura, presentan un hábito de crecimiento rastrero; la intervención del hombre es mínima. Sin embargo, la protección que ofrecen puede verse reducida por un mal manejo con sobrepastoreo y quemas.

Cultivos permanentes arbustivos tipo frutal: su grado de protección va a depender fundamentalmente del manejo de las arvenses o coberturas acompañantes, que deben seleccionarse de tal forma que deben ofrecer una buena protección a ras del suelo y no competir negativamente con el cultivo principal.

Cultivos permanentes arbustivos tipo plantación: se refiere predominantemente al café y al cacao, los cuales bajo un manejo conservacionista emulan las condiciones de una vegetación de bosque natural aunque de menor densidad.

Otros sistemas agroforestales y silvopastoriles: se refiere a combinaciones de cualquiera de los cultivos y ganadería donde se inserta el componente árbol en diferentes proporciones, generando beneficios ambientales diversos.

V.2. PRÁCTICAS CULTURALES

Las prácticas culturales se asocian con aquellas comunes de una buena agricultura. Están dirigidas a mantener y mejorar la productividad de los cultivos. No se tienen que aplicar necesariamente todas ellas en un sistema de uso de la tierra particular, ya que esto dependerá de la naturaleza y demandas de dicho sistema. En este grupo de prácticas podemos considerar:

- Fertilización y enmiendas químicas y orgánicas
- El riego conservacionista
- Los sistemas de siembra conservacionista
- Los acondicionadores de suelo
- La agricultura de precisión
- Despedramiento
- La quema con prescripción y los cortafuegos
- Los sistemas de labranza

V.2.1 FERTILIZACIÓN Y ENMIENDAS MINERALES Y ORGÁNICAS

Tienen como objeto reponer, mantener y mejorar la disponibilidad de nutrimentos en el suelo para las plantas. Generalmente, tienen un impacto inmediato y de gran magnitud en la productividad de los cultivos, en el incremento de la cobertura y, por ende, en la disminución de la erosión hídrica, reduciendo las pérdidas de suelo y agua, pero su uso puede ir acompañado de impactos negativos en el ambiente por los riesgos de contaminación y procesos de degradación asociados con su uso.

Hoy en día se ha puesto mayor atención a los sistemas integrados de nutrición de las plantas (SINP) que mantienen e incrementan la productividad del suelo a través del uso balanceado de los fertilizantes minerales combinados con fuentes orgánicas de nutrición vegetal, incluyendo la fijación biológica del nitrógeno (FAO, 1999).

De acuerdo con la FAO (1999), los *fertilizantes* contienen como mínimo 5% de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P₂O₅, K₂O). Este término es frecuentemente usado como una abreviación del término fertilizantes minerales. A los productos con menos de 5% de nutrientes combinados se les denomina fuente de nutrientes. La definición legal varía según los países.

La fertilización mineral

Los fertilizantes minerales tienen como ventajas su alta solubilidad y disponibilidad para los cultivos. Su transporte y aplicación se ve facilitado por el menor volumen y peso, dada la alta concentración de elementos en las diversas formulaciones. En algunos casos se aplican directamente con el agua de riego, lo que disminuye aún más los costos de aplicación en una práctica denominada fertirrigación. Entre sus desventajas están su mayor potencial contaminante, ya que los yacimientos de donde provienen pueden contener elementos como metales pesados y otros elementos tóxicos, que vienen incorporados como impurezas en el producto comercial. Tal es el caso del cadmio, que puede encontrarse en las rocas fosfóricas de origen sedimentario.

Otros aspectos negativos son los procesos de acidificación y desbalances iónicos promovidos por el uso continuo de determinados compuestos como la urea o el sulfato de amonio, la movilización de nutrientes en exceso a cuerpos de agua por lixiviación o escorrentía superficial, causando problemas de eutroficación de los cuerpos de agua o su volatilización a la atmósfera, y la dependencia tecnológica que representan, por ser un recurso externo a la mayoría de los sistemas de producción y que constituye un costo importante.

En los sistemas de producción agrícola convencionales su uso es común y forma parte de las prácticas de rutina en el manejo de los suelos debido a las ventajas económicas que éstos representan.

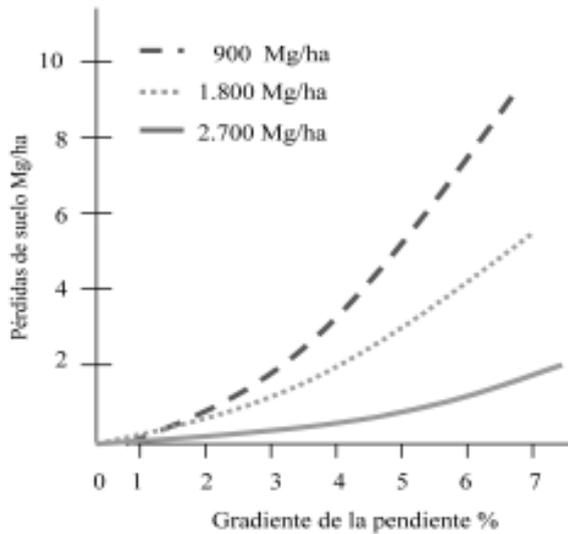


Figura V.9. Relación entre la producción de maíz con tres niveles de fertilización y las pérdidas de suelo por erosión en diferentes pendientes (Hudson, 1971).

Su uso debe ser estrictamente supervisado y basado en los requerimientos de los cultivos y los análisis de suelos de los diferentes lotes de producción.

Cuando los cultivos reciben una adecuada suplencia de nutrientes su desarrollo es más sano y vigoroso, ofertando una mayor cantidad de biomasa al sistema, lo que implica un mayor aporte de materia orgánica, mayor cantidad de residuos de cobertura y, por tanto, una mayor protección del suelo contra la erosión hídrica. Este efecto es más marcado en la medida en que los riesgos de erosión son mayores. La importancia de esta práctica es ilustrada en la figura V.9, según los resultados obtenidos por Hudson (1971).

La fertilización orgánica

Las enmiendas y fertilizantes orgánicos tienen como ventaja mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además del aporte de elementos nutrientes que promueven la fertilidad química de los mismos. Otro aspecto en su favor es la menor

dependencia de insumos externos a la unidad de producción cuando es producto de otra actividad dentro de la misma, como lo es la cría de animales. Aplicados en exceso y mal manejados pueden ocasionar daños ambientales similares a los producidos por los fertilizantes minerales.

La aplicación de enmiendas orgánicas produce mejoras en el suelo que tienen que ver con el incremento de la materia orgánica y los múltiples beneficios que de ésta se derivan.

Las mejoras físicas se derivan de una mejor agregación del suelo por los compuestos orgánicos cementantes, producto de la descomposición de residuos orgánicos y de la actividad de los microorganismos. Una mejor agregación se traduce en mejores tasas de infiltración, mayor porosidad y, por tanto, un mejor desarrollo de las raíces del cultivo. La materia orgánica también incrementa la capacidad de retención de humedad de los suelos.

Las mejoras químicas se relacionan con el aumento de la capacidad de intercambio, CIC, que implica una mayor retención de nutrientes, evitando el lavado de los mismos. La materia orgánica forma quelatos con los micronutrientes y los hace más disponibles para las plantas. Además, la materia orgánica incrementa la capacidad amortiguadora o *buffer* del suelo, haciéndolo menos vulnerable a cambios bruscos en el pH o la conductividad eléctrica. La fijación de fósforo disminuye mediante el bloqueo de los sitios de intercambio en los óxidos amorfos.

Los mayores contenidos de materia orgánica y los aportes de diversas fuentes favorecen una mayor diversidad y actividad microbiológica y de otros organismos vivos en el suelo, como las poblaciones de lombrices.

En el cuadro V.6 se presenta el papel que juega el uso de abonos orgánicos en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo y cómo afectan la erosión hídrica, evaluándose este efecto como un subfactor *C* de la EUPS.

Cuadro V.6 Mejoramiento de las propiedades físicas de un Paleudult por dos abonos orgánicos: pulpa de café (PC) y gallinaza (G) (Urbina y Rodríguez, 1992b)

| Abono orgánico | Dosis Mg/ha | Da Mg/m ³ | Porosidad % | | Módulo de ruptura Kg/cm ² | K ^a del sello mm/h | Sub factor EUPS | Escorrentía C % | Retención de humedad % | |
|----------------|-------------|----------------------|-------------|-----------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|------------------|
| | | | Total | aireación | | | | | LSD ^b | LID ^b |
| - | 0 | 1,6 | 49 | 6 | 0,53 | 0,0 | 1,00 | 100 | 29 | 12 |
| PC | 20 | 1,43 | 56 | 12 | 0,34 | 1,7 | 0,36 | 78 | 32 | 17 |
| G | 20 | 1,51 | 51 | 6 | 0,65 | 2,5 | 0,50 | 84 | 33 | 17 |

^a Conductividad hidráulica del sello superficial formado por el impacto de la gota.

^b LSD y LID: límites superior e inferior de drenaje (agua a 100 Kpa y 5.000 Kpa).

Las fuentes de las enmiendas orgánicas pueden ser el producto de procesos de compostaje u otros procedimientos de manejo y transformación de desechos agrícolas, industriales o domésticos, con lo cual esta práctica contribuye en la disposición de desechos, principalmente de las zonas urbanas. En esos casos debe certificarse la calidad del compost para su uso agrícola, ya que no están exentos estos productos de la contaminación por elementos indeseables para el ambiente y asegurar así la producción de alimentos que no conlleven riesgos para la salud (patógenos, elementos tóxicos, metales pesados, etcétera).

El compostaje o elaboración de compost tiene como objeto procesar estiércoles crudos u otros subproductos y residuos orgánicos y transformarlos en materiales orgánicos biológicamente estables. Se reconocen dos métodos principales, aeróbicos y anaeróbicos. El proceso puede acelerarse en la medida en que se estimule la actividad de los microorganismos, ya sea mediante el volteo frecuente de las pilas y la aireación forzada mediante sistemas de ventilación con tubos perforados u otros métodos, el repicado del material grueso en forma mecánica, la adición de compuestos nitrogenados que reduzcan la relación C:N, la adición intencional de microorganismos denominados efectivos, el uso de ciertas

lombrices que mejoran cualitativamente la calidad del compost, existiendo una gran diversidad de tecnologías tradicionales y modernas que pueden adaptarse a las necesidades particulares de la finca o sistema de producción. Una breve revisión que discute varios de estos métodos la presentan Misra y Roy (2002).

Otras enmiendas aplicadas al suelo

Son sustancias que se aplican al suelo más para resolver o corregir grandes restricciones que para tratar la pobreza de nutrientes. Por ejemplo, la cal sirve para remediar la acidez; los fosfatos reducen la fijación del fósforo; el yeso mejora los suelos sódicos (alcalinos); y la turba se coloca en los estratos superficiales para incrementar el contenido de materia orgánica (FAO, 1999).

V.2.2 EL RIEGO CONSERVACIONISTA

A nivel mundial la agricultura es la actividad que más consume agua, estimándose que alcanza 69% del total del agua utilizada por las actividades del hombre. En los próximos 30 años se espera incrementar en 34% la superficie bajo riego, e incrementar su eficiencia, que actualmente es menor al 40%, sin embargo, se pierde anualmente entre 1-2% de la superficie actualmente regada a causa de la salinización de las tierras (FAO, 2002). El despilfarro y la sobreexplotación de los recursos de agua dulce y el deterioro de la calidad del agua que retorna al sistema hidrográfico, luego de su uso agrícola, son situaciones que demandan la aplicación de prácticas conservacionistas a través de sistemas de riego más eficientes. El uso de aguas residuales es cada vez más necesario debido a la escasez progresiva de este recurso, pero deben tenerse en cuenta los aspectos sanitarios y ambientales para su correcto uso.

El método de riego óptimo a ser seleccionado va a depender de:

- La calidad y disponibilidad de agua
- Las características del sistema (clima, suelos, topografía y nivel técnico del usuario)

El riego de superficie que cubre toda o casi toda la tierra es la técnica más común, ya que no requiere operar y mantener equipos hidráulicos complejos pero es de menor eficiencia que el riego localizado que aplica el agua sólo donde es necesaria, minimizando las pérdidas (riego por goteo y riego subterráneo). El riego por aspersión tiene una eficiencia intermedia y requiere también de equipos especializados para su uso, siendo más eficiente por microaspersores.

Deben preverse los riesgos de salinización y alcalinización, por lo que deben establecerse medidas de prevención y control. Este tipo de deterioro puede conducir al deterioro extremo del recurso suelo, haciéndolo totalmente improductivo, ya que las sales impiden la capacidad de las plantas de absorber agua. El problema se asocia, generalmente, con mal drenaje y una lámina de irrigación que no satisface los requerimientos de lixiviación de las sales. Por ello es básico que el diseño del riego contemple, además de la lámina para reponer el uso consuntivo, la lámina para el lavado de sales y los sistemas de drenaje asociados cuando se requieran. Para afrontar este tipo de problemas debe tenerse una visión integral que considere la calidad de las aguas a utilizar y al sistema suelo-planta-clima en su conjunto (Pla, 1983).

V.2.3 SISTEMAS DE SIEMBRA CONSERVACIONISTAS

Se refiere a la disposición del cultivo en el terreno. Una de las prácticas más difundidas y recomendadas es la siembra en contorno, es decir, en sentido contrario a la dirección de la pendiente más pronunciada del terreno. Generalmente, está asociada con la labranza y otras operaciones de cultivo en contorno (ver sistemas de labranza). Ayuda a obstaculizar el paso de la escorrentía y, por tanto, a favorecer la infiltración, la sedimentación y la retención de nutrientes y otros agroquímicos, reduciendo los procesos erosivos en general, siendo una de las prácticas más simples y eficientes para el control de la erosión. A pesar de su popularidad, en muchos casos esta práctica por sí sola no es suficiente para satisfacer la demanda

de manejo y conservación de las unidades de tierra donde se aplique, por lo que debe acompañarse de otras prácticas de soporte conservacionistas.

a) Siembra en contorno. Hileras del cultivo y labores realizadas en sentido de las curvas de nivel o en contorno (figura V.10). Sobre la labranza en contorno se ampliará la información en el punto V.2.8 en este mismo capítulo.

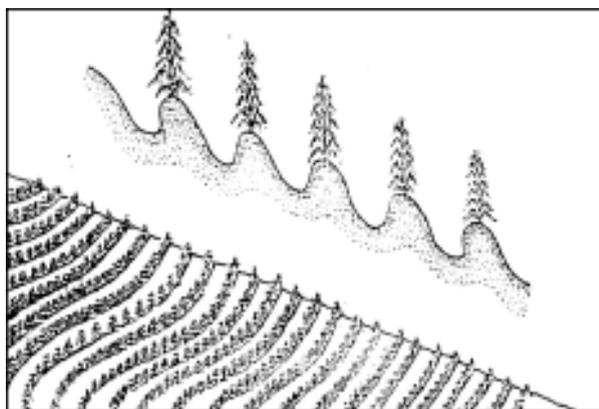


Figura V.10. Siembra en contorno.

b) Siembra triangular. Recomendada en cultivos permanentes. Las plantas se localizan a la mitad de la distancia entre plantas de las hileras contiguas. Si las distancias entre plantas son equidistantes se denomina “tresbolillo” (figura V.11).

V.2.4. LOS ACONDICIONADORES DE SUELO

Conjunto de sustancias sintéticas de origen diverso que actúan como estabilizadoras de los agregados del suelo. Se usan preferiblemente en aquellas zonas donde no es posible o es escasa la cobertura de residuos vegetales o de cultivos de cobertura. Entre los más conocidos están las emulsiones asfálticas (Pla et al., 1980) y la poliacrilamida aniónica PAM. Algunos de sus efectos son:

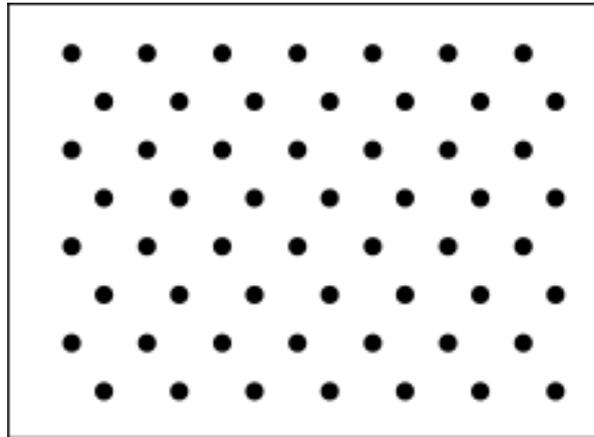


Figura V.11. Siembra triangular al tresbolillo.

a) Reducen el salpique y aumentan la resistencia de los agregados al transporte, favoreciendo la permeabilidad. b) Disminuyen la temperatura del suelo y se reduce la evaporación. Pueden ser usados incorporándolos o en superficie. En el cuadro V.7 se presentan resultados que usan emulsión de asfalto en el cultivo del trigo en la zona montañosa de la cuenca alta del río Petaquire en la Estación Experimental Bajo Seco de la UCV.

Cuadro V.7 Efecto de diversos tratamientos conservacionistas en la pérdida de suelo y agua por erosión hídrica en el cultivo de trigo (Urbina y Rodríguez, 1995a)

| Tratamiento | Erosión Mg/ha | Escorrentía % |
|---|---------------|---------------|
| Suelo desnudo | 22,70 | 11,40 |
| Trigo, labranza contorno | 11,90 | 3,40 |
| Trigo, no labranza | 9,40 | 4,10 |
| Trigo, no labranza + mulch | 0,20 | 3,20 |
| Trigo, labranza en contorno + emulsión de asfalto | 2,90 | 0,30 |

V.2.5 LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La agricultura de precisión se basa en la aplicación y en la dosificación de fertilizantes, enmiendas y otros insumos agrícolas, de tal forma que respondan a las demandas localizadas y temporizadas del cultivo, el suelo y otras condiciones de sitio, lo cual exige el conocimiento de la variabilidad espacial y temporal de diversos parámetros de interés para el manejo agronómico, como el contenido de humedad, la capacidad de retención de humedad, el nivel nutricional de suelos y plantas, la distribución de competidores bióticos, entre otros y, a su vez, el disponer de equipos que permitan realizar un manejo diferencial y una aplicación que tome en cuenta la distribución espacial heterogénea de la dosis de producto o insumo requerido o la distribución temporal de las demandas del sistema.

Entre sus principales ventajas están el ahorro de insumos, ya que éstos se aplican en la justa medida, evitando su despilfarro o la baja de productividad por su carencia. Al nivel del ambiente se reduce la cantidad de contaminantes y se conservan recursos escasos como el agua y los nutrientes. También, se reduce el uso de mano de obra y de labores en el terreno, aunque por otra parte exige un seguimiento o monitoreo de la variabilidad espacial y temporal de diversos parámetros, lo cual requiere la capacidad técnica, los equipos y el financiamiento para su ejecución.

V.2.6 EL DESPEDRAMIENTO DE PARCELAS

La pedregosidad es una limitante importante para las labores de mecanización y ocupa un volumen importante del perfil cultural, que afecta el desarrollo de las raíces de las plantas y disminuye el espacio ocupado por agua, materia orgánica y matriz fina del suelo. Delgado (1997; 2001) menciona que, a pesar de las limitaciones mencionadas, la pedregosidad puede convertirse en un aliado de la conservación, ya que las piedras en superficie pueden actuar como cobertura superficial, protegiendo al suelo del impacto de las gotas de lluvia y del arrastre del suelo. Por otra parte, cuando el contenido

de piedras es muy elevado, debe considerarse la posibilidad de efectuar despiedres manuales, quitándolas directamente del terreno o fragmentándola previamente mediante métodos mecánicos o térmicos. Las piedras removidas pueden utilizarse para realizar acordonamientos en contorno, muros de piedra, diques, relleno de zanjas de infiltración y drenaje.

V.2.7 LA QUEMA CON PRESCRIPCIÓN Y LOS CORTAFUEGOS (NRCS, 2006)

La quema es una práctica muy controversial debido a los efectos negativos que pueden derivar de ella por un mal manejo y, en principio, debe ser evitado su uso. La pérdida de nutrientes mineralizados por escorrentía y lixiviación, los menores aportes de materia orgánica al suelo, los aportes de carbono a la atmósfera, los riesgos de desatar incendios no controlados, los efectos negativos del humo y cenizas y los daños a la biodiversidad son argumentos contrarios al uso de esta práctica. Sin embargo, algunas situaciones pueden justificar su aplicación controlada en un área delimitada. Entre los objetivos de la quema se señalan:

- Control de vegetación indeseada
- Preparación del terreno para la siembra
- Control de enfermedades de las plantas
- Mejorar condiciones de hábitat y restaurar ecosistemas
- Reducir riesgos de incendios no controlados
- Incrementar la cantidad y calidad del forraje
- Remover residuos luego de operaciones forestales
- Promover la producción de semillas y plántulas
- Facilitar la distribución de animales de pastoreo

Deben extremarse las medidas de seguridad que deben ser planeadas cuidadosamente y supervisadas estrictamente durante la quema. Barreras naturales como ríos, lagos, carreteras y cortafuegos establecidos son de suma importancia en la planificación de las operaciones de control. Se requiere de personal entrenado y en

suficiente cantidad y equipado debidamente de acuerdo con la magnitud en superficie y topografía del área a ser quemada, y deben vigilarse exhaustivamente las condiciones de humedad, viento, temperatura y biomasa disponible (vegetación susceptible de quemarse). En cualquier caso debe cumplirse con la normativa legal vigente concerniente al uso de esta práctica.

Los cortafuegos pueden establecerse de forma temporal o permanente en áreas sin vegetación, con vegetación no combustible u otros materiales resistentes o una combinación de las condiciones antes mencionadas. Su ancho y extensión varía según las condiciones locales. En caso de ser predecible la dirección del viento, éstos deben colocarse perpendiculares a dicha dirección. También, se prefieren para su ubicación en las cumbres de las montañas y los fondos de valles. Su distribución y localización debe considerar también otros usos múltiples como circulación de vehículos, animales, drenajes y la vida silvestre, entre otros.

V.2.8 LOS SISTEMAS DE LABRANZA

La labranza es una práctica que incide con gran impacto en los sistemas agrícolas y en las propiedades de los suelos y entre los objetivos que persigue pueden mencionarse:

- Control de plantas indeseables “malezas” y otros competidores bióticos
- Disminuir la compactación del suelo
- Facilitar la penetración y almacenamiento del agua, así como la eliminación de sus excedentes
- Preparar una cama para la semilla y facilitar la emergencia y el posterior desarrollo y anclaje de las plantas

Según Larson (1964), pueden distinguirse dos zonas, la zona de manejo del agua y la zona de manejo del cultivo, en las cuales podemos diferenciar parámetros o indicadores que reflejan las condiciones del perfil cultural y que deben ajustarse según las exigencias de manejo en cada una de las zonas mencionadas

de acuerdo con las condiciones de clima, suelo, cultivo, topografía y otras prácticas de manejo y conservación asociadas (ver figura V.12).

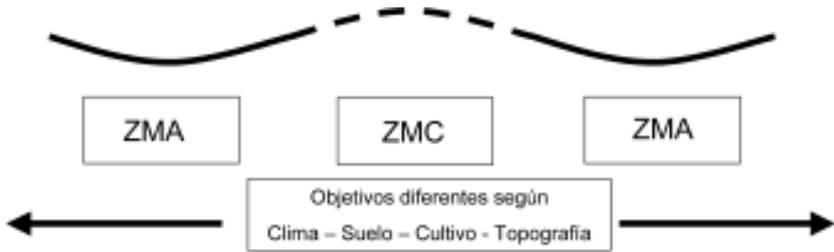


Figura V.12. Zona de manejo del cultivo y zona de manejo del agua.

Los objetivos particulares perseguidos por la labranza en la zona de manejo del agua tienen que ver con el control de la erosión hídrica, facilitar y/o controlar la penetración de agua en el perfil, conservar la humedad y eliminar el agua excedente, mientras que en la zona de manejo del cultivo se busca preparar la cama para la germinación, la emergencia de plántulas, eliminar competidores bióticos e incorporar fertilizantes.

Los parámetros de la labranza considerados son aquellos que varían o se alteran a través de la labranza, y que sirven para evaluarla según los objetivos perseguidos, las características del cultivo y los atributos de la unidad de tierra.

Depresión de almacenaje (DA): Volumen de agua que puede ser almacenado temporalmente en las depresiones del terreno. Importante en la ZMA. Se puede expresar en términos de lámina (cm o mm).

Almacenaje de la capa arable (AA): Representa en forma relativa la cantidad de agua que puede captar el suelo cuando se encuentre humedecido hasta el límite superior de humedad. Importante en la ZMA. Se expresa en términos de lámina (cm o mm).

Microrrelieve superficial o rugosidad (MS): Se calcula como la desviación típica con base en la distancia del terreno a un plano de referencia. Valores menores se corresponden con una superficie lisa más propensa al sellado y encostramiento superficial. Importante en ambas zonas.

Tamaño de agregados secundarios (T²). Importante en ambas zonas. Se expresa en milímetros.

Cobertura superficial (CS). Relacionado con el nivel de residuos en superficie. Se expresa en porcentaje o masa/superficie. Muy importante en la zona de manejo del agua ZMA.

Densidad aparente (Da). Usada como medida indirecta de la disponibilidad de oxígeno, la compactación del suelo y el impedimento mecánico. Se expresa en Mg/m³. Importante en ambas zonas.

Temperatura del suelo (T). Parámetro importante en la zona de manejo del cultivo (ZMC). Se controla en función del nivel de residuos en superficie y el contenido de humedad. Se expresa en °C.

Distancia entre hileras (DH). Varía según los requerimientos del cultivo y se expresa en cm.

Luego de las operaciones de laboreo aplicadas, los valores finales de los parámetros de la labranza van a depender de los implementos de labranza utilizados, la intensidad de laboreo y velocidad de las operaciones, el tipo y cantidad de residuos remanentes de la superficie y las condiciones de sitio, como lo ilustra la figura V.13.

Las categorías de labranza pueden agruparse según dos criterios esenciales (Andreu, 2006), profundidad y nivel de intensidad. A estos criterios podemos añadirle la orientación de las operaciones de laboreo de acuerdo con el sentido de la pendiente, donde podemos distinguir la labranza en contorno (perpendicular a la inclinación del terreno) de la labranza en sentido de la pendiente.

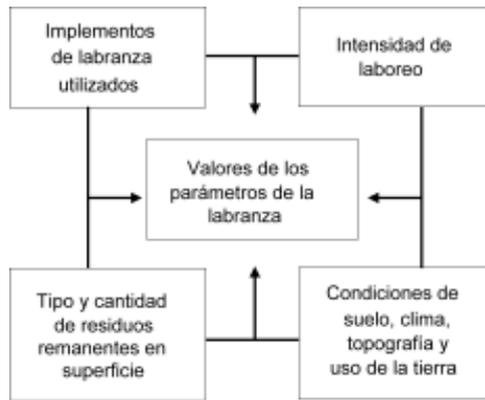


Figura V.13. Los valores de los parámetros de la labranza dependen de diferentes acciones y condiciones durante el laboreo del terreno.

a) Por profundidad

- Labranza primaria
- Labranza secundaria

b) Por nivel de intensidad

- Labranza tradicional o convencional (< 15% de residuos sobre el suelo)
- Labranza reducida (15-30% de residuos sobre el suelo)
- Labranza conservacionista (>30% de residuos sobre el suelo)

Labranza primaria: se asocia con el laboreo a profundidad y se realiza generalmente con los primeros pases de maquinaria u operaciones iniciales. Entre sus efectos están el incrementar la depresión de almacenaje, la capacidad de almacenaje y la rugosidad, y el de incorporar residuos. Los implementos más comunes para estas labores son el subsolador y cincel, que rompen el suelo sin voltearlo, el arado de disco que voltea el suelo y el arado de vertedera que invierte la capa superficial y aflora material de capas subsuperficiales.

Labranza secundaria: se asocia con el laboreo superficial y se realiza posteriormente a las operaciones de labranza primaria. Sus efectos principales son los de controlar el tamaño del terrón, la

rugosidad, la densidad aparente y la cantidad final de residuos en superficie. Entre los implementos más utilizados para estas labores están las rastras de disco, de púas y el *big-rome*, que tienen como función romper y desmenuzar grandes terrones. Los rodillos se usan para compactar y alisar superficialmente.

Labranza convencional: sistemas de labranza limpia o intensiva. Se caracteriza por:

- Escasa cobertura de residuos vegetales en superficie después de la siembra (< 15%).
- Utilización intensiva de implementos que roturan, invierten y mezclan el suelo, incorporando la mayor cantidad de residuos.
- Predominan los implementos que actúan en la roturación e inversión del suelo en forma horizontal.

Ventajas:

- Incorporación de altos volúmenes de residuos, fertilizantes, enmiendas
- Control de plagas y enfermedades
- Roturar sellos, costras y aumentar la rugosidad
- Romper capas endurecidas

Desventajas:

- Aumento de procesos erosivos
- Descenso de la materia orgánica MO
- Degradación de la estructura
- Requerimientos de tractores e implementos más potentes y pesados, por lo que requiere de más combustibles y horas-hombre
- Al quedar menor cantidad remanente de residuos en superficie es menor la conservación del agua y mayor la evaporación directa del suelo

Labranza reducida: consiste en la disminución de la intensidad y/o número de operaciones de laboreo que incluyen una gama de sistemas intermedios. Se caracteriza por:

- Cobertura de residuos vegetales en superficie después de la siembra (15%-30%)
- Utilización de implementos que tienen menor impacto sobre el suelo y menores requerimientos de energía y horas-hombre.
- Predominan los implementos que actúan en la roturación sin la inversión del suelo en forma vertical.

Ventajas:

- Reducción de los impactos negativos de la labranza convencional en las propiedades de los suelos
- La labranza vertical mejora condiciones de enraizamiento e hidrológicas en los suelos
- Disminución del tiempo de operaciones y costo del combustible

Desventajas:

- Frecuentes fallas en la preparación de la cama para la semilla
- Posibles fallas de incorporación de enmiendas y fertilizantes
- Puede requerir mayor potencia
- Requiere una mayor sincronización climática

Labranza conservacionista: tiene como objetivo minimizar las pérdidas de suelo y agua en cantidad y calidad, sin afectar sensiblemente la germinación y establecimiento de los cultivos. Se caracteriza por:

- Cobertura de residuos vegetales en superficie después de la siembra (>30%)
- Reducción de impactos negativos sobre la productividad de los suelos y de impactos ambientales regionales y globales de la labranza convencional y la labranza reducida
- Predominan los implementos que actúan en la roturación sin la inversión del suelo en forma vertical

Ventajas:

- Reducción de los impactos negativos de la labranza convencional y la labranza reducida en las propiedades de los suelos. Es más efectiva en el control de la erosión y en conservar la humedad
- Mejoramiento de la calidad de aguas superficiales y niveles de materia orgánica en los suelos
- Mayor ahorro de combustible, maquinaria y de horas-hombre

Desventajas:

- Mayor dependencia de productos agroquímicos, principalmente herbicidas
- Posibles fallas en combatir malezas
- Mayor incidencia de plagas y enfermedades
- Mayor compactación en algunos suelos

Dentro de los sistemas de labranza conservacionista se reconocen varias modalidades, como la labranza cero o siembra directa, en la cual sólo hay una mínima alteración en la hilera de siembra; el sistema en franjas, en el cual se altera la franja de siembra, siendo siempre de mayor anchura el espacio no alterado; la labranza con residuos, en la que se utilizan implementos de laboreo vertical que dejan una alta proporción de cobertura en superficie; la labranza en camellones, en la cual los surcos permanecen protegidos por residuos hasta que se reconformen los camellones con una cultivadora. Los camellones deben orientarse siguiendo las curvas de nivel. En zonas ganaderas la siembra directa sobre pasto es una alternativa para aprovechar el efecto residual de los fertilizantes en el pastizal.

Los efectos de la mecanización en la remanencia de residuos en superficie de acuerdo con el tipo de implemento por cada pase aplicado se pueden consultar en el cuadro V.8. Esta información es muy relevante debido a la gran importancia que tienen los residuos en superficie de proteger la superficie del suelo del impacto directo de las gotas de lluvias y de la consecuente separación y transporte de material del suelo.

Cuadro V.8. Efectos de la mecanización en la permanencia de residuos luego de cada operación de labranza (Renard et. al., 1997).

| Tipo de implemento | Residuos dejados en superficie % |
|--|----------------------------------|
| Arado de disco inclinado | 10 |
| Rastra de disco | 50 |
| Rotocultor (cultivador tipo mezclador) | 75 |
| Arado cincel | 75 |
| Cultivador subsuperficial | 90 |
| Sembradora en hileras | 85 |
| Sembradora no labranza | 95 |
| Sembradora voleo | 100 |

Labranza en contorno: consiste en realizar las operaciones de laboreo en sentido perpendicular a la pendiente o en contorno. Tiene como función reducir las pérdidas de suelo por erosión y de agua por escorrentía, y reducir las cargas contaminantes de sedimentos y aguas superficiales. Su eficiencia varía en función de las condiciones topográficas del terreno y otros factores:

- En pendientes altas: pierde eficiencia. Se debe dar una inclinación a los camellones o hilos de siembra para facilitar el drenaje del agua excedente.
- En pendientes largas: pierde eficiencia. Debe cortarse la longitud de la pendiente con algún tipo de estructura. La longitud crítica para la pendiente varía de acuerdo con el grado de inclinación de la pendiente, los residuos en superficie y otros factores de manejo.
- Profundidad de los surcos o altura de los camellones.
- Permeabilidad (grupo hidrológico) del suelo.
- Cobertura sobre el terreno.

El efecto del grado de inclinación de la pendiente sobre la eficiencia de la labranza en contorno en controlar la erosión hídrica, y la longitud crítica máxima permisible para que sean viables dichos valores de eficiencia se presenta en el cuadro V.9. Cuando existe una alta proporción de residuos en superficie, la longitud crítica

máxima se extiende 10 por ciento adicional, ya que la eficiencia se mantiene debido a la interacción longitud-residuos. Cuando el sistema de labranza en contorno incluye la conformación de camellones, la eficiencia en controlar la erosión hídrica aumenta al aumentar la profundidad de los surcos o altura del camellón, como puede observarse en la figura V.14.

Cuadro V.9. Valores del factor P_c para la labranza en contorno según la pendiente y longitudes máximas permisibles* (Wischmeier y Smith, 1978)

| Gradiente % | Factor P_c | Longitud máxima (m) permisible (l_c)* |
|-------------|--------------|---|
| <3 | 0,60 | 122 |
| 3-5 | 0,50 | 91 |
| 5-8 | 0,50 | 61 |
| 8-12 | 0,60 | 37 |
| 12-16 | 0,70 | 24 |
| 16-21 | 0,80 | 18 |
| >21 | 0,90 | 15 |

* Puede incrementarse hasta 10% cuando los residuos cubren > 50% de la superficie.

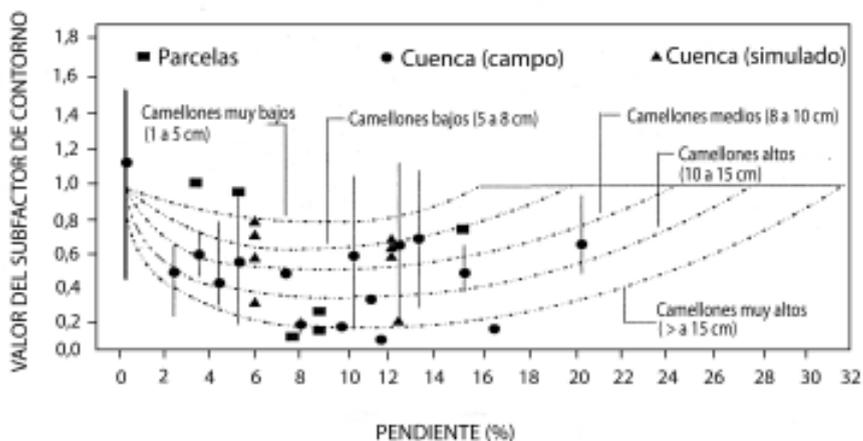


Figura V.14. Eficiencia de la labranza en contorno en función de la pendiente y altura del camellón (Renard et al., 1997).

En Venezuela se han realizado diversas experiencias de campo con sistemas de labranza conservacionista, demostrándose sus efectos positivos en los rendimientos, especialmente en años secos, como puede observarse en el cuadro V.10 y su alta eficiencia en el control de la erosión (cuadros V.11 y V.12). Sin embargo, como señala Márquez (2005), estos sistemas pueden ser la mejor opción en determinadas circunstancias de suelo y clima, tanto desde la perspectiva económica como la ambiental, pero no en cualquier caso, señalando que en los suelos limosos se hace difícil la aplicación de esta técnica de manera continuada por la facilidad con que éstos se compactan. El tráfico de maquinaria deja huellas que dificultan la siembra directa, requiriéndose labores de nivelación de la superficie para que no quede semilla al descubierto por la mala operación con la sembradora.

En la figura V.15 se presenta la eficiencia de la labranza en contorno y de la labranza cero en controlar la erosión hídrica en ensayos realizados en parcelas de campo bajo lluvias naturales. Nótese que la alta eficiencia de la labranza cero en controlar la erosión

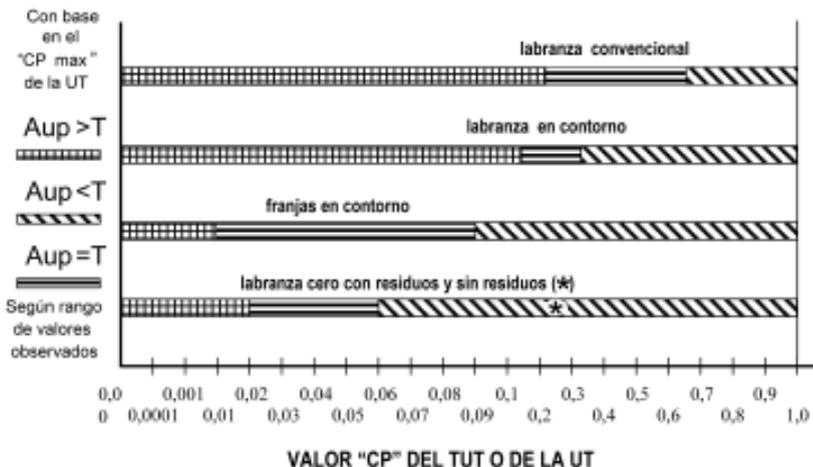


Figura V.15. Factor "CP" de cultivos anuales mecanizados con varios sistemas de labranza, manejo de residuos y prácticas antierosivas (Rodríguez, 1999a).

Cuadro V.10. Rendimiento del maíz (kg/ha) bajo sistema de labranza mínima y convencional (Azuaje et al., 1987); Fusagri, 1988)

| Año | Estado Aragua Sistema de labranza | | Año | Estado Yaracuy Sistema de labranza | | Año | Estado Guárico Sistema de labranza | |
|------|--------------------------------------|--------------|------|---------------------------------------|--------------|------|---------------------------------------|--------------|
| | Mínima | Convencional | | Mínima | Convencional | | Mínima | Convencional |
| 1970 | 6.500 | 6.600 | 1972 | 3.400 | 3.800 | 1986 | 4.589 | 3.385 |
| 1971 | 6.300 | 3.800 | 1973 | 4.700 | 3.800 | | | |
| 1972 | 1.700 | 1.300 | 1974 | 3.600 | 3.600 | | | |
| 1975 | 4.200 | 3.700 | 1975 | 2.800 | 1.700 | | | |
| | | | 1986 | 1.558 | 1.026 | | | |

Cuadro V.11. Erosión y sistemas de conservación en el valle medio del río Yaracuy (Páez y Rodríguez, 1989a)

| Sistema de uso | Erosión Mg/ha | Factor P |
|------------------------------------|------------------|----------|
| Maíz en sentido de la pendiente | 16,7 | - |
| Maíz en contorno | 11,2 | 0,6 |
| Maíz con labranza cero | 0,8 | - |
| Maíz con barrera vegetativa a 15 m | 3,2 | 0,28 |
| Maíz con barrera vegetativa a 20 m | 3,7 | 0,33 |

Cuadro V.12. Pérdidas de suelo y agua en un Aquic Palehumul de la cuenca alta del río Petaquire, Distrito Federal (Urbina y Rodríguez, 1992a)

| Tratamiento | Erosión Mg/ha | Escorrentía % |
|---|------------------|------------------|
| Suelo desnudo | 22,7 | 11,4 |
| Trigo, labranza en contorno | 11,9 | 3,4 |
| Trigo, no labranza | 9,4 | 4,1 |
| Trigo, no labranza + mulch | 0,2 | 3,2 |
| Trigo, labranza en contorno + emulsión de asfalto | 2,9 | 0,3 |

hídrica depende principalmente de la presencia de residuos en superficie más que de la no alteración del perfil cultural. En este caso sólo se manifiesta el efecto de reconsolidación del suelo, cuyo rango de eficiencia en reducir la erosión es de 0,4 para suelos con ocho o más años de no haber sido labrados (Dissmeyer y Foster, 1980). En el caso en que los suelos sean altamente degradados o susceptibles a la compactación y el sellado superficial, la no labranza sin residuos en superficie puede tener más bien resultados contraproducentes, como lo señalan Rodríguez y Páez (1989), para el suelo correspondiente a la serie Uribeque en el Yaracuy medio, donde se produjo una escorrentía y pérdidas de suelo superiores a las del suelo labrado al ser sometido a pruebas bajo condiciones de lluvia simulada en campo.

Andreu (2006) recomienda con respecto a la compactación que se debe realizar, en lo posible, combinación de labores en un solo pase sobre el terreno, para evitar excesos de tráfico de maquinarias sobre el suelo y usar técnicas de tráfico controlado. Al seleccionar maquinarias agrícolas, hacerlo con los conceptos de reducción de riesgos de compactación utilizando neumáticos de baja presión sobre el suelo y los menores pesos posibles sobre los ejes.

V.3. PRÁCTICAS AGRONÓMICAS

V.3.1. LAS COBERTURAS SOBRE EL SUELO

Por coberturas se entiende todo material vivo o muerto, de naturaleza orgánica o sintética, que protege la superficie del suelo. Son las plantas, ya sea la vegetación espontánea o los cultivos y sus residuos, las coberturas por excelencia. Su distribución espacial y temporal determina el grado de protección que ofrecen. Es ésta quizás la estrategia principal de conservación de suelos.

Entre los objetivos de las coberturas se pueden considerar dos grandes objetivos principales, que de acuerdo con los requerimientos de conservación de la unidad de tierra pueden cumplirse de forma simultánea o exclusiva; éstos son:

- Restaurar la fertilidad del suelo. Tiene que ver con las mejoras inducidas por la vegetación en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Estas coberturas contrastan en sus atributos con las de un cultivo agotador con el cual se alternan. El período en presencia del cultivo agotador se asocia con el descenso del contenido de carbono orgánico en el suelo.

- Controlar la erosión. Cuando existen riesgos de erosión en la unidad de tierra, éstos deben ser minimizados y las coberturas protectoras pueden complementar, ya sea en términos espaciales o temporales, la incapacidad de un cultivo principal de proteger la superficie del terreno de las fuerzas erosivas.

Estos dos grandes objetivos principales se cumplen a través de diversas funciones específicas que realizan las coberturas, tales como:

- Interceptar la lluvia
- Evitar el sellado superficial del agua de lluvia y la escorrentía
- Incrementar el almacenaje superficial de agua de lluvia y de la escorrentía
- Disminuir el volumen y velocidad del escurrimiento
- Mejorar la estructura y porosidad del suelo superficial
- Aportar materia orgánica y fomentar la actividad biológica y el ciclaje de nutrientes en el suelo
- Mantener estable y sin extremos la temperatura del suelo
- Disminuir la evaporación del agua del suelo y conservar la humedad
- Controlar plantas indeseables
- Proteger el cultivo

Se distinguen dos grandes categorías de coberturas sobre el suelo (CCSA, 2001):

- 1) Coberturas cuando la tierra está en descanso
- 2) Coberturas que mejoran y protegen el suelo mientras se conduce el cultivo

1) *Coberturas cuando la tierra está en descanso.* Este tipo de coberturas se corresponde con uno de los objetivos principales mencionados. Aun cuando pueden cumplir una función productiva, generalmente se asocian con usos de la tierra menos intensivos que generan ingresos económicos menores o nulos. El período de descanso va a depender del objetivo o los objetivos perseguidos y de las condiciones particulares de la localidad.

Las coberturas cuando la tierra está en descanso son:

- Coberturas de barbecho de regeneración natural. Son aquellas en las que se abandona el lugar de cultivo en búsqueda de otras tierras y es la vegetación espontánea la que se encarga de restablecer una cobertura en el sitio. Es típico de la agricultura migratoria o nómada, asociada con el conuco tradicional de muchas regiones del país. Generalmente, la deforestación es seguida de una quema para eliminar los altos volúmenes de residuos y se cultiva por unos pocos años hasta que decrece la productividad a niveles por debajo de las expectativas del agricultor. Éste se mueve a un nuevo sitio donde repite el proceso. La mayor densidad de población y la escasez de tierras limitan la capacidad de este sistema para satisfacer los requerimientos de productos agrícolas de la sociedad actual.

- Coberturas de barbecho mejoradas. En las coberturas de barbecho mejoradas, una vez que el terreno no es ocupado por el cultivo principal, se sustituye por una vegetación inducida que debe cumplir otros propósitos de producción o ayude a acortar el período de descanso, permitiendo un uso más intensivo de la unidad de tierra. Entre los tipos de barbecho mejorado se señalan:

Coberturas de plantación arbustiva. Éstas utilizan especies forestales con diversos propósitos como la extracción de madera, leña, nueces, etcétera. Generalmente, se utilizan especies de crecimiento rápido y adaptadas a las condiciones locales. Los períodos de descanso son relativamente largos en comparación con otros tipos de barbecho mejorados.

Coberturas de pasto. Éstas tienen como fin el servir como fuente de alimentación animal por pastoreo directo o corte. Se logra una cobertura densa en muy corto tiempo y se generan ingresos en el más corto plazo.

Coberturas de leguminosas. Es conocida la capacidad de fijación de nitrógeno de las leguminosas mediante la acción simbiótica con bacterias nitrificantes, pertenecientes al género *Rhizobium*. Un cultivo de leguminosa puede aportar hasta 500 kg/ha/año (NAS –National Academy of Sciences, 1979). Dado que el nitrógeno es el macroelemento más determinante de la producción vegetal, en terrenos relativamente fértiles esta práctica puede acortar drásticamente los períodos de descanso. Además, los aportes de materia orgánica al suelo de estas plantas promueven el mejoramiento de las propiedades físicas y biológicas del mismo, aunado al aporte de nitrógeno mencionado (ver tema sobre abonos verdes).

Si el objetivo es restaurar la fertilidad del suelo, el tiempo de descanso requerido estará en función de:

- La humedad disponible
- Las características del suelo
- El uso más intensivo de la tierra
- La naturaleza del barbecho
- El nivel de insumos (bajo-medio-alto)

El factor cultivo propuesto por la FAO (1985a) expresa el número de años en cultivo como un porcentaje del ciclo total de cultivo + no cultivo-período de descanso y refleja el grado de intensidad de uso de la tierra. Su relación matemática viene dada por:

$$R (\%) = \frac{C}{C + F} * 100$$

Donde C representa el número de años de cultivo y F el número de años de barbecho o descanso. En el cuadro V.13 se listan los diferentes tipos de agricultura según el factor cultivo o grado de intensidad de uso de la tierra. En el cuadro V.14 se resume la variación del factor R según las condiciones de clima, suelo y nivel de insumos.

Cuadro V.13. Tipos de agricultura según el factor cultivo R (FAO, 1985a)

| | |
|----------------------------|-------|
| Cultivos continuos | 100 |
| Agricultura permanente | 99-70 |
| Agricultura semipermanente | 69-30 |
| Agricultura migratoria | < 30 |

Cuadro V.14 Factores de cultivo necesarios para estimar períodos de descanso (FAO, 1985a)

| Clima | Trópicos cálidos | | | Trópicos frescos | | |
|---------------------------|---|-------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------|----|
| | Bosque higrofitico (días) 270-365 | Sabana 120-269 | Semiárido 75-119 | Bosque higrofitico 270-365 | Sabanas 120-269 | |
| Clase de suelo/FAO/USDA | Nivel de insumos* | | | | | |
| | B | M | A | B | M | A |
| Regisoles y arenosoles | 10 | 30 | 50 | 15 | 35 | 65 |
| Ferrisoles (oxisoles) | 15 | 35 | 70 | 15 | 35 | 70 |
| Nitisosoles (alfisosoles) | 30 | 55 | 90 | 30 | 80 | 90 |
| Vertisoles | 40 | 70 | 90 | 55 | 75 | 90 |
| Fluvisoles y gleysoles | 60 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 |

* B: bajo M: medio A: alto

Si el objetivo es controlar erosión, deberán alternarse períodos con un cultivo no protector con períodos en los cuales el suelo esté cubierto por una cobertura protectora. El tiempo de descanso requerido puede calcularse mediante la EUPS, basado en la desigualdad:

$$A_{\text{uso propuesto}} \leq T_{\text{unidad de tierra}} \quad \text{O}$$

$$CP_{\text{uso propuesto}} \leq CP_{\text{max}}_{\text{unidad de tierra}}$$

Esto se cumple cuando el CP_{max} es igual al CP del uso propuesto, y este último no es más que el CP ponderado de cada uno de las coberturas propuestas, de acuerdo con el tiempo de ocurrencia en el terreno, siendo CP_L el CP del cultivo limpio, CP_D el CP del cultivo denso, N_L el número de años con cultivo limpio y N_D el número de años con cultivo denso, lo cual se puede expresar a través de la siguiente ecuación.

$$CP_{\text{max}} = \frac{CP_L * N_L + CP_D * N_D}{N_L + N_D}$$

Al despejar N_D , tenemos:

$$N_D = \frac{CP_L - CP_{\text{max}}}{CP_{\text{max}} - CP_D}$$

En la figura V.16 se presenta el grado de protección ofrecido (factor “CP”) por parte de dos tipos de bosque, natural y de pino, y por pastos, así como de cultivos permanentes y de los sistemas de cultivos asociados. Nótese que el bosque natural siempreverde, donde predominan especies frondosas, es más eficiente que el de pino, donde no existe un sotobosque diverso. Se puede resaltar, también, que los cultivos de subsistencia o cultivos asociados y el pasto denso bien establecido asemejan el grado de protección ofrecido por el bosque en términos promedio, aunque en condiciones extremas su eficiencia puede verse reducida.

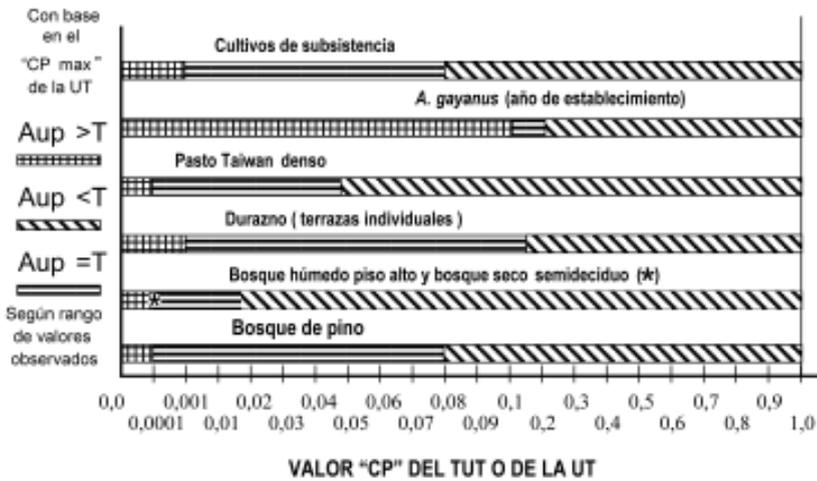


Figura V.16. Factor "CP" en cultivos de subsistencia, cultivos de frutales, pastos y bosques.

Coberturas que mejoran y protegen el suelo mientras se conduce el cultivo:

- Mulch o residuos colocados sobre la superficie. Consiste en aplicar manual o mecánicamente residuos en superficie, ya sean orgánicos o sintéticos, cuyo suministro depende de una fuente externa o relativamente distante del sitio de colocación en el área de cultivo. El suministro y transporte del material de cobertura hacen costosa esta práctica, por lo que se recomienda, principalmente, en cultivos intensivos de alta rentabilidad. Es muy común en el cultivo de las fresas, ya que los frutos de esta planta no deben hacer contacto directo con la superficie del suelo, por lo que se convierte en una práctica obligada en el manejo de ese cultivo, contribuyendo, a su vez, en la protección de la superficie del suelo y en la conservación de la humedad.
- Mulch local o residuos originados en el lugar. Es la cobertura remanente luego de las operaciones de labranza realizadas. Se asocia principalmente con los sistemas de labranza reducida y conservacionista ya mencionados en la discusión sobre

sistemas de labranza. Es el principal responsable de la efectividad de los sistemas de labranza conservacionista en controlar la erosión. Algunos suelos no labrados donde ha sido removida la cobertura de residuos en superficie y cuyas características o condiciones originales son inestables o se corresponden con un suelo muy degradado, que presenta una baja permeabilidad y susceptibilidad al sellado, pueden resultar en pérdidas de suelo por erosión mayores que las de un suelo labrado, tal como se reporta para los suelos de la serie Yaritagua en la faja maicera del Yaracuy (Rodríguez, 1989).

- Mulch vivo. El uso de plantas vivas que acompañan al cultivo principal, conocidas como arvenses, y que se presentan de forma selectiva o inducida. Un ejemplo de esta categoría es la recomendación de Cenicafe (Rivera-Posada, 1997) para el manejo de plantaciones de café en Colombia. Consiste en el establecimiento de coberturas nobles utilizando parcheos selectivos con control mecánico (machete o desbrozadora), favoreciendo el establecimiento de las coberturas deseadas y luego del rebrote de arvenses agresivas, éstas se controlan desplazando el aplicador sobre ellas (equipo de aplicación por contacto de herbicidas). El uso de azadón (escardilla) debe ser evitado, ya que remueve la capa superficial del suelo que favorece procesos erosivos (Rivera-Posada, 1996). Otro ejemplo importante de este tipo de coberturas es el utilizado en plantaciones de palma africana, donde se induce la cobertura de kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*) mediante su siembra en los callejones o del maní forrajero (*Arachis pintoii*) en plantaciones de café. En los naranjales de los valles altos de Yaracuy es común observar una cobertura viva controlada mediante el paso de rotativa. En los alrededores de las plantas frutales o de café se realiza el platoneo o control de vegetación al pie de la planta, dejando un círculo limpio de diámetro variable para facilitar labores culturales como el riego y la fertilización.

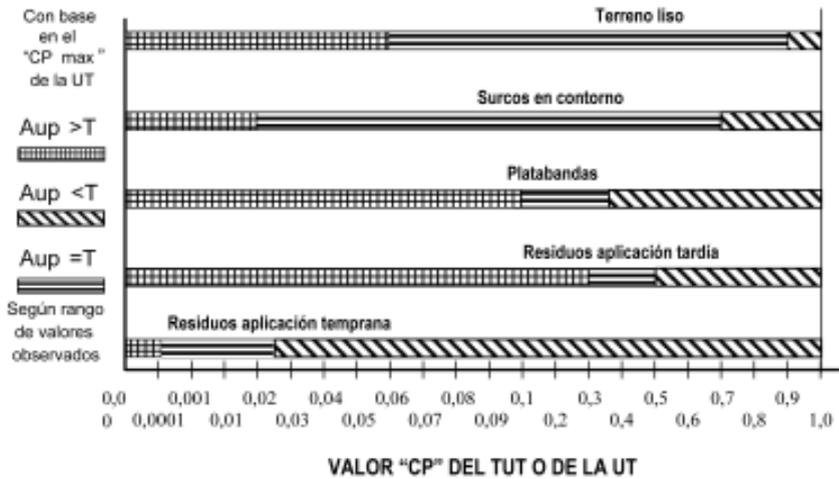


Figura V.17. Factor "CP" de hortalizas de piso alto con varios sistemas de manejo y prácticas antierosivas.

En la figura V.17 se puede distinguir el efecto de la aplicación tardía de residuos en superficie colocados en sistemas de producción hortícola de piso alto. Para ese momento los residuos ejercen un papel secundario, ya que el cultivo ofrece su propia cobertura y el terreno estuvo expuesto a las lluvias en períodos de poca protección. En esos casos se recomienda complementar la práctica de cobertura que resulta insuficiente, con otras prácticas como estructuras permanentes que protejan el terreno en períodos críticos (barreras vivas, zanjas antierosivas, franjas amortiguadoras y terrazas).

En la figura V.18 se aprecian las diferentes vías que pueden seguir los residuos inicialmente dejados en superficie al final de un ciclo de cultivo. La remanencia de la cobertura de residuos en superficie va a depender de las operaciones de labranza realizadas, así como de las demás actividades de remoción como la quema, consumo por ganado o cosecha de los residuos para diversos fines.

La eficiencia de los residuos en superficie o coberturas de plantas que crecen a ras del suelo puede deducirse o estimarse conociendo el porcentaje de cobertura presente y utilizando las curvas

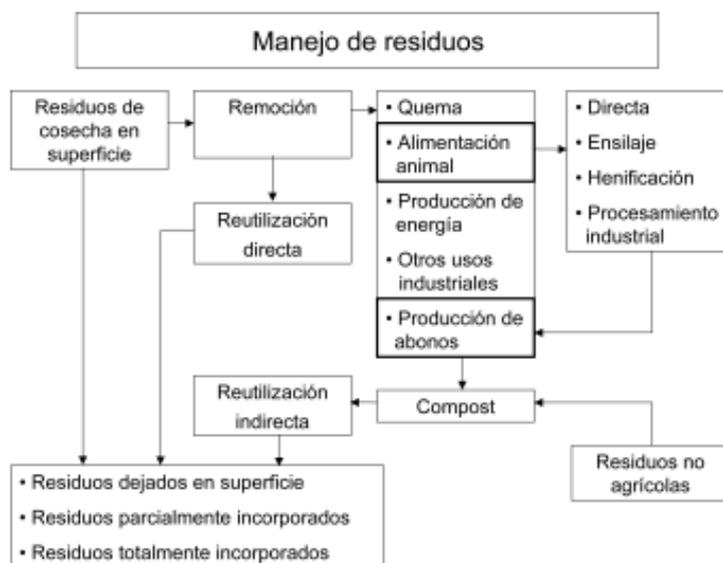


Figura V.18. Destino final de los residuos de acuerdo con su manejo (Rodríguez, 1985).

de “mulch” o curvas del factor Ck , que es un subfactor del factor C de la EUPS (USLE), cuyo valor representa la relación de pérdidas de suelo con una determinada cobertura en comparación con las pérdidas de suelo en un terreno sin cobertura, en iguales condiciones de los demás factores físicos que afectan el proceso de la erosión hídrica. Estas curvas se ajustan a un modelo exponencial negativo de la forma $Y = a * e^{-b*x}$. En la figura V.19 se presenta la curva generalizada reportada por Rodríguez (1985) y Rodríguez y Páez (1989) para tres suelos agrícolas de Venezuela.

En algunos casos no se conoce el porcentaje de cobertura, sino el peso de los residuos, por lo que deben transformarse a porcentaje de cobertura mediante una relación logarítmica del tipo $Y = a + b * \ln(x)$, de la cual se presenta un ejemplo en la figura V.20. Esta operación de transformación es muy importante en los modelos de simulación, ya que éstos estiman primero la biomasa de los restos de cosecha y también consideran el decaimiento de dicha biomasa en función de la

descomposición y mineralización de la materia orgánica, tomando en cuenta el tiempo transcurrido y las condiciones ambientales. La protección del suelo se calcula de acuerdo con los residuos remanentes en superficie expresados en porcentaje de cobertura.

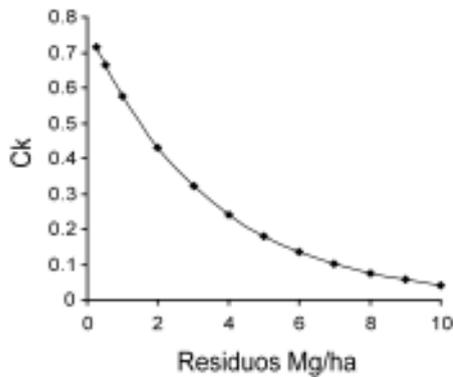


Figura V.19. Factor de mulch en función de la cobertura de residuos en tres suelos agrícolas de Venezuela (Rodríguez y Páez, 1989).

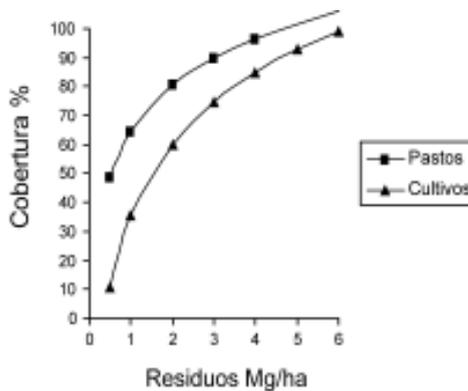


Figura V.20. Cobertura alcanzada por residuos de pastos y de cultivos en función de la biomasa seca de residuos (Tejada y Rodríguez, 1989).

Las curvas de residuos o factor de “mulch”, reportadas por Wischmeier y Smith (1978), combinan los dos factores de protección de la superficie o subfactores del factor *C* de la EUPS (USLE) más importantes en sistemas con cultivos anuales mecanizados, como se muestra en la figura V.21, es decir, de la cobertura del dosel del cultivo y la cobertura de los residuos y plantas a ras del suelo. En la medida en que hay más cobertura a ras del suelo, la importancia de la cobertura del dosel disminuye. Es interesante destacar que para una cobertura de 30% de residuos en superficie, que es el límite que determina como referencia la separación de sistemas de labranza conservacionista de los que no lo son, el factor *C* correspondiente, sin considerar la cobertura del dosel, es de 0,5. Es decir, las pérdidas de suelo se reducen en 50% para ese nivel de cobertura de residuos en superficie. Éste se alcanza con unas dos toneladas de residuos de cultivos por hectárea, mientras que con residuos de pastos se requiere tan sólo de una tonelada por hectárea. Las hojas y tallos de los pastos tienen una mayor capacidad de cobertura por unidad de peso que los residuos de los cultivos.

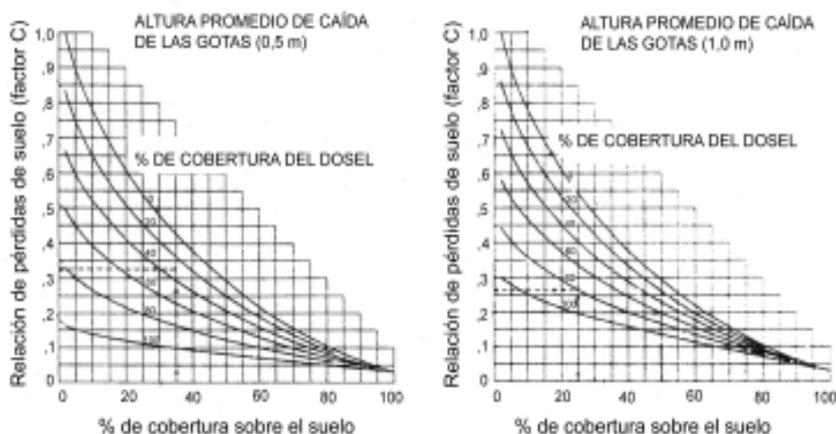


Figura V.21. Curvas de factor “C” para dos alturas de dosel o altura promedio de caída de gotas (50 cm y 100 cm) y diferentes porcentajes de cobertura de dosel en función de la cobertura de residuos o “mulch” en superficie o % de cobertura sobre el suelo (Wischmeier y Smith, 1978).

Otro aspecto importante es la altura promedio de caída de gotas desde el dosel. Los cultivos de porte bajo y los de porte medio presentan una eficiencia de la cobertura del dosel combinada con los residuos en superficie diferente, según las curvas reportadas por Wischmeier y Smith (1978), que se muestran en la figura V.21 ya mencionada.

Aun cuando los residuos en superficie pueden representar una de las estrategias más eficientes para proteger la superficie del terreno y enaltecer algunas de sus funciones ecológicas, su presencia puede ser opuesta a otros objetivos de manejo de la unidad de tierra, como incrementar la temperatura de la superficie del suelo, promover la evaporación y el escurrimiento de los excedentes de agua en el terreno, evitar plagas y enfermedades asociadas, cuyo ciclo se asocia con la presencia de residuos vegetales, reducir los riesgos de incendios, permitir operaciones de cultivo, entre otras.

V.3.2 LOS ABONOS VERDES AV

Son plantas que se utilizan parcial o totalmente para ser aplicadas como materia orgánica al suelo, mejorando sus condiciones físicas, químicas y biológicas. Se prefieren las leguminosas pero no están excluidos otros grupos de plantas. Pueden ser usadas, a su vez, como plantas de cobertura durante un período antes de ser incorporadas al suelo. La preferencia por las leguminosas se explica por su capacidad, en la mayoría de los casos, de fijar nitrógeno atmosférico en los nódulos formados en las raíces infectadas por las bacterias del género *Rhizobium*. Este nitrógeno es aprovechado por la planta para su crecimiento y luego de que ésta es incorporada y pasa a formar parte de la materia orgánica del suelo, el nitrógeno puede ser liberado y aprovechado por otros cultivos (National Academy of Sciences, NAS 1979).

Se consideran abonos verdes plantas en rotación, sucesión y/o asociación con cultivos comerciales, que al incorporarse al suelo o dejarse sobre la superficie, protegen, mantienen o recuperan las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Costa et al., 1992).

Las principales funciones de los abonos verdes se resumen en:

- Aporte de nutrientes (N y S) y MO al suelo
- Retención de micronutrientes
- Aumento de la capacidad de intercambio catiónico
- Estimulación de la actividad biológica
- Disminución de la fijación del fósforo
- Aumento de la retención de humedad
- Mejoramiento de la estructura del suelo. Sus raíces pueden penetrar capas compactas y mejorar la aireación
- Pueden actuar como plantas de cobertura (PC), protegiendo la superficie del suelo

Las características de las plantas a ser usadas como abonos verdes se listan a continuación:

- Fácil establecimiento y habilidad de producir su propia semilla localmente
- Crecimiento rápido
- Desarrollo denso, alta producción de biomasa
- Baja relación carbono/nitrógeno en floración
- No ser reservorio de plagas y enfermedades
- Fáciles de erradicar
- Tolerantes a condiciones adversas (sequía, baja fertilidad, otros) y a la sombra cuando se intercalan con un cultivo

Entre sus desventajas se mencionan:

- Costos asociados (semilla, siembra, incorporación y otras labores)
- Requerimientos ecológicos específicos
- Ser hospederos de plagas y enfermedades
- Competencia con el cultivo por agua y nutrientes

V.3.3 SISTEMAS DE CULTIVO

Se refiere a la distribución espacial y temporal y a las especies de cultivo involucradas en los diferentes sistemas de cultivo de

acuerdo con las combinaciones posibles de estas variables y componentes. Según la FAO (1985a), pueden distinguirse los siguientes sistemas:

- 1) Cultivo simple: producción de la tierra con un solo cultivo
- 2) Cultivo permanente: producción de la tierra con un cultivo que permanece por lo menos dos años
- 3) Cultivo múltiple: utilización de la tierra con más de un cultivo en el año. Este sistema permite un mayor aprovechamiento de los recursos (energía radiante, agua, nutrientes, equipos agrícolas y mano de obra), ya que a lo largo del año se distribuye más eficientemente su utilización. Además, entre sus ventajas se pueden mencionar: una mayor producción total de biomasa, se promueve la biodiversidad del sistema, hay una mayor cobertura y protección del suelo contra la erosión, disminuyen los riesgos de déficit alimentarios y de ingresos por parte de los agricultores, haciendo al sistema menos vulnerable y más estable y el período de cultivo se amplía. El año o ciclo agrícola puede extenderse por períodos superiores a los 365 días. El número de cultivos cosechados en relación con el número de años en el ciclo agrícola, expresado en porcentaje, representa el índice de cultivo [Índice de cultivo=(Número de cultivos cosechados/número de años en el ciclo agrícola)*100].

Son modalidades de los cultivos múltiples las siguientes:

- (i) Cultivos intercalados: Cuando se maneja más de un solo cultivo a la vez en la misma parcela.
 - a. Cultivos intercalados mixtos: cuando se maneja más de un cultivo a la vez sin ninguna disposición en hilera. No hay un patrón de distribución sistemático, como es el caso de los conucos indígenas y tradicionales.
 - b. Cultivos intercalados en hilera: se maneja más de un cultivo a la vez y al menos uno se dispone en hilera.

- c. Cultivos en franjas: manejo de más de un cultivo a la vez dispuestos en franjas suficientemente anchas para permitir su manejo como cultivos independientes.
- (ii) Cultivos en relevo: cuando dos o más cultivos se producen en un año en secuencia, pero el cultivo subsiguiente es sembrado antes de la cosecha del anterior, de modo que cuando se coseche el primero, el próximo ya se encuentre establecido. Un ejemplo de este sistema es el conuco lagunero, donde se siembra maíz en relevo con caraota o frijol en los alrededores del lago de Valencia y otras localidades. Es una práctica común el usar los tallos de maíz como soporte o tutor de los bejucos de la caraota en los conucos tradicionales, sembrando la leguminosa unas semanas después de haber sembrado el maíz.
- (iii) Cultivos secuenciales: se realizan dos o más cultivos al año en secuencia. El segundo cultivo se establece luego de haber cosechado el primero, y así sucesivamente. En el caso de los llanos occidentales en Venezuela es muy común sembrar sorgo o ajonjolí luego de la cosecha del maíz, que es considerado el cultivo principal, aprovechando los efectos residuales de las enmiendas aplicadas y otras prácticas de manejo realizadas durante el ciclo del maíz. En las zonas hortícolas se llegan a realizar hasta cuatro cosechas al año de diferentes especies de diferentes hábitos y requerimientos. Los cultivos secuenciales representan un caso particular de rotación de cultivos.

V.3.4 ROTACIÓN DE CULTIVOS

Consiste en la sucesión recurrente y más o menos regular (en ciclos) de distintos cultivos en un mismo terreno. Ésta es una práctica integradora de un conjunto de prácticas, como los cultivos de cobertura y abonos verdes, cultivos múltiples y otros casos particulares en los que se aplican determinadas prácticas de CSA. Entre sus objetivos están:

- Mejorar la fertilidad del suelo (física, química y biológica)

- Romper el ciclo de plagas y enfermedades
- Controlar la erosión y la degradación de los suelos
- Mejorar la distribución del uso de maquinaria, riego y mano de obra
- Amortiguar efectos negativos por erraticidad del clima, fluctuaciones de precios, etcétera.

Los principios agronómicos de una rotación deben considerar la alternancia de cultivos:

- Que brinden poca protección contra la erosión del suelo con cultivos que proporcionen una buena protección
- Con diferentes capacidades exploratorias del perfil del suelo por sus raíces
- Agotadores con aquellos que contribuyan a mejorar la fertilidad del suelo
- Con diferentes períodos críticos para diversas labores agrícolas (labranza, riego, cosecha) y de acuerdo con la disponibilidad de almacenamiento, mercadeo, etcétera, al nivel de la zona
- Susceptibles a diferentes tipos de competidores bióticos

El ciclo de la rotación viene dado por la duración y la composición de la rotación. La duración es el tiempo que debe estar el terreno sembrado con la serie de cultivos que constituirán el ciclo, y la composición está determinada por el tipo, especie o sistema de cultivos que la forman (CPGCh-Colegio de Postgraduados, Chapingo, 1991).

Tipos de rotación de cultivos. Se distinguen dos tipos principales de rotaciones. La rotación en áreas únicas (figura V.22), donde toda la superficie del terreno es explotada con uno solo de los cultivos que integran la rotación cada año. Por el contrario, en la rotación fraccionada (figura V.23) la superficie del terreno a ser cultivada es fraccionada en tantos lotes como cultivos integren la rotación y anualmente se cultivan en el terreno todos los cultivos a la vez. El número de lotes de terrenos producto del fraccionamiento se corresponde con el número de años de la rotación.



Figura V.22. Rotación en áreas únicas para una rotación de cuatro años de duración, y cuya composición incluye los cultivos de maíz, yuca, quinchoncho, una leguminosa usada como cultivo de cobertura y abono verde y períodos de barbecho con vegetación espontánea.

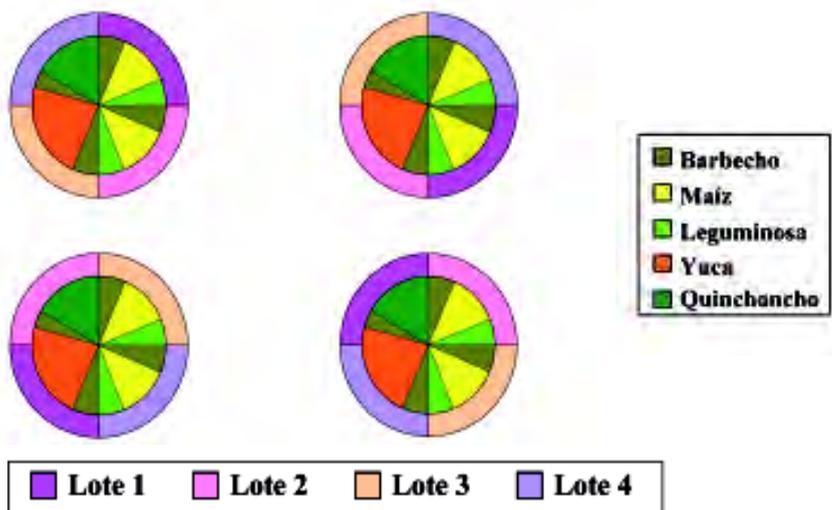


Figura V.23. Rotación fraccionada para una rotación de cuatro años de duración y cuya composición incluye los cultivos de maíz, yuca, quinchoncho, una leguminosa usada como cultivo de cobertura y abono verde y períodos de barbecho con vegetación espontánea.

V.3.5 SISTEMAS AGROFORESTALES Y AGROSILVOPASTORILES

Estos sistemas consisten en un aprovechamiento diversificado de la tierra que combinan la agricultura, la ganadería o ambos con la silvicultura. La agroforestería es el nombre colectivo que se le asigna a sistemas de uso de la tierra en los que plantas leñosas perennes (árboles, arbustos) crecen en asociación con plantas herbáceas (cultivos, pastos) y el ganado, en un arreglo espacial, una rotación, o ambos, y en los cuales hay interacciones biológicas y económicas entre los componentes arbóreos y no arbóreos del sistema (Young, 1989). Una práctica agroforestal se corresponde con un arreglo característico de los componentes en el espacio y en el tiempo. Entre éstas podemos distinguir las siguientes categorías generales:

–Principalmente agrosilvicultural (árboles y cultivos)

- Rotacional (agricultura migratoria, barbechos mejorados, Taungya)
- Arreglo espacial
 - Distribuido (árboles y cultivos)
 - Zonificado (barreras, cercas vivas, cortinas rompeviento)

–Principalmente o parcialmente silvopastoril

- Arreglo espacial
 - Distribuido (árboles y cultivos de plantación con pastos)
 - Zonificado (cercas vivas, bancos de proteínas y forraje)

–Principalmente árboles

- Lotes boscosos multipropósito
- Manejo forestal y de restauración orientado a uso múltiple

–Otros componentes presentes

- Entomoforestería (árboles e insectos)
- Acuaforestería (árboles y peces)

Los sistemas agroforestales tienen un alto potencial en Venezuela debido a la vocación forestal y pastoril de amplios territorios en el país. Entre sus ventajas se mencionan:

- Promueven el ciclaje de nutrientes, fijando nitrógeno en algunas especies y retornando minerales de los horizontes B y C explorados por las raíces profundas, así como la incorporación de materia orgánica y retención de nutrientes en horizontes superficiales O y A.
- Se intensifica la actividad biológica en los suelos y se mejoran sus condiciones físicas y químicas.
- Control de erosión y regulación del régimen hídrico en función de la cubierta protectora y efecto de las raíces, o formando barreras que obstruyen el paso de la escorrentía a lo largo de una pendiente. Estas barreras, a su vez, promueven la formación de terrazas naturales.
- Promueve la biodiversidad y la producción de múltiples bienes y servicios.
- Hacer productivas zonas ocupadas por estructuras de conservación.

Los sistemas agroforestales más extendidos son los de café y cacao a la sombra, conocidos como plantaciones conservacionistas *per se* y los conucos, en cuyo período de descanso se incluye la vegetación arbórea. Las prácticas agroforestales pueden contribuir en reducir los períodos de descanso de la tierra y hacer que ésta sea productiva durante esas etapas, reduciendo así la necesidad de expandir la frontera agrícola en zonas densamente pobladas. También, existen fincas ganaderas donde se promueve un cierto grado de sombra de árboles en los potreros y en forma de cercas vivas. El ganado se beneficia de la sombra, los frutos y el follaje de los árboles y arbustos que conforman el sistema.

V.3.6 LAS BARRERAS MUERTAS

Los rollos de vegetación o barreras muertas son estructuras de carácter temporal, de dimensiones y espaciamiento variables, y que son útiles mientras se instalan estructuras permanentes o se desarrolla la vegetación protectora. Los criterios de espaciamiento son similares a los de otras estructuras de conservación. Puede aprovecharse la vegetación removida durante el proceso de preparación de tierras y acordonarse en hileras en sentido perpendicular a la pendiente o en contorno. Éstas pueden reforzarse mediante estacas, cuerdas y ramas que estabilicen y apuntalen temporalmente la estructura. En la figura V.24 se observa un ejemplo de esta sencilla práctica.

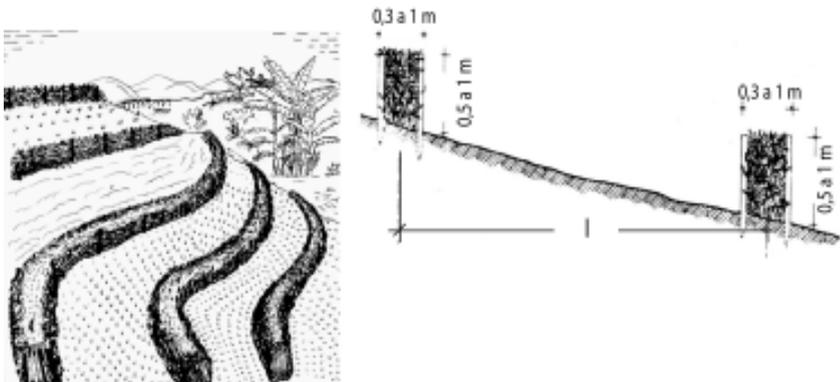


Figura V.24. Conformación de barreras muertas en curvas de nivel (izquierda) y detalle de su elaboración (derecha).

V.3.7. LAS ZONAS AMORTIGUADORAS

Las zonas amortiguadoras o *buffers* incluyen todas aquellas prácticas o usos de la tierra conformados por vegetación permanente, distribuidas intermitentemente en el terreno, generalmente en forma de franjas relativamente angosta o en parches. Tienen como función principal controlar la erosión y polución difusa, ayudando a proteger el suelo y mejorar la calidad de las aguas y del aire, promoviendo también la conservación de la biodiversidad como hábitat o sirviendo de corredor biológico (swcs, 2001).

Entre las más reconocidas se encuentran las franjas amortiguadoras, las barreras vivas, los drenajes protegidos, los bordes de parcelas, las cercas vivas, los bosques de galería y los lotes boscosos, las zonas protectoras de pozos, las barreras rompevientos, los cultivos en pasillo o de galerías, la vegetación protectora de taludes en terrazas y de lagunas y humedales. Las áreas amortiguadoras reducen el volumen de la escorrentía, atrapan sedimentos y promueven la infiltración de las aguas en el área que ocupan. También, atrapan los fertilizantes, plaguicidas, bacterias, patógenos y metales pesados, disminuyendo la posibilidad de que estos contaminantes alcancen fuentes de agua superficiales o subterráneas. Igualmente, atrapan los sedimentos cargados por los vientos. Además, proveen de protección de factores climáticos extremos al ganado, protegen el hábitat de los peces y la integridad biológica de los ecosistemas acuáticos en general y ofrecen un hábitat para la fauna silvestre, además de funcionar, en algunos casos, como corredores biológicos, aumentando la conectividad entre paisajes ecológicos. Otras aplicaciones son la demarcación de parcelas y lotes, que sirven de guía y seguridad para algunas operaciones de campo y pueden ser una fuente de productos no convencionales en la unidad de producción como madera, miel, leña, oportunidades recreacionales para el agroturismo y belleza escénica, entre otras, generando ingresos extra dentro y fuera de la unidad de producción.

La ventaja de las zonas amortiguadoras es que éstas pueden revertir y prevenir la degradación de hábitats y la calidad del ambiente y evitan el uso de tratamientos más costosos; éstas son relativamente simples de entender y de mantener, lo que la hace populares entre agricultores y otros usuarios de la tierra debido a sus múltiples beneficios.

Las barreras vivas

Las barreras vivas podrían considerarse como una de las prácticas más populares, eficientes y sencillas para su aplicación en conservación de suelos y agua. Éstas consisten en hileras estrechas de

plantas de vida larga y crecimiento denso, sembradas en sentido contrario a la dirección de los vientos (b. rompevientos) si se desea reducir su velocidad, o en contorno, en tierras con pendiente para controlar la erosión (b. antierosivas). Se consideran zonas amortiguadoras, ya que están conformadas por vegetación que ocupa el terreno en forma permanente.

Barreras vivas para el control de la erosión hídrica

Tienen como objetivo proteger lotes de terreno de la acción de flujos de escorrentía, regulando su volumen y velocidad al detener el agua que se empoza temporalmente aguas arriba de las barreras, lo que promueve la infiltración y la sedimentación. Con el tiempo se desarrolla una terraza al acumularse una cantidad considerable de sedimentos (ver figura V.25). Por ser colocadas en hileras en contorno, las labores agrícolas son orientadas también en sentido perpendicular a la pendiente, lo que promueve un mejor aprovechamiento de las aguas de lluvia y control de la erosión (ver figura V.26). En climas muy húmedos puede darse una ligera pendiente menor al 1% a la hilera para facilitar el drenaje lateral de los excesos de escorrentía. Cuando su ancho sobrepasa 1 m suelen llamarse bandas.

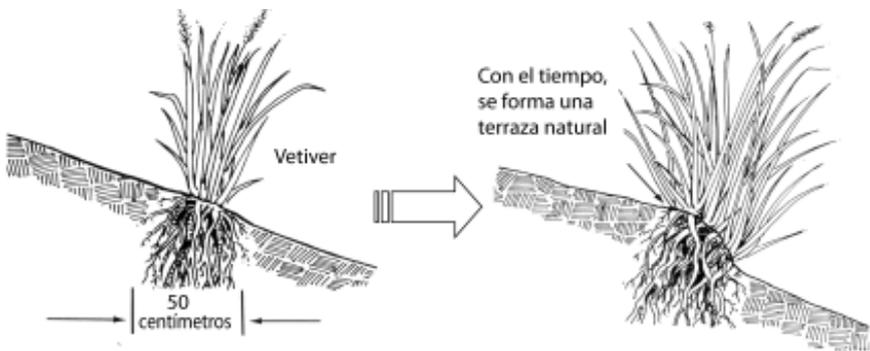


Figura V.25. Formación de terraza natural por efecto de una barrera viva para el control de la erosión hídrica (BM, 1995).

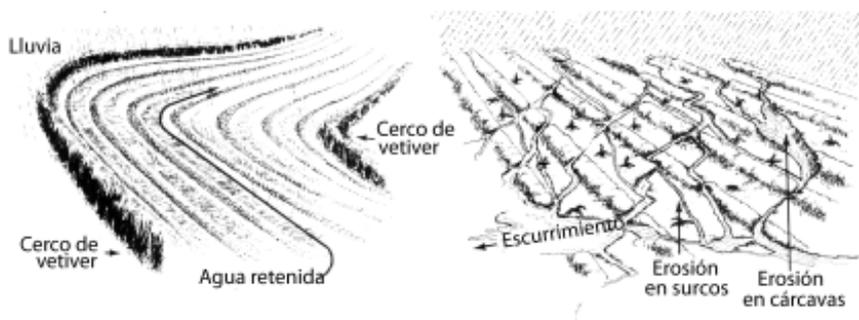


Figura V.26. Diferencia entre un terreno protegido por barreras vivas de vetiver y trabajado en contorno (izquierda), en comparación con un terreno desprotegido y trabajado en sentido de la pendiente (derecha) (BM, 1995).

Entre las características que debe cumplir una planta para ser usada como barrera antierosiva, de acuerdo con Greenfield (2002), podemos señalar:

1. No propagarse por semillas, ni producir estolones o rizomas, que puedan llegar a constituir una planta invasora (o sea, en una mala hierba).
2. Debe tener una corona del tallo que permanezca debajo de la superficie del suelo, de tal manera que sea resistente al fuego, el sobrepastoreo y el pisoteo del ganado.
3. Debe ser una planta perenne y permanente, con capacidad para sobrevivir como una barrera que crece sólo en donde se ha plantado.
4. Debe formar una macolla densa que permita pasar el agua de la escorrentía, no así las partículas de suelo, es decir, debe actuar como un filtro.
5. Debe contar con tallos erguidos, fuertes, que puedan soportar un flujo de agua de al menos 0,3 metros cúbicos por segundo.

6. Debe tener, a la vez, características de planta xerofítica e hidrofítica para sobrevivir a condiciones ambientales extremas.

7. Debe tener un sistema radicular muy profundo y penetrar verticalmente en el suelo y el subsuelo, al cual deben poder minar y resquebrajar.

8. Debe ser capaz de crecer en la mayor cantidad de tipos de suelos, aun aquellos pobres en nutrientes, con pH extremos, salinos o con minerales tóxicos.

9. Debe ser capaz de desarrollar nuevas raíces de los nudos, cuando es enterrado, por los sedimentos que atrapa y continuar creciendo con un nuevo nivel del suelo y así formar terrazas naturales.

10. No debe competir con plantas cultivadas cerca de las cuales se siembra para protegerlas de la erosión.

11. Debe ser poco atacada por plagas y enfermedades y no ser hospedera de plagas y enfermedades de otras plantas. Además, no debe ser un hábitat propicio para roedores y serpientes.

12. Debe poder sobrevivir en climas diversos.

13. Debe ser capaz de soportar largas y repetidas sequías (más de 6 meses) e inundaciones, hasta por tres meses.

14. Debe ser una planta barata, de fácil reproducción y mantenimiento.

15. Debe poder ser removida con facilidad cuando ya no se la requiera.

Entre las plantas a ser usadas como barreras vivas, una de las pocas, si no la única, que cumple con los requisitos mencionados es el *vetiver*. Otro requisito complementario es que tenga otros usos, de manera que sea atractiva a los ojos de los usuarios de la tierra, cuyo objetivo principal es obtener beneficios económicos de su terreno o parcela. Dadas las características excepcionales de la planta de vetiver,

podemos tomarla como modelo de barrera viva sin menoscabar la utilidad de otras especies en condiciones locales específicas.

El vetiver (*Vetiveria zizanioides*) es una gramínea (Poaceae) de origen asiático que presenta como características botánicas un hábito de crecimiento en macollas de tallos y hojas erguidas, del tipo C4 y, por tanto, se desarrolla mejor a plena exposición solar, alcanza una altura entre 1,50 y 2 m, con hojas de cerca de 2 cm de ancho en la base, que termina en una punta aguda. Mediante pruebas de ADN se ha comprobado que la mayoría de los cultivos de *V. zizanioides*, distribuidos en más de 120 países tropicales y subtropicales, son estériles, pese a que presentan una espiga o inflorescencia de un atractivo color rojizo. Esta esterilidad y el hecho de no producir ni rizomas funcionales ni estolones, características que pudieran parecer una desventaja, favorece su uso como barrera viva no invasora, ya que se reproduce por hijos que van engrosando la planta, formándose una fuerte macolla que puede sobrepasar los 100 hijos al cabo de un año, partiendo de uno o más hijos sembrados por el hombre, del cual depende esta planta para perpetuarse (Rodríguez y Yépez, 2006).

Muchos estudios demuestran muy convincentemente que el vetiver es una planta con un amplio rango de adaptación a las más diversas condiciones ambientales (Truong, 1996; Truong y Baker, 1998). Lo cierto es que puede sobrevivir en suelos muy áridos o en cambio de alta humedad, de allí que se la considere una planta xerofítica e hidrofítica, lo cual parece una paradoja, pero es una realidad ampliamente comprobada. El vetiver puede vivir en suelos sumamente ácidos con pH hasta 3,5 y altos niveles de saturación de aluminio hasta 68%, siempre que se le supla de niveles adecuados de nitrógeno y fósforo o alcalinos con pH hasta 9,6. Puede vivir en suelos livianos, arenosos como en bancos de río, hasta bastante pesados, es decir, muy arcillosos, como los vertisoles, que son frecuentes en las sabanas inundables de Venezuela.

El vetiver puede sobrevivir en suelos desde moderadamente salinos a muy salinos (4-8 a 8-16 de $mScm^{-1}$). También, es tolerante a niveles altos de metales pesados como cadmio, mercurio, níquel, cobre, cinc, arsénico, plomo y selenio.

Las raíces del vetiver forman una densa red, que normalmente alcanzan hasta los tres metros de profundidad, y en algunos casos se han conseguido raíces hasta de cinco metros de longitud.

La alta eficiencia de las barreras de vetiver ha sido estudiada por Rodríguez (1999a), bajo condiciones de lluvia natural y simulada, encontrándose una alta eficiencia para las barreras de vetiver solas o en combinación con residuos en superficie al disminuir las pérdidas de suelo por erosión, lo que podemos apreciar en la figura V.27 en ensayos bajo condiciones de lluvia simulada. En ensayos similares que simulan también la escorrentía equivalente para establecer el efecto de la longitud de la pendiente en la efectividad de la barrera de vetiver, se pudo verificar que el grado de protección de la

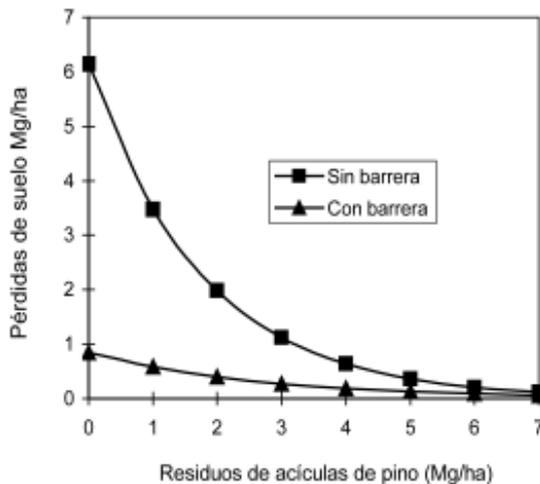


Figura V.27. Pérdidas de suelo en función del nivel de cobertura de acículas de pino, con barrera de vetiver y sin barrera (15% de pendiente-lluvia simulada) (Rodríguez, 1999a).

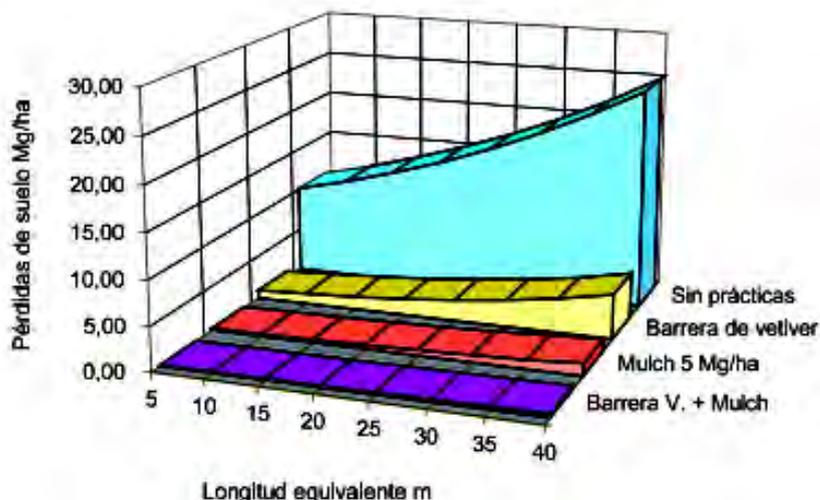


Figura V.28. Efecto combinado de la longitud equivalente, residuos (5 Mg/ha) y barreras de vetiver en las pérdidas de suelo. Condición de humedad del suelo saturado (15% de pendiente-lluvia y escorrentía simulada) (Rodríguez, 1999a).

barrera se reduce a medida que aumenta la longitud de la pendiente, aspecto que se ilustra en la figura V.28.

La protección que ejercen las barreras vivas contra la erosión depende de los factores físicos que afectan el proceso de la erosión (lluvia, suelo y topografía), el tiempo de establecimiento de las mismas, de su espaciamento, del uso y manejo en el terreno protegido por las barreras y de la especie vegetal usada como barrera. La figura V.29 resume los rangos de eficiencia de barreras vivas en distintas condiciones. Mayores detalles pueden encontrarse en el cuadro IV.6, en el cual aparecen valores CP para vetiver y otras barreras vivas en asociación con diferentes sistemas de cultivo.

La barrera viva sola, es decir, con suelo en barbecho sin cobertura en el espacio entre barreras, se corresponde con barreras de cadillo bobo (*Cenchrus ciliaris*), establecidas en un mollisol del piedemonte de la depresión del lago de Valencia con 15% de

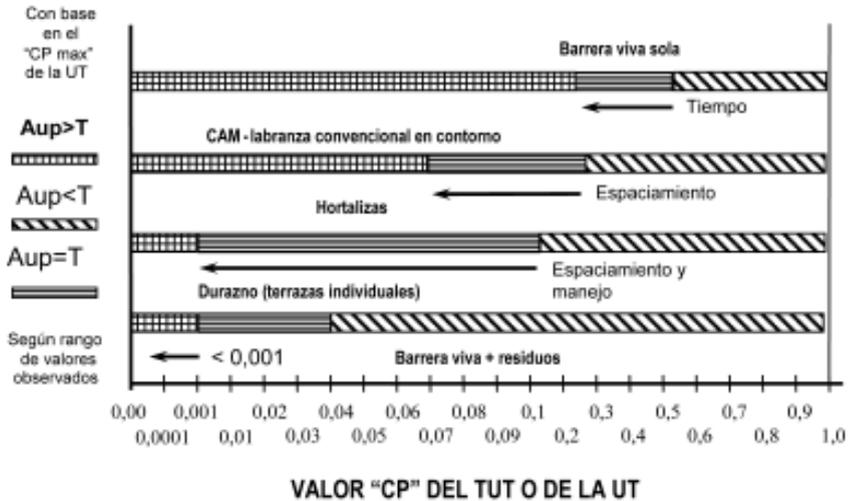


Figura V.29. Factor «CP» de barreras vivas asociadas con diferentes coberturas (CAM, cultivos anuales mecanizados, hortalizas, durazno y residuos en superficie al 100% de cobertura) y en diferentes localidades (Rodríguez, 1999b).

pendiente. La barrera con cultivos anuales mecanizados (CAM) se estableció con pasto sabanero (*Andropogon gayanus*) en alfisoles de terrenos ondulados en Yaritagua, estado Yaracuy y Chaguaramas, estado Guárico, y las barreras con hortalizas, durazno y residuos se establecieron en parcelas de pendiente variable entre 15 y 70% en ultisoles de laderas de montaña en el estado Vargas. En la medida en que la cobertura entre las barreras es mayor, el factor «CP», que refleja el efecto protector conjunto del uso de la tierra y de la práctica de conservación, en este caso la barrera viva, presenta un valor más bajo y, por lo tanto, el control de la erosión es mayor.

Algunas características de la planta de vetiver y otras plantas con potencial para ser usadas como barreras vivas se presentan en el cuadro V.15.

Cuadro V.15. Plantas con potencial para ser usadas como barreras vivas y sus atributos

| Planta con potencial para ser usada como barrera viva | | Atributos a considerar en la selección de plantas a ser usadas como barrera viva | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------------------|--|----------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------|---------------------|---|------------------------------------|-----------------------|------------|--------------------|-------------------------------|---------------|-----------------------------|-------------------------|
| Nombre vulgar | Nombre científico | Crecimiento denso y erguido | Formación de macolla | Raíces profundas y verticales | Amplia adaptabilidad climática | Amplia adaptabilidad edáfica | No invasora | Resistente al fuego | No ser hospedera de plagas y enfermedades | Resistente a plagas y enfermedades | Tolerante a la sombra | Permanente | Fácil de erradicar | Bajo costo de establecimiento | Uso forrajero | Aprovechamiento de la fibra | Otros usos alternativos |
| Vetiver | <i>Vetiveria zizanioides</i> | + | + | + | + | + | + | + | + | + | ' | + | + | + | -/+ | + | + |
| Pasto sabanero | <i>Andropogon gayanus</i> | + | + | + | -/+ | -/+ | ' | + | + | + | ' | + | -/+ | + | + | ' | ' |
| Cadillo bobo | <i>Cenchrus ciliaris</i> | +/ | + | - | + | + | -/+ | + | + | + | ' | + | -/+ | + | + | ' | ' |
| Elefante | <i>Pennisetum purpureum</i> | + | + | ' | + | + | ' | + | + | + | ' | + | ' | + | + | ' | ' |
| Malojillo/ limoncillo | <i>Cymbopogon citratus</i> | + | + | - | +/ | + | ' | ' | ' | ' | + | + | + | ' | ' | + | ' |

| Planta con potencial para ser usada como barrera viva | Atributos a considerar en la selección de plantas a ser usadas como barrera viva | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----------------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------|---------------------|--|------------------------------------|-----------------------|------------|--------------------|-------------------------------|---------------|-----------------------------|-------------------------|
| Nombre vulgar | Nombre científico | Crecimiento denso y erguido | Formación de macolla | Raíces profundas y verticales | Amplia adaptabilidad climática | Amplia adaptabilidad edáfica | No invasora | Resistente al fuego | No ser hospedera de plagas y enfermedades. | Resistente a plagas y enfermedades | Tolerante a la sombra | Permanente | Fácil de erradicar | Bajo costo de establecimiento | Uso forrajero | Aprovechamiento de la fibra | Otros usos alternativos |
| Cítronela | <i>Cymbopogon nardus</i> | + | + | - | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Pasto Guatemala | <i>Tripsacum laxum</i> | + | + | - | - | - | -/+ | + | + | + | + | + | -/+ | + | + | + | + |
| Pasto imperial | <i>Axonopus scoparius</i> | + | + | - | - | - | -/+ | + | + | -/+ | + | + | + | + | + | - | - |
| Leucaena | <i>Leucaena leucocephala</i> | - | - | - | - | - | + | -/+ | - | - | - | - | - | + | - | - | - |
| Matarratón | <i>Gliricidia sepium</i> | - | - | - | - | - | -/+ | -/+ | - | - | - | - | + | + | + | + | + |
| Morera | <i>Morus alba</i> | - | - | - | - | - | -/+ | - | - | - | - | - | - | - | + | + | + |
| Piña | <i>Ananas comosus</i> | + | + | - | -/+ | + | -/+ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | + |
| Lirio africano | <i>Agapanthus africanus</i> | + | + | - | - | - | -/+ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | + |

Debido a que la mayoría de las especies usadas como barreras vivas se propagan asexualmente, debe preverse la consecución de semilla vegetativa con antelación al establecimiento de las barreras. Tal es el caso del vetiver, la citronela, el malojillo y el pasto Guatemala, entre otros. Si es necesario debe desarrollarse un vivero para tal fin donde deben suministrarse todos los cuidados propios de un plantel de propagación (iluminación adecuada, riego, fertilización, control de malas hierbas y poda). Las aplicaciones no agrícolas de esta práctica justifican la propagación de las plantas en contenedores, ya que al llevarlas al sitio definitivo se acelera el tiempo de establecimiento y el cierre de la barrera, haciéndola funcional en el corto plazo debido a que las plantas vienen ya enraizadas. Esto también puede lograrse separando segmentos de macolla suficientemente grandes (10-20 cm de diámetro) y colocándolos juntos a lo largo de la hilera. Esto hace que funcione como una barrera muerta o fajina mientras se enraiza y desarrolla la barrera viva propiamente dicha. Si la demanda de semilla es muy grande, se puede recurrir a técnicas especializadas como el cultivo de tejidos, cámaras de propagación y acodos, entre otras. Para el establecimiento en campos agrícolas, el método más común es el de sembrar pequeños segmentos de macolla o esquejes a raíz desnuda, abriendo una pequeña zanja en el hilo de siembra donde puede colocarse algún fertilizante o enmienda en el fondo de la zanja.

Para la siembra en el terreno o en viveros a campo abierto deben tenerse algunas precauciones que aseguren el mayor porcentaje de sobrevivencia y posterior desarrollo de las plantas que conformarán las plantas madre o la barrera viva. Cabe mencionar:

- Mantener los hijos separados a la sombra y húmedos
- Minimizar el tiempo entre el arranque y la siembra
- La sumersión previa en agua ha dado buenos resultados aunque en siembras grandes puede resultar impráctica
- Asegurarse que, al sembrar, la corona quede bajo tierra y bien compactada para que haga buen contacto con el suelo

- El terreno debe estar húmedo las primeras 3-5 semanas, de lo contrario deberán aplicarse riegos oportunos
- En condiciones extremas deben sembrarse plantas debidamente desarrolladas en contenedores y que justifiquen económicamente la inversión. En zonas áridas debe sembrarse en la parte baja de los surcos o canales de absorción

Noya (2002) investigó el efecto del tipo de semilla y de la distancia de siembra en el establecimiento de barreras vivas de vetiver, encontrando que al usar plantas previamente enraizadas en bolsas de polietileno podía acelerarse el cierre de la barrera, lo cual se alcanzó a los tres meses en comparación con el uso de semilla vegetativa directamente en el terreno, la que tardó cerca de seis meses para lograr el cierre total de la barrera. En esta última el porcentaje de sobrevivencia fue ligeramente menor, por lo que hubo que reponer plantas en los espacios que quedaron vacíos. Aun cuando este sistema es más lento, es apropiado para predios agrícolas por su menor costo, alcanzando resultados satisfactorios en el tiempo.

Para el establecimiento de las barreras vivas con fines de proteger un lote de terreno deberán tenerse en consideración los siguientes aspectos:

- Número de plantas por punto de siembra
- Tipo de semilla o material vegetativo
- Distanciamiento entre puntos de siembra
- Distanciamiento entre hileras o barreras vivas
- Resiembra o reposición
- Mantenimiento

Todos estos asuntos van a depender de diversos factores, particularmente de la especie vegetal a ser usada. Ello asegurará la calidad y funcionalidad de la barrera que se desea establecer. Para que la práctica tenga éxito es muy importante el distanciamiento entre las barreras. Los criterios para establecer la distancia entre barreras vivas, que también son válidos para otras estructuras conservacionistas, son los siguientes:

- Preferencias del agricultor
- El intervalo vertical (IV)
- La ecuación universal de pérdidas de suelo (EUPS o USLE)
- Otros modelos y recomendaciones encontrados en la literatura

La opinión del agricultor debe ser respetada totalmente, dado que es él quien toma las decisiones sobre el uso de la tierra. Se puede llegar a un acuerdo con el agricultor de sembrar las barreras en los linderos y bordes de los predios y lotes internos para que se familiarice con el manejo de la barrera y se comprueben localmente sus bondades. Luego, se puede ampliar el uso de las barreras protegiendo segmentos de las laderas o pendientes cultivadas.

Una de los criterios utilizados en conservación de suelos y aguas más conocido es el del intervalo vertical. El IV (ver figura V.30) representa la distancia vertical entre dos estructuras de conservación, las cuales deben colocarse a una distancia crítica a lo largo de la pendiente en que la escorrentía empieza a ser erosiva. Existen diversas formulaciones y métodos para establecer el valor del IV, fundamentalmente basadas en la pendiente y en otros atributos locales en una unidad de tierra como el clima, el suelo y el uso de la tierra.

Para representar en un plano cartográfico la distancia entre estructuras se deriva la distancia horizontal DH correspondiente al IV establecido. La distancia inclinada DI sirve para representar en un perfil de la pendiente la ubicación de las estructuras conservacionistas, así como para ubicar dichas estructuras en el terreno, que es la información requerida para el replanteo y ejecución de la práctica. En la figura V.30 se ilustra el concepto de IV y de la DI correspondiente. Para un $IV = 1$ m se corresponde una distancia sobre el terreno de 4 m en una pendiente de 57%.

La fórmula clásica del IV se calcula según la pendiente del terreno y la precipitación anual de la localidad (CPGCH, 1991). Su expresión algebraica es:

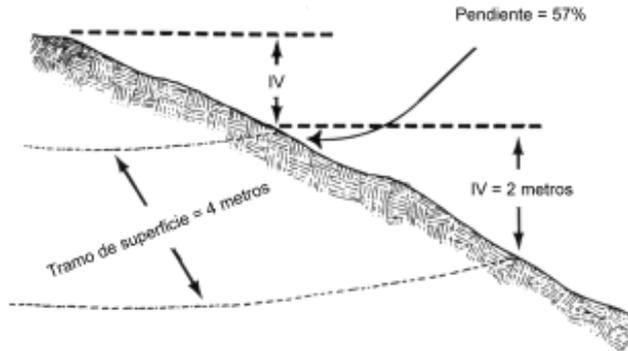


Figura V.30. Ejemplo de representación del IV. El IV representa la distancia vertical que separa dos estructuras de conservación y la DI el tramo sobre la superficie (BM, 1995).

$$IV = 0,305 \left(2 + \frac{P\%}{x} \right)$$

$$DH = \frac{IV}{P\%} 100$$

$$DI = \sqrt{IV^2 + IH^2}$$

IV: intervalo vertical (m)
 DH: distancia horizontal (m)
 DI: distancia inclinada (m)
 P%: pendiente (‰)
 x: si la precipitación anual es:
 menos de 1.200 mm = 3;
 más de 1.200 mm = 4

El Servicio de Conservación de Suelos (USDA-SCS) de Estados Unidos ha reformulado la expresión anterior, determinando una nueva ecuación que toma en cuenta la pluviosidad de la zona, la permeabilidad del suelo y la cobertura, la cual ha sido adaptada por Delgado (1987) para Venezuela y se presenta a continuación:

$$IV = aP + b$$

IV: intervalo vertical en m

P: pendiente del terreno en %

a: coeficiente relacionado con la pluviosidad de la zona

b: coeficiente relacionado con la permeabilidad del suelo y la cobertura

Delgado (1987) propone valores ajustados a las condiciones de Venezuela para los coeficientes a y b, que se presentan en el cuadro V.16.

Cuadro V.16. Valores de los coeficientes a y b para la ecuación de intervalo vertical IV ajustados para condiciones de Venezuela (Delgado, 1987)

| Coeficiente a | | Coeficiente b | | |
|----------------------|------------------------|---------------------------------------|-------------|------------------------|
| Precipitación m m | Valor del parámetro | Tipo hidrológico de suelo | Textura | Valor del parámetro |
| < 800 | 0,24 | Bien a excesivamente drenados (A) | a,aF | 1,20 |
| 800-1.200 | 0,20 | Bien drenados (B) | Fa,F | 0,90 |
| 1.200-1.600 | 0,16 | Imperfectamente drenados (C) | FL,FA,FAL,L | 0,60 |
| 1.600-2.000 | 0,12 | Pobre a muy pobremente drenado (D) | AL,Aa,A | 0,30 |
| 2.000-2.400 | 0,08 | | | |
| > 2.400 | 0,04 | | | |

La EUPS (USLE), para establecer el espaciamiento entre barreras, puede aplicarse partiendo de un valor “Pbv” conocido (con las especificaciones de espaciamiento en campo en que fue obtenido dicho valor) y que multiplicado por las pérdidas de un uso propuesto se comparan con los de las pérdidas toleradas para determinar la validez de la práctica en controlar la erosión. También, puede optarse por despejar la longitud a la que debe interrumpirse la continuidad de la pendiente, asumiendo que la barrera viva es altamente efectiva en reducir la escorrentía (Páez, 1989).

Puede también optarse por el uso de valores de espaciamiento recomendado por algún autor en la literatura. Tal es el caso de los propuestos por Hurni (1995) para las altiplanicies de Etiopía (cuadro V.17). Esta recomendación se basa en un IV fijo de 1 m y se orienta a situaciones extremas de poca cobertura y labranza convencional. Si las distancias se hacen muy cortas, esto puede afectar el uso de equipos de laboreo e incrementar los costos de establecimiento y mantenimiento de la práctica.

Cuadro V.17. Espaciamiento entre barreras vegetativas con intervalo vertical IV = 1m (Hurni, 1995)

| Gradiente % | Espaciamiento (m) |
|-------------|-------------------|
| < 3 | > 30 |
| 3-6 | 30-24 |
| 6-9 | 24-18 |
| 9-12 | 18-12 |
| 12-15 | 12-6 |
| >15 | ≤ 6 |

Rodríguez (1999a; b) y Rodríguez y Andrade (2001) plantean el establecimiento del intervalo vertical IV, basado en el cuadro V.18 elaborado, apoyándose en los resultados experimentales obtenidos en parcelas de erosión bajo condiciones de lluvia natural y simulada y los factores que afectan el proceso de erosión hídrica (erosividad de la lluvia, erosionabilidad del suelo e intensidad del uso de la tierra, entendiendo que a mayor intensidad de uso menor grado de cobertura y protección de la superficie del suelo por parte de la vegetación). Las fórmulas que aparecen en la literatura para el cálculo del IV se orientan principalmente a situaciones en que el uso de la tierra es el más intensivo con sistemas de labranza convencional y cultivos anuales, por ello tienden a ser más exigentes y determinan espaciamientos entre estructuras relativamente cortos. Con el uso de cultivos permanentes, de cultivos de cobertura y de sistemas de labranza conservacionistas, los requerimientos de estructuras se reducen y se pueden ampliar las distancias que las separan, reduciendo costos y aumentando el espacio disponible para los cultivos.

Las barreras antierosivas constituyen una de las prácticas más populares y de mayor transferibilidad entre agricultores y usuarios de la tierra. Su adaptabilidad a diferentes condiciones de terreno, sistemas de producción, relativo bajo costo, usos complementarios y, a su vez, la alta eficiencia en controlar procesos de erosión, la

Cuadro V.18. Valores indicativos del intervalo vertical a ser utilizados para el espaciamiento de barreras vivas en función de la erosividad, erosionabilidad e intensidad de cultivo. 1/
Rodríguez (1997; 1999a)

| Rango de erosividad de la lluvia MJ*mm/ ha*h | Rango de erosionabilidad del suelo (Mg/ha)/MJ*mm/ha | | Alta intensidad de cultivo 2/ Intervalo vertical | | Moderada intensidad de cultivo 3/ Intervalo vertical | | Baja intensidad de cultivo 4/ Intervalo vertical | |
|---|--|------------------|---|------------------------|---|------------------------|---|------------------------|
| | Baja < 0,2 Media 0,02-0,05 Alta > 0,05 | (Mg/ha)/MJ*mm/ha | Intervalo vertical | Máxima* pendiente en % | Intervalo vertical | Máxima* pendiente en % | Intervalo vertical | Máxima* pendiente en % |
| Baja < 3.000 | | | 4 3 2 | 44 31 20 | 5 4 3 | 58 44 31 | 6 5 4 | 75 58 44 |
| Media 3.000-7.000 | | | 3 2 1 | 31 20 10 | 4 3 2 | 44 31 20 | 5 4 3 | 58 44 31 |
| Alta 7.000 | | | 2 1 0,5 | 20 10 5 | 3 2 1 | 31 20 10 | 4 3 2 | 44 31 20 |

1/ Si T > 12 Mg/ha se debe mover hacia abajo dentro de la columna para hallar el IV que se ajuste debido a mayores restricciones según el nivel de tolerancia asignado.

2/ Alta intensidad de cultivos:

3/ Moderada intensidad de cultivos:

Cultivos anuales con poca o ninguna cobertura de residuos

Cultivos anuales con moderada cobertura de residuos

Cultivos semipermanentes con moderada cobertura de residuos

Cultivos permanentes con moderada cobertura de residuos

Cultivos anuales con muy poca cobertura de residuos

Cultivos semipermanentes con alta cobertura de residuos

Cultivos permanentes con alta cobertura de residuos

4/ Baja intensidad de cultivos

* La máxima pendiente fue calculada con base en un espaciamiento mínimo entre barreras de 10 m.

hacen una opción atractiva y competitiva entre muchas otras, que pueden ocupar una mayor superficie de cultivo, demandar mayores costos de diseño, establecimiento y mantenimiento, como lo son en su mayoría las prácticas mecánicas.

Para que sean más efectivas, las barreras antierosivas deben combinarse con prácticas culturales y agronómicas en el espacio entre las barreras, promoviendo la mayor cantidad de cobertura posible. Las barreras constituyen la columna vertebral de un sistema de conservación de recursos y son de carácter permanente. Algunos sistemas de cultivo, como los de horticultura intensiva en laderas, no pueden evitar que ocurran períodos de riesgo inter cosechas en los cuales la superficie del terreno permanece desprotegida con muy baja cobertura. La existencia de estructuras permanentes amortigua esos riesgos y contribuye a la sostenibilidad de los mismos. El follaje de las barreras puede utilizarse como residuos para ser aplicados en la superficie y actuar como mulch, y eventualmente servir como fuente de materia orgánica para el suelo.

Cultivo en franjas

El campo de cultivo se subdivide en lotes estrechos y alargados que se establecen siguiendo el contorno cuando se quiere disminuir la velocidad y el volumen de las aguas de escorrentía, a partir de pendientes en las cuales la erosión hídrica empieza a ser significativa (alrededor del 3%) o perpendicular a la dirección del viento en zonas amenazadas por la erosión eólica. Las franjas pueden facilitar otros aspectos de manejo del suelo y del cultivo. Entre los sistemas de cultivos en franjas se distinguen las franjas por fracciones, las franjas contraviento, las franjas amortiguadoras, las franjas de borde y las franjas en contorno en rotación (CPGCh, 1991). Se adaptan mejor a terrenos mecanizables de pendientes uniformes.

Las franjas por fracciones

Son de ancho uniforme y su trazado no siempre se ajusta a las curvas de nivel. En este sistema las franjas no son continuas, ya que se adaptan a porciones específicas del terreno.

Las franjas contravientos

Se aplican generalmente en zonas planas donde el principal agente erosivo es el viento. Son de ancho uniforme y configuración rectilínea. Deben ubicarse perpendicular a la dirección principal de los vientos responsables de la erosión eólica y también para disminuir la ETP. Se alternan cultivos de porte alto como el sorgo, el quinchoncho o el mijo, con cultivos de porte bajo como el maní, la soya y algunos cultivos hortícolas.

Las franjas amortiguadoras y las franjas amortiguadoras de borde

Las franjas amortiguadoras son franjas de pasto u otro tipo de vegetación, de al menos 4 a 5 metros de ancho y generalmente más angostas que la franja de cultivo, y son de carácter permanente o semipermanente. Su ancho puede ser variable de acuerdo con las irregularidades del terreno con el fin de mantener la franja de cultivo de ancho uniforme para facilitar labores de mecanización, las cuales se realizan siguiendo las curvas de nivel, como puede apreciarse en la figura V.31. Si se encuentran en el límite de una parcela o separan un área de cultivo del borde de un cuerpo de agua se denominan franjas amortiguadoras de borde. Su objeto principal es reducir la erosión laminar y en surquillos, ya que reduce la velocidad y el volumen de las aguas de escorrentía y sirve de área de sedimentación. Debe reforzarse con otras prácticas como barreras vivas densas de pasto tipo macolla o zanjas de drenaje si ocurren flujos de escorrentía concentrados para los cuales no es suficientemente efectiva.

Los sedimentos, nutrientes, plaguicidas y otros contaminantes son removidos de la escorrentía a su paso por la franja. Aun cuando su función de cortar la longitud del lote de terreno no es absoluta, puede asumirse con fines prácticos que ello ocurre por su alta eficiencia en disminuir las pérdidas de suelo y agua (Páez, 1989a).

Karsiess y Prosser (1999), en Australia, recomiendan incrementar el ancho de la franja en la medida en que la tasa de erosión se incrementa, lo cual ocurre a mayores erosividades de la lluvia,

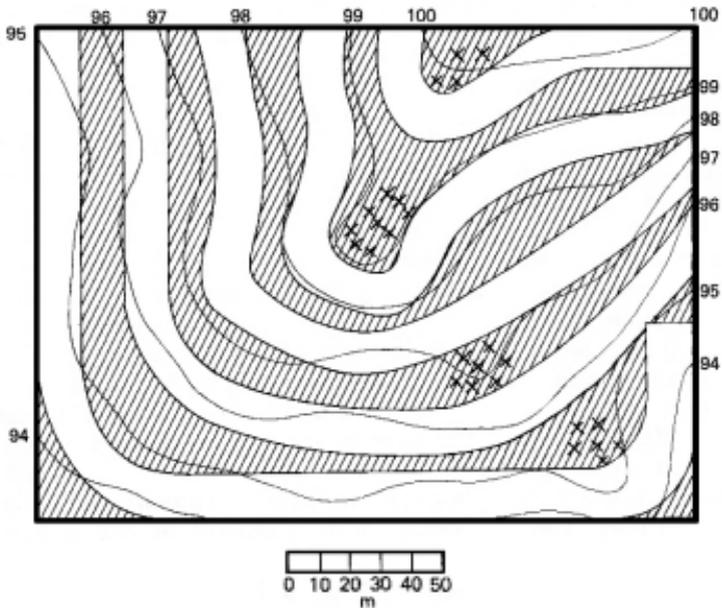


Figura V.31. Diseño de franjas amortiguadoras. Las líneas sólidas son curvas a nivel. Las elevaciones de las cotas se muestran en metros sobre un nivel de base arbitrario. Las x representan áreas rocosas no cultivables (Troeh et al., 1980). Las áreas sombreadas representan las franjas amortiguadoras de ancho irregular y las áreas en blanco al cultivo principal.

erosionabilidad del suelo, tiempo en que el suelo permanece descubierto y en la medida en que se incrementa la pendiente, recomendando valores de ancho de franja entre 2 y 30 m.

Muchos autores han cuantificado la eficiencia de retención de franjas amortiguadoras en campos experimentales. Wilson (1967) destaca que los filtros de pasto son una medida efectiva y económica, representando el primer paso para reducir la carga de sedimentos en aguas de escorrentía. Este investigador encontró que el pasto bermuda fue el más eficiente de siete especies probadas. Dillaha et al. (1989) y Magette et al. (1989) condujeron experimentos de campo para determinar la capacidad de franjas de pasto en retener nitrógeno y fósforo, reportando eficiencias en un rango entre 53-98%. Coyne et al. (1998) estudiaron la capacidad de franjas de pasto de retener bacterias fecales y determinaron que la mayoría de los

sedimentos y las bacterias fueron removidos de la escorrentía, sin embargo, ellos concluyeron que las concentraciones de coliformes fecales excedieron los estándares de calidad de agua, admitiendo que las franjas por sí solas son inadecuadas para alcanzar los niveles mínimos de calidad de agua requeridos.

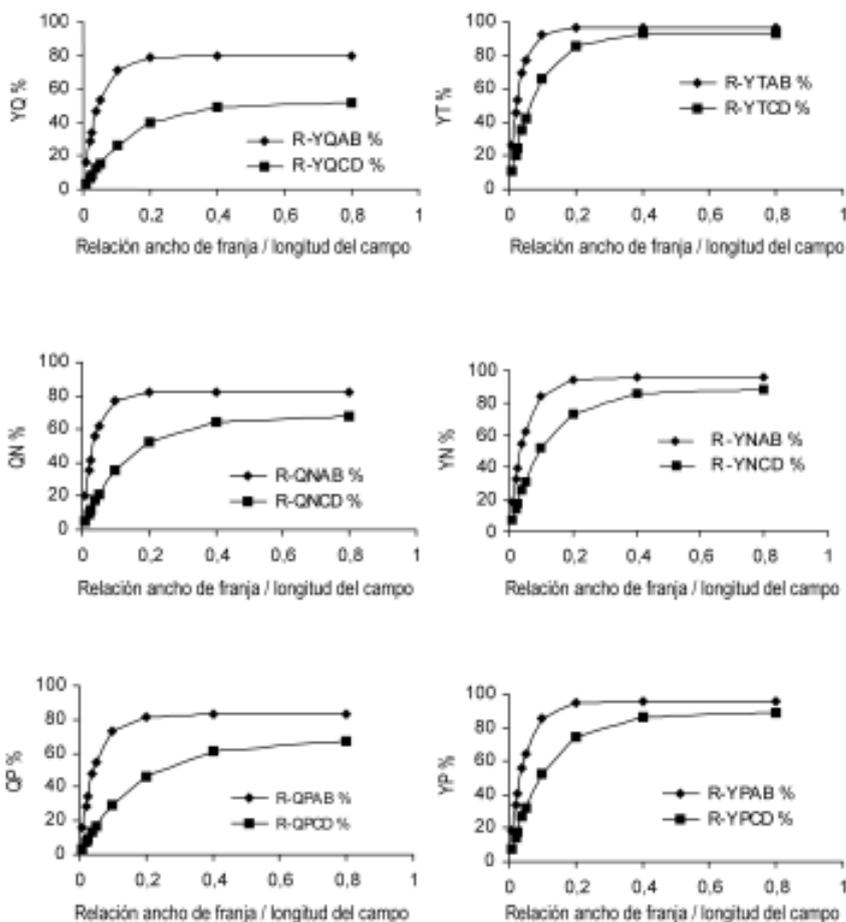


Figura V.32. Curvas de regresión para eficiencia de retención de: a) agua de escorrentía (YQ), b) sedimentos (YT), c) nitrógeno asociado con escorrentía (QN), d) nitrógeno asociado con sedimentos (YN), e) fósforo asociado con escorrentía (QP) y f) fósforo asociado con sedimentos (YP), para suelos de los grupos hidrológicos agrupados AB y CD (Rodríguez et al., 2002).

Rodríguez et al. (2002) elaboran un conjunto de modelos predictivos para estimar la eficiencia de franjas amortiguadoras en función de la relación ancho de franja/ancho de lote de cultivo, mediante el uso del modelo APEX (Williams, 1998), generalizando para diferentes condiciones climáticas y de pendiente (5-20%), que usan como referencia el cultivo de maíz en el lote cultivado y bermuda en la franja amortiguadora. Se presentan los resultados en relación con la eficiencia de la franja de atrapar sedimentos y el nitrógeno y fósforo asociado con éstos, así como la reducción de la escorrentía y del nitrógeno y fósforo asociado con ésta, de manera gráfica en la figura V.32. Los suelos fueron agrupados según el grupo hidrológico (A y B, alta permeabilidad) y (C y D, baja permeabilidad), observándose que la eficiencia de las franjas en los suelos de baja permeabilidad es menor, particularmente en lo referente a la disminución de la escorrentía y nutrientes asociados con ésta. La relación ancho de franja/ancho de lote de cultivo óptima oscila entre 0,05-0,30 de acuerdo con la permeabilidad de los suelos, lo que significa que el ancho de la franja de pasto sería entre 5 y 30 m por cada 100 m de franja de cultivo.

El cálculo del ancho del lote de cultivo o separación entre franjas puede realizarse utilizando la EUPS (USLE) de acuerdo con la fórmula propuesta por Páez (1992). Se asume que el cultivo debe realizarse siguiendo el contorno. Deben conocerse los factores de la erosión, incluyendo la relación de pérdidas de suelo del uso propuesto y la tolerancia de la unidad de tierra considerada.

$$l_{fa} = 22 * \left(\frac{T}{EI * K * S * CP_{up}} \right)^{1/m}$$

El número de estructuras vendrá dado por:

$$n_{fa} = \frac{l_s}{a_{fa} + l_{fa}} - 1$$

- n_{fa} = separación entre franjas amortiguadas
- l_{fa} = número de franjas amortiguadas
- l_s = ancho del lote del terreno
- a_{fa} = ancho de la franja amortiguadora

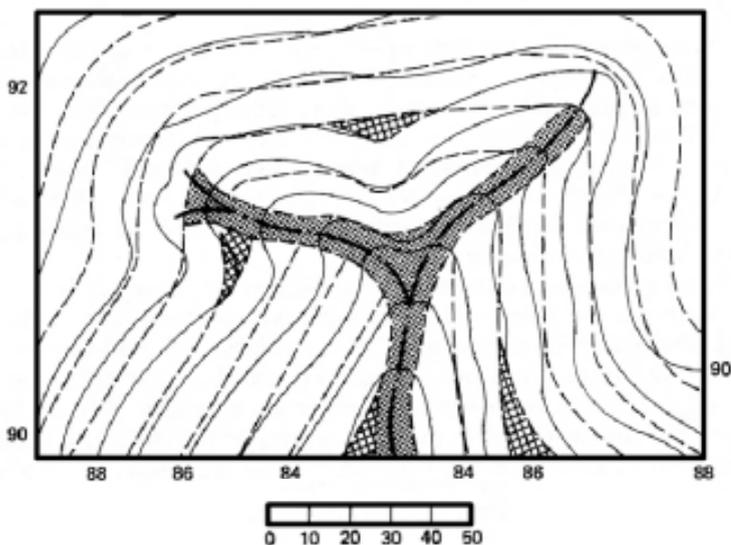


Figura V.33. Diseño de franjas en contorno en rotación sobre un plano con curvas de nivel. Las elevaciones de las cotas se muestran en metros sobre un nivel de base arbitrario. Las áreas punteadas son protecciones de drenaje con pasto y las áreas cuadrículadas son las cuchillas propias del terreno irregular. Las líneas punteadas son límites de franjas (Troeh et al., 1980).

Franjas en contorno en rotación

Son franjas en contorno en las cuales se alternan cultivos limpios y cultivos densos, generalmente pastos, siguiendo las curvas de nivel. El ancho de cada franja es igual y mecanizable. Luego de un determinado tiempo, basado en criterios agronómicos que dependen de los cultivos que integran la rotación, se procede a invertir el espacio que ocupa cada cultivo. Su diseño y disposición puede apreciarse en las figuras V.33 y V.34.

El diseño de las franjas puede realizarse apoyándose en el modelo de la EUPS (USLE). Previamente debe seleccionarse la composición de la rotación, estableciendo las especies que la integren y el tiempo del ciclo.

La relación de pérdida de suelo con las franjas en contorno en rotación se obtiene ponderando los valores del factor CP de los

cultivos de cada franja por el número de años en que éstos permanecen en cada franja, según la fórmula propuesta por Páez (1992). Cuando sólo dos cultivos integran el sistema, la relación se simplifica a una media de las relaciones de pérdida de suelo de ambos cultivos.

$$CP_{fr} = \frac{CP_L * N_L + CP_D * N_D}{N_L + N_D}$$

El ancho de la franja se calcula usando la misma fórmula usada para las franjas amortiguadoras, variando sólo la relación de pérdidas de suelo, que va a ser la obtenida mediante la fórmula anterior (CP_{fr}).

$$l_{fr} = 22 * \left(\frac{T}{EI * K * S * CP_{fr}} \right)^{1/m}$$

El ancho de franja establecido debe considerar el ancho de los implementos agrícolas a ser utilizados y debe ser múltiplo de su anchura, por lo que los valores obtenidos mediante la fórmula deben ser ajustados por el diseñador del sistema, de acuerdo con su experticia y sentido común. Los requerimientos de mecanización y el espacio que ocupa la franja de pasto hacen que esta práctica sea menos popular entre los pequeños agricultores (figura V.34).

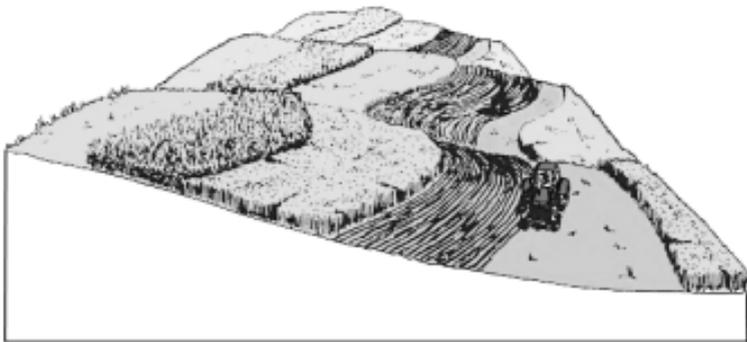


Figura V.34. Cultivo en franjas en contorno (Ilustración de Herweg en Bergsma et al., 1996).

Cultivos en galería o pasillo

En este sistema se intercalan hileras de cultivos comestibles con hileras de árboles o arbustos de crecimiento rápido. Viene a ser una combinación de cultivos en franja y agroforestería. Generalmente, es practicado en áreas planas o de pendiente ligera. Las hileras de cultivo se orientan en dirección este-oeste. Los suelos bajo este sistema son de mediana a baja calidad. El ancho de los pasillos o galerías de hileras de cultivos comestibles es de al menos cinco metros y la distancia entre la hilera de árboles y de los cultivos es de al menos un metro. El primer año se dejan crecer libremente los árboles y arbustos con un mantenimiento de poda a partir del segundo año a una altura de 0,5-1,0 metros, usando el follaje y ramas cortadas como cobertura y abono verde. La frecuencia de poda dependerá de las especies consideradas y los factores ambientales locales, entre 2 y 4 podas anuales (IIRR, 1992). Entre sus beneficios pueden considerarse:

1. Incrementa el nitrógeno del suelo
2. Ayuda en el control de malezas
3. Sirve como barrera rompeviento y controla erosión
4. Provee alimento para el ganado y leña
5. Incrementa la disponibilidad de humedad porque favorece la infiltración y reduce la escorrentía
6. Ayuda a incrementar los rendimientos en comparación con el sistema convencional de cultivo

Entre sus desventajas está la competencia entre los árboles/arbustos y los cultivos comestibles por luz, espacio, agua y nutrimentos. Para reducir la competencia por luz deben orientarse las hileras en la dirección este-oeste para evitar el sombreado, usar especies que toleren podas frecuentes, tengan una copa pequeña, ramificación reducida y follaje poco denso, de naturaleza caducifolia, tolerantes a la sombra en sus primeras etapas de crecimiento y las especies de cultivo comestible no deben ser trepadoras y cubrir al árbol/arbusto en sus primeras etapas de crecimiento. Para reducir la competencia

por espacio, usar especies de árboles/arbustos que sirvan de alimento, forraje o leña, aplicar un espaciamiento apropiado que deje una distancia suficiente para el desarrollo del cultivo, cortar las raíces laterales de los árboles /arbustos que se expanden hacia el área de cultivo con una herramienta de labranza o machete (ver figura V.35); y, finalmente, para reducir la competencia por agua y nutrientes usar especies tanto de árboles/arbustos como de cultivos, cuyo follaje se descomponga fácilmente, que fijen nitrógeno, con diferentes profundidades de enraizamiento, evitar el uso de cultivos que agoten rápidamente las reservas en el suelo y practicar las rotaciones y el uso de coberturas en el área de cultivo (IIRR, 1992).

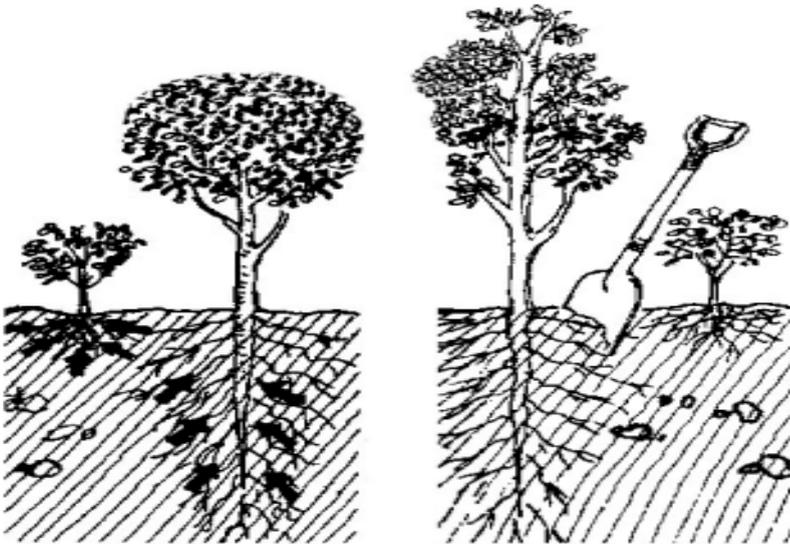


Figura V.35. Estrategias para evitar la competencia entre los árboles/arbustos y el cultivo comestible en un sistema de cultivo en pasillo, están el uso de plantas con distintas profundidades de enraizamiento y la poda de las raíces laterales que se extienden hacia el área de cultivo (IIRR, 1992).

Las barreras rompeviento

Tienen como objetivo disminuir la velocidad del viento para controlar la erosión eólica, conservar la humedad del suelo y evitar el daño físico a los cultivos por acame, pérdidas de flores y frutos y la

fricción mecánica ejercida por las partículas acarreadas por el viento. Adicionalmente, pueden cumplir funciones múltiples como hábitat para la fauna silvestre y fauna auxiliar (depredadores y parásitos), cortina visual y acústica, evitar olores y filtrar contaminantes, delinear propiedades y límites de parcelas, e incrementar el carbono almacenado en la biomasa y el suelo. Consisten en hileras de plantas (árboles en el centro, arbustos y setos en las orillas) simples o múltiples, colocadas perpendicularmente a la dirección del viento (NRCS, 2003).

La máxima altura de diseño debe corresponder con la hilera de la especie de mayor altitud que integre la barrera. Las especies seleccionadas deben adaptarse a las condiciones ambientales del sitio y tener tallos flexibles no quebradizos y raíces pivotantes y profundas que las hagan resistentes a la fuerza ejercida por los vientos. Es importante que la barrera sea permeable (alrededor de 50%) para evitar la turbulencia y los remolinos que pueden causar daños mayores; pero, al mismo tiempo, la barrera debe obstaculizar el viento desde la base por lo que se recomienda el uso de varias especies de diferentes alturas. Las barreras impermeables protegen contra el viento entre 2-4 veces la altura (h) de la barrera, mientras que las permeables pueden proteger hasta 20 veces la altura del seto y reducir la ET entre 25-50%, como se ilustra en la figura V.36 (Domínguez et al., 2002). El espaciamiento entre barreras debe tomar en cuenta la tolerancia de pérdida de suelo y puede apoyarse en

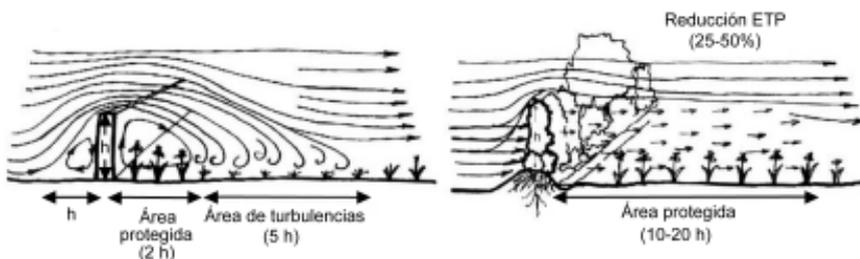


Figura V.36. Barreras rompeviento. Los setos vivos impermeables (izquierda) no son eficientes. Un seto permeable puede crear un área protegida hasta de 20 veces su altura (h). (Soltner, 1985, citado por Domínguez et al., 2002).

el uso de tecnología de predicción de la erosión eólica si ésta es disponible (NRCS, 2003).

V.4 PRÁCTICAS MECÁNICAS O INGENIERILES

Estas prácticas tienen como función recoger y almacenar, distribuir y controlar, y evacuar o disponer de las aguas de escorrentía provenientes de la lluvia, y en algunos casos del riego, de forma segura y eficiente. Para ello es necesario conocer, tanto los volúmenes totales como los caudales, en especial los caudales máximos que pueden esperarse (Hudson, 1982). Esto se logra mediante la alteración de la topografía, disminuyendo la longitud de la pendiente y, en algunos casos, modificando el gradiente de la misma.

Las prácticas mecánicas suponen, en la mayoría de los casos, la excavación y movilización de material del suelo, lo cual implica una inversión alta en comparación con las prácticas culturales y agronómicas y un riesgo de impactos ambientales mayor. Además, exigen un diseño, construcción y mantenimiento que requiere de mayor habilidad técnica y capacidad financiera por parte del usuario. Es por ello que este tipo de prácticas debe aplicarse en aquellos casos que lo justifiquen plenamente, una vez agotadas las opciones de carácter biológico y cultural, que en general consisten de técnicas más sencillas, igual o más eficientes y de menor costo que las prácticas mecánicas. El control de escorrentías excedentarias inevitables bajo una cobertura y uso dado, y de flujos concentrados asociados, plantean la necesidad del uso de estas complejas prácticas. Es deseable y recomendable que las prácticas mecánicas vayan siempre acompañadas de prácticas vegetativas y culturales, lo que permitirá un mejor desempeño de las obras mecánicas, menores requerimientos de mantenimiento y una mayor vida útil a las estructuras.

Un mal diseño, una inapropiada instalación y un mantenimiento insuficiente de una práctica mecánica pueden conducir a daños mayores a los esperados sin que ésta se hubiese aplicado. Es por ello que debe evitarse su uso por personal no calificado. Por el

contrario, una práctica mecánica bien aplicada puede resolver los problemas de control de pérdidas de suelo por erosión y la gestión de aguas de escorrentía excedentes.

Para su correcto diseño, se deben manejar los criterios de escorrentía crítica e intervalo vertical conservacionista, con la finalidad de darles las dimensiones y la separación adecuadas (Fernández, 2001).

Las principales estructuras mecánicas utilizadas en conservación de suelos incluyen las zanjas de desviación, las acequias de ladera, las zanjas de absorción, los drenajes protegidos y varias modalidades de terrazas. Otras prácticas usadas en situaciones particulares son los diques, los muros de piedra, las lagunas y embalses, las fajinas, entre otras, las cuales serán descritas en la sección sobre prácticas especiales en conservación de suelos y agua.

V.4.1 DISEÑO: CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA CRÍTICA

El escurrimiento superficial es aquel que proviene de la precipitación no interceptada por la vegetación, no infiltrada en el suelo y que no es retenida en las depresiones de la superficie y que, por tanto, escurre sobre la superficie del suelo. El efecto es inmediato y ocurre en el transcurso de la tormenta e inmediatamente después de que ésta termine (Villón Bejar, 2004). Está influenciada por factores meteorológicos (forma, tipo, duración e intensidad de la precipitación, dirección y velocidad de la tormenta y su distribución en la cuenca) y por factores fisiográficos (superficie, forma, elevación y pendiente del terreno, tipo y cobertura del suelo y la humedad antecedente del mismo).

Muchas de las estructuras conservacionistas requieren para su diseño conocer la escorrentía crítica o caudal de diseño, ya que las dimensiones de las mismas deben ser capaces de conducir y desalojar el caudal máximo esperado para un período de retorno determinado. En otros casos, si el objetivo es captar el agua, el volumen por almacenar se calcula con base en las lluvias y escurrimiento promedio de la localidad.

El período de retorno para un caudal de diseño se define como el intervalo de tiempo dentro del cual un evento de magnitud determinada puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio. La magnitud del caudal de diseño es función directa del período de retorno que se le asigne, que a su vez depende de la importancia de la obra y de la vida útil de la misma (Villón Bejar, 2004). En el caso de estructuras conservacionistas en parcelas agrícolas, se recomiendan períodos de retorno de 5 a 10 años. Obras civiles en áreas urbanas se calculan con base en períodos de retorno de 50 a 100 años o más, ya que se asumen menos riesgos y se busca una mayor seguridad para la población o estructura que se quiere proteger.

El método más sencillo y aplicado en áreas de captación relativamente pequeñas (< 1.300 ha) es el *método racional o de Ramser*, en el cual se asume que la máxima escorrentía ocasionada por una lluvia se produce cuando la duración de ésta es igual al tiempo de concentración (Villón Bejar, 2004). La expresión matemática es:

$$Q_{max} (m^3/s) = (C * I_{(mm/h)} * A_{(ha)}) / 360$$

Donde:

$Q_{max} (m^3/s)$: Caudal máximo para un evento determinado

C : coeficiente de escorrentía

$I_{(mm/h)}$: Intensidad máxima de la lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración y para un período de retorno dado

A : área de la cuenca en ha

El coeficiente 1/360 corresponde a la transformación de unidades para expresar el resultado en unidades métricas.

Existen otras fórmulas empíricas para la determinación del caudal máximo que pueden ubicarse en la literatura sobre hidrología, pero la más común y utilizada es la de Ramser.

El coeficiente de escorrentía C es la relación entre la lámina o volumen total de escorrentía superficial con respecto a la lámina o volumen total de precipitación. Representa una fracción de la

precipitación total. Está afectado por la cobertura vegetal, la pendiente y las propiedades hidrológicas del suelo. Cuando la cuenca se compone de superficies de distintas características, el valor de C se obtiene como una media ponderada en función de los diferentes sectores que componen el área de captación o cuenca. Los valores pueden obtenerse en cuadros publicadas por diversos autores, tales como los que se presentan en el cuadro V.19.

Cuadro V.19. Coeficiente de escorrentía para diferentes complejos hidrológicos suelo-pendiente-vegetación (Rojas, 1980)

| Cobertura | Tipo de suelo | Pendiente del terreno | | | | |
|---------------------------------|---------------|-----------------------|------|-------|-------|-------------------|
| | | Pronunciada | Alta | Media | Suave | Despre- ciable |
| | | 50% | 20% | 5% | 1% | |
| Sin Vegetación | Impermeable | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,65 | 0,60 |
| | Semipermeable | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 |
| | permeable | 0,60 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 |
| Cultivos | Impermeable | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 |
| | Semipermeable | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 |
| | Permeable | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 |
| Pastos, vegetación ligera | Impermeable | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 |
| | Semipermeable | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 |
| | Permeable | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,15 |
| Hierba, grama | Impermeable | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 |
| | Semipermeable | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 |
| | Permeable | 0,30 | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 |
| Bosques, vegetación densa | Impermeable | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,35 |
| | Semipermeable | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,25 |
| | Permeable | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,10 | 0,05 |

Para la determinación de la intensidad máxima debe primero calcularse el tiempo de concentración. Por tiempo de concentración se entiende el tiempo transcurrido desde que una gota de agua cae, en el punto más alejado de la cuenca, hasta que llega a la salida de ésta. Dicho tiempo es función de las características geográficas

y topográficas de la cuenca. Éste se puede determinar mediante fórmulas empíricas como la de Kirpich, citada por Villón Bejar, (2004).

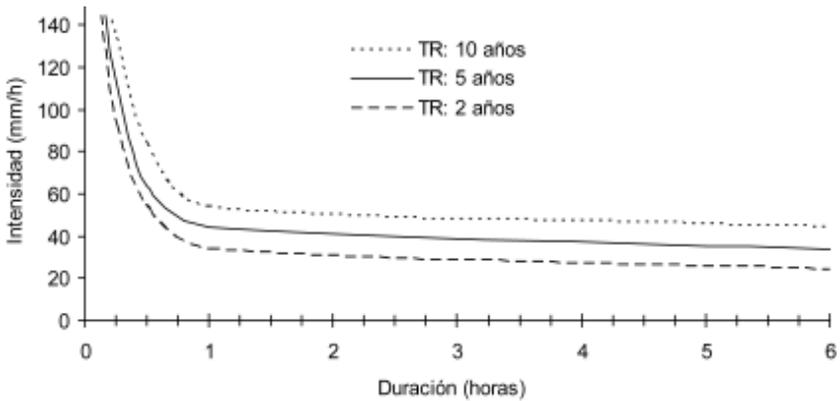


Figura V.37. Curva de intensidad-duración-frecuencia para la estación de Santo Domingo, estado Mérida (CCSA, 2005).

Esta fórmula se expresa matemáticamente como:

$$tc_{(\text{minutos})} = 0,0195 * (L^3/H)^{0,385}$$

donde:

tc: Tiempo de concentración

L: Máxima longitud del recorrido en m

H: Diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce en m/m

La intensidad máxima se obtiene a partir de la curva de intensidad-duración-período de retorno (un ejemplo se muestra en la figura V.37), entrando con una duración igual a la del tiempo de concentración y con un período de retorno seleccionado, que puede ser de 5 a 10 años, en el caso de tierras agrícolas, y dependiendo del tipo de estructura a diseñar.

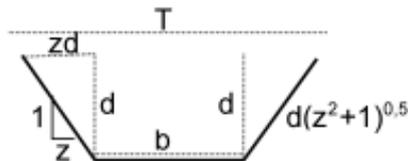
Otro método utilizado ampliamente es el del Servicio de Conservación de Suelos, basado en el potencial de infiltración máxima

(S) y del Número de Curva (CN), que es un indicador del potencial de escurrimiento de acuerdo con las condiciones hidrológicas del sitio. A diferencia del método racional, no se asume que el tiempo de concentración es igual al tiempo al pico. La formulación y descripción de la metodología pueden consultarse en Villón Bejar (2004).

V.4.2. LAS ZANJAS O CANALES DE DESVIACIÓN

Consisten en un canal o zanja que intercepta el agua de escorrentía de una tormenta o inundación, que de otro modo descendería desde niveles altos hasta las tierras de cultivo o infraestructura defendidas por la zanja. Constituye la primera línea de defensa y de ella depende el éxito del resto de las estructuras que protegen un lote de terreno, por lo que su ubicación en el terreno es crítica (Hudson, 1982). Se utiliza, también, para la protección de la cabecera de las cárcavas, para evitar que el agua socave las mismas por cabecera, así como la protección de taludes de carretera y corredores de servicios (Fernández, 2001). También pueden ser utilizados para desviar agua hacia lagunas, áreas de diseminación de la escorrentía o áreas especiales de cultivo (Troeh et al., 1980).

Los canales de desviación son estructuras de drenaje de gran magnitud utilizadas para interceptar y desviar a sitios protegidos el agua de escorrentía proveniente de zonas localizadas aguas arriba, de un área que interesa aislar o defender de esta escorrentía, para evitar daños por erosión, sedimentación o inundación aguas abajo. La sección de un canal de desviación puede variar, siendo la más



| Área | Perímetro mojado | Radio hidráulico | Ancho superior |
|-----------------|-----------------------------|------------------|----------------|
| $A = bd + zd^2$ | $P = b + 2d(z^2 + 1)^{0.5}$ | $R = A/P$ | $b + 2zd$ |

Figura V.38. Sección trapezoidal de un canal de desviación (CCSA, 2005).



Figura V.39. Zanja de desviación que protege un lote de cultivo de la escorrentía proveniente de un área de captación bajo vegetación natural (Schwab et al., 1981).

común la trapezoidal (figuras V.38 y V.39). Se utilizan en terrenos con pendientes entre 10 y 30%, sin embargo, dicho rango no es rígido (Fernández, 2001).

Con fines agrícolas, el canal debe ser capaz de desviar la escorrentía correspondiente a una lluvia de 5-10 años de período de retorno. Para la protección de casas, carreteras y otras obras de alto costo o cuando se protegen vidas humanas, el período de retorno debe ser de 50-100 años. La velocidad permisible debe considerar la no sedimentación del canal y evitar su socavación por erosión. Generalmente, el gradiente del canal es de 0,5-0,8%. Las dimensiones dependerán del caudal pico de diseño, siendo la base plana de 1-6 m de ancho, las relaciones de talud entre 2:1 a 6:1 y las profundidades entre 35-100 cm y el mismo debe ser protegido por vegetación herbácea de bajo porte. Cuando las relaciones de talud son muy inclinadas, se requiere de equipo especializado para su construcción mecanizada, siendo insuficientes las rastras y discos disponibles en una finca (Troeh et al., 1980).

V.4.3 LAS ACEQUIAS DE LADERA O ZANJAS ANTIEROSIVAS

Las zanjas de ladera son especies de pequeños canales de desviación que presentan una base prefijada, generalmente de 0,30 m, cuya función es cortar la escorrentía antes de que ésta adquiera una velocidad erosiva, y conducirla a velocidad no erosiva hacia un drenaje protegido. Son usadas preferentemente en zonas lluviosas, suelos poco permeables y con pendientes que oscilan entre 10-40%, ubicándose de manera sistemática a lo largo de la pendiente. Su función principal es cortar la longitud de la pendiente.

La práctica se aplica en laderas donde el flujo de escorrentía causa daños a la superficie, por lo que debe ser canalizado hacia un drenaje protegido. El suelo debe ser lo suficientemente profundo para permitir su construcción. La longitud máxima no debe exceder de 150 m. En la parte superior del canal puede colocarse una barrera viva para evitar la sedimentación, evitando costos de mantenimiento y alargando su vida útil (figura V.40). El mantenimiento de la zanja antierosiva debe lograr que la capacidad de descarga (sección y gradiente) no se vea disminuida, removiéndose los residuos vegetales y los sedimentos y cortando la vegetación regularmente (NRCS, 2002a).



Figura V.40. Acequia o zanja de ladera (CCSA, 2005).

Las dimensiones de las acequias de laderas son prefijadas con un fondo de 30-40 cm y una relación de talud de 1:1 a 1,5:1. Su profundidad es variable de acuerdo con las condiciones climáticas y de suelo locales. La pendiente lateral, generalmente, no debe exceder el 1% para evitar la socavación del canal. El espaciamiento entre zanjas puede calcularse mediante la fórmula del intervalo vertical, despejando la longitud máxima, que utiliza el modelo de la EUPS (USLE) o el criterio del espaciamiento máximo a partir de la lluvia diseño y volumen de escorrentía según el método del Servicio de Conservación de Suelos, conociendo el área máxima de recolección por acequia. Cada procedimiento puede generar diferentes resultados y su uso va a depender de la información disponible (Fernández, 2001).

Los canales de absorción, también conocidos como zanjas de infiltración, tienen como finalidad captar agua de escorrentía y posibilitar su infiltración. Se utilizan mayormente en zonas de escasa precipitación. Se construyen a nivel y pueden tener salida hacia un drenaje protegido o no. Si no la tienen, éstos son llamados también banquetas de infiltración (De La Rosa et al., 1994). En algunos casos pueden jugar una doble función, colocándoseles unos pequeños diques o transversas al canal a determinados intervalos, que detienen las aguas, favoreciendo su infiltración, pero en caso de lluvias extremas el agua puede drenar por encima de los diques, ya que los mismos no obstruyen el paso del agua por tener una altura inferior a la profundidad del canal. Estos últimos se denominan surcos con tapas (Bergsma et al., 1996). Al igual que con las zanjas de ladera y los canales de absorción, se recomienda su protección en la parte superior por una barrera viva.

Pueden ser usados en terrenos de pendientes suaves, hasta 10% con cultivos anuales, y en pendientes superiores de hasta 50% con cultivos permanentes y semipermanentes. Si la lluvia diseño excede los 50 mm, habría que darles un gran dimensionamiento u optar por el uso de zanjas de ladera (Fernández, 2001). En estos casos podría ser de gran utilidad el uso de surcos o canales con tapas.

V.4.4 LOS DRENAJES PROTEGIDOS

Las aguas drenadas por canales, acequias y terrazas son desviadas a uno o ambos lados de la o las estructuras y descargan en un cauce natural o construido, de manera de disponer en forma segura de los excesos de agua, es decir, sin causar erosión, evitando la inundación de lotes vecinos y asegurando, o al menos apuntalando, la calidad de las aguas. Este drenaje se denomina protegido, ya que está revestido de vegetación permanente que lo estabiliza. En algunos casos se hace necesario complementar la protección ejercida por la vegetación con pequeñas estructuras hidráulicas que disminuyan la velocidad del flujo de agua, atrapen sedimentos y disipen la energía de los torrentes.

Estos drenajes deben cumplir las especificaciones de diseño, generalmente son de sección amplia tipo V, trapezoidal o parabólica con una relación de talud no más inclinada que 2:1 horizontal/vertical para facilitar operaciones de mantenimiento mecanizado. Debe calcularse en función del área drenada, la longitud, la pendiente y el caudal máximo esperado para un período de retorno entre 10-25 años. Su construcción y estabilización debe realizarse previo a la construcción de las estructuras que descargan a éste Troeh et al. (1980).

V.4.5 BORDOS O CORDONES A NIVEL

Son diques de tierra (1,55 a 2 m de altura), también llamados bermas, dispuestos transversalmente a la pendiente, que actúan como una barrera frente a la escorrentía, que almacena agua en su parte superior y permite su infiltración posterior. Dividen la pendiente en secciones de menor longitud. Se utilizan en pendientes de 1 a 7° en pequeñas fincas y se asocian comúnmente con algún tipo de vegetación permanente. En algunos casos pueden ser elaborados con piedras o con desperdicios, siendo en estos casos de menor altura (0,30-1,0m), de carácter semipermeable y, en el caso de las piedras, con menos requerimientos de mantenimiento. Su espaciamiento se

realiza entre 10-20 m y su eficiencia según Hurni, citado por Morgan (1997), disminuye al aumentar la pendiente del terreno.

V.4.6 LAS TERRAZAS

Son terraplenes o taludes de tierra contruidos transversalmente a la dirección de la pendiente para interceptar la escorrentía superficial, desviarla a un desagüe estable a una velocidad no erosiva y acortar la longitud de la pendiente y reducir su gradiente. Se conocen tres tipos básicos de terrazas: de absorción, de drenaje y de banco. Las dos primeras están restringidas a tierras arables o mecanizables, ya que en pendientes muy inclinadas su costo es excesivo y el espaciamiento es demasiado estrecho para fines prácticos. Las terrazas de banco son útiles en pendientes superiores, recomendándose en inclinaciones de hasta 30°. Los taludes, generalmente, se asocian con vegetación permanente estabilizadora y su relación H:V es de 0,75:1-1:1 (Morgan, 1997).

De acuerdo con su configuración, las terrazas pueden ser de base ancha, lo cual permite su cultivo en toda la estructura y son pertinentes en áreas de pendiente uniforme y grado de inclinación ligero (figura V.41), o de base angosta, cuyos taludes son más inclinados y deben ser protegidos por vegetación permanente, por lo que se reduce la superficie efectiva de cultivo (figura V.42). Si el canal de la terraza está a nivel, se promueve la infiltración y captación de agua, denominándose terrazas de absorción; al contrario, si está a desnivel, sirve para evacuar los excedentes de escorrentía a velocidad segura hasta un drenaje protegido, denominándose terrazas de drenaje. En

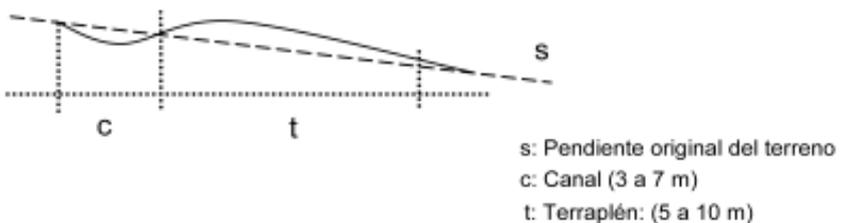


Figura V.41. Corte transversal de una terraza de base ancha (CCSA, 2005).

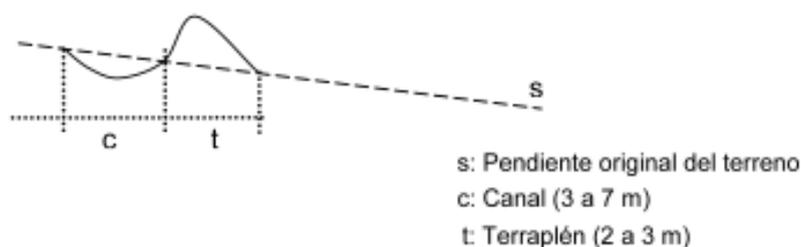


Figura V.42. Corte transversal de una terraza de base angosta (CCSA, 2005).

algunos casos, se utilizan tuberías subterráneas para drenar la terraza, dependiendo de las condiciones del sitio (NRCS, 2002b).

Se prefiere una distribución paralela en el terreno, por lo que se recomienda incluir labores de corte y relleno para configurar el terreno, previo a la construcción de la terraza. En terrenos muy ondulados esto puede ser incosteable, distribuyéndose las terrazas en forma no paralela. El espaciamiento de las terrazas puede calcularse mediante la USLE, despejando (ℓ) o mediante las fórmulas o cuadros para seleccionar el IV (intervalo vertical) ya mencionadas para el espaciamiento de franjas y barreras vegetativas.

Otro tipo de terrazas, las terrazas de banco, permiten utilizar terrenos más inclinados típicos en la agricultura de laderas. Consisten en una serie alternativa de plataformas y taludes, los cuales pueden protegerse con vegetación o reforzarse con piedras u hormigón. Los incas en Perú utilizaron esta práctica de conservación en suelos de laderas entre 1400 y 1532 d.C. y en culturas preincas entre 900-200 a.C. También, son conocidas en culturas milenarias de países asiáticos como Indonesia, Filipinas, India, China, y en el Oriente cercano (Yemen, Siria), de donde son introducidos a Europa. La práctica es común hoy en día en diversos países de Latinoamérica (Tonnes et al., 1998).

Este tipo de terraza facilita labores de labranza, riego y otras prácticas de cultivo, permite retener humedad y reducir la erosión y

promueve la agricultura permanente en zonas de ladera. Su principal desventaja es el alto requerimiento de mano de obra para su construcción. Varios autores citados por Tonnes et al. (1998) señalan que el costo varía de 100 días hombre/ha/año para bordos en contorno en sistemas de terraceo natural en Tailandia a 253 para muros de piedra en pendientes de 20% en El Salvador y hasta 1.800 para terrazas de banco en pendientes de 50%, a lo cual hay que añadir el mantenimiento permanente que debe dársele a las terrazas; además, se presenta una reducción en la superficie total cultivada que varía según la pendiente de la ladera y la relación de talud utilizada.

En el cuadro V.20 pueden observarse diversas opciones o diseños de terrazas de banco. La terraza puede desarrollarse de forma natural o inducida por estructuras como barreras vivas, bordos o cordones a nivel y muros de piedra. En la medida en que los sedimentos se acumulan en la parte superior de estas estructuras se va estableciendo un terraplén. Un caso particular de terraza inducida son las terrazas tipo *fanya juu* desarrolladas en Kenya (figura V.43).

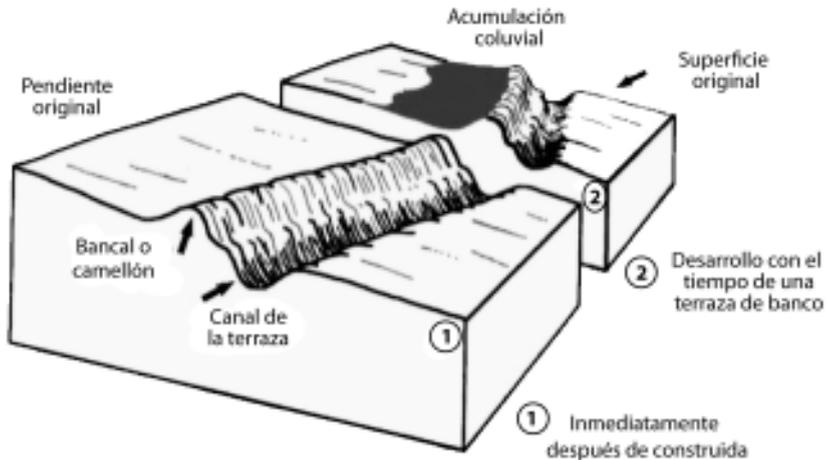
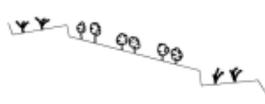
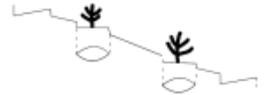


Figura V.43. Terraza *fanya juu* utilizada en África del Este, la cual se desarrolla progresivamente por acumulación de sedimentos aguas arriba del bancal o camellón (ilustración de Herweg, en Bergsma et al., 1996).

Cuadro V.20 Vista transversal de varios diseños de terrazas. (Toness et al., 1998)

| Tipo | Sección transversal | Uso/comentario |
|--|---|--|
| Terrazas a nivel (terracea de irrigación o de arroz) |  | Principalmente para arroz o cultivos de riego |
| Terrazas de banco con pendiente hacia afuera |  | Requiere menor movimiento de tierra en su construcción, pero es menos efectiva |
| Terrazas de banco con pendiente invertida |  | Cultivos de secano y/o cultivos de riego durante época seca. Pendiente inversa de hasta 5% |
| Terrazas de banco de conservación |  | En zonas de menor precipitación para cosechar el agua de lluvia |
| Sistemas de menor costo y mayor sencillez | | |
| Terrazas naturales o graduales (barreras vivas, muros de retención de piedras, bordos y cordones, <i>fanya juu</i>) |  | La terraza se forma progresivamente luego de varios años por acumulación de sedimentos |
| Terrazas intermitentes |  | Los espacios entre terrazas se cultivan y aprovechan. En el tiempo pueden desarrollarse con más terrazas |
| Terrazas convertibles |  | Uso mixto con agricultura y árboles sembrados en terrazas individuales. Pueden completarse con más terrazas en el tiempo |
| Terrazas de huerto con bancos de 1,75 m de ancho y terrazas individuales |  | Arboledas o árboles frutales con pendientes elevadas > 46% |

V.4.7 TERRAZAS INDIVIDUALES

Consisten en una modificación de las terrazas de banco en huertos frutales y forestales y otras especies arbustivas que no justifican el movimiento de tierra que supone la construcción de una terraza de banco, ahorrando así mano de obra y otros costos involucrados. Se construye realizando un pequeño terraplén alrededor de cada árbol con una inclinación del 5% al 10% contraria a la dirección de la pendiente del terreno. El diámetro va a depender de la pendiente del terreno y se ha utilizado especialmente en terrenos de 10% a 50% de pendiente o más. Estas terrazas, además de su acción anti-erosiva, permiten un mejor aprovechamiento de los fertilizantes y enmiendas, del agua de lluvia o de riego, ya que favorece la infiltración, y también facilita las labores de mantenimiento y cosecha. No deben ser construidas alrededor de árboles adultos, ya que se destruyen en una alta proporción las raíces de los mismos y se recomienda su establecimiento antes de la siembra; tampoco se recomiendan en terrenos de poca profundidad (Suárez de Castro, 1980).

La forma de la estructura se procura que sea circular y que el árbol quede en el centro. A los taludes se les da una inclinación de 1/2:1 hasta de 1:1 y se protege el terraplén con coberturas vivas; su diámetro puede variar entre 1 y 2 metros, dependiendo de la pendiente del terreno (ver figuras V.44 y V.45).

V.4.8 MICROCUENCAS

Se utilizan para la siembra de árboles en zonas áridas y semiáridas. Son una de las prácticas de cosecha de agua más conocidas. Cada microcuenca consiste de un área de captación y un área de infiltración o depresión en la sección inferior de la microcuenca (Critchley, 1999). Éstas pueden ser estructuras abiertas en forma de V (figura V.46) o estructuras cerradas definidas por un camellón circundante (figura V.47).

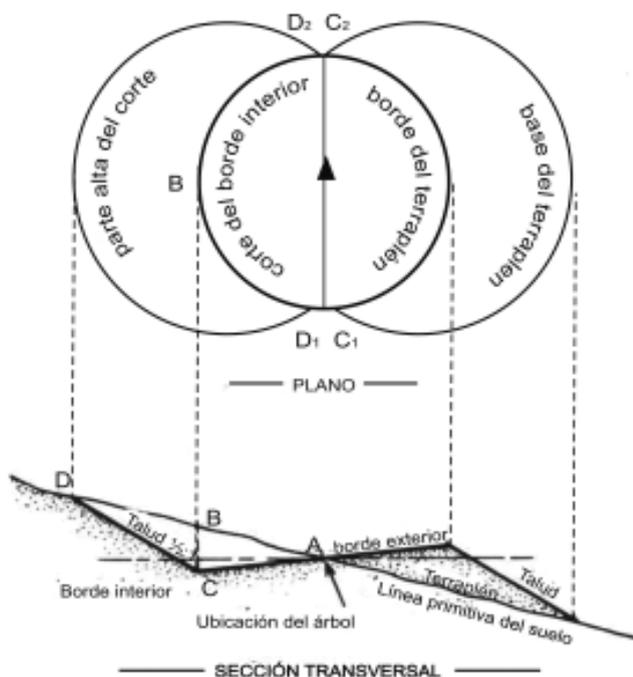


Figura V.44. Sección transversal y vista del plano de una terraza individual (Suárez de Castro, 1980).

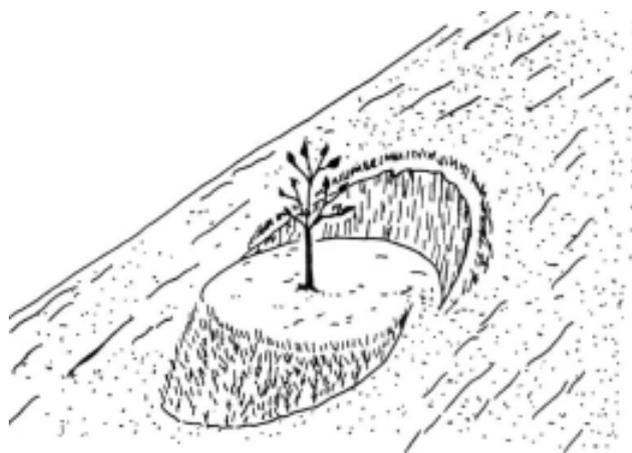


Figura V.45. Vista isométrica de una terraza individual (Tonnes et al., 1998).

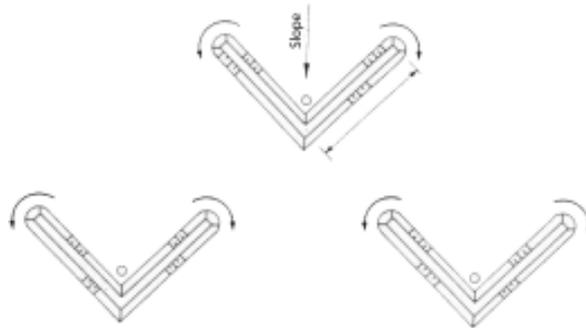


Figura V.46. Microcuencas en forma de V (Critchley, 1999).

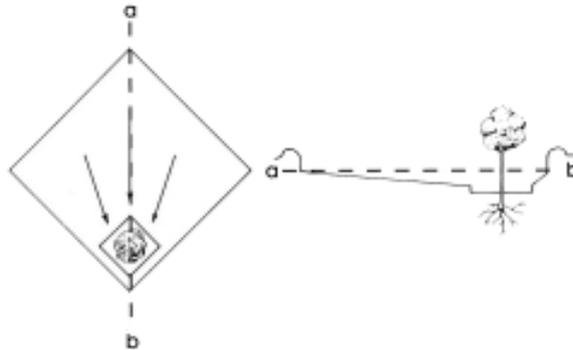


Figura V.47. Microcuenca cerrada de forma rectangular (FAO, 1987).

V.4.9 DERIVACIÓN DE CAUCES INTERMITENTES

Es otra técnica de cosecha de agua de lluvia que consiste en la derivación de cauces intermitentes y torrentes mediante pequeños diques en el cauce y estructuras como empalizadas y bordos o cordones con un pequeño desnivel que, en forma de serpentina, va dispersando el agua de escorrentía de manera difusa en terrenos contiguos (figura V.48). Es una estructura vulnerable sujeta a daños causados durante las inundaciones que ocurren durante las crecidas de los cauces (Critchley, 1999). Es muy apreciada en las zonas áridas y semiáridas donde no se cuenta con agua para el riego.

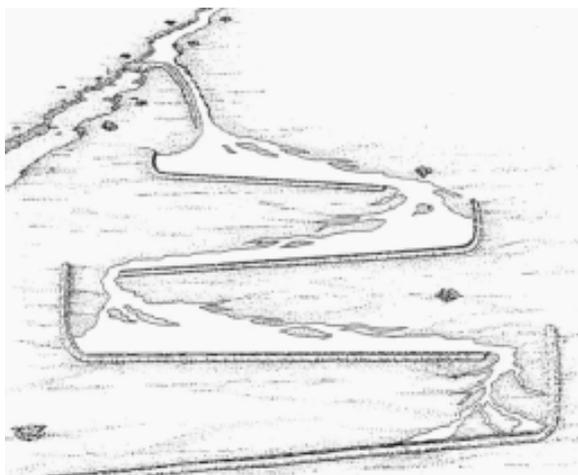


Figura V.48. Derivación de cauces intermitentes y distribución difusa de la escorrentía (Critchley, 1999).

En las zonas de Falcón y Lara se practica una modalidad de esta práctica, denominada torobas, para irrigar cultivos anuales y pastos.

V.5 PRÁCTICAS ESPECIALES EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Las prácticas especiales en conservación de suelos y agua se refieren al conjunto de tecnologías y medidas dirigidas a controlar o mitigar procesos de degradación no convencional o menos frecuente en parcelas donde se llevan a cabo actividades agrícolas, o en aquellos casos donde estos procesos están asociados con actividades no agrícolas, como la estabilización y protección de infraestructura, la minería, las actividades petroleras, los corredores de servicios, así como a la recuperación y restauración de áreas afectadas por dichas actividades.

Toda actividad humana deja una huella en el terreno, generalmente con un impacto negativo sobre el ambiente. Entre estos impactos pueden mencionarse la eliminación de la cobertura vegetal y de la fauna asociada a ese hábitat; la alteración de la relación

infiltración/escorrentía y los procesos erosivos que se generan, y que desestabilizan los terrenos afectando las obras de infraestructura y las actividades desarrolladas en el sitio y, a la vez, generan contaminación por los sedimentos y contaminantes asociados como hidrocarburos, metales pesados, nutrientes y desechos tóxicos que se movilizan a terrenos y cuerpos de agua adyacentes, alterando la calidad de suelos y agua; la obstrucción y disminución de la capacidad de drenaje o almacenamiento de los cursos de agua, lagunas y embalses y, en algunos casos, la alteración total de los sistemas hidrológicos naturales. Las normativas ambientales obligan a los operadores a tomar las medidas del caso y realizar los estudios de impacto ambiental que describan los procesos que afectan el ambiente y los impactos generados por una determinada actividad, así como las formas de remediarlos.

V.5.1 CASOS ESPECIALES EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Control de erosión y sedimentación en sitios de construcción

Las obras de construcción afectan la cobertura y disturbán en mayor o menor grado la superficie de los terrenos donde tienen lugar. Como primera medida debe minimizarse el área afectada por la intervención a la menor superficie posible, y hacerlo de manera escalonada y, de ser factible, en las épocas de menor incidencia de lluvias o viento. La erosión debe ser controlada, preferiblemente en su origen, evitando la separación y transporte de materiales, y cuando esto no es posible, detener los sedimentos antes de salir del área de construcción mediante estructuras apropiadas.

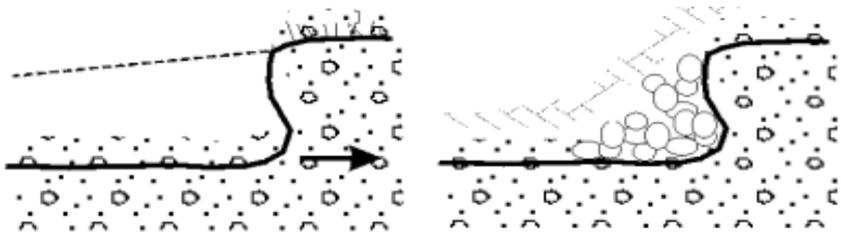
La estabilización de taludes

En las obras de construcción, particularmente en los corredores de servicios como carreteras, vías de ferrocarriles, se realizan cortes y rellenos que dejan expuestos taludes de diversas características y que requieren de su estabilización para llevar a buen término

la ejecución de la obra y su posterior funcionamiento. Generalmente, deben combinarse sistemas de drenaje y otras prácticas mecánicas con diferentes estrategias para proteger las superficies expuestas, previa conformación de los taludes, consistente en uniformizar la superficie para su posterior tratamiento de cobertura y/o revegetación.

Control y recuperación de áreas afectadas por cárcavas

Las cárcavas son surcos o drenajes profundos de más de 30 cm hasta decenas de metros causados por el flujo concentrado del agua, que no pueden ser rellenados mediante operaciones de labranza convencionales y que requerirían del uso de maquinaria pesada para la recuperación del área afectada para ser rellenadas y/o de su control y estabilización mediante la combinación de varias técnicas mecánicas y biológicas. En el caso de cárcavas de pequeña a mediana envergadura, se pueden combinar medidas sencillas para su estabilización y control. En primer lugar, el aislamiento de la misma para evitar la intromisión de animales silvestres o de cría que entorpezcan el desarrollo de la vegetación. Igualmente, evitar los incendios forestales y otras perturbaciones, así como también la alimentación de la cárcava con aguas de escorrentía proveniente de lotes superiores. Esto se logra mediante la ubicación de un canal de desviación a una distancia no menor de tres veces la profundidad de la cárcava. Si esto no es posible y es inevitable que siga entrando agua por la cabecera, se deberá proveer una estructura que evite la socavación de la base y paredes de la cabecera y que sirva como un disipador de energía. A esto se le llama cabeceo de la cárcava. Dependiendo de las dimensiones de la cárcava, esto puede lograrse con materiales sencillos como mantos o mallas, piedras o, incluso, la cobertura de vegetación de buen arraigue como vetiver, bambú, caña amarga y otras (ver figura V.49). En casos más difíciles se requerirá de muros de piedra, gaviones, una torrentera o rápida. que conduzca las aguas y de un disipador hidráulico o delantal en la base como el colchón reno. A lo largo de la cárcava se colocan diques que retardan la velocidad del flujo y disminuyen la pendiente



Erosión regresiva en progreso en la cabecera de una cárcava pequeña

Control del crecimiento de la cárcava en su cabecera, conformando una barrera de piedras para evitar socavamiento y desplome

Figura V.49. Erosión regresiva y su control en la cabecera de la cárcava (FAO, 1985b).

del cauce, que favorecen la estabilización de la cárcava al controlar la erosión por frotamiento en el lecho y la socavación en las paredes laterales y promueven la acumulación de sedimentos. Para asegurar su buen funcionamiento, éstos deben estar bien empotrados y anclados en los laterales y fondo del sitio donde se localicen mediante la apertura de una zanja que se rellenará con el mismo material de construcción del dique. Estas presas también deben contar con un vertedero que evite la socavación de los bordes al concentrar el flujo hacia el eje hidráulico y que al mismo tiempo se ajuste a la descarga crítica o escorrentía pico para un período de retorno seleccionado, generalmente de cresta ancha y de sección trapezoidal. Igualmente, un dissipador o delantal para evitar la erosión en cascada en la base aguas abajo del dique con una longitud de 1,5 veces la altura del mismo.

Dependiendo de las dimensiones y recursos disponibles, estos diques son de elaboración artesanal, usando ramas, madera, piedra y otros recursos locales hasta gaviones y mampostería. La ubicación de los diques se establece según el criterio cabeza-pie o espaciamiento unitario (CPGCH, 1991), en cuyo caso la altura del dique inferior debe coincidir con la base del dique superior, y así sucesivamente, es decir, donde terminan de depositarse los sedimentos atrapados por la siguiente presa o dique aguas abajo. La pendiente y

la altura del dique van a determinar su espaciamiento horizontal. En algunos casos se duplica esta distancia para abaratar costos y ahorrar recursos cuando las condiciones locales lo permitan. El espaciamiento unitario viene dado por la fórmula:

$$Eu = (H/Pc) * 100$$

donde:

Eu: Espaciamiento unitario entre dos presas consecutivas en m

H: Altura efectiva de la presa en m

Pc: Pendiente de la cárcava en %

Si se toma en cuenta la pendiente del sedimento, la fórmula viene dada por:

$$Eu = (H/Pc - Ps) * 100$$

donde:

Ps: es la pendiente del sedimento (2% arena gruesa y gravas; 1% texturas medias; 0,5% texturas finas)

Los taludes de la cárcava deben conformarse y recubrirse con vegetación liviana y otros materiales como mantos y mulches, complementándose con estructuras mecánicas y biológicas, como fajinas, rollos de fibra, barreras vivas, entre otros.

Restauración de la vegetación en sitios de reclamo, zonas de desechos mineros y otras excavaciones

Las excavaciones realizadas en minas a cielo abierto, la acumulación de desechos en la explotación y procesamiento de minerales metálicos y no metálicos, las minas de carbón, los sitios de reclamo y los cortes para el relleno de terraplenes en carreteras y vías férreas representan superficies expuestas sujetas a procesos de erosión y que una vez realizada la actividad extractiva deben ser recuperadas e integradas al paisaje circundante. Generalmente, conlleva la estabilización de taludes, la revegetación y el previo acondicionamiento debido al nivel de degradación alcanzado por compactación, exposición de materiales de muy baja calidad para sustentar la vegetación o contaminados por metales pesados u otros productos

usados en el procesamiento del metal, como la soda cáustica en el caso de la bauxita.

La capa de suelo superficial removida puede ser apilada y almacenada temporalmente para ser reutilizada en el sitio o en otra localidad. Igualmente, debe evaluarse el material vegetal existente previamente a su remoción, en caso de poder trasplantarse o utilizarse como fuente de material vegetativo para la repoblación vegetal del sitio o en otras localidades (FAO, 1985b).

Control de erosión de banco de río

Los cauces naturales o artificiales sufren deterioro de las riberas por socavamiento cuando el flujo de agua concentrado choca con las paredes del cauce, particularmente durante crecidas debidas al efecto de lluvias excepcionales. Esto genera mayores cargas de sedimentos aguas abajo y reduce la superficie de los terrenos aledaños, amenazando en muchos casos obras de infraestructuras localizadas en su proximidad. Se requieren obras de diverso tipo que encaucen el flujo hacia el eje hidráulico del río o quebrada y la estabilización directa de los bancos de río, lo cual se logra con vegetación y pequeñas estructuras de contención de sedimentos y derivación del flujo, hasta obras de ingeniería de gran magnitud, como gaviones, empalizadas de pilotes y estructuras de concreto armado.

V.5.2 DESCRIPCIÓN DE ALGUNAS PRÁCTICAS ESPECIALES EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Estabilizadores químicos

Se reconoce que en áreas donde no sea posible establecer una cobertura vegetal podrían utilizarse sustancias químicas que sirven de acondicionadores y aglomerantes del suelo, entre éstos, varios polímeros como el asfalto, el vinilo o la poliacrilamida. Entre sus ventajas están la facilidad con que se aplican y el proveer de protección inmediata. Su principal desventaja es su mayor costo y el

riesgo de llegar a impermeabilizar el suelo si se aplican sin propiedad. Pueden combinarse con alguna práctica vegetativa o mecánica para reforzar su efectividad (USEPA-NPDES, 2007a).

Cobertura de compost

En áreas a ser revegetadas o no, puede aplicarse una capa de material de compost y de diverso origen (estiércoles, residuos vegetales, biosólidos, entre otros), que varía entre 1 y 10 cm de espesor según las condiciones climáticas y de cobertura vegetal existente, y que puede aplicarse manual o mecánicamente, lográndose establecer una alfombra sobre la superficie que mejora las condiciones de infiltración superficial, rellena surcos y fisuras que previenen la concentración de la escorrentía y facilita el establecimiento de una cobertura vegetal. La semilla puede incorporarse en la mezcla de compost, preferiblemente, o esparcirse posteriormente. Puede utilizarse en taludes con relaciones hasta 2:1 o de mayor inclinación (1:1) si se utilizan mallas o confinamientos para evitar el desplazamiento de la capa de compost (USEPA-NPDES, 2007b).

Cobertura de residuos o mulch

La cobertura de residuos o mulch convencional, también denominado mulch seco, ha sido utilizado desde hace muchos siglos por las ventajas que representa al estabilizar suelos, reducir la erosión hídrica y eólica, reducir las fluctuaciones de la temperatura del suelo, retener humedad y facilitar la germinación y establecimiento de la vegetación. En el mediano o largo plazo representa un aporte de materia orgánica con las mejoras que esto implica en la retención de humedad y de nutrientes. Los materiales más utilizados son la paja y el heno, en trozos o segmentos de 10 a 20 cm, que permiten un mejor solapamiento y un efecto de cobertura apropiado y no es removido fácilmente por el escurrimiento superficial. Se aplica en dosis entre 3 y 5 Mg/ha y en pendientes suaves se propicia un mayor contacto con la superficie, haciendo un pase de discos verticales con maquinaria (Lancaster y Austin, 2003). Al igual que con el compost, en taludes de inclinación pronunciada se utilizan mallas o

confinamientos para evitar el desplazamiento de la capa de mulch, o fijadores sintéticos como emulsiones y polímeros.

Diques artesanales

Los diques artesanales son estructuras generalmente no mayores a 1 m de altura, conformados en madera, piedras y otros materiales que sirven para disminuir la energía del flujo en drenajes y cárcavas y modificar la pendiente del cauce al retener sedimentos y el agua. Son de carácter temporal o semipermanente (ver figuras V.50a y V.50b).

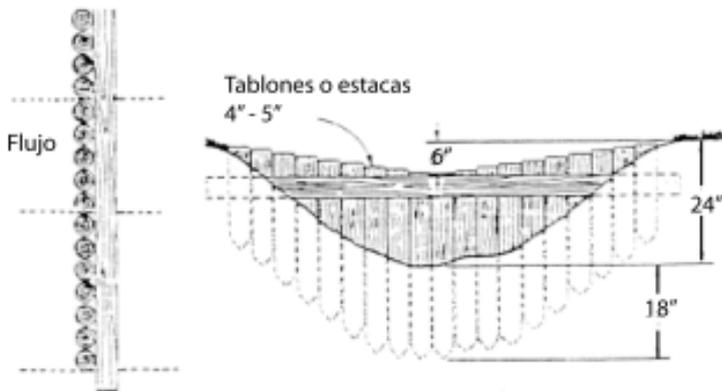


Figura V.50a. Dique de madera.

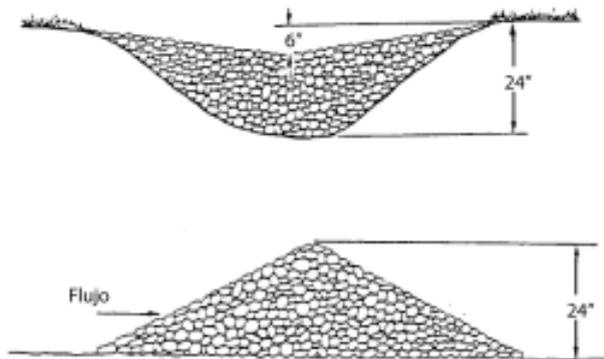


Figura V.50b. Dique de piedra.

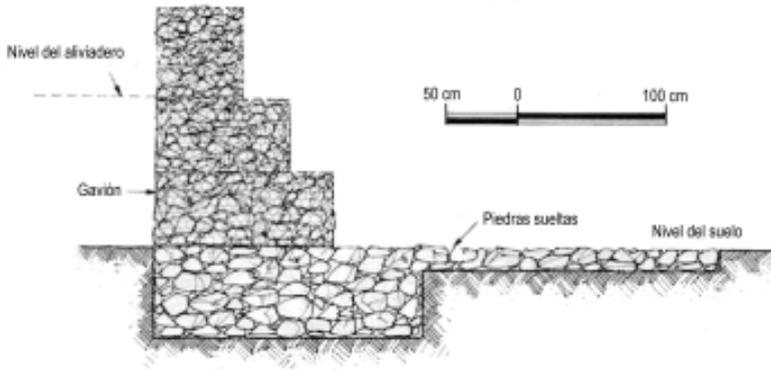


Figura V.50c. Dique de gavión (Sthapit y Tensión, 1991).

Diques de gaviones

Los diques de gaviones consisten en estructuras elaboradas con cestas o cajas hechas con malla hexagonal de forma prismática y dimensión variable hechas con alambre (preferiblemente galvanizado para evitar la corrosión) y rellenas con piedras o piezas de concreto rotas (ver figura V.50c). Éstos se dividen en células mediante diafragmas (tabique de malla) con el fin de reforzar la estructura. Son permeables y flexibles, lo que les confiere mayor resistencia, estabilidad y adaptación al terreno. Para evitar que la abrasión desgaste la sección del vertedero, éste debe ser revestido con hormigón u otro material.

El hormigón y los ladrillos tienen buena resistencia a la compresión, pero se derrumban fácilmente cuando soportan cargas de tracción resultantes de su asentamiento. Las estructuras rígidas, a diferencia de los gaviones, tienen el inconveniente de no adaptarse cuando ocurren cambios en el suelo circundante o en las bases (Hudson, 1982).

Lagunas de sedimentación y trampas de sedimentos

Las lagunas de sedimentación y trampas de sedimentos consisten en estructuras ubicadas en las salidas de los drenajes y construidas en depresiones naturales o excavadas intencionalmente;

éstas retienen la escorrentía con diques de tierra o piedra que permiten la salida del agua lentamente a través de un tubo vertical de drenaje o a través de la grava y las rocas, por lo que la mayor parte del sedimento es capturado. El diseño puede considerar el drenaje total de la misma o dejar un espejo de agua de poca profundidad. El área de captación no debe sobrepasar las 50 ha. La efectividad de la sedimentación dependerá del tamaño de partículas del sedimento y de la superficie de la laguna, siendo que la retención de sedimento puede variar entre 55 y 100%. La relación largo-ancho debe ser 3:1, preferiblemente. El mantenimiento es de vital importancia y deben removerse los sedimentos cuando éstos alcancen 5% de la capacidad de retención de la laguna. No deben construirse cuando una posible falla de la estructura ponga en riesgo vidas humanas y obras de infraestructura (USEPA-NPDES, 2007c).

Fajinas

Obra de regulación de flujos hídricos y de retención de sedimentos en taludes y en laderas inestables. Presenta una altura entre 0,20 a 0,40 metros y un largo variable. En su construcción se utilizan estacas, como postes verticales, enterrados a 0,25 m como mínimo, y fajinas (haz de ramas) para las líneas horizontales. Las fajinas se alambran cada 0,5 a 1,0 m en la horizontal, según la flexibilidad del material. También deben alambrarse a las estacas verticales, que se disponen de 0,7 a 0,8 m en la horizontal. Las fajinas se entierran a más de 0,1 m. Suele aplicarse semilla de pasto en los espacios protegidos por las fajinas para su revegetación. Las fajinas pueden elaborarse usando estacas elaboradas con cabillas y bandas de malla metálica o plástica; esta última tiene el inconveniente de no resistir la quema. Cuando están mal construidas o aplicadas en forma aislada, esta práctica presenta fallas al no controlar efectivamente la erosión, situación muy común y visible en taludes mal protegidos.

Una modalidad de fajinas son las empalizadas trenzadas o fajinas vivas. En éstas se utiliza material leñoso, en el cual las estacas se entrelazan y enrollan con ramas vivas, largas y flexibles, de una especie conocida por su fácil enraizamiento a partir de trozos de

rama (por ej., *Salix* sp.). Cada rama viva debe apretarse hacia abajo después de haberla entrelazado con las estacas. Normalmente, deben colocarse una sobre otra, de tres a siete pares de ramas. La rama del fondo y las partes cortadas de todas las otras ramas deben estar en contacto con el suelo, de tal modo que puedan enraizar. Las cercas completamente enterradas son mejores que las que sobresalen de la superficie, ya que en este último caso las ramas que están por encima del suelo tienden a secarse, lo que se traduce en una disminución de la estabilidad de la empalizada. Las empalizadas trenzadas deben colocarse en hileras horizontales consecutivas o diagonalmente. La disposición en diagonal sólo es eficaz para retener material suelto; en otro caso es un gasto innecesario (FAO, 1988).

Rollos de fibra vegetal

Son elementos de forma cilíndrica elaborados de tubos de malla rellenos con fibra vegetal, tales como hojas y tallos de arroz y otras gramíneas, fibra de coco, o compost, como se ilustra en la figura V.51. Cada rollo es empaquetado en malla de polipropileno con protección UV para mayor duración o de materiales biodegradables como el yute y presentan entre 20 y 50 cm de diámetro. Son conocidos, también, con el nombre de biorrollos. Esta práctica es complementaria con las de vegetación o cobertura, que son más permanentes y controlan la erosión en su origen. Los rollos de fibra sirven para disminuir el efecto de la longitud e inclinación de la pendiente. También, sirven para disminuir, filtrar y redistribuir la escorrentía superficial, evitando la formación de surcos y cárcavas. Pueden ser usados como pequeños diques en surcos y canales y en el perímetro de áreas de construcción para contener sedimentos. Para que sean efectivos deben colocarse sobre una abertura o trinchera en el terreno de 5 a 15 cm de profundidad, dependiendo del tipo de suelo y fijados con estacas que atraviesan el rollo y se sujetan en el terreno firmemente para evitar que el rollo sea removido por la escorrentía. Entre sus ventajas están la facilidad de instalación y la compatibilidad con otras prácticas como las coberturas vivas o muertas (USEPA-NPDES, 2007d).

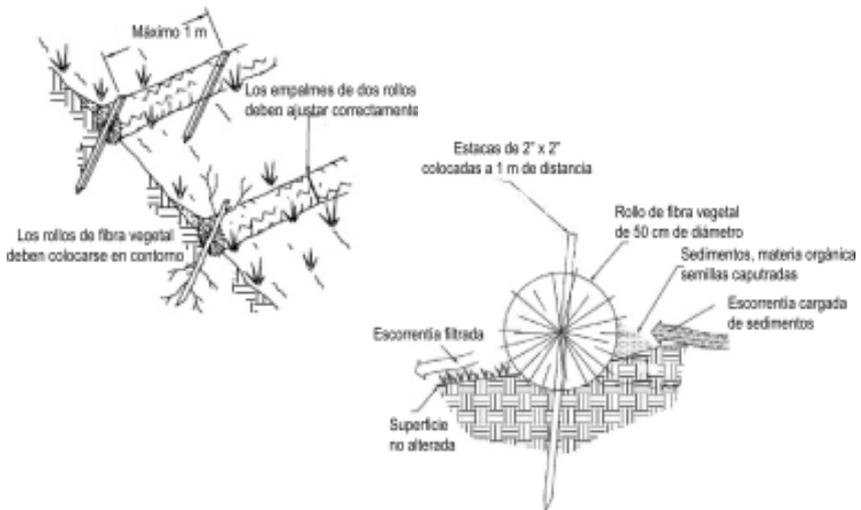


Figura V.51. Rollo de fibra vegetal (Vecchiarelli, 2005).

Cercas filtrantes

Son estructuras temporales para controlar la sedimentación en el perímetro de áreas expuestas, como sitios de construcción, excavaciones, minas a cielo abierto, entre otras; también pueden utilizarse en áreas intermedias. Consiste en una tira o banda de malla fijada mediante estacas colocadas a intervalos regulares en las áreas bajas del terreno a ser protegido. La malla debe ser enterrada apropiadamente entre las estacas que la fijan entre 10 y 15 cm por debajo de la superficie. Son útiles para captar los sedimentos de áreas de captación relativamente pequeñas. Se estima un área de captación de 0,1 ha por cada 30 metros lineales de cerca y debe ser capaz de soportar una escoorrentía pico correspondiente al período de retorno seleccionado, comúnmente de 10 años y no mayor de 100 m³/h. La cerca debe permanecer en el sitio hasta que la vegetación permanente haya sido restablecida, junto con otras prácticas de control permanentes. El mantenimiento consiste en evitar aberturas y huecos en la malla y en remover los sedimentos acumulados cuando éstos alcanzan entre un tercio y la mitad de la altura de la cerca (USEPA-NPDES, 2007e).

Mallas, mantos antierosivos y esteras para el reforzamiento de vegetación

Consisten en redes o mallas de material biodegradable como el yute o el cordel de algodón, o bien de material sintético como el polipropileno, poliéster, polietileno, nylon, entre otros, y deben tener protección UV para darle mayor durabilidad al ser expuestos a los rayos solares. Las de tejido abierto como las mallas de yute, coco, sisal o material sintético biodegradable pueden utilizarse directamente sobre la superficie del terreno o para sujetar compost o mulch previamente aplicado; son de carácter temporal, generalmente menos de un año, y facilitan el establecimiento de la vegetación. Las mallas pueden ensamblarse en dos capas externas, rellenándolas internamente con fibra de coco, paja u otros materiales que conformen una cobertura más densa, denominándose mantos antierosivos.

Estos mantos actúan protegiendo en forma inmediata los taludes y superficies expuestas donde se hace difícil el establecimiento de la vegetación. Ayudan a conservar la humedad y las enmiendas aplicadas favorecen la germinación de la semilla y el establecimiento de pastos. Aseguran una protección temporal mientras se establece una vegetación definitiva, generalmente de mayor durabilidad, 1-3 años que en el caso de las mallas. Deben aplicarse manteniendo un estrecho contacto con la superficie del suelo y deben solapar de tal forma que el agua de escorrentía no corra por debajo del manto y cumpla su función de evitar la erosión. Deben ser anclados firmemente para evitar que el viento los remueva mediante grapas que encajan en el suelo. En la parte superior del talud se abre una zanja alrededor de 30 cm de profundidad para enterrar bien el borde del manto y evitar que penetre la escorrentía en la parte superior. Los mantos antierosivos pueden ser utilizados en taludes de pendiente hasta 1:1 y también en la protección de drenajes y cunetas.

Cuando las descargas o flujos de diseño exceden la capacidad de la vegetación para mantenerse estables, se requieren esteras para el

reforzamiento de la vegetación. Éstas son de material no biodegradable para actuar de forma permanente y su diseño lo conforma una matriz tridimensional suficientemente gruesa, fuerte y porosa para retener suelo y permitir el crecimiento de vegetación dentro de la matriz. Una clasificación de los principales productos para control de erosión tipo malla, similar a la descrita anteriormente, fue obtenida de Lancaster y Austin (2003). Existe en el país una fábrica de mantos antierosivos con fibra de coco denominada tropimantos. En la figura V.52 se ilustra un esquema para la instalación de mantos antierosivos en taludes.

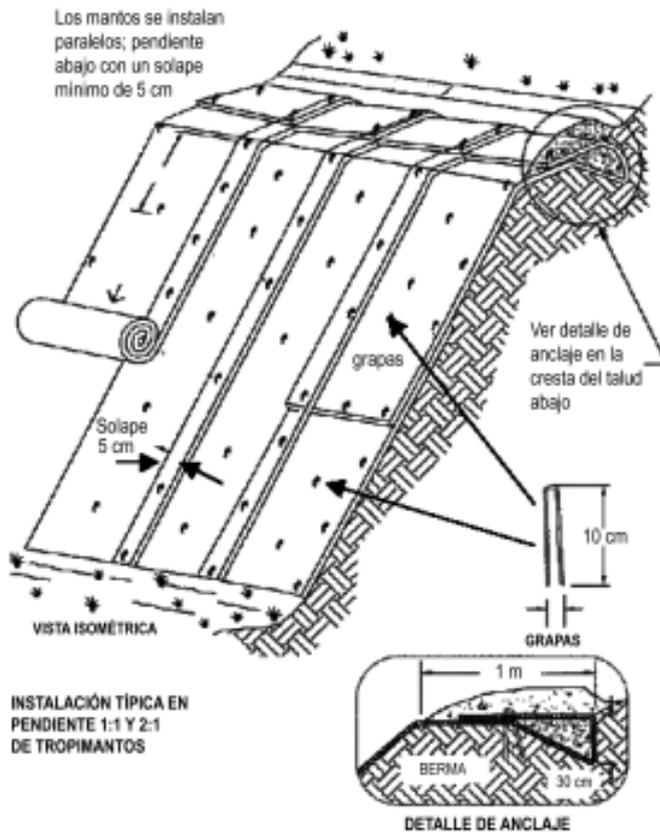


Figura V.52. Esquema para la instalación de mantos antierosivos en taludes. Sin escala (Productos Tropi, 2005).

Hidrosiembra

Tecnología mediante la cual se aplica al suelo una mezcla tipo lodo con un equipo especializado o hidrosembradora, que comprende semillas, mulch orgánico (fibras orgánicas), fibras sintéticas, fertilizantes, polímeros biodegradables estabilizantes y que usa como medio de transporte el agua, creando un microambiente favorable para el establecimiento de pasturas que conformarán una vegetación permanente que proteja la superficie del suelo de los agentes erosivos. La fibra orgánica se utiliza en dosis de hasta 1.000 kg/ha. En zonas de pendiente se puede recubrir con mallas o mantos antierosivos para asegurar una mayor protección (Tecnoambiente, 2007a).

Hidromulch o hidromanto

Esta tecnología consiste en asperjar con una hidrosembradora una mezcla tipo lodo similar a la hidrosiembra pero muy densa, que comprende semillas, mulch orgánico (fibras orgánicas), fibras sintéticas, fertilizantes, polímeros biodegradables estabilizantes, polímeros hidratantes (hidrogel) y que usa como medio de transporte el agua, con la finalidad de establecer un microambiente que favorece el establecimiento de pasturas, lo que finalmente disminuye los procesos erosivos del suelo. Esta mezcla al curarse (secarse) en el suelo evita el lavado de sus componentes, garantizando el establecimiento de pasturas. La diferencia con la hidrosiembra es que con el hidromanto se forma una película tipo manto donde quedan protegidas las semillas y el fertilizante. La cantidad de fibras y semilla usadas son mucho mayores que con la hidrosiembra (aproximadamente, 4 veces). El hidromanto puede ser utilizado en taludes con pendientes de 2:1 e incluso en algunos 1:1, pero de corta longitud (max. 6 m). La aplicación de hidromantos en taludes pero reforzados con una malla de polietileno que actúa como si fuera el “hierro de refuerzo” en un vaciado de concreto, permite utilizar este método en taludes 1:1 que estén bien conformados en longitudes de hasta 15 m. La fibra orgánica se utiliza en dosis de hasta 4.000 kg/ha, haciendo más denso el compuesto del lodo (Tecnoambiente, 2007b).

Enrocado

Consiste en una capa de piedras de tamaño grande entre 5 y 50 cm y se recomienda una mezcla distribuida entre varios tamaños. El espesor debe ser unas dos veces el tamaño de las piedras de mayor diámetro. Se usa en los drenajes y descargas de alcantarillas y canales. También, se usa para estabilizar taludes de relación de inclinación no mayor a 2:1. Si el flujo de agua es de gran velocidad o las pendientes muy fuertes, se deben reforzar con malla que fije las rocas entre sí y en el sitio (USEPA-NPDES, 2007f).

Bioingeniería con vetiver

El vetiver, ya mencionado como práctica agronómica de importancia por ser una barrera viva de alta eficiencia para la protección de tierras agrícolas es, también, una planta de suma utilidad como alternativa para la estabilización de taludes y protección de infraestructura debido a sus características morfológicas y fisiológicas y otras ventajas que la hacen idónea como barrera viva, aspecto discutido por Rodríguez y Yépez (2006).

En la bioingeniería, el vetiver ha resultado una alternativa a las obras civiles convencionales para la protección de taludes en carreteras, lagunas, terraplenes y canales, tanto por su alta eficiencia como por sus costos reducidos en comparación con las prácticas ingenieriles. En muchos casos se utiliza en forma complementaria a otras tecnologías, protegiendo prácticas estructurales como canales, muros y alcantarillas, disminuyendo los requerimientos de su mantenimiento, y aumentando su vida útil a un costo menor comparado con otras tecnologías (Rodríguez y Yépez, 2006).

Hengchaovanich (1998) reporta que la tensión media a las raíces de vetiver es de 75 Mpa, equivalente a un sexto del acero blando y ofrece un mayor incremento de la resistencia a las fuerzas de corte que está entre 6-10 Kpa por kg de raíz por m³ de suelo en comparación con valores entre 3,2 a 3,7 Kpa por m³ de suelo para raíces de árboles, lo que se traduce en un aumento del factor de

seguridad del talud. Tanto es así que las raíces verticales y fibrosas del vetiver hacen el efecto de pilotes de anclaje vivientes. El efecto de las raíces ocurre en los horizontes superficiales y decrece con la profundidad, por lo que planos de falla muy profundos sólo serían influenciados por la vegetación en forma indirecta, por ejemplo, disminución de la presión en los poros debido a la transpiración de las plantas, que disminuiría el volumen de agua que alcance estratos profundos, pero no habría un efecto mecánico directo en la protección del talud o ladera, siendo necesarias otras medidas complementarias como drenajes, muros de contención, entre otros.

Cuando el vetiver es utilizado para la estabilización de taludes, las barreras a conformarse deben espaciarse a una distancia mucho más corta, utilizando un intervalo vertical IV de 0,5-1 m (figura V.53). El talud debe haber sido previamente conformado y compactado para evitar fisuras y socavaciones. Es necesario el riego si las barreras van a ser establecidas en época seca y requieren de un mantenimiento mínimo como la poda y el control de malezas para asegurar un buen desarrollo de las barreras.

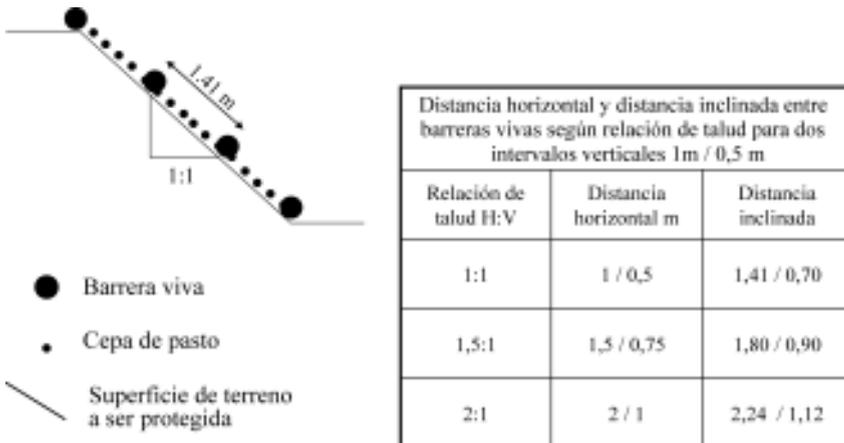


Figura V.53. Espaciamiento entre barreras vivas para estabilización en taludes de corte o relleno. La ilustración ejemplifica un intervalo vertical de 1 m y relación de talud 1:1.

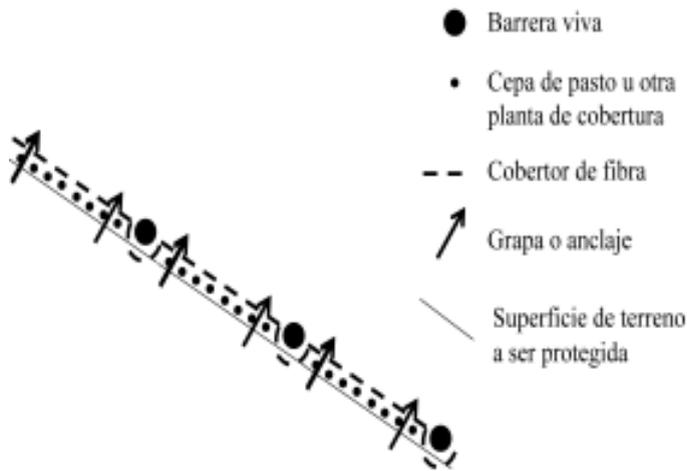


Figura V.54. Sección lateral y detalle de barreras vivas y cobertor de fibra.

En algunos casos en los que el material a ser estabilizado sea muy susceptible a la erosión y las condiciones de establecimiento de la barrera son difíciles, es preferible utilizar plantas previamente enraizadas en bolsas de polietileno u otros medios para asegurar un establecimiento más rápido en vez de hijos o esquejes a raíz desnuda. De acuerdo con las condiciones locales y recursos disponibles, las barreras de vetiver pueden combinarse con mantos antierosivos para asegurar una protección inmediata del talud y favorecer el establecimiento de las barreras. En la figura V.54 se ilustra este caso particular. El espacio entre plantas sobre la hilera debe ser mínimo para asegurar el desarrollo de una barrera funcional en el menor tiempo posible. Si el espacio entre barreras es suficientemente amplio, como es el caso de taludes con relación 2:1 o de menor pendiente, será conveniente el establecimiento de una especie de pasto tipo césped u otra planta de cobertura para proteger la superficie del suelo, papel que cumple el manto antierosivo de manera temporal mientras se establece la planta de cobertura.

VI. PLANIFICACIÓN CONSERVACIONISTA DEL USO DE LA TIERRA

VI.1 ASPECTOS GENERALES

La planificación es una herramienta de singular utilidad en muchas actividades humanas. Algunos autores la justifican como una necesidad inherente del hombre, quien desea escapar de sus límites biológicos para que su futuro esté decidido no sólo por las fuerzas naturales, sino también por las decisiones individuales y colectivas.

Cuando se desea cambiar una situación actual indeseable o se prevé una situación futura de carácter negativo, la planificación puede ser una estrategia, de manera de lograr los cambios necesarios para ajustar o prevenir una condición no satisfactoria, y transformarla en otra más positiva y gratificante.

Aunque no existe una definición precisa sobre el término planificación, ésta no es más que un medio para tomar decisiones acerca de acciones futuras.

En los años sesenta se definía como una metodología que sirve para seleccionar entre alternativas, que se caracteriza porque permite verificar la prioridad, factibilidad y compatibilidad de los objetivos y elegir los medios más apropiados para alcanzarlos (Ahumada, 1966). Sin embargo, en la década de los noventa el concepto evoluciona, considerando la planificación como un método para la toma de decisiones en torno a la transformación de una situación

actual en otra futura más deseable, distribuyendo recursos escasos entre objetivos múltiples, tal que se minimicen los costos y se maximicen los beneficios, alcanzando equilibrios dinámicos entre los actores involucrados (Castellano, 1991).

En general, la tendencia es la de considerar en forma participativa a los actores involucrados con un enfoque de abajo hacia arriba, y disminuir el peso de las decisiones centralizadas y controladas por “expertos” desde arriba hacia abajo.

Las fases del proceso de planificación, en general, se esquematizan en la figura VI.1, identificándose los instrumentos de que se sirve en cada una de éstas. Este esquema es de carácter general y se aplica con ajustes a casi cualquier actividad desarrollada por la sociedad o los individuos.



Figura VI.1. Esquema general de planificación (Bordenave y Carvalho, 1978).

Por otra parte, entre las características del proceso de planificación en general resaltan:

- Su carácter continuo
- La consideración de diferentes alternativas o cursos de acción

- Su orientación hacia el futuro aun cuando se mire al pasado para asimilar su influencia
- Su orientación hacia la consecución de objetivos y metas definidas
- Su enfoque con énfasis en lo racional
- El reconocimiento de la interacción de todos los factores. La interdependencia de las consideraciones sociales, físicas, naturales, económicas y políticas. Esta característica es asimilable con el concepto holístico del desarrollo sustentable.

La planificación del uso de la tierra intenta mitigar los conflictos de uso de la tierra mediante la búsqueda de los mejores usos entre recursos escasos, tales como disponibilidad limitada de tierras, de capital, de trabajo y de experticia administrativa, a través del diagnóstico de los problemas de uso de la tierra, generando opciones viables y monitoreando la implementación de alternativas probadas (Dent, 1988).

La planificación conservacionista del uso de la tierra incluye en forma particular los objetivos de la conservación, además de los objetivos económicos y sociales, como son el mantenimiento de la capacidad productiva del recurso suelo y de sus otras funciones, en especial sus diferentes roles en el ecosistema, de la calidad de las aguas y demás recursos asociados, de manera de conducir al máximo bienestar social y de una mejor calidad de vida para los usuarios, siendo éste el fin último de la planificación del uso de la tierra, la cual debe considerarse un instrumento y no un fin en sí misma.

Como se ha planteado, la planificación no debe ser vista como una solución definitiva. La fijación de metas y objetivos se alimenta muchas veces de criterios parciales y de intereses no siempre deseables. La sabiduría del hombre está conformada no sólo por la razón, sino también por la intuición, los sentimientos, y para muchos la fe en diferentes formas. Todo ello como respuesta al variable grado de incertidumbre que es inherente a los sistemas sujetos a

planificar. Es decir, que una planificación de los “expertos” o de los “controladores” no va a responder a la realidad humana, sino en la medida en que exista una participación efectiva del usuario del plan en su realización. Para que éste no sea manipulado y alienado, debe estar suficientemente informado e instruido de manera de participar efectivamente en el proceso de toma de decisiones.

De este modo, la planificación conservacionista del uso de la tierra es un proceso que debe mejorarse constantemente, a fin de obtener una producción que satisfaga la demanda de una población creciente en número y en aspiraciones de un mayor bienestar social. Para lograrlo, hay que conocer las variables naturales y socio-económicas que rigen el comportamiento de las diversas unidades de tierra y las medidas alternativas para orientar ese comportamiento hacia un uso y manejo más eficiente y estable de los recursos.

El fundamento primario es usar cada unidad de tierra según su aptitud para un determinado uso y manejarla en función de sus limitaciones. Las figuras VI.2a y VI.2b presentan una condición actual o potencial indeseable del uso de la tierra y una alternativa orientada hacia el manejo sustentable del recurso tierra.

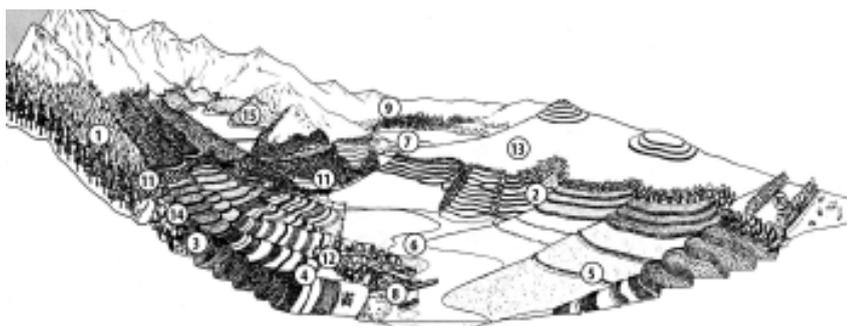
La planificación del uso de la tierra es definida por FAO (1993b) como la valuación sistemática del potencial de la tierra y del agua, de las alternativas para el uso de la tierra y las condiciones sociales y económicas, de modo de seleccionar y adoptar las mejores opciones de uso. Su propósito es el de seleccionar y poner en práctica aquellos usos que mejor satisfarán las necesidades de la población y al mismo tiempo salvaguardan los recursos para el futuro. La fuerza conducente en la planificación es la necesidad de cambio, la necesidad de un manejo mejorado o la necesidad de diferentes modelos de uso de la tierra dictados por las circunstancias cambiantes.

Este concepto ha evolucionado y la FAO-UNEP (2000) define la planificación del uso de la tierra —o de los recursos de la tierra— como un proceso sistemático y reiterado llevado a cabo, de modo de crear un ambiente que favorezca el desarrollo sostenible de los



1 Terreno deforestado. 2 Terreno escarpado con cultivos en sentido de la pendiente. 3 Vastas zonas dedicadas al monocultivo. 4 Camino bloqueado por un desprendimiento de tierras. 5 En aguas poco profundas la pesca es menor. 6 Disminución de vida útil de obras de infraestructura. 7 Erosión en cárcavas. 8 Reducción de navegabilidad de los ríos por colmatación. 9 Marginalidad en las ciudades. 10 Puente destruido por las inundaciones. 11 Cultivos en campos sin protección. 12 Tierras de pastoreo mal aprovechadas afectadas por la erosión eólica. 13 Destrucción de poblados y vidas humanas por aludes e inundaciones.

Figura VI.2a. Situación actual o potencial indeseable del uso de la tierra como consecuencia de la ocupación inadecuada y la degradación de tierras (Ilustración: FAO, 1984).



1 Terreno reforestado. 2 Control de cárcavas mediante diques y revegetación. 3 Bancales y terrazas en laderas. 4-13 Cultivos en curvas de nivel y en franjas en rotación. 5 Canales de desviación para interceptar la escorrentía superficial. 6 Control de inundaciones al disminuir la erosión. 7 Nuevo embalse para suministrar energía y regular los regímenes hídricos. 8 Mejora de la navegabilidad de los ríos y aumenta la pesca. 9-12 Mejoran los servicios urbanos y rurales. 10 Las cortinas contravientos disminuyen la erosión eólica y mejoran los pastos 11 Las carreteras no se interrumpen. 14 Cultivos frutícolas en terrazas. 15 Los bosques y otras coberturas densas previenen la sedimentación de embalses.

Figura VI.2b. Situación alternativa del uso de la tierra orientada hacia el desarrollo sustentable y la conservación de los recursos (Ilustración: FAO, 1984).

recursos de la tierra y que satisfaga las necesidades de la población y sus demandas. El proceso evalúa los potenciales y las limitaciones físicas, socioeconómicas, institucionales y legales con respecto a un uso óptimo y sostenible de los recursos de la tierra y autoriza a la población para tomar decisiones sobre cómo distribuir esos recursos.

La planificación conservacionista del uso de la tierra tiene como fundamentos o principios los siguientes (adaptados de FAO, 1985a; 1993b):

- Es un proceso continuo que se nutre constantemente de las expectativas socioeconómicas y de los avances y resultados de la investigación científica y técnica, asimilando las experiencias acumuladas en el proceso.
- Está enmarcada dentro de sistemas de planificación más amplios (desarrollo regional y nacional).
- El enfoque debe ser multidisciplinario.
- Persigue la utilización de los suelos, el agua y otros recursos asociados en forma sostenida.
- Se debe realizar sobre la base de una evaluación integral de la tierra.
- Cada unidad de tierra tiene una aptitud para cada clase de uso y un requerimiento de manejo según el uso.
- Se persigue conciliar las expectativas económicas y sociales con los recursos disponibles.
- Las necesidades de cambio en el uso de la tierra o acciones para prevenir cambios indeseados, deben ser aceptadas por la gente involucrada mediante mecanismos de consenso que acentúen la credibilidad y estabilidad de las decisiones.
- Debe existir la voluntad política y la capacidad para poner en práctica el plan en acción.

- La resolución de conflictos con el fin de optimizar el uso de la tierra, evitando cambios irreversibles, estableciendo un balance entre intereses individuales y colectivos, y a la vez, mantener opciones abiertas para las futuras generaciones.

Algunos de los objetivos que debe perseguir un proceso de planificación del uso de la tierra se listan a continuación, sin menoscabo de otros que puedan incluirse en situaciones generales o particulares, según los actores involucrados y las circunstancias pertinentes:

- Mantener las funciones productivas o no del recurso tierra en forma sostenida en el tiempo
- Conciliar las expectativas económicas y sociales con los recursos disponibles
- Minimizar el gasto energético y el deterioro del ambiente
- Minimizar los cambios de uso irreversibles y optimizar el uso de la tierra
- Maximizar el bienestar económico y social, el cual es entendido o percibido de manera diferente en diferentes culturas y sociedades
- Contribuir eficazmente al desarrollo sostenible mediante mecanismos de toma de decisiones democráticos, con equidad, incorporando las necesidades y derechos de las generaciones presentes y futuras

La planificación del uso de la tierra puede ser realizada a diferentes niveles. Cuando se trabaja a niveles bajos, las limitaciones impuestas por niveles superiores deben ser aceptadas como reglas fijas. Similarmente, cuando se trabaja para un sector específico, la influencia de las interacciones con los otros sectores puede limitar las opciones disponibles. Por ello, la necesidad de articular niveles y sectores en un enfoque de planificación más integral, en el cual se coordinen todos los aspectos del desarrollo sostenible, lo cual se hace imperativo en diversas circunstancias.

Los niveles se pueden jerarquizar a nivel nacional, estatal, municipal y local y, a su vez, pueden ser de naturaleza integral, multisectorial o sectorial. Hurni (1997) señala la necesidad de un nuevo enfoque multinivel para el manejo sustentable de las tierras, con la finalidad de encontrar soluciones factibles, aceptables, viables y con base ecológica a nivel local. Las decisiones deben ser negociadas ponderando las diferentes dimensiones de la sostenibilidad (económica, social, política, ecológica) mediante un enfoque participativo de los diferentes grupos de interés o grupos dependientes sin discriminaciones ni favoritismos. Pone, como ejemplo, que las tecnologías o conocimientos indígenas deben ser compatibilizados con la información científica, de manera de contar con una mejor base para la toma de decisiones en un proceso de negociación. Los grupos de interés incluyen a los agricultores, comunidad científica, consumidores, agencias e instituciones nacionales e internacionales de gobierno y no gubernamentales. Enfatiza la importancia de la geoinformación aplicada, que puede servir como una herramienta para facilitar la negociación.

La planificación conservacionista del uso de la tierra se sirve de diversas herramientas específicas, tales como el inventario rural rápido, diagnósticos participativos, inventario de tierras, análisis de los sistemas agrícolas, evaluación de los impactos ambientales, rondas de negociación, juicios de expertos y técnicas básicas de inventario de recursos, todas ellas usadas en diferentes combinaciones, dependiendo de la formación y experiencia del equipo de planificación y del enfoque de planificación adoptado.

Muchas de estas operaciones, como la evaluación de tierras y la asignación de usos específicos, pueden ser realizadas mediante el apoyo de sistemas computarizados (Ive y Cook, 1983; Ive et al., 1985). Rodríguez (1998) señala que se pueden integrar paquetes y programas de computación disponibles en el mercado como sistemas de información geográfica, software para la evaluación de tierras y para el ensamblaje de escenarios, bases de datos y modelos de simulación, a los fines de facilitar el desarrollo de las diversas

etapas de la planificación del uso de la tierra. Esto no significa que el rol de los diferentes actores en el proceso de planificación sea eliminado, sino, al contrario, permite mejorar la eficiencia en el uso del tiempo y de los recursos intelectuales.

La evaluación de tierras, según FAO (1985a), constituye una fase del proceso de planificación, que se basa en el reconocimiento de las necesidades de un cambio e identifica objetivos orientados a la proposición de usos posibles y sus requerimientos. Los puntos 3, 4 y 5 tienen que ver, específicamente, con la evaluación de tierras como una actividad central en el proceso.

- 1) Reconocimiento de las necesidades de un cambio
- 2) La identificación de los objetivos
- 3) Proposición de usos posibles y sus requerimientos
- 4) El reconocimiento y la demarcación de los diferentes tipos de tierra
- 5) La comparación y evaluación de cada tipo de tierra para los diferentes usos pertinentes
- 6) Selección de un uso preferido para cada tipo de tierra
- 7) Análisis detallado y estudio de factibilidad
- 8) Decisión de puesta en práctica
- 9) Puesta en práctica

Dent y Ridgway (1986), citados en FAO (1993b), esquematizan el proceso de planificación en diez pasos, en los cuales los pasos 4, 5 y 6 coinciden con la evaluación de tierras como actividad central del proceso de planificación (ver figura VI.3).

El esquema de planificación presentado anteriormente puede ser de gran utilidad en aplicaciones rurales donde no se presenten mayores conflictos entre usos de la tierra, y puede ser complementario en alguno de sus componentes a los esquemas de planificación a ser presentados a continuación. En términos muy generales,

PLANIFICACIÓN CONSERVACIONISTA DEL USO DE LA TIERRA

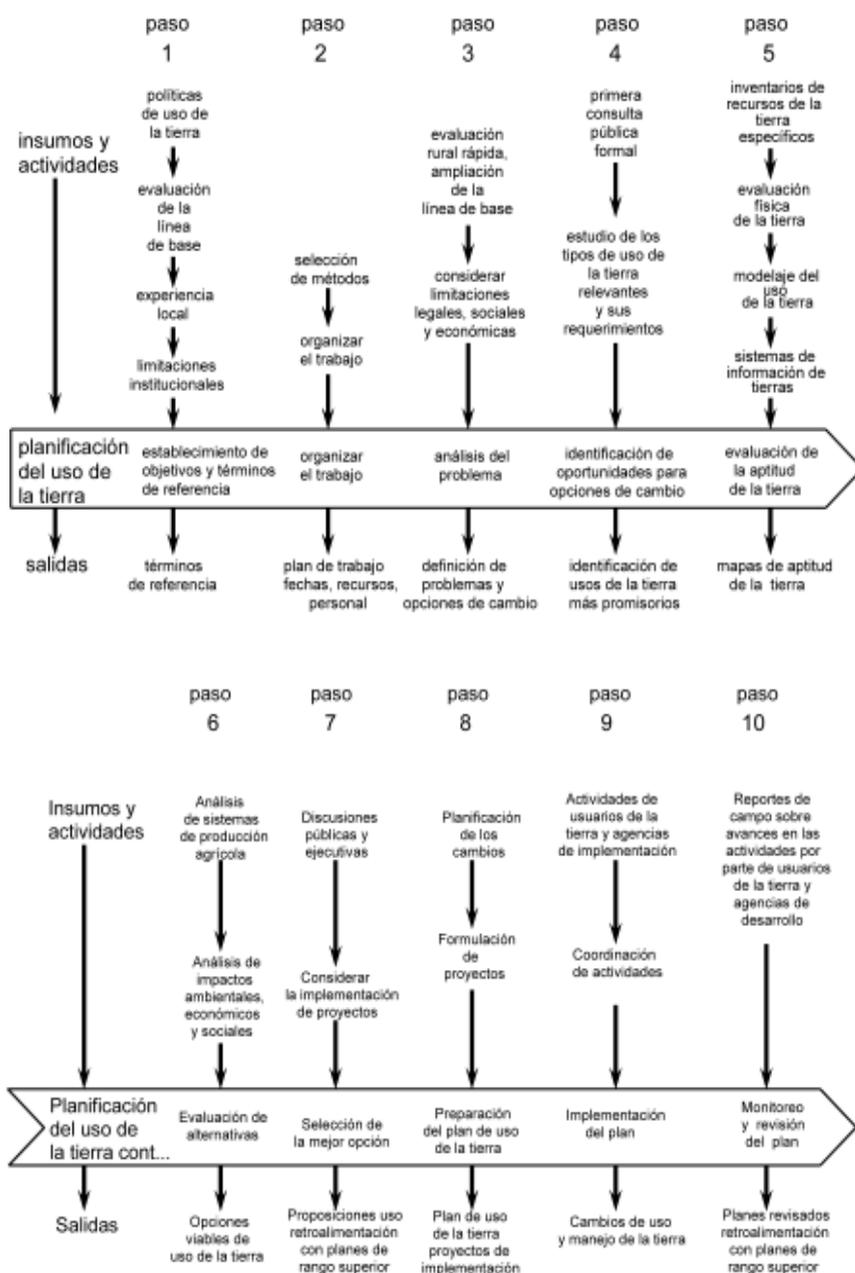


Figura VI-3. Pasos en la planificación del uso de la tierra, actividades y productos (FAO, 1193b).

se van a presentar dos esquemas de planificación cuyos niveles de aplicación son distintos: el primero de ellos abocado a la asignación de usos principales de la tierra y de carácter estratégico con alcance subregional y regional, trabajando a escalas 1:25.000 o menores, y que incorpora la resolución de conflictos de tipo: a) *funcional*, es decir, aquellos que se presentan cuando varios usos de la tierra que realizan diferentes funciones, son demandados en una misma porción de terreno con aptitudes altas para una variedad de usos, b) *de intensidad*, cuando el uso de la tierra la sobreexplota sin tomar en cuenta sus limitaciones o la subutiliza sin considerar sus potencialidades, c) *generacional*, cuando alguno de los conflictos mencionados compromete las necesidades de las generaciones futuras. El segundo esquema, también llamado guía técnica, de carácter más bien táctico con alcance local, que se aplica a un nivel de mayor detalle (lote de cultivo, finca o sistema de producción) a escalas 1:10.000 o mayores y en el cual se describen las tecnologías y sus especificaciones para la conservación de los suelos, las aguas y los recursos asociados. En este último se pueden resolver conflictos de intensidad mediante las tecnologías y métodos propios de la conservación de suelos y agua, pero no es el ámbito más apropiado debido a la escala de trabajo para resolver conflictos de tipo funcional.

VI.2 EL ESQUEMA DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA

VI.2.1 FUNDAMENTOS CONCEPTUALES

En la figura VI.4 se presenta el esquema de planificación con enfoque hacia la resolución de conflictos a través de la formulación de políticas de uso de la tierra y la toma de decisiones, tomando en cuenta la opinión de los actores involucrados (Rodríguez, 1998; Rodríguez y Zinck, 1999).

El primer compartimiento se corresponde con el *inventario*. El inventario de tierras captura varias fuentes de datos correspondientes a uso y cobertura de la tierra, unidades geopedológicas y el contexto institucional. El tiempo y el espacio son las principales causas de

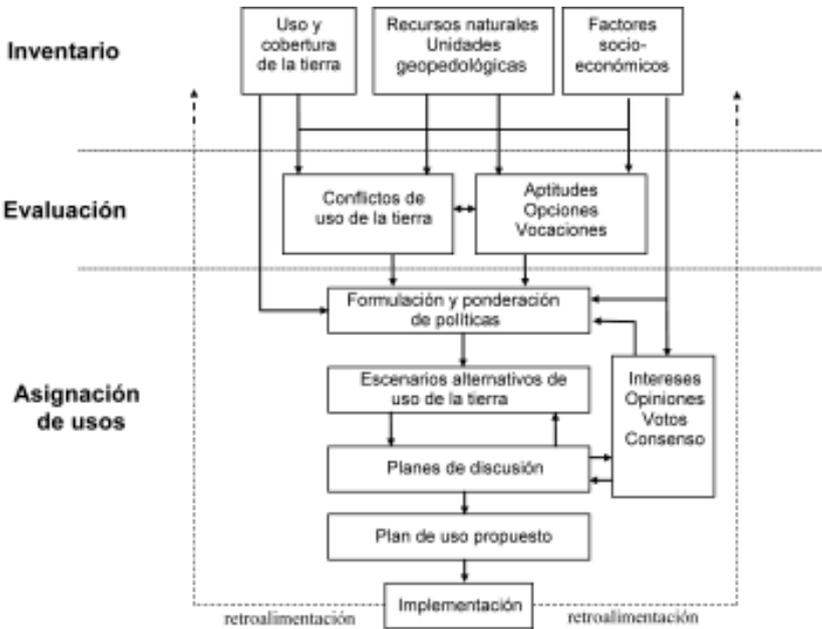


Figura VI.4. Modelo conceptual simplificado para la planificación del uso de la tierra (Rodríguez y Zinck, 1998).

variabilidad en cada conjunto de datos. Aunque muy variables en el espacio, las unidades geopedológicas representan los datos más estables a través del tiempo, por lo que otros rasgos culturales y naturales son georreferenciados, asignándolos a éstas. Estas unidades son utilizadas como las principales unidades espaciales para la evaluación y asignación de usos de la tierra. Como la mayoría de los datos son de carácter geográfico y georreferenciados, un sistema de información geográfica es una herramienta fundamental para almacenar y manipular datos espaciales y otros atributos. Los sistemas taxonómicos ofrecen excelentes esquemas para organizar y estructurar los datos. Un ejemplo de éstos es el sistema de clasificación de paisajes de Zinck (1988), que se resume en el cuadro VI.1. A estas unidades de paisaje se asocia la información de clima, suelos, topografía, hidrología, geología y geomorfología.

Cuadro VI.1. Sinopsis del sistema de clasificación de geoformas (Zinck, 1988)

| NIVEL | CATEGORÍA | CONCEPTO | DEFINICIÓN |
|-------|------------|------------------------|---|
| 6 | Orden | Geoestructura | Porciones continentales amplias caracterizadas por una estructura geológica dominante (ej.: cordillera, geosinclinal, escudo) |
| 5 | Suborden | Ambiente morfogenético | Ambiente biofísico amplio originado y controlado por un tipo de geodinámica interna y/o externa (ej.: estructural, deposicional, erosional) |
| 4 | Grupo | Paisaje | Porción grande de la tierra caracterizada por una repetición de tipos de relieve similares (ej.: valle, altiplanicie, montaña, etcétera) |
| 3 | Subgrupo | Relieve/ modelado | El relieve determinado por una combinación dada de topografía y estructura geológica (ej.: cuesta, etcétera). El modelado determinado por condiciones morfoclimáticas específicas o procesos morfogenéticos (ej.: glacis, terraza, delta, etcétera) |
| 2 | Familia | Litología /facies | Naturaleza petrográfica de las rocas duras (ej.: gneiss, caliza, etcétera) o el origen y naturaleza de formaciones de cobertura de roca blanda y/o sedimento (ej.: periglacial, lacustrino, aluvial, etcétera) |
| 1 | Subfamilia | Forma del terreno | Tipo conspicuo básico de geoforma, caracterizado por una combinación única de geometría, dinámica e historia |

Parte de la información biofísica pero de carácter más variable, no sólo en el espacio sino en el tiempo, es el uso y cobertura de la tierra. Di Gregorio y Jansen (1998), citados en FAO-UNEP (2000),

conceptualizan *el uso de la tierra*, el cual se caracteriza por los arreglos, las actividades y los insumos de la población para producir, cambiar o mantener un cierto tipo de cobertura de la tierra. El uso de la tierra, definido de esta manera, establece un vínculo directo entre la cobertura de la tierra y las acciones de la población en su ambiente. *La cobertura de la tierra* es la que se observa (bio)físicamente sobre la superficie terrestre.

Los factores socioeconómicos son capturados mediante elementos del marco institucional, como las políticas de uso de la tierra establecidas, el estatus legal y administrativo de las tierras, en el que se incluyen variables como la tenencia, el tamaño, restricciones ambientales, el nivel de tecnología, variables sociales y culturales asociadas con el uso de la tierra, las condiciones económicas y financieras como precios, mercados, acceso a créditos, impuestos e incentivos. Es importante considerar acá los actores involucrados de manera indirecta, como las agencias e instituciones gubernamentales y no gubernamentales, las universidades y centros de investigación y desarrollo tecnológico y a los beneficiarios a distancia de los productos y servicios asociados con las unidades de tierra objeto de la planificación, ya que éstos también deben participar, al igual que los usuarios directos, en las rondas de negociación y resolución de conflictos a llevarse a cabo durante el proceso de planificación.

El segundo compartimiento del esquema se refiere a la *evaluación* de tierras y de los conflictos de uso de la tierra. La evaluación de tierras, como ya se ha mencionado, es un elemento fundamental dentro del proceso de planificación, ya que nos permite determinar la aptitud de las tierras para usos específicos, discriminar opciones física y económicamente viables, y conjuntamente con el análisis de los conflictos, definir las vocaciones de uso de la tierra para las diferentes unidades de planificación. La vocación del uso de la tierra incorpora la dimensión social y cultural al discriminar entre las opciones socialmente aceptables en un determinado contexto socioambiental.

El fundamento general de la conservación de suelos es usar cada unidad de tierra según sus potencialidades y manejarla según sus limitaciones. Generalmente, los usos más exigentes en requerimientos y que potencialmente ofrecen mayores riesgos ambientales, ocupan las tierras de mejor calidad y menores riesgos de degradación. Por el contrario, los usos menos exigentes o que ofrecen menores riesgos son los que se ubican en tierras de menor calidad o marginales. Para determinar esa potencialidad y esas limitaciones de las unidades se requiere un procedimiento para evaluarlas de manera sistemática.

Un método sencillo y ampliamente conocido para la evaluación es el de la clasificación por capacidad de uso de las tierras de Klingebiel y Montgomery (1961), citado por Buckman y Brady (1977). La tierra se clasifica según el uso sostenido más conveniente en ocho clases de aptitud y cuatro subclases, dependiendo del tipo de limitación, ya sea por riesgos de erosión, drenaje, suelos o clima. En la figura VI.5 se muestra un diagrama general del sistema.

El sistema de clasificación por capacidad de uso fue adaptado por Comerma y Arias (1971) para el establecimiento de las potencialidades y limitaciones con fines agropecuarios en Venezuela. El mismo se basa en la interpretación de los efectos combinados del clima y de las características permanentes del suelo en cuanto a las limitaciones en su uso, capacidad de producción, riesgos de dañar el suelo y requerimientos de manejo.

Entre las modificaciones establecidas figuran la semicuantificación de las variables a considerar, eliminando la subjetividad, y la realización de las interpretaciones de las cualidades de la tierra para zonas climáticas homogéneas, para lo cual utilizan las zonas de vida o bioclimáticas. La calificación para cada factor (pendiente, microrelieve, erosión, textura, pedregosidad, profundidad, salinidad, fertilidad, permeabilidad, drenaje interno, drenaje externo e inundaciones) se establece con base en un cuadro en el que se determina

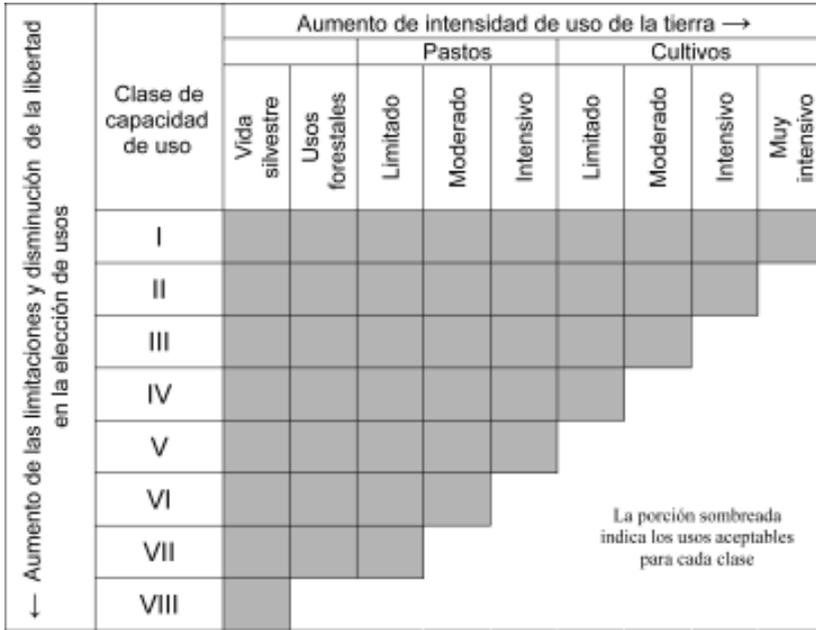


Figura VI.5. Intensidad de uso de la tierra que puede aplicarse a una unidad de tierra con seguridad, según la capacidad de uso. Nótese el incremento de las limitaciones al moverse de la clase I a la VIII (Buckman y Brady, 1977).

el grado para cada una, que varía entre 1 y 6. Con estos valores se entra en unos cuadros, según la zona bioclimática, y se determina la clase y subclase de capacidad. El factor más limitante determina la subclase de capacidad. Estos cuadros han sido modificados para las condiciones de los llanos centrales y occidentales de Venezuela por el MARN (1979).

El esquema FAO de evaluación de tierras

En vista de que los sistemas de capacidad de uso no son suficientemente detallados al aplicarlos para usos específicos y teniendo en cuenta la necesidad de sistemas de evaluación más amplios y flexibles, surge el sistema FAO (1976) para la evaluación de tierras,

permitiendo su aplicación en usos agrícolas, forestales, ingenieriles, recreativos y de conservación de la naturaleza, previas adaptaciones y modificaciones pertinentes. Éste se basa en la definición o interpretación de la aptitud de las unidades de tierra para usos o propósitos específicos.

El esquema se fundamenta en seis principios fundamentales:

- 1 La aptitud es evaluada y clasificada con respecto a tipos de usos específicos
- 2 La evaluación requiere de una comparación de los productos obtenidos y de los insumos requeridos en diferentes tipos de tierras
- 3 Se requiere un enfoque interdisciplinario
- 4 La evaluación es realizada en términos relevantes al contexto físico, económico y social del área a ser evaluada
- 5 La aptitud se refiere a un uso sostenido
- 6 La evaluación implica la comparación de más de un tipo de uso

Tipos de utilización de la tierra (TUT)

Los tipos de utilización de la tierra deben ser claramente definidos de acuerdo con el primer principio. Esto puede hacerse a dos niveles: una subdivisión mayor de los usos rurales de la tierra (cultivos, pastos, bosques) y, a un mayor nivel de detalle, los tipos de utilización de la tierra TUT, los cuales son definidos en relación con un conjunto de especificaciones técnicas en un contexto físico, económico y social. Una vez descrito es importante definir sus requerimientos con criterios tanto ecológicos como de manejo y conservación.

Los TUT pueden definirse de acuerdo con un conjunto de atributos, a saber:

- Productos incluidos los artículos, servicios y otros beneficios
- Orientación del mercado

- Intensidad del capital
- Intensidad de la mano de obra
- Fuentes de energía
- Insumos materiales
- Prácticas de cultivo
- Conocimientos, técnicas y actitudes de los usuarios de la tierra
- Tecnología empleada
- Infraestructura requerida
- Tamaño y disposición de las unidades de explotación
- Tenencia de la tierra
- Niveles de ingreso expresados por unidad de superficie, por empresa y por jornal

Unidades de tierra (UT)

Las unidades de tierra son utilizadas como base para la evaluación de tierras y son descritas en términos de características y cualidades (el concepto de tierra aparece en III.1). Éstas deben reflejar homogeneidad en su respuesta, al comportarse similarmente ante usos y manejos específicos, a la escala de trabajo considerada. Una cualidad de la tierra es un atributo complejo que actúa de manera distinta en su influencia sobre la aptitud de la tierra para un tipo específico de uso. Una característica es un atributo de la tierra que puede ser medido o estimado, que es usado para distinguir entre unidades de tierra con distintas aptitudes y es empleado como un medio para describir las cualidades.

Aptitudes de las unidades de tierra

Los requerimientos de los usos de la tierra son comparados con las cualidades de las unidades de tierra para determinar el nivel de

aptitud de cualidades individuales de la tierra. Las aptitudes pueden evaluarse calificando los niveles de aptitud o los grados de limitación. Éstos se expresan, generalmente, en términos de cuatro o cinco clases, ya sean de aptitudes o limitaciones.

| Usando cualidades de la tierra | Usando limitaciones de la tierra |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| S1 = Sumamente apto | 0/1 = Ninguna o ligeras limitaciones |
| S2 = Moderadamente apto | 2 = Limitaciones moderadas |
| S3 = Marginalmente apto | 3 = Limitaciones severas |
| N1 = No apto actualmente | 4 = Limitaciones muy severas |
| N2 = No apto permanentemente | |

Las cualidades individuales se combinan para obtener una aptitud general para un tipo de utilización de la tierra específico en una unidad de tierra particular, usando técnicas simples o mixtas, tales como condiciones limitantes, combinaciones subjetivas, procedimientos aritméticos y el modelaje.

Las cualidades de la tierra se seleccionan con base en un conjunto de criterios que permiten optimizar el proceso de evaluación de tierras y utilizar aquellas cualidades más relevantes. En el cuadro VI.2 se resumen los criterios de selección de las cualidades. Las cualidades se pueden agrupar de acuerdo con su relación con los requerimientos ecológicos del cultivo, los requerimientos de manejo y los requerimientos de conservación.

ALES (Sistema automatizado para la evaluación de tierras), es un programa de computadora que permite a los evaluadores desarrollar sistemas expertos para evaluar la tierra según el esquema FAO. Fue diseñado para ser usado a escalas regionales hasta niveles de proyectos agrícolas de desarrollo. Los modelos de evaluación,

Cuadro VI.2. Evaluación de la importancia de las cualidades de la tierra (FAO, 1985a)

| Efectos sobre el TUT | Ocurrencia de valores críticos | Información | Importancia |
|----------------------|--------------------------------|--------------|-------------------|
| Mucho | Frecuente | Obtenible | 1 Muy importante |
| Moderado | Frecuente | Obtenible | 2 Mod. importante |
| Mucho | Infrecuente | Obtenible | 2 Mod. importante |
| Moderado | Infrecuente | Obtenible | 2 o 3B* |
| Escaso o nulo | Cualquiera | Cualquiera | 3a |
| Cualquiera | Raro o nunca | Cualquiera | 3b |
| Cualquiera | Cualquiera | No obtenible | 3c |

* A discreción del evaluador.

tales como los árboles de decisión, pueden ser planteados en diferentes formas para satisfacer necesidades locales. No hay una lista prefijada de requerimientos de los usos de la tierra mediante la cual se evalúan los tipos de utilización de la tierra, y tampoco están prefijadas las características desde las cuales las cualidades de la tierra son inferidas. Estas informaciones o criterios son determinados por el evaluador para ajustarse a las condiciones objetivas locales de la evaluación. Los requerimientos de los usos de la tierra se agrupan de acuerdo a si éstos determinan factores que afectan los rendimientos y controlan las limitaciones máximas, factores que controlan las limitaciones máximas sin afectar los rendimientos y los factores que afectan los costos. Está basado en tecnología de sistemas expertos (Rossiter y Van Wambeke, 1993).

Evaluación de los conflictos de uso de la tierra

Actividades de distinta naturaleza como el urbanismo, la agricultura, la recreación y la conservación de la naturaleza en competencia por escasos recursos de tierras aptas para su localización,

generan conflictos de uso de la tierra (CUT), cuyas principales consecuencias son la pérdida de hábitats naturales, tierras agrícolas y espacios abiertos, así como un incremento en los costos energéticos y de servicios y una mayor vulnerabilidad a eventos catastróficos en áreas urbanas. Estos efectos negativos deben ser contrarrestados aplicando regulaciones efectivas de uso y mediante apropiadas políticas de desarrollo.

Un conflicto de tierras es un fenómeno natural y se refiere a los intereses legítimos pero opuestos a las actividades y al impacto sobre el ambiente que resultan de las diferentes metas y objetivos de los grupos e individuos que participan o que son afectados por el uso y la explotación de la tierra (FAO-UNEP, 2000). Este concepto abarca no sólo los conflictos relacionados con el uso, sino también los relacionados con la tenencia, la cultura, la distribución de los recursos, la economía, la política y la sociedad.

La imposibilidad de asignar dos o más usos simultáneos a una unidad de tierra se traduce en la emergencia de un conflicto de asignación de uso de la tierra. Dos grandes categorías de CUT pueden mencionarse: aquellas asociadas a conversiones o cambios de uso y aquellas relacionadas con la vecindad o adyacencia de usos incompatibles (Bryant et al., 1982). CUT se manifiestan particularmente en las zonas periurbanas porque es allí donde coinciden un mayor número de tipos de usuarios y actividades de diversa naturaleza compitiendo por el recurso tierra, pero pueden presentarse en el ámbito rural entre grandes usos como la ganadería, las plantaciones forestales, las áreas naturales protegidas y el turismo.

A los fines de análisis podemos distinguir tres tipos de CUT (Rodríguez, 1998):

CUT de intensidad. Estos conflictos son analizados mediante la comparación del uso actual con las aptitudes de la tierra para usos específicos y pueden ser evaluados en términos del grado de sobreutilización o subutilización del recurso tierra. Este enfoque está basado principalmente en el valor de la tierra como recurso.

Similarmente, este enfoque puede aplicarse para establecer comparaciones entre usos legales e ilegales, compatibles e incompatibles, usos actuales y usos propuestos, etcétera.

CUT funcionales. Se refiere a las conversiones actuales o potenciales de usos de la tierra y a la irreversibilidad del proceso. La magnitud del conflicto se valora en términos de la calidad del recurso tierra sujeto a cambios de uso. Entre las funciones del recurso tierra están las de protección, producción, recreación y localización. Cuando no es posible armonizar dichas funciones ocurren CUT funcionales.

CUT generacionales. En este caso pueden plantearse CUT de intensidad o CUT funcionales, pero éstos son analizados por el efecto causado a las generaciones futuras en términos de la reducción de la satisfacción de sus necesidades, incluyendo la limitación de opciones de usos de las tierras sometidas a cambios de uso irreversibles en el presente. La magnitud del conflicto se valora en términos de la flexibilidad sobre la base de la disponibilidad del recurso para fines específicos.

Los principales indicadores de situaciones de conflictos actuales y potenciales que nos pueden servir de apoyo en la identificación y evaluación de éstos se presentan a continuación (Rodríguez, 1998):

a) Aptitud de la tierra. La escasez de tierras con niveles de aptitud similares para distintos usos conduce a la competencia por el espacio para la asignación de usos específicos. Usos presentes que no se corresponden con la aptitud de la porción de tierra que ocupan representan también una relación uso-recurso de carácter conflictivo.

b) Uso actual de la tierra y tasas de conversión de uso. El uso presente puede representar el desenlace de pasados conflictos y sus negativas consecuencias. La pérdida de tierras agrícolas en tierras recientemente urbanizadas y las incompatibilidades entre usos adyacentes son ejemplos de esas negativas consecuencias.

c) El mercado de tierras. El volumen y distribución espacial de las transacciones y el valor de mercado de las tierras son indicadores predictivos de futuros cambios de uso de la tierra, de su inminencia y magnitud.

d) Mercado de trabajo. La disponibilidad de mano de obra afecta la viabilidad y sustentabilidad de las actividades agrícolas.

e) Tenencia de la tierra. La proporción de dueños de la tierra no agricultores, como principales actores en el mercado de tierras, es un indicador de rápidos cambios en el uso de la tierra. La ocupación y dedicación a labores agrícolas, las fuentes de ingreso, la permanencia en la parcela o propiedad y las raíces culturales y sociales del propietario de la tierra son también características indicadoras de los procesos de cambio.

f) Barbecho o rastrojo social. Éste es un importante concepto para definir aquellas situaciones en que parcelas agrícolas pasan a ser tierras vacantes con cobertura de barbecho por razones distintas a las de carácter agronómico, debido a la proximidad de centros urbanos. Mientras más anticipado se presente este fenómeno, más agudo es el conflicto.

g) Cambios en los sistemas agrícolas. La fragmentación de parcelas agrícolas, la intensificación de usos de la tierra, ingresos no agrícolas, diversificación del uso de la tierra, desinversión, discordias y reclamos entre vecinos, todos estos aspectos pueden ser analizados en términos de conflictos entre agricultura y otros sectores y actividades económicas.

h) Demanda de agua. En la medida en que diferentes usos poseen diferentes tasas de consumo de agua y el suministro de este recurso es restringido o limitado, la competencia por agua entre actividades con alta demanda y prioridad de consumo será mayor.

i) Políticas de uso de la tierra. La formulación de políticas de uso de la tierra y su implementación a través de leyes, reglamentos y

ordenanzas reflejan la percepción del Gobierno acerca de los conflictos de uso de la tierra y de su voluntad para resolverlos.

Durante el proceso de análisis de los conflictos de uso de la tierra debemos distinguir la naturaleza de los mismos, los posibles indicadores que los reflejen y contar preferiblemente con el apoyo de herramientas computarizadas que faciliten el análisis espacial y temporal de los mismos. A continuación se sugieren algunos procedimientos:

Conflictos de intensidad. Estos conflictos son analizados comparando los usos actuales de la tierra con las aptitudes para usos específicos. La magnitud del conflicto puede medirse en función del grado de desajuste o incompatibilidad entre el uso actual y la aptitud de uso. La sobreposición de los mapas de uso actual de la tierra y de aptitud puede realizarse dentro del sistema SIG.

Los conflictos funcionales. La competencia entre usos de la tierra a lo largo del tiempo puede ser detectada comparando mapas de uso de la tierra multitemporales. La magnitud de los conflictos se mide en función de la calidad de los recursos extraídos o separados del uso de la tierra precedente. Los conflictos funcionales potenciales surgen en áreas aptas para un uso específico, pero actualmente asignadas u ocupadas por otro uso.

Los conflictos generacionales. En la medida en que los conflictos de intensidad actuales representen serias amenazas en disminuir la capacidad de las unidades de tierra de cumplir sus funciones básicas de manera definitiva, y que los conflictos funcionales representen una disminución de las opciones para satisfacer las necesidades y derechos de las generaciones futuras, los conflictos generacionales representarán una seria limitante a la sostenibilidad en el largo plazo. La proporción del área en conflicto en relación con el área total disponible para un uso de la tierra específico, es una medida de la flexibilidad con respecto a un uso particular de la tierra. Si la flexibilidad para dos usos de la tierra en competencia es

baja, entonces el área se considera crítica dentro del área de planificación y debe ser sometida a análisis especiales, ya que el área en conflicto es la única alternativa para ubicar ambos usos.

La evaluación de tierras y la de los conflictos de uso de la tierra representan el insumo necesario para iniciar las actividades correspondientes al tercer compartimiento del esquema de planificación referente a la *asignación de usos de la tierra*. La técnica de ensamblaje de escenarios puede ser de gran soporte en esta etapa. En primer lugar, se definen unas políticas o principios de uso de la tierra para el área a ser planificada. Estas políticas son las guías o reglas básicas para determinar la asignación de un uso de la tierra particular, en una unidad de planificación particular. Al obtener una calificación del grado de satisfacción agregado de las políticas de uso de la tierra para cada uso específico en cada unidad de tierra, se comparan los valores para seleccionar el uso preferido entre un conjunto de usos de la tierra considerados. Éstas deben formularse teniendo en cuenta las limitantes y potencialidades naturales, y los conflictos actuales y potenciales de uso de la tierra.

Las políticas formuladas son de tres tipos: políticas de compromiso, de exclusión y de preferencia/rechazo. Las políticas de compromiso o exclusión se derivan de reglas o regulaciones de uso de la tierra existentes y que usualmente no pueden ser cambiadas dentro de las condiciones de la planificación. Zonas bajo usos de la tierra irreversibles, como zonas urbanas desarrolladas o áreas inundadas permanentemente, tampoco pueden ser cambiadas de uso dentro del proceso de planificación. Son las políticas de preferencia/rechazo las que están sujetas a ser ponderadas por los grupos de interés que representan a los distintos actores o usuarios. Esto se logra mediante un mecanismo de votación y los perfiles de votos de cada grupo representan un posible escenario. Un escenario representa una de las formas en que puede desarrollarse una determinada situación, en nuestro caso, la posible evolución de una situación de conflicto entre diferentes usos de la tierra.

Los escenarios se obtienen al variar los perfiles de las ponderaciones de las políticas consideradas para la asignación de una determinada opción de uso de la tierra. Se contrastan alternativas extremas, desde la más usual correspondiente a escenarios pesimistas de las tendencias actuales, hasta la más optimista, que se corresponde con la imagen-objetivo de un escenario idealista y éstas con la opción realista basada en el contexto económico y social actual y las intervenciones viables de actores públicos y privados. Se deben establecer para cada escenario, asunciones sobre controles sobre el uso de la tierra, incentivos y desestímulos, con el fin de simular un ambiente posible dentro del cual deben ser tomadas las decisiones sobre asignación de usos de la tierra.

Para el ensamblaje de los escenarios existe un programa de computación, el sistema de información para la planificación del uso de la tierra LUPIS, anteriormente LUPLAN, diseñado para implementar el SIRO-PLAN, que comprende los procedimientos adoptados para la planificación del uso de la tierra en Australia (Ive et al., 1989).

El corazón de LUPIS es un paquete para la manipulación de matrices, diseñado para realizar la tediosa y repetitiva tarea de calcular las calificaciones de aptitudes, totalizadas para todas las políticas de uso de la tierra, formuladas para cada uso de la tierra u opción de planificación en cada unidad de tierra. Una corrida de LUPIS, usando un determinado conjunto o perfil de votos que ponderan la importancia de cada política, determina la opción de uso preferida en un área de planificación. Este producto se obtiene ordenando numéricamente en forma descendiente (de más apto a menos apto) sobre la base de las calificaciones de aptitud, obtenidas de la solución competitiva de Thompson (1973; William y Thompson, 1980) que es usada para el cálculo y agregación de aptitudes, según la expresión matemática descrita a continuación:

$$S_{ij} = E_{ij} * \sum R_{ijk} * V_k$$

donde:

| | |
|----------------------------|---|
| $i = 1, 2, \dots, n$: | Unidad de planificación |
| $j = 1, 2, \dots, m$: | Opción de uso factible en una unidad cartográfica |
| $k = 1, 2, \dots, p$: | Política de preferencia/rechazo cuya satisfacción se quiere maximizar |
| E ($E = 0$ o 1): | Política de exclusión que proscribe ciertos usos en determinadas unidades cartográficas. |
| R ($0 \leq R \leq 1$): | Calificación del grado de satisfacción de las políticas, o sea, el grado con el cual un determinado uso en una determinada unidad cartográfica satisface una determinada política; es una medida de eficiencia técnica, calificada por expertos |
| V : | Peso relativo de una política, evaluado por el "voto" conferido a una determinada política por individuos que representan grupos profesionales, grupos sociales, grupos de usuarios, y que expresan una percepción, preferencia o voluntad de uso |
| S : | Satisfacción agregada de las políticas para una opción de uso determinada en una unidad cartográfica determinada |

El algoritmo combina funcionalmente los tres elementos principales del ordenamiento territorial (Zinck, 1996):

- 1) La oferta de recursos (tierras en este caso), representada por la unidad cartográfica y las opciones de uso factibles en ella.
- 2) La demanda de recursos, determinada por profesionales de la planificación, los cuales evalúan el grado de satisfacción de las políticas desde el punto de vista técnico (factor R), y por

los usuarios que expresan su preferencia para ciertas opciones de uso mediante la ponderación de las políticas (factor V).

- 3) Un mecanismo de control que opera a través de políticas de preferencia o exclusión para la selección de usos.

Los objetivos de la planificación son definidos mediante la formulación de políticas que toman en cuenta los requerimientos de sitio y los efectos ambientales de usos de la tierra particulares. Estas políticas deben ser formuladas sin hacer referencia a un tipo particular de uso de la tierra (Mc Donald y Brown, 1984).

Las calificaciones son calculadas mediante reglas o códigos elaborados en Q-BASIC dentro del sistema, o se ingresan directamente a través del teclado, calculándolas fuera del sistema con una hoja de cálculo. Las hojas de cálculo pueden ser usadas para hacer interfaz entre el sistema LUPIS y otros paquetes o aplicaciones de computación.

Los votos son ponderaciones asignadas a cada política de uso de la tierra, para expresar las opiniones de diferentes grupos de interés o la evaluación técnica de un equipo de expertos. Antes de exportar los resultados de la evaluación de tierras de ALES u otro sistema a LUPIS, se debe realizar una indexación de los resultados de los niveles de aptitud para su inclusión en el cuadro de variables o ítems en LUPIS, siguiendo un procedimiento similar al usado por Booth (1986).

Para cada ejercicio de planificación deben plantearse unas condiciones a los fines de obtener los escenarios respectivos. Las condiciones en cada análisis deben incluir las opciones de uso de la tierra, las parcelas o unidades de planificación, los ítems de datos, que incluyen variables extraídas del inventario de recursos y de la evaluación de tierras y que son usados para calificar las unidades de planificación, tomando en cuenta cada opción de uso y cada política y, finalmente, las políticas de uso de la tierra formuladas.

Una vez establecidos los diferentes escenarios, éstos se contrastan, obteniendo por sobreposición de mapas la identificación de las áreas con discrepancias o sin discrepancias entre los grupos de usuarios sobre la asignación de usos de la tierra. En donde coinciden, se ha logrado un consenso. En este caso es frecuente una clara aptitud o limitación de las unidades de tierra. Por el contrario, aquellas áreas con múltiples discrepancias son fuentes de conflictos de opinión en la elaboración del plan. Este mapa representa un plan de discusión en el esquema. Tales unidades deben ser sometidas a un proceso de compatibilización a través de un proceso de negociación, fomentando los acuerdos de compromiso sobre el uso de la tierra.

El proceso de negociación. La esencia de la negociación entre los participantes radica en que todas las personas afectadas estén debidamente representadas en las discusiones. Las negociaciones serán efectivas solamente si todos los interesados aceptan la legitimidad del foro o si el proceso y la estructura institucional –el foro– que lo apoya es legitimizado colectivamente, o por la ley, o por la costumbre (FAO-UNEP, 2000). De no llegar a un acuerdo deben buscarse alternativas como las medidas de resolución de conflictos.

La resolución de conflictos. Es un proceso por el cual dos o más partes mejoran su situación por medio de una acción concurrente –discusiones formales o informales, las cortes–, basadas en un mutuo compromiso (FAO-UNEP, 2000). Las estructuras comunes para la resolución de conflictos son:

- Estructuras tradicionales de negociación
- Facilitadores –posición neutral, reglas generales, respuesta y respeto por la autoridad tradicional
- Cortes tradicionales
- Cortes establecidas

Cuando se identifican fuentes de discrepancia específicas pueden formularse reglas de consenso entre los negociadores para superarlas. Finalmente, luego de varias rondas de discusión para evaluar las alternativas de uso de la tierra competitiva, el proceso

de compatibilización debe producir un plan de asignación de uso viable y de consenso.

Una vez seleccionado el plan definitivo, éste debe estar acompañado de un conjunto de estrategias que hagan viable el plan, tales como un marco legal, incentivos económicos, ajustes en los sistemas de uso de la tierra, mecanismos de participación comunitaria y apoyo institucional.

Una vez implementado el plan, debe hacerse un seguimiento en el tiempo mediante el uso de indicadores de gestión que reflejen el nivel de cumplimiento de objetivos y metas, que de alguna manera deben estar en correspondencia con índices que en forma integrada sirvan para evaluar si el plan en ejecución se orienta o cumple con los requisitos del desarrollo sostenible. De no ser así, deben realizarse los ajustes y cambios necesarios.

VI.2.2 ESTUDIO DE CASO SOBRE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA

A continuación se presenta un estudio de caso donde se establecen diversos escenarios de uso de la tierra en una zona periurbana al oeste de Caracas (Rodríguez y Zinck, 1998), para ilustrar su utilidad en el proceso de toma de decisiones dentro de un proceso de planificación de uso de la tierra.

Área de estudio

Un sector al oeste de Caracas, que comprende, aproximadamente, 17.000 hectáreas, fue utilizado como área de estudio y su ubicación se presenta en la figura VI.6. La zona periurbana del oeste de Caracas fue seleccionada como caso de estudio porque presenta múltiples y severos conflictos de uso de la tierra generados por actividades que compiten por recursos de tierra escasos. Estas actividades incluyen: agricultura de montaña especializada, orientada hacia el mercado y realizada comúnmente en laderas de pendientes pronunciadas, la preservación del bosque nublado y el bosque siempreverde con una alta biodiversidad y que juega un importante papel como regulador

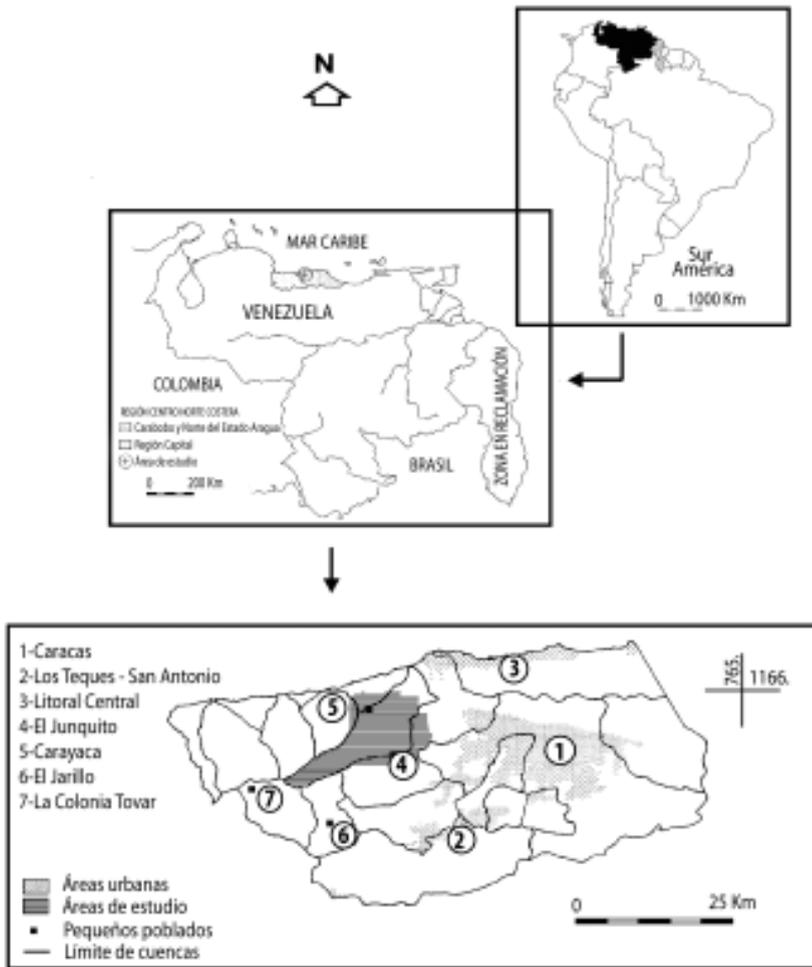


Figura VI.6. Localización del área de estudio (Rodríguez, 1998).

del ciclo hidrológico, la expansión urbana a través de la subdivisión de lotes de tierras y desarrollos no planificados, y la recreación intensiva, mediante la proliferación de clubes campestres y usos residenciales rurales.

El oeste de Caracas presenta diferentes regímenes administrativos del uso de la tierra que incluyen sectores pertenecientes a la zona metropolitana de Caracas, la Zona Protectora de Caracas, el

Parque Nacional Macarao y el Monumento Natural Pico Codazzi, así como asentamientos campesinos y áreas sin regulaciones particulares establecidas. Esta gran variabilidad de usos y regulaciones, así como su importancia ambiental, agrícola y recreacional, le confieren al área de estudio un gran interés, dada la diversidad de conflictos de uso de la tierra.

Materiales y método

Como parte de un proyecto de planificación del uso de la tierra, fue elaborada una base de datos geográfica, que incluyen datos biofísicos y socioeconómicos reportados previamente, así como la generación de aquellos inexistentes pero requeridos (Rodríguez, 1998). Ésta incluyó el uso y cobertura de la tierra en tres fechas seleccionadas (1975, 1983 y 1991). El enfoque de planificación seguido se corresponde con el esquema estratégico previamente discutido y los procedimientos y actividades señalados.

Tres escenarios principales fueron desarrollados, los cuales reflejan las opiniones de los grupos de interés seleccionados, a saber: los agricultores, los conservacionistas y los desarrollistas para cuatro grandes tipos de utilización: agricultura, conservación, urbanismo y uso residencial rural y recreación intensiva. Un conjunto de 23 indicadores con diferentes niveles de agregación fueron usados para calificar las unidades de planificación, considerando cada opción y política de uso. Estos indicadores incluyen desde atributos básicos de las unidades de planificación como su identificación, superficie, pendiente y forma del terreno hasta indicadores de mayor nivel de agregación como zona de vida, aptitud de la tierra para un uso específico, accesibilidad, proximidad, entre otros.

Resultados y discusión

En la figura VI.7 se presentan los tres escenarios obtenidos. Debe notarse que todos asignan una alta proporción al uso conservacionista, ya que por motivos de fuertes limitaciones físicas o regulaciones legales, estas áreas no son aptas o disponibles para

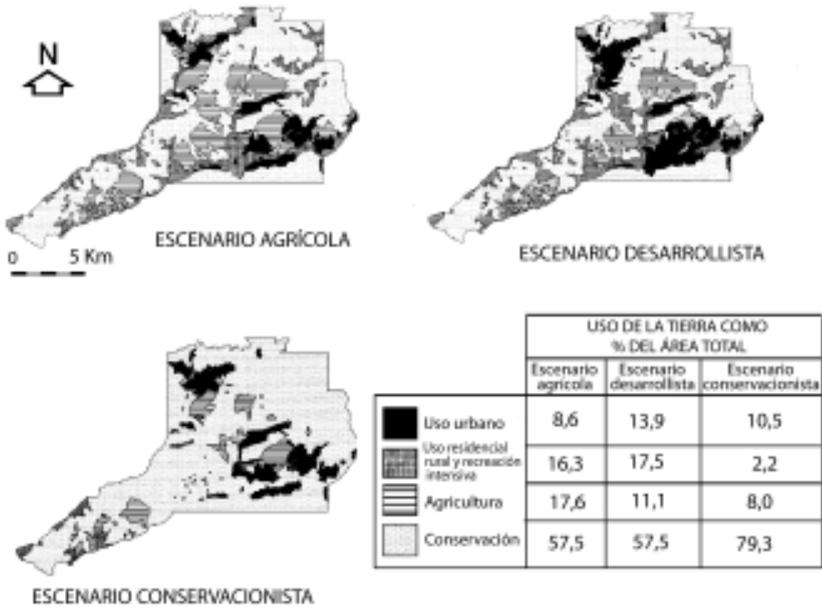


Figura VI.7. Escenarios de uso de la tierra (Rodríguez, 1998).

otros usos. El escenario agrícola maximiza las políticas que promueven la preservación de las áreas con vocación agrícola; el desarrollo urbano es fuertemente limitado, dándole cierta preferencia al desarrollo residencial rural a expensas de espacios naturales, principalmente bosques, no aptos para agricultura, minimizando la pérdida de tierras actualmente bajo uso hortícola. Éste es un escenario optimista desde el punto de vista de los agricultores pero pesimista en relación con los conservacionistas.

En el escenario propuesto por los promotores del desarrollo urbano reduce a 8% el área agrícola en relación con 18% en el escenario agrícola, descendiendo el grado de satisfacción de aquellas políticas relacionadas con dicho escenario pero no las minimiza en forma absoluta. Se le asigna 14% del área de estudio a usos urbanos y 18% al desarrollo residencial rural y recreación intensiva. Este escenario podría generar un caos en términos del congestionamiento

de las rutas de acceso, un decrecimiento en la calidad de los servicios públicos, una insuficiente suplencia de agua potable, altos costos para la disposición de desechos líquidos y sólidos y un incremento de los conflictos entre las actividades agrícolas y la protección de la naturaleza.

En el escenario conservacionista las políticas relacionadas con el mismo son satisfechas en su mayor nivel, comparado con los otros dos escenarios. Se asigna sólo 11% del área al desarrollo urbano denso y apenas 2% al desarrollo residencial rural y la recreación intensiva, ya que este último es la mayor amenaza a los bosques nublados y áreas escénicas. Las áreas agrícolas son reducidas, también, a un área de 8%, pero aquellas con alta potencialidad y actualmente bajo uso son retenidas en el mismo. La conservación de la naturaleza es enfatizada alcanzando a cubrir 79% del área de estudio.

Al cruzar los escenarios propuestos se identifican los conflictos de uso de la tierra por discrepancias entre usuarios. En la zona de estudio resultaron ser muy agudos, siendo que las tierras con condiciones óptimas para horticultura y los bosques nublados son amenazadas por la expansión de áreas urbanas. Simultáneamente, 60% del área en estudio es marginalmente apta o no apta para múltiples propósitos. Los planes de discusión para hacer compatibles las opiniones de los diferentes grupos de usuarios, se centraron en las áreas donde existen discrepancias entre los diferentes grupos de opinión y se correspondieron con 28% del área total (figura VI.8).

Finalmente, se simula la selección de un plan de uso de compromiso (figura VI.9) basado en la identificación de las fuentes de discrepancias y la formulación de reglas de consenso, adicionales a las políticas formuladas originalmente para ensamblar los escenarios. La compatibilización de escenarios para obtener una propuesta unificada mediante rondas de discusión entre grupos de usuarios es un proceso largo y en algunos casos complejo, pero asegura la aceptación del plan de uso en el largo plazo. El plan propuesto promueve el crecimiento organizado de las zonas urbanas y rurales, el cual

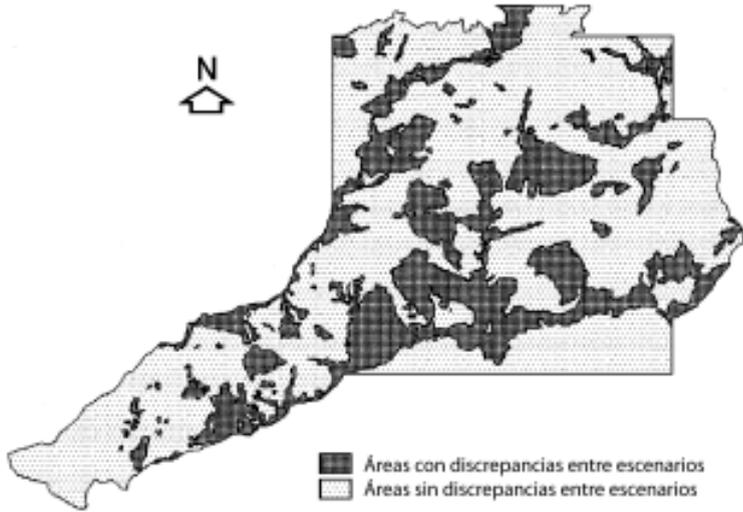


Figura VI.8. Plan de discusión (Rodríguez, 1998).

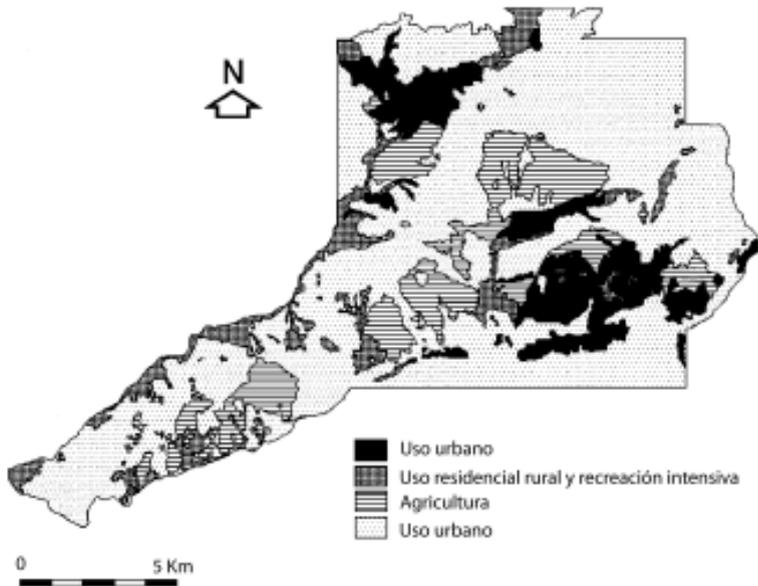


Figura VI.9. Plan de compromiso (propuesta unificada de ordenamiento territorial) (Rodríguez, 1998).

mantiene una proporción de tierras bajo uso agrícola similar a la actual, y a la vez minimiza el impacto sobre áreas donde predominan altos valores ambientales como el bosque y la protección en áreas de captación de aguas superficiales. El desarrollo urbano es canalizado hacia el norte de las poblaciones de El Junquito y Carayaca, donde los planes de uso existentes y la fragmentación de la propiedad restringen la sustentabilidad de las actividades agrícolas. El desarrollo residencial rural es movilizadado hacia aquellas áreas no aptas para horticuultura y con coberturas de sabana de montaña o arbustales.

La implementación de un plan de uso de la tierra seleccionado requerirá de medidas de apoyo que incluyen las ya existentes, así como de estrategias y técnicas complementarias. Entre éstas podemos mencionar:

- 1) El marco legal, el cual incluye los decretos de zonificación y declaratorias de ABRAE así como sus respectivos reglamentos de manejo. El actual reglamento de la ZPAMC es inadecuado a los fines para los que se creó dicha ABRAE y tiende a intensificar los CUT y sus negativas consecuencias.
- 2) Incentivos o desincentivos económicos a través de programas preferenciales de impuestos, subsidios, etcétera.
- 3) Controles sobre los derechos de desarrollo. Cabe mencionarse la compra, transferencia, las regulaciones compensatorias y otros acuerdos legales.
- 4) Programas de apoyo a la agricultura periurbana a través de la diversificación, la especialización, la innovación tecnológica y de comercialización.
- 5) Programas de apoyo a las ABRAE, desde la difusión de información sobre sus límites territoriales, funciones y regulaciones, así como el seguimiento y control sobre los planes de manejo respectivos.
- 6) El planteamiento de fondo sobre el estilo de desarrollo y el ordenamiento territorial a nivel nacional y regional.

Conclusiones sobre el estudio de caso

- 1 La técnica de ensamblaje de escenarios resulta particularmente útil como apoyo en procesos de toma de decisiones con criterios ambientales sobre el uso de la tierra y el ordenamiento del territorio, ya que orienta en la identificación de conflictos de uso en cuanto a su localización, naturaleza y magnitud en forma anticipada, y permite la visualización de planes de uso alternativos, facilitando el análisis del impacto de políticas de uso de la tierra en disminuir conflictos actuales y potenciales y su valoración por parte de los grupos de interés involucrados.
- 2 En relación con el caso de estudio analizado, zona oeste de la periferia de Caracas, se recomienda tomar como referencia la información presentada y propiciar la gestión participativa del uso de la tierra en tan sensible área, dada su importancia ambiental, agrícola y recreacional, de manera de evitar los conflictos socioambientales a futuro y sus negativas consecuencias.

VI.3 EL ESQUEMA DE PLANIFICACIÓN TÁCTICO

En la figura VI.10 se presenta el esquema de planificación de tipo táctico o guía técnica para establecer el uso, que incluyen las especificaciones de las prácticas de manejo y conservación que deben acompañar al cultivo u otros usos, de manera de solventar conflictos de intensidad que conlleven una degradación de los recursos tierra, agua y asociados (biodiversidad, valores escénicos, valores recreativos, valores científicos, etcétera) o un uso ineficiente de los mismos.

Se puede plantear la necesidad de cambios de uso de la tierra, pero éstos comúnmente se van a enmarcar dentro de las directrices de un plan de asignación de usos de la tierra de mayor jerarquía de tipo estratégico. Es decir, los cambios que se planteen buscarán



Figura VI.10. Guía técnica para la conservación de suelos, agua y recursos asociados.

primordialmente la producción sostenida en el tiempo de las unidades de tierra, estableciendo un balance de coberturas entre el uso actual y el uso futuro propuesto, que proteja al suelo de la erosión y otros procesos de degradación y haga más eficiente y productivas a dichas unidades.

Una unidad de tierra que actualmente esté ocupada con cultivos anuales y presente problemas de erosión hídrica severa, puede requerir cambios hacia cultivos permanentes, como frutales o pastos. Sin embargo, la función primordial de producción agrícola se mantiene y los cambios de uso no comprometen las opciones a futuro, por lo que no se plantea la resolución de conflictos funcionales como un objetivo preferencial dentro del esquema de planificación táctico.

En general, el esquema es similar al esquema de planificación estratégica y se sirve en muchos casos de las mismas herramientas, sólo que la escala de trabajo es más detallada y, como ya se dijo, se orienta en mayor medida a la resolución de conflictos de intensidad.

Se entiende por guía técnica un procedimiento sistemático para establecer el uso y manejo de la tierra. Es la base para una agricultura conservacionista, ya que dispone o arregla coordinada y detalladamente la información técnica sobre la conservación del suelo y el uso de la tierra, aplicable a cada área en particular.

Principios de la guía técnica:

- Protección de los recursos
- Productividad económica sostenida
- Aceptabilidad social

Fases:

- Análisis de las condiciones físicas de la tierra
- Interpretación de diferentes TUT en términos de aptitudes de la tierra
- Armonización de los TUT y las UT
 - Recomendaciones específicas de uso y manejo
 - Especificaciones de las prácticas recomendables

Entre las ventajas de la guía técnica están:

- Proveer una oportunidad para coordinar las condiciones e ideas de parte de todos los operadores en el área sujeta a planificación.
- Permitir una correlación lógica de los requerimientos de conservación de las unidades de tierra bajo diferentes tipos de utilización
- Brindar un medio de ejercitarse en la evaluación y programación del uso conservacionista de la tierra.

El primer paso es el del inventario físico de la tierra (IFT). Para ello se requiere de un mapa base para georreferenciar las unidades de mapeo y la información sobre recursos. En un SIG, esto representa tantas capas de información como sean necesarias. Sin embargo, se sugiere, al igual que para el esquema anterior, que las unidades de paisaje sirvan como unidades de mapeo contenedoras del resto de la información debido a su estabilidad en el tiempo y a que éstas

pueden servir como línea base para subdividir la heterogeneidad natural. Se pueden usar técnicas de inventario convencionales como levantamientos topográficos, levantamiento de suelos, estudios geológicos, recolección de información hidrometeorológica, mapeo de la vegetación natural y del uso/cobertura de la tierra, inventario de fauna y otros rasgos de interés en el paisaje. Generalmente, se recurre a los centros de investigación y oficinas públicas relacionadas para obtener la información requerida. Sin embargo, a la recolección de información básica previamente elaborada, debe seguir la fase de recolección y/o complementación de levantamiento de información en campo. Hill (1982) recomienda la utilización de estudios piloto en áreas de muestreo que nos orienten hacia los diferentes requerimientos de información según el nivel del estudio que se realiza. Por el alto costo que muchas veces implica la recolección de información básica, se requiere definir con bastante precisión el nivel de detalle requerido para el proceso de planificación a realizar.

Debido a los altos costos que representan estudios detallados, en el IFT se recurre a técnicas de campo sencillas y prácticas, como la elaboración de un croquis que represente las unidades de tierra mediante un levantamiento con brújula o con GPS y se realizan el mayor número posible de observaciones visuales y mediciones en campo que permitan interpretar en el sitio la variabilidad espacial, los problemas de degradación de tierras y las posibles soluciones a implementar. Estas técnicas pueden complementarse con un mínimo de análisis de laboratorio y de información existente sobre el área de estudio, casi siempre a escalas menores de detalle al requerido para elaborar una guía técnica, pero que sirven de orientación sobre los principales rasgos físico-naturales de la localidad.

Cualquiera sea la disponibilidad de recursos y de información previa, la idea es la de identificar y discriminar unidades de tierra homogéneas que respondan de una manera similar a determinados usos y manejos, haciendo énfasis en atributos de la tierra que afectan la productividad del suelo y sus requerimientos de manejo y conservación.

Cuando se trabaja con grupos de agricultores y comunidades rurales, el IFT participativo representa una ventaja, ya que se discute y trabaja con los usuarios de la tierra y otros grupos interesados desde el inicio de la planificación, incorporando así el conocimiento local y las expectativas de los pobladores del lugar, haciendo más creíble y viable el futuro plan de acción y, a su vez, enriqueciéndolo con la experiencia acumulada por la comunidad.

El IFT debe considerar dos grandes aspectos, la adaptabilidad climática y la adaptabilidad edáfica de los cultivos, debido a que, en esencia, estas dos grandes macrovariables son responsables del potencial agrícola de una determinada localidad. De considerarse otros usos como el agroturismo, la conservación de la naturaleza, infraestructura agropecuaria o de otra índole, deben considerarse e incluirse las variables que definan los indicadores pertinentes.

En cuanto a la adaptabilidad climática, se pueden utilizar clasificaciones climáticas que nos permitan interpretar la duración del período de crecimiento de una manera general como las zonas de vida de Holdridge (1967) o la metodología de las zonas agroecológicas de FAO (1996). A nivel más detallado, se pueden definir períodos de crecimiento que incluyen los riesgos de ocurrencia de períodos secos y la probabilidad de inicio del período de crecimiento y el inicio y culminación del período húmedo mediante la metodología de Franquin (1977), citado y aplicado por Brito y Brito (1984) para diferentes regiones de Venezuela. Debido a los altos niveles de evapotranspiración en el trópico, muchos autores critican las metodologías basadas en períodos mensuales que enmascaran la existencias de períodos secos lo suficientemente prolongados como para afectar el desarrollo y los rendimientos de los cultivos. Virmani et al. (1978) proponen una modificación del índice de humedad disponible (MAI) de Hargreave, basada en información procesada para lapsos cortos de cinco días o una semana, lo cual requiere de registros climáticos diarios. Para la aplicación de la metodología definen distintos tipos de probabilidad para describir la variabilidad en la disponibilidad de agua con base en la relación

$P/ET > 0,33$. La información climática puede ser utilizada, también, para definir la época de preparación de tierras, el número de horas laborables, las operaciones de cosecha, entre otras actividades.

En cuanto a la adaptabilidad edafológica, se requiere recabar durante el IFT la información necesaria para la posterior interpretación con fines agropecuarios u otros usos, lo cual orientará sobre la potencialidad edáfica de cada unidad de tierra para rubros particulares. Cuando este tipo de levantamiento se hace al nivel de finca y con fines prácticos, se requiere una información mínima para establecer la posible ocurrencia de conflictos de intensidad en las unidades de tierra, es decir, la ocurrencia de procesos que afecten la productividad y los recursos en el sitio, o las externalidades que generen impactos ambientales fuera del sitio, afectando la calidad de vida de los pobladores locales o de otras comunidades dependientes de los recursos afectados. Ese conjunto de información debe facilitar la planeación de diversas alternativas u opciones que permitan la transferencia de prácticas y tecnologías conservacionistas para mejorar la productividad y eficiencia y, al mismo tiempo, minimizar o controlar los procesos de degradación. Deben considerarse atributos que afecten la productividad y los requerimientos de manejo y conservación, tales como la profundidad efectiva, el espesor de la capa arable, la capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes, el riesgo de escurrimiento superficial, los riesgos de inundación, los riesgos de erosión, la trabajabilidad y la aireación del suelo. El conjunto de atributos para cada unidad de tierra se identifica con un símbolo que sirve para representarla. Un ejemplo se presenta en la figura VI.11.

| | | | | | | |
|----------------|-----------------------------|------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------|
| (g) Textura | (h) Profundidad efectiva | (p) Pendiente | (r) Pedregosidad | (e) Erosión actual | (v) Vulnerabilidad a la erosión | (u) Uso actual |
| Salas | Fertilidad | Permeabilidad | Drenaje interno | Drenaje externo | Inundación | Microrrelieve |
| (s) | (f) | (c) | (n) | (a) | (i) | (m) |

Figura VI.11. Símbolo de la unidad de inventario físico de la tierra (IFT) (CCSA, 2001 y 2005).

Los atributos a considerar y sus grados varían con las características y el propósito del estudio. En el ejemplo de la figura VI.11 coincide con los atributos utilizados por Comerma y Arias (1971) para definir las clases por capacidad de uso con fines agropecuarios. Además, se añade la vulnerabilidad a la erosión, que es un indicador de los requerimientos de manejo y conservación a los fines de mantener la erosión hídrica en límites tolerables; y el uso actual, que va a definir el grado de ajuste entre las potencialidades de la unidad de tierra y las demandas requeridas por el uso presente.

La evaluación de tierras sigue siendo una actividad central del proceso, ya que ésta nos permite identificar las potencialidades y limitaciones de las unidades de tierra para usos determinados. El contexto socioeconómico es altamente relevante para definir los niveles de manejo posibles, los sistemas de producción socialmente aceptables y económicamente factibles. A su vez, la actividad de evaluación debe centrarse en los usos de la tierra previos, ya que éstos son frecuentemente los usos más pertinentes al contexto socioeconómico y biofísico. La incorporación de nuevos usos alternativos no se descarta, pero debe hacerse énfasis en las mejoras a los ya existentes. Una forma sencilla de realizar la evaluación es aplicando los criterios desarrollados por Comerma y Arias (1971) para definir la capacidad de uso de las tierras con fines agropecuarios. Otra metodología aplicable es el esquema de evaluación de tierras de FAO (1976; 1985a), el cual es más flexible, específico y permite la evaluación de diversos usos, incluyendo aquellos de naturaleza no agrícola como recreación, conservación, otros.

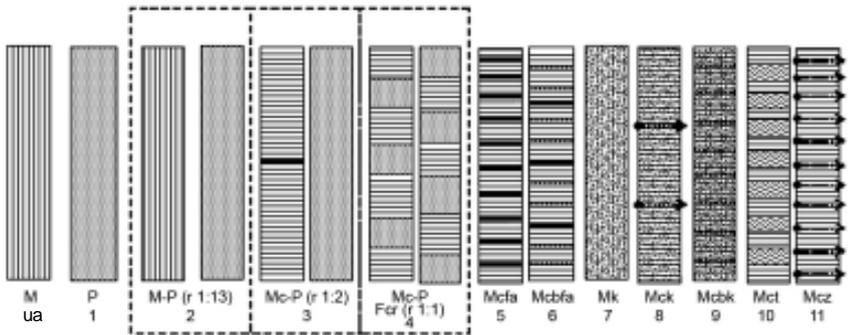
La selección de alternativas va a venir dada por criterios de tipo económico, social y ecológico, La labor del técnico será la de facilitar el desarrollo de un máximo posible de opciones para cada unidad de tierra a los usuarios o a los responsables de la toma de decisiones sobre los usos potenciales futuros. Estas opciones parten del principio, luego de la etapa de evaluación de la tierra, de que son viables y factibles desde el punto de vista físico-ambiental. Éstos deben incluir especificaciones de las prácticas de manejo y

conservación, es decir, de las tecnologías y, en lo posible, una representación gráfica relacionada con sectores representativos de la unidad de tierra, mostrando la distribución y el replanteo de estructuras conservacionistas.

La toma de decisiones con criterios económicos puede facilitarse utilizando las curvas de ingreso neto en el tiempo, las cuales representan el comportamiento económico de las unidades de tierra con la aplicación o no de prácticas de conservación. Las curvas de indiferencia muestran cómo se pueden lograr metas conservacionistas con diferentes niveles de intensidad de las prácticas de conservación y del uso de la tierra y de cumplir con diferentes metas o grados de protección del suelo, basado en diferentes niveles de tolerancia. Un ejemplo esquematizado de diferentes alternativas de uso y manejo para el control de la erosión se presenta en la figura VI.12 y las curvas de indiferencia y de ingreso neto asociadas, en las figuras VI.13 y VI.14. La amplitud del período de planeamiento y las tasas de interés son determinantes en la elección que realice el usuario de la tierra. Cuando estos factores son desfavorables, la opción conservacionista sólo es posible si se reciben estímulos, subsidios u otros beneficios compensatorios.

Otro criterio económico de importancia es la escala de producción. Los pequeños parceleros no están en capacidad de introducir rotaciones en el largo plazo, que no sólo disminuyen sus ingresos al reducir la superficie de cultivos de ciclo corto que generan ingresos más inmediatos, sino las posibilidades de producir alimentos que son consumidos de manera directa por éstos. Entre las metodologías para determinar la viabilidad económica y financiera se cuenta con los análisis costo-beneficio, los cuales pueden ser más efectivos cuando internalizan el valor de los recursos en términos monetarios, la tasa interna de retorno y el valor presente neto.

Los criterios económicos no son los únicos ni son necesariamente los más importantes para tomar decisiones acerca de la opción más idónea a ser adoptada por el usuario de la tierra. Ello va a



LEYENDA

- ua. Maíz (M)
- 1. Pasto (P)
- 2. Rotación maíz-pasto (M-P) r (1:13)
- 3. Rotación maíz en contorno y pasto en rotación (Mc-P) r (1:2)
- 4. Franjas en contorno en rotación de maíz en contorno con pasto (Mc-P) fcr (1:1)
- 5. Maíz en contorno con franjas amortiguadoras (Mc) fa
- 6. Maíz en contorno con barreras vegetativas y franjas amortiguadoras (Mcb) fa
- 7. Maíz con labranza mínima (Mk)
- 8. Maíz en contorno con labranza mínima y zanjas de desviación (Mck)z
- 9. Maíz en contorno con barreras vegetativas y labranza mínima (Mcbk)
- 10. Maíz en contorno con terrazas de drenaje de base ancha (Mc) t
- 11. Maíz en contorno con zanjas de desviación (Mc)z.

- Maíz en sentido de la pendiente (M)
- Maíz en contorno (Mc)
- Pasto (P)
- Franja amortiguadora (fa)
- Terraza de drenaje de base ancha (t)
- Residuos en superficie (k)
- Barrera viva (b)
- Zanja de desviación (z)

Figura VI.12. Uso actual (ua) y alternativas de uso conservacionista (1-11), (Páez, 1992).

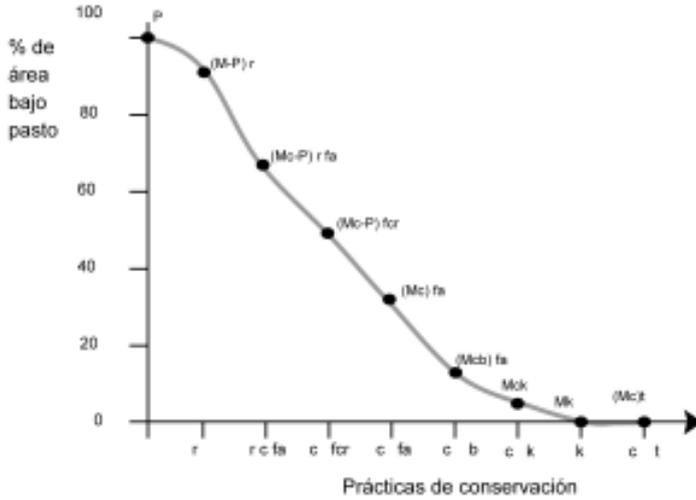


Figura VI.13. Curva de indiferencia para un nivel de tolerancia y diferentes combinaciones de intensidad de las prácticas de conservación y de intensidad de uso de la tierra (% de área bajo pasto). Opciones de uso asociadas con la figura VI.12 (Páez, 1992).

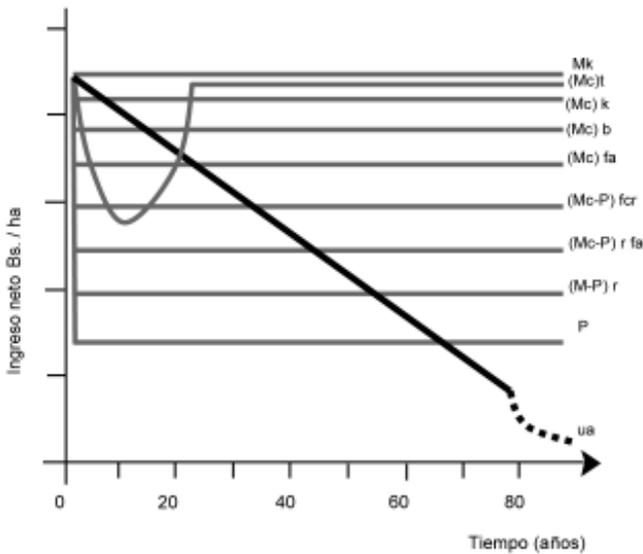


Figura VI.14. Curvas de ingreso neto en el tiempo asociadas a las opciones de uso de la figura VI.12 (Páez, 1992).

dependen en gran medida de la aceptabilidad social. La cultura influye grandemente en las tradiciones de uso de la tierra a nivel local. En ese caso, sólo la acción concertada con los grupos de usuarios puede hacer exitoso un cambio en las prácticas de manejo, la adopción de una o más tecnologías y los cambios de uso si fuesen necesarios. La tenencia de la tierra puede ser otro factor que introduzca incertidumbre acerca de decisiones de más largo plazo.

La participación activa de todos los interesados y de sus representantes en la formulación de los objetivos de uso de la tierra, y un diálogo continuo por medio de los procedimientos de evaluación de los recursos de la tierra, deberían asegurar que los usos de la tierra propuestos son socialmente aceptables para esos grupos. En este momento crítico del proceso de planificación, se deben mantener consultas intensas con esos grupos para discutir en detalle las implicaciones de los posibles cambios en el uso de la tierra, en cuanto pueden cambiar factores importantes como el derecho de acceso o imponer responsabilidades para el manejo y la conservación. Se debe poner cuidado especialmente en incluir los grupos que no son usuarios de la tierra en la zona en cuestión, pero que pueden ser afectados por los cambios propuestos (FAO-UNEP, 2000). Las rondas de negociación aplicadas para conflictos funcionales pueden ser igualmente aplicadas en la resolución de conflictos de intensidad.

El impacto de cualquier cambio en el uso y manejo de la tierra debe ser valorado en función de diferentes factores sociales como acceso a los recursos de la tierra, incluyendo la biodiversidad, salud, nutrición, educación, trabajo. El acceso al recurso agua es un factor particularmente sensible.

El impacto ambiental. El manejo sostenible de la tierra es, por definición, dependiente del mantenimiento del potencial productivo natural de los recursos. Además de proteger los recursos de los que depende un sistema de producción específico, la operación del sistema de producción puede tener efectos sobre otros atributos del ambiente, tanto en el sitio de producción como en otro lugar

(FAO-UNEP, 2000). Los impactos sobre los recursos en y fuera de la unidad de planificación como la contaminación de las aguas, la reducción o el incremento en el flujo de éstas, el aumento en los riesgos de inundaciones y deslaves, la disminución de hábitats y corredores biológicos, la eliminación de la vegetación natural, la pérdida de valores escénicos, entre otras, hacen necesario la ponderación de diversos objetivos ambientales, conjuntamente con los económicos y sociales, para realizar análisis multicriterio que permitan compatibilizar objetivos múltiples y seleccionar alternativas sustentables en cada unidad de tierra objeto de planificación.

**VII. DESARROLLO SOSTENIBLE.
POLÍTICA AMBIENTAL Y SUS ESTRATEGIAS.
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA,
EXTENSIÓN Y PROGRAMAS DE
DESARROLLO CONSERVACIONISTAS**

VII.1 DESARROLLO SOSTENIBLE

El desarrollo sostenible puede tener diferentes acepciones, debido al amplio número de factores y procesos que lo afectan. Desde la publicación del informe Brundtland en 1987 (Nuestro futuro compartido-Informe de la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo). citado por Douglas (1994), la frase desarrollo sostenible se ha incorporado en el vocabulario no sólo de las ciencias naturales, sino también de las ciencias sociales. Aun cuando los técnicos en conservación de suelos y los planificadores del uso de la tierra no usasen el término hasta ahora, en la práctica han tenido como objetivo la sostenibilidad biofísica en sus actividades y programas de desarrollo. En el mencionado informe se define desarrollo sustentable como aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para cubrir sus propias necesidades. Se reconocen principios particulares como:

- La sostenibilidad ecológica. El desarrollo es realizado de tal manera que es compatible con el mantenimiento o con las

mejoras de procesos ecológicos esenciales, de la diversidad biológica y de la base de recursos naturales.

- La sostenibilidad social y cultural. El desarrollo es realizado de tal manera que se incrementa el control de la gente sobre sus vidas, es compatible con la cultura y los valores de las personas afectadas por éste, y mantiene o fortalece la identidad de las comunidades.
- La sostenibilidad económica. El desarrollo es realizado de tal manera que es económicamente eficiente (los beneficios están acordes con los costos) y se asegura que los recursos son utilizados de tal manera que mantendrán su potencial para soportar las futuras generaciones.

El informe indica, citado por Gabaldón (2006), que el desarrollo sustentable no es un estado de armonía permanente, sino un proceso de cambio a través del cual la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del proceso tecnológico y la modificación de las instituciones concuerdan con las necesidades tanto presentes como futuras.

A juicio de Gabaldón (2006), las barreras que se anteponen al desarrollo sustentable en América Latina son: 1) los niveles de pobreza que prevalecen en la región, 2) el aprovechamiento insustentable de los recursos naturales a pesar de una dotación favorable de éstos, 3) el entorno institucional con debilidades en el ejercicio de la democracia y de los derechos ciudadanos, 4) el crecimiento demográfico, particularmente en América Central y el Caribe, con altas densidades de población, y las altas tasas de crecimiento hacia el futuro en el conjunto de la región, y 5) la falta de consenso social sobre el significado de un desarrollo sustentable, en algunos casos término desconocido o ignorado.

FAO (1992) define el desarrollo sostenible como la ordenación y conservación de la base de recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional, de tal manera que se asegure la

continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. Este desarrollo viable (en los sectores agrícola, forestal y pesquero) conserva la tierra, el agua y los recursos genéticos vegetales y animales, no degrada el medio ambiente y es técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable. Este concepto se focaliza más específicamente en la agricultura y los recursos naturales.

En el capítulo VI sobre planificación se hizo énfasis en los criterios de sostenibilidad para la elección entre opciones de uso de la tierra y las tecnologías de manejo y conservación asociadas. Estos criterios para la selección de opciones se resumen en la figura VII.1.

Cuando se trata de incorporar una tecnología de conservación de suelos y aguas es esencial considerar todas las dimensiones de la

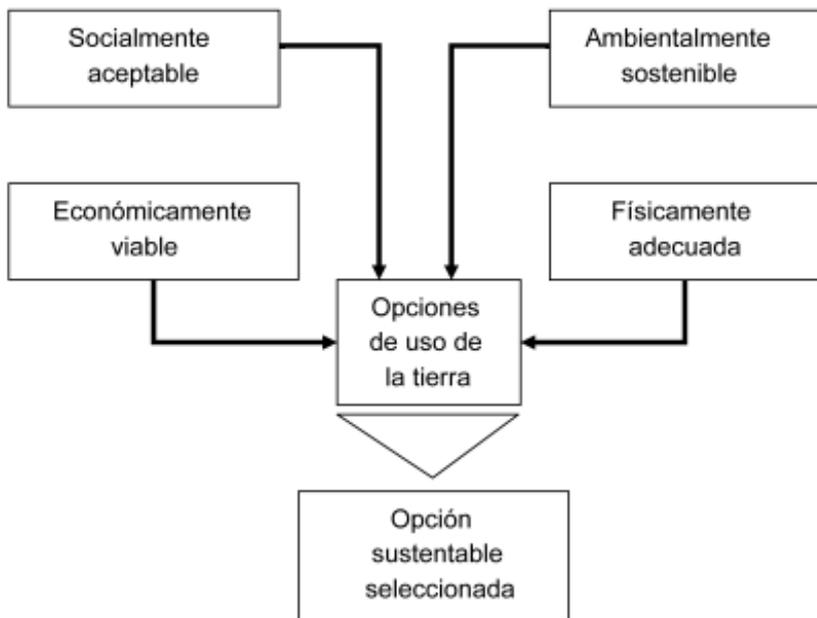


Figura VII.1. Estimación de los factores de sostenibilidad de las opciones de uso de la tierra (FAO-UNEP, 2000).

sostenibilidad. No basta con las recomendaciones técnicas de carácter biofísico que puedan contrarrestar procesos de degradación de la tierra; es necesario incorporar la dimensión económica, la dimensión ambiental más allá de la unidad de producción o lote de terreno, y la dimensión social.

Es por ello que la conservación de suelos y agua es considerada una premisa del desarrollo sustentable, ya que el uso sustentable de las tierras debe cumplir con los requisitos ecológicos y biofísicos para una producción sostenida en el tiempo, y las medidas y estrategias que se apliquen, conjuntamente con las tecnologías conservacionistas, deben acoplarse en el contexto social y económico donde se empleen.

Las raíces profundas de las causas que explican el porqué se está utilizando de manera inapropiada la tierra o se están utilizando prácticas ineficientes para mejorar la productividad y controlar o aminsonar procesos de degradación, deben buscarse con mayor frecuencia en su origen socioeconómico (incertidumbre en la tenencia de la tierra, dimensiones insuficientes de la unidad de producción, bajos precios de los productos, falta de acceso a insumos y servicios, entre otras). El mayor énfasis dado en el pasado a resolver los síntomas del problema de la degradación de las tierras, más que a sus causas de fondo, ha sido el origen del fracaso de muchos programas de desarrollo rural. La promoción del uso sostenible de las tierras requiere que los problemas sean vistos desde varias perspectivas, no sólo la biofísica, sino también en términos del ambiente social, económico y político de los actores involucrados (Douglas, 1994).

Algunos de los elementos de la *dimensión social y cultural* discutidos por Douglas (1994) son:

- La *herencia histórica*. El uso actual de la tierra es generalmente una consecuencia de decisiones sobre uso de las tierras realizadas en el pasado bajo unas determinadas circunstancias. Un conocimiento de las razones que generan cambios en dichas circunstancias y de los eventos del pasado que han

influenciado directa o indirectamente el uso de la tierra, pueden ayudar a explicar las causas e identificar los problemas presentes, evitando la toma de decisiones errónea.

- El *acceso a los recursos de la tierra y otros recursos*. La falta de equidad en el acceso a los recursos de la tierra puede ser una limitante de importancia primordial para el uso sostenible de la tierra. Conflictos de intensidad relacionados con un uso ineficiente o la subutilización de los recursos está relacionado con un sistema de tenencia inapropiado. Así como el latifundio puede ser causa de inequidad en la distribución de los recursos, es también reconocido que los sistemas colectivos promovidos en países socialistas han fracasado, siendo que en China se está volviendo a un sistema de explotación de responsabilidad individual con restricciones y regulaciones establecidas por el Estado. Por otro lado, el minifundio, producto de la fragmentación excesiva de las unidades de explotación, puede ser también una causa de excesiva presión sobre el uso de los recursos. En algunos casos determinados grupos culturales y étnicos han demostrado un uso sustentable de propiedades comunes. En estos casos, la propiedad común es responsabilidad de un grupo que ostenta los derechos de uso de los recursos. El caso más negativo se da cuando hay un acceso libre a los recursos en áreas de libre paso sin que exista un ente responsable, individual o colectivo, que vele por el buen uso de los recursos allí disponibles.
- Los *valores y costumbres de la comunidad*. El rol y la participación de la mujer es muchas veces subestimado por los técnicos y planificadores, siendo que en muchos casos es la mujer la responsable de la toma de decisiones en relación con el manejo de las tierras y en actividades particulares de los cultivos. Por otro lado, es muy común que la mujer presente algunas desventajas particulares y que esté sobrecargada de trabajo debido a la migración de la fuerza de trabajo masculina hacia otras fuentes de trabajo. La disponibilidad de mano de obra en el

campo en explotaciones campesinas depende en mayor grado de los miembros del núcleo familiar. El potencial de jornales disponibles determinará la cantidad de tierra trabajable y de operaciones como siembra y cosecha. En la medida en que se disponga de equipos de mecanización la dependencia de la mano de obra será menor. En algunos casos la posesión de tierras y ganado tiene que ver con el estatus social y como reserva de capital para proveer de seguridad social. Las creencias de tipo religioso y las normas culturales tienen un efecto determinante en las decisiones de cada grupo familiar y en la aceptación o no de nuevas tecnologías.

Es muy posible que para muchos agricultores sea más importante disminuir los riesgos y mantener su seguridad y estabilidad, que maximizar ganancias o rendimientos, sobre todo en aquellos agricultores que dependen de la producción de alimentos y otros bienes para el autoconsumo. De allí que muchos prefieren realizar los cambios de una manera adaptativa y no radical a sus sistemas de uso de la tierra actuales.

Otro factor, que es a la vez causa y consecuencia de la degradación de las tierras, es la *pobreza y la marginalidad*. Sheng (1990) señala que los pequeños agricultores de los países en desarrollo no están en capacidad de reducir la intensidad de uso de sus reducidos predios para proteger los suelos en función de las generaciones futuras o de los habitantes de las partes bajas. Sin embargo, de no tomarse medidas, la pobreza se incrementará aún más. También resalta que el analfabetismo puede ser un factor limitante en los programas de extensión conservacionista. Douglas (1994) también discute *la dimensión económica* en los programas de desarrollo sustentable en zonas rurales, destacando los siguientes puntos:

- Existe un conjunto de técnicas analíticas que sirven para evaluar los impactos económicos de la degradación de suelos en términos de costos y beneficios. Se debe distinguir entre los efectos de la degradación en el sitio y fuera del sitio. Los efectos en

el sitio son generalmente más fáciles de contabilizar. Entre las técnicas de evaluación está el determinar el valor de uso de la tierra en función de su productividad, la disminución en los ingresos debido a la declinación de los rendimientos y el aumento en los costos debido a los insumos adicionales requeridos para compensar los efectos de la degradación. En cuanto a los efectos fuera de sitio, se pueden considerar los costos de mantenimiento de canales de riego y la capacidad disminuida de los reservorios, la disminución de la producción de energía hidroeléctrica y la reducción del área cultivable en sistemas de irrigación e, incluso, del dragado de puentes, la disminución de la pesca.

- De la misma manera, se pueden analizar las mejoras producidas por un programa de conservación de suelos y agua en términos de incrementos de la productividad y de la diversidad de productos en sistemas de uso múltiple de la tierra como los sistemas agrosilvopastoriles en el sitio y otros beneficios fuera del sitio, como la reducción de riesgos de inundaciones, disminución en el mantenimiento de la infraestructura en sistemas de riego, mejoras complementarias que promueven el turismo, la recreación y otras actividades complementarias.
- Los análisis de antes/después de implementada una medida conservacionista se orientan a las respuestas inmediatas que pueden ser tangibles en el corto plazo y beneficiar de una manera directa a los pobladores. Los análisis con y sin la medida conservacionista se dirigen a evaluar los efectos que ésta tendría en el mediano y largo plazo, permitiendo comparar entre dos opciones para revelar los costos y beneficios de permanecer bajo el actual sistema o hacer mejoras a éste (ver punto II.4.2).
- El nivel de insumos es un factor crítico en cualquier discusión acerca del uso sostenible de la tierra. Muchos sistemas tradicionales de subsistencia utilizan técnicas locales y son

sustentables en el contexto en el cual evolucionaron. Los sistemas de altos insumos pueden ser insostenibles debido al elevado uso de agroquímicos contaminantes y la dependencia de los combustibles fósiles. En situaciones de escasez del recurso tierra o de mano de obra, un sistema de bajos insumos puede no ser sustentable, así que se requiere balancear los diferentes factores para encontrar un equilibrio. El perfeccionamiento de tecnologías tradicionales en vez de la incorporación de nuevas tecnologías puede ayudar en la búsqueda de este equilibrio.

- El interés de la sociedad en general puede o no coincidir con el de los agricultores, o viceversa. Los programas de desarrollo sustentable deben considerar esos intereses en común o en conflicto, para optimizar la distribución de los costos y beneficios de la mejor manera posible.

VII.2 POLÍTICA AMBIENTAL Y SUS ESTRATEGIAS

VII.2.1 ASPECTOS GENERALES

En algunas circunstancias existe la imposibilidad de que los agricultores y otros usuarios de la tierra estén en capacidad de realizar los cambios necesarios para hacer sustentable el desarrollo de sus tierras y recursos asociados, aun cuando ello represente un beneficio inmediato para ellos y para la sociedad en general; en otras, los beneficiarios no son los usuarios directos, sino los usuarios indirectos, representados por la sociedad en general, que requiere de alimentación, agua para el consumo humano e industrial, y otros bienes materiales. Y en algunos casos, los objetivos perseguidos son de naturaleza intangible y sólo pueden ser alcanzados mediante acciones colectivas de la sociedad, como la preservación de los recursos para las generaciones futuras, la protección de los valores escénicos, científicos y de existencia, entre otros. En todas estas circunstancias se requiere la intervención del Estado y de la sociedad organizada para solventar las imperfecciones del mercado

en el corto plazo, los conflictos de intereses entre diversos actores, ya que es el Estado el responsable de definir las políticas y principios generales que regulen el uso y manejo sustentable de los recursos naturales y del ambiente en general (consultar, también, en II.4.5).

En la figura VII.2 se muestra la dinámica que rige la formulación de políticas ambientales, las cuales pueden devenir en un crecimiento desarticulado y anárquico, o en un desarrollo sustentable auténtico. La formulación de las políticas va a ser una consecuencia de la evolución histórica de la sociedad en interacción con su medio biofísico y de la racionalidad y el equilibrio de poderes e intereses. La implementación de las políticas se va a dar a través de un marco jurídico e institucional mediante la aplicación de planes ambientales de diverso alcance. El éxito o fracaso debe ser analizado en función de los factores que determinan el desarrollo sustentable, o por las consecuencias negativas del crecimiento inorgánico e ineficiente que puede generar deterioro de los recursos, pobreza y marginalidad, desequilibrios sociales y una menor calidad de vida.

Ya en la década de los ochenta el estudio de los Sistemas Ambientales de Venezuela, realizado por Marnr (1984), reflejaba que el estilo de desarrollo del país, al igual que el de otros países latinoamericanos, se caracteriza por una creciente homogeneización e

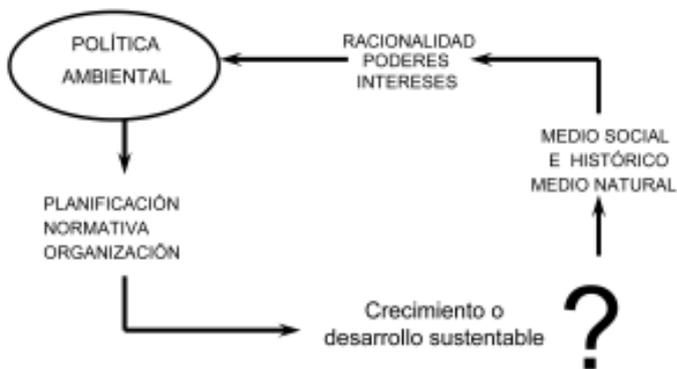


Figura VII.2. Dinámica de la política ambiental en un determinado contexto.

integración dentro de un estilo de desarrollo impulsado tecnológicamente y financieramente por países más desarrollados, generando resultados no deseables, entre los cuales figuran:

- Subutilización de los recursos naturales
 - Ecosistemas tropicales poco valorados
- Excesiva especialización y dependencia de mercados globales
 - Satisfacción de demandas externas de manera preferencial
- Difusión de patrones de consumo no adaptados a la oferta local
- Difusión de tecnologías que no consideran las particularidades de sitio como mano de obra y recursos locales
- Difusión de pautas de consumo sólo accesibles a minorías

VII.2.2 PRINCIPALES ESTRATEGIAS DE UNA POLÍTICA AMBIENTAL

Ante la situación expuesta en el punto anterior, la definición de una política ambiental se debe plantear una serie de *estrategias* que permitan orientar el desarrollo del país de una manera sustentable. Entre éstas se pueden mencionar:

- Incorporación de la dimensión ambiental en la política de desarrollo del país
- La planificación ambiental
- La ordenación del territorio
- El desarrollo de un derecho ambiental
- La investigación/acción
- La educación ambiental y la participación ciudadana ⇒ extensión conservacionista

Incorporación de la dimensión ambiental en la política de desarrollo del país

Es apenas a finales de los años setenta cuando se incorpora la dimensión ambiental de manera explícita en las políticas de desarrollo en Venezuela y en muchos otros países. En la segunda mitad de esa década se crea el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables y la primera Ley Orgánica del Ambiente.

En forma esquemática, Stocking (1981) desarrolla un modelo que ejemplifica cómo se agrega esta nueva dimensión a los otros factores tradicionalmente considerados en las políticas de desarrollo del Estado (figura VII.3). En su artículo 11, la Ley Orgánica del Ambiente señala que corresponde al Estado, por órgano de las autoridades competentes, garantizar la incorporación de la dimensión ambiental en sus políticas, planes, programas y proyectos, para alcanzar el desarrollo sustentable.

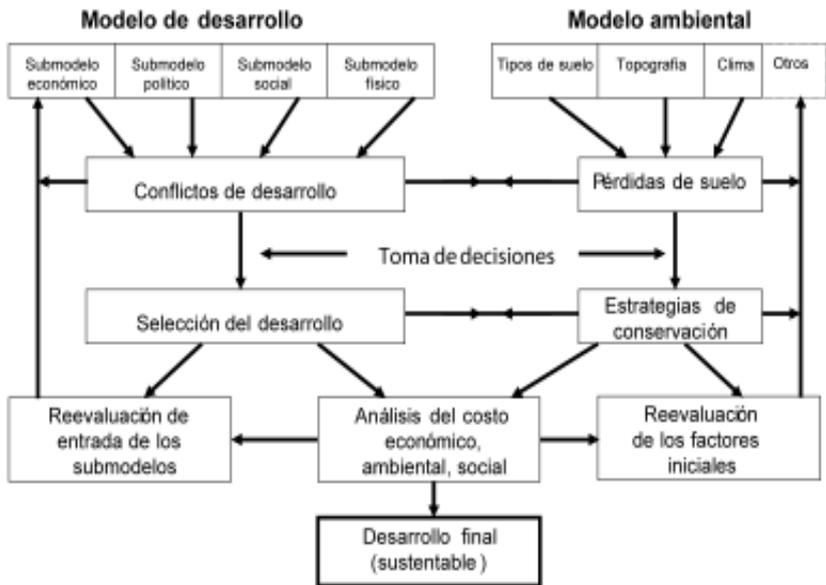


Figura VII.3. Esquema de planificación del desarrollo (Stocking, 1981).

La planificación ambiental

La planificación ambiental ha tenido en el país una gran repercusión, y ésta comenzó a realizarse de manera sectorial en diversos ministerios y oficinas públicas. En su artículo 22 la Ley Orgánica del Ambiente considera que la planificación del ambiente constituye un proceso que tiene por finalidad conciliar el desarrollo económico y social con la gestión del ambiente. En términos más específicos, ya se desarrolló el tema de planificación conservacionista del uso de la tierra en el capítulo anterior, tanto en sus enfoques estratégicos como tácticos. En la figura VII.4 se muestra un esquema en el cual se relaciona el nivel de planificación con el grado de información y la capacidad de predicción. Estos parámetros deben incrementarse en la medida en que el plan se realiza a un nivel de detalle mayor. En el caso de la conservación de suelos, la máxima resolución la tenemos al implementar una práctica de conservación

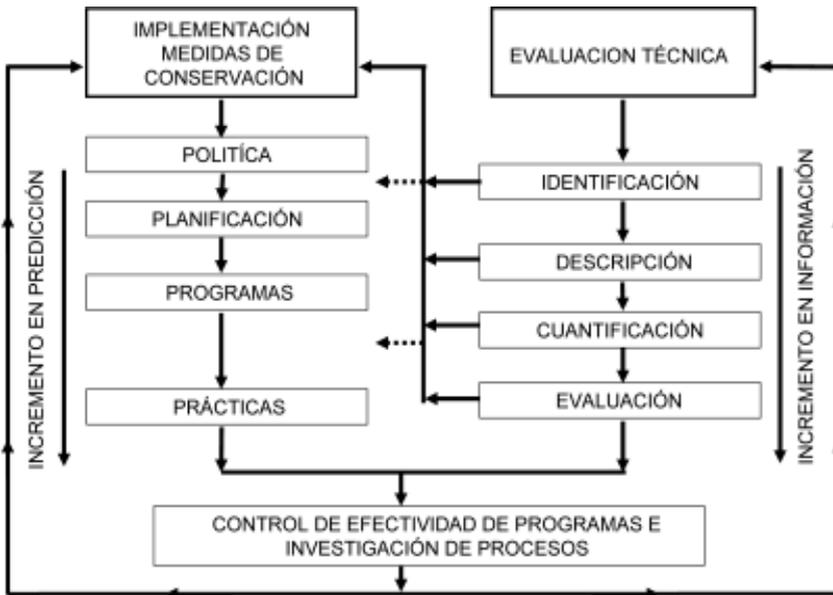


Figura VII.4. Ciclo de formulación de políticas de conservación y toma de decisiones paralelo a la continua colección y análisis de información científica y tecnológica (Perrens y Trustum, 1984).

en el campo, en un lote de terreno o finca, que es donde están ocurriendo efectivamente los problemas de degradación de las tierras. Muchas veces los planes se quedan en los niveles superiores por falta de información al nivel adecuado, disminuyendo grandemente la efectividad e impacto de los mismos.

Uno de los proyectos de mayor envergadura y repercusión en el país fue el Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos desarrollado por Coplanarh (1972). Es un marco de referencia constituido por un conjunto de estrategias y directrices que, dentro de una política general de desarrollo y de un ordenamiento legal e institucional, permite asegurar la gestión del recurso, y por tanto, establecer una distribución lógica y razonable entre las disponibilidades de agua y las probables demandas. Los objetivos perseguidos fueron:

- Precisar la cantidad, calidad y ubicación de los recursos hidráulicos
- Satisfacer oportunamente las demandas de abastecimiento de agua para el consumo urbano, industrial y agrícola
- Asegurar la defensa contra la acción destructora de las aguas, especialmente el problema de las inundaciones
- Proteger las aguas contra la acción del hombre
- Jerarquizar las diferentes acciones de programas para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos
- Controlar el mejor aprovechamiento de los recursos hidráulicos

Este plan tuvo un carácter nacional, transversal (considera diferentes sectores de la economía), único, integral (considera los diferentes usos y destinos del agua), prospectivo al explorar diferentes opciones a futuro, en el largo plazo, y dinámico (sujeto a actualizaciones). Entre los aspectos positivos estuvo el de promover el inventario de recursos naturales en el país, no sólo del agua, sino de las tierras en general (suelos, bosques, clima, uso de la tierra/cobertura), lo que representa una línea base para muchos otros estudios realizados posteriormente. Su actualización es una necesidad

sentida debido a los múltiples cambios ambientales, económicos y sociales que han acontecido en el país en los últimos treinta años.

Otros planes que pueden mencionarse son el Plan Nacional de Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente, los planes nacionales y estatales de ordenación del territorio, entre otros.

La ordenación del territorio

El ordenamiento territorial puede definirse como la distribución espacial de la población y las actividades económicas en función de los recursos. Este concepto y el término ordenación territorial se debe a los planteamientos de Petit, Ministro de la Construcción francesa en los años cincuenta, citado por Salomón de Padrón (1977). Según esta autora, la ordenación del territorio se puede definir como una política que procura distribuir racionalmente a los hombres, considerados en su complejidad, en un ámbito espacial determinado, en función de los recursos naturales y actividades económicas. A pesar de los esfuerzos que se han realizado en ese sentido, las causas y consecuencias de la ocupación del territorio en Venezuela no han cambiado sustancialmente y muchos de los problemas se han agudizado en el tiempo. La situación puede resumirse en forma esquemática, como sigue Marnr (1980):

■ Ocupación actual del territorio en Venezuela

- Franja andino-costera: 90% de la población
(100 hab./km²) 3% de los recursos hídricos
- Región Capital y Central: 40% de la población, 70% PTB, de la fuerza de trabajo y concentración de los servicios en menos del 4% del territorio, del cual más del 50% presenta relieve montañoso

- Alta convergencia del sistema de transporte hacia las regiones Capital y Central
 - Ausencia de población en las zonas fronterizas
 - Baja eficiencia en la utilización del recurso suelo
- Origen de la ocupación actual del territorio en Venezuela
- Facilidades portuarias y de navegación de las zonas costeras
 - Ambientes atractivos de los valles costeros y andinos
 - Condiciones sanitarias favorables
 - Clima benigno
 - Suelos fértiles y cursos de agua permanentes
 - Aparición de la actividad petrolera
 - Concentración > 80% población en zonas urbanas
 - Presiones de polarización regional
 - Consolidación de la ocupación arco andino-costero
- Consecuencias de la ocupación actual del territorio en Venezuela
- Ubicación de la población urbana en ambientes geotécnicos poco favorables debido a la sismicidad, riesgos de deslizamientos, riesgos de inundaciones, subsidencia de los suelos y alto nivel freático.
 - Conflictos entre usos alternativos de las tierras, desaparición de bosques por desplazamiento de la frontera agrícola y expansión de las ciudades a expensas de tierras agrícolas de primera.
 - Colapso de servicios y problemas ambientales generalizados en las zonas densamente pobladas.
 - Desatención e inseguridad en las zonas fronterizas.

- Progresivo deterioro de los recursos naturales, en particular de los suelos, y disminución de su productividad
- Abandono del campo
- Pobreza y marginalidad en aumento

Ante estas situaciones indeseables y cuya evolución puede propender a mayores dificultades, el ordenamiento territorial puede utilizarse como una de las estrategias básicas de la política ambiental para mitigar o controlar los efectos negativos de la ocupación incontrolada del espacio y fomentar los efectos positivos de un uso y crecimiento inteligente de las actividades humanas. En este enfoque, el ordenamiento territorial va más allá de la planificación estratégica del uso de la tierra, que se discutió en el capítulo anterior, ya que incorpora otros elementos de carácter estratégico que determinan la ordenación del espacio. Los alcances del mismo pueden resumirse en el siguiente esquema:

■ Alcances del ordenamiento territorial

- Armonizar recursos con la población (equilibrio regional-descentralización)
- Defensa de tierras agrícolas, reservas biológicas, hidráulicas, forestales, escénicas, otras
→ (ABRAE) →(ANAPRO)
- Transporte y comunicaciones
- Urbanismo y equipamiento físico
- Resguardo y desarrollo fronterizo
- Reducción de problemas ambientales en general y mejoras en la eficiencia del uso de los recursos

El desarrollo de un derecho ambiental

Las leyes ambientales sirven de apoyo y establecen el marco de normas para la implementación de planes ambientales y la

regulación de las actividades llevadas a cabo por individuos y organizaciones en la utilización de los recursos y del medio ambiente en general. Estas leyes, por sí solas, no son suficientes para lograr un comportamiento idóneo de los usuarios en relación con el ambiente y los recursos. Existen limitaciones para su aplicación de carácter metajurídico, como las condiciones de marginalidad y pobreza de importantes sectores de la población, frente a un conjunto de prescripciones jurídicas que desbordan y hasta prescinden de su condición existencial.

Meier (1982) define el derecho ambiental como el conjunto de reglas que consagran formalmente las relaciones entre la sociedad y la naturaleza en ocasión al aprovechamiento, es decir, a la apropiación o a la transformación del medio, y señala sus principales implicaciones jurídicas:

- En el derecho administrativo se reconoce una ampliación sin precedentes de la potestad reglamentaria del Estado.
- En el derecho civil en lo referente a la reparación del daño ambiental a través de la teoría de la responsabilidad por hecho ilícito, el cual aparece superado por la realidad. A toda la responsabilidad subjetiva individual (culpa o dolo), a la prueba de nexo de causalidad entre los hechos y el daño, y en fin a la lesión de un derecho con contenido patrimonial, esa teoría no es aplicable a fenómenos de orden colectivo (la polución ambiental) que tiene su origen en la estructura económica y en los modos de producción.
- En el derecho penal se reconoce un nuevo delito, el delito ecológico.

La evolución del derecho ambiental en Venezuela puede resumirse brevemente en los siguientes puntos:

La evolución en Venezuela se da según dos corrientes jurídicas:

- Corriente *jus privatista*.
Basada en el pensamiento liberal privatista copiado de

códigos franceses e italianos. Propiedad del recurso significa disponer del mismo sin ningún sentido de conservación ni fines sociales

- *Corriente jus publicista:*
Basada en el control administrativo. El uso, goce y disposición de los recursos naturales es paulatinamente limitado.

Algunos instrumentos jurídicos relacionados con el ambiente y su evolución se presentan a continuación.

Ley de Bosques 1910 $\xrightarrow{+ 8}$ Ley Forestal de Suelos y Aguas 1965
Ley de Aguas 2007

Ley de Reforma Agraria 1960 \longrightarrow Ley de Tierras y Desarrollo Agrario 2001

Ley de Protección a la Fauna Silvestre 1970 \longrightarrow Ley de Diversidad Biológica 2000

Ley Orgánica del Ambiente 1976 \longrightarrow Ley Orgánica del Ambiente 2006

Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio 1983

Ley Penal del Ambiente 1992

Las leyes están jerarquizadas de acuerdo con su alcance y grado de detalle. La Constitución representa la máxima jerarquía en determinar los principios y normativas que rigen una determinada actividad, le siguen las leyes, los reglamentos, las normas y los decretos. Las leyes de jerarquía inferior no pueden contradecir las de nivel superior y su función es detallar y especificar aquellos elementos no desarrollados lo suficientemente.

En la Constitución Nacional de 1999:
Título III, capítulo IX
De los Derechos Ambientales
Título VI, capítulo I
Del Régimen Socioeconómico...

se establecen los fundamentos jurídicos que determinan el contenido y función del conjunto de leyes que rigen el derecho ambiental en la República Bolivariana de Venezuela.

La investigación/acción

Ninguna estrategia por sí sola es suficiente para lograr el éxito de una política ambiental ni de los proyectos de desarrollo sustentable que de ésta se deriven. Las diversas estrategias deben ser aplicadas de manera conjunta en determinadas combinaciones para lograr los objetivos y metas de la conservación. La investigación/acción no escapa de ese principio de complementariedad entre las estrategias.

El desarrollo científico y tecnológico, incluyendo la selección, adaptación, la innovación o generación y el rescate de tecnologías de conservación, es esencial para afrontar con éxito las diversas demandas para mejorar los sistemas de producción agrícola y de usos de la tierra en general. Para ello se requiere de una articulación y cooperación de las instituciones universitarias, centros de investigación, sector público y sector privado en el ámbito nacional y en el internacional, para tener una visión de largo plazo que permita superar las limitaciones para el desarrollo científico y tecnológico. El inventario de recursos y monitoreo del ambiente en todas sus dimensiones debe ser una tarea permanente y sus productos de libre acceso a los usuarios y público en general.

En la figura VII.5 se muestra un esquema de investigación/acción para la gestión de paisajes ecológicos. Se centra en las tecnologías y enfoques que promuevan la biodiversidad y el desarrollo sostenible. Los usuarios o actores son protagonistas de primera línea del sistema,

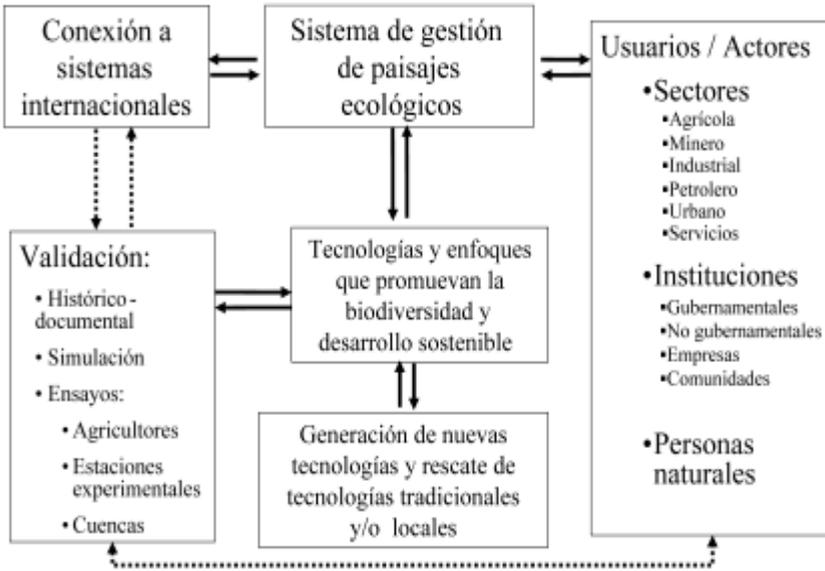


Figura VII.5. Esquema de investigación/acción para la gestión de paisajes ecológicos (Florentino y Rodríguez / inédito).

ya que como se ha mencionado en varios capítulos, la participación de éstos es requisito fundamental para que cualquier toma de decisiones sea aceptable.

Cuando estas tecnologías no han sido probadas en el contexto en el que se requieren, o no se dispone de la tecnología apropiada, las mismas deben ser desarrolladas, adaptadas de otras experiencias similares o rescatadas de las tradiciones locales. Estas últimas tienen una alta aceptación por ser una evolución natural de formas de intervención de los recursos a nivel local. La validación puede realizarse de manera tradicional en campos experimentales, en parcelas de agricultores, o una combinación de ambos; pero, en muchos casos se requerirá del uso de modelos de simulación para trascender los límites temporales y tomar decisiones anticipadas en el largo plazo. Por otro lado, los modelos pueden evitar la eliminación o destrucción de recursos locales mientras se analizan alternativas.

La validación tecnológica, como ya se mencionó, se puede realizar mediante experiencias piloto con los agricultores. Usando el enfoque de investigación participativa con los agricultores IPA, Suriyo y Vongkasem (2002) realizaron pruebas piloto en dos localidades durante tres años en un proyecto sobre manejo de sistemas de cultivo basados en yuca. Luego de reducir el número de opciones evaluadas, los agricultores seleccionaron en ambos sitios el cultivo en franjas de yuca con barreras de vetiver, y solicitaron apoyo adicional para expandir la práctica a gran escala, llegando a establecer 27 km de barreras. El Departamento de Extensión Agrícola, en una segunda fase del proyecto, combinó la IPA con otras metodologías, como visitas de intercambio, parcelas de evaluación demostrativas, cursos de entrenamiento, días de campo en otras comunidades y otras prácticas de mejoramiento del cultivo de la yuca, elevando a 111 km de barreras adoptadas por un total de 622 agricultores.

La educación ambiental y la participación ciudadana \Rightarrow extensión conservacionista

La educación formal e informal en materia ambiental tiene un papel primordial como estrategia dentro de la política ambiental del país. La sociedad postindustrial del futuro, informada, participativa, con altos niveles de calidad de vida y en armonía con su ambiente, repercutirá en la generación de individuos con una conducta y conciencia diferentes en lo que respecta a su actitud hacia la naturaleza y el ambiente, acorde con principios conservacionistas. Por otra parte, se requerirá de más y mejores profesionales para asistir y apoyar en la planificación y el manejo de los recursos. Es decir, la educación ambiental debe estar presente en todos los niveles de instrucción y su enfoque ha de ser integral.

De nada servirá la retórica en el aula sin la puesta en práctica de los conceptos emitidos a través de la participación ciudadana, en una sociedad cabalmente preparada e identificada con los principios del desarrollo sustentable.

A través de las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales (ONG) se puede canalizar parte de esta acción y el esquema de descentralización del país puede coadyuvar a una mayor y más directa participación ciudadana en las decisiones y acciones colectivas. Sin embargo, la acción individual en virtud de una conciencia ambiental deberá manifestarse en la conducta de cada ciudadano que forme parte de una cultura ecológica.

Diversas organizaciones de carácter no gubernamental han surgido en el país, tales como organizaciones conservacionistas, fundaciones, brigadas forestales, asociaciones de vecinos, grupos excursionistas, entre otras. Éstas representan un mecanismo de acción para la solución de problemas que van más allá de gobiernos y fronteras, facilitando la formación de redes nacionales e internacionales gracias a los avances en los medios de comunicación.

Como un caso particular de educación ambiental y participación ciudadana de gran relevancia para la conservación de suelos y agua se desarrollará este aspecto en el punto VII.3 de este capítulo, el cual sigue a continuación.

VII.3 TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA, EXTENSIÓN Y PROGRAMAS DE DESARROLLO CONSERVACIONISTAS

VII.3.1 LA EXTENSIÓN CONSERVACIONISTA Y LOS PROGRAMAS DE DESARROLLO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS. CONCEPTOS-ESTRATEGIAS-IMPLEMENTACIÓN-ADOPCIÓN

La extensión conservacionista y los programas de desarrollo en conservación de suelos y agua son elementos dentro de las estrategias de política ambiental que nos interesan sobremanera, ya que es la transferencia de tecnología y la puesta en práctica en los planes de acción lo que puede marcar la diferencia entre el éxito de lograr insertar medidas de conservación de suelos y agua que logren detener

los diversos procesos de deterioro de las tierras o el inevitable fracaso si se siguen utilizando las tierras bajo modos de producción no sustentables.

La extensión agrícola conservacionista difiere de la extensión agrícola convencional en que no siempre las medidas a implementar tienen una respuesta inmediata como el riego, los fertilizantes o el uso de nuevas variedades más rendidoras. Por el contrario, los beneficios perseguidos se dan a más largo plazo, o sus principales beneficiarios no son los agricultores u otros usuarios directos de las tierras, sino la sociedad en su conjunto, de la cual ellos son parte. La promoción del desarrollo agrícola sustentable es un objetivo amplio y múltiple donde están inmersos los objetivos específicos de la extensión agrícola conservacionista, que es un elemento contribuyente para dicho desarrollo.

Marston (1996) define la extensión conservacionista como un proceso de cambio en el que se apoya a los usuarios de la tierra a moverse desde las prácticas convencionales y a menudo de explotación de la tierra a un sistema de manejo sostenible de los recursos naturales.

Los conceptos:

- Enfoque convencional de extensión y transferencia de tecnología

Este enfoque parte de la identificación de los problemas y sus posibles soluciones por los expertos con una muy baja o nula intervención de los usuarios de la tierra. El flujo de información se da en una sola dirección de los investigadores y planificadores al extensionista y de éste al agricultor en un sistema de relaciones jerárquicas, separando a los principales actores. La extensión es fragmentada y muchas veces impartida por diferentes agencias sin ninguna coordinación. Dentro de esta perspectiva, muchas tecnologías se orientan a calmar los síntomas sin profundizar en las verdaderas causas de los

problemas. El papel del extensionista es el de enseñar a utilizar de manera didáctica las nuevas tecnologías (Zöbish, 1996).

- Enfoque centrado en la gente (usuarios de la tierra y otros actores)

Con este nuevo enfoque centrado en la gente, las jerarquías tradicionales son eliminadas. El flujo de información es libre y polidireccional. Los agricultores y otros usuarios de la tierra intervienen en el desarrollo tecnológico, desde la identificación de los problemas, evaluación de las alternativas, hasta la implementación de las soluciones. El papel del extensionista es el de ayudar y facilitar a los agricultores a identificar y resolver sus problemas por sí mismos, actuando como catalizador del proceso y reconociendo la participación de otros actores a diferentes niveles. Se hace necesaria la investigación participativa y una relación más estrecha entre las instituciones de investigación, los extensionistas y los agricultores. Muchos aspectos cruciales de la vida rural, incluyendo elementos intangibles, se encuentran ocultos para actores externos o no son comprensibles para el científico moderno, y a la vez son cruciales para la adopción de tecnologías. Estas circunstancias son incorporadas cuando el agricultor y otros miembros de la comunidad rural son protagonistas del proceso de cambio.

Las estrategias

- Visión holística del manejo de la tierra
(productividad-conservación-comunidad)

La visión moderna de conservación de suelos es que ésta debe considerar no sólo los procesos de degradación y su control, sino mirar los aspectos de la productividad de una manera integral, promoviendo el manejo y mejoras de la tierra de una manera sustentable. Al mismo tiempo, deben considerarse otros asuntos a nivel de la comunidad local que pueden ser percibidos por ésta con igual o mayor relevancia que los

problemas de conservación. El desarrollo comunitario en aspectos como salud, educación, alimentación, fortalecimiento de las instituciones locales no debe verse aisladamente de los programas de conservación de suelos y agua.

- Promoción de la participación

Existen algunas técnicas disponibles que facilitan la participación, como las de diagnóstico rural participativo. Es importante promover una genuina participación y no conformarse con una participación aparente, para ser auténtica; ésta debe basarse en la confianza mutua (Bergsma et al., 2000). Las actitudes y la conducta del extensionista como facilitador y catalizador son fundamentales. Algunas de las claves para un buen entendimiento entre unos y otros incluye: escuchar y aprender, tomar real interés, compartir actividades y la paciencia o tolerancia.

El IIED (1995), citado por FAO-UNEP (2000), describe las diferentes tipologías de participación que se listan a continuación:

- Participación pasiva: a las personas se les dice qué va a suceder o qué ha sucedido ya.
- Participación dando información: las personas participan respondiendo a las preguntas de agentes externos.
- Participación por medio de consultas: las personas participan al ser consultadas, y los agentes externos escuchan sus opiniones.
- Participación estimulada por incentivos materiales: las personas participan dando recursos en cambio de incentivos materiales.
- Participación funcional: las personas participan formando grupos para satisfacer objetivos predeterminados relacionados con un proyecto, pero dependen aún de iniciadores externos.

- Participación interactiva: las personas participan en el análisis conjunto, el cual lleva a planes de acción y a la formación de nuevas instituciones locales o al fortalecimiento de las instituciones existentes.
- Automovilización: las personas participan tomando iniciativas para cambiar los sistemas sin la intervención de influencias externas.
- Por supuesto, las de nivel funcional, interactivas o la automovilización son las más genuinamente participativas. Para que esto ocurra se requiere darle suficiente importancia al “empoderamiento” de las comunidades locales, lo cual se logra fortaleciendo el sistema democrático, y el nivel de información y educación de las comunidades rurales y del público en general (Zöbish, 1996).
- Selección y desarrollo de tecnologías apropiadas

Las tecnologías deben responder a los criterios de sustentabilidad ya mencionados: físicamente adecuada, ambientalmente sostenible, socialmente aceptable y económicamente viable.

Poniendo énfasis en la sustentabilidad ecológica en el largo plazo, Altieri (1997) sugiere que los agroecosistemas deben: 1) reducir el uso de energía y de recursos, 2) restablecer los mecanismos homeostáticos y fomentar la biodiversidad, el reciclaje de materia orgánica y de nutrimentos, 3) fomentar la producción local de alimentos, adaptados a las características socioeconómicas y naturales y 4) reducir los costos y aumentar la eficiencia y viabilidad económica. Las propiedades sistémicas de los agroecosistemas a considerar en el marco de una agricultura sustentable serían las que afectan la productividad, la estabilidad, la resiliencia y la equidad (Conway, 1985, citado por Altieri, 1997).

La investigación en campos experimentales y en las parcelas de los agricultores es complementaria y una no excluye a la otra. Para el desarrollo de tecnologías apropiadas enmarcadas en sistemas de manejo sostenido de los recursos nos remitimos a la propuesta de Hart y Sands (1990), discutida en el capítulo V.

Idealmente, las tecnologías deben generar beneficios inmediatos, no incrementar los riesgos, tener un bajo requerimiento de insumos, ser fáciles de difundir y desarrollarse con base en tecnologías existentes y, si es el caso, basadas en el conocimiento local.

- Selección del enfoque apropiado (tecnológico, cuencas, participativo, multinivel)

La organización, formas y maneras mediante las cuales las tecnologías en conservación de suelos son puestas en acción o se hacen funcionales sobre el terreno, son agrupadas en lo que se ha llamado el enfoque. En un principio se dio énfasis a la tecnología como tal, pero esto ha ido evolucionando hacia enfoques más integrales y participativos. Sin embargo, ninguno en particular ha mostrado total éxito y se hace necesaria una combinación de éstos para diferentes realidades locales.

- Integración y coordinación de esfuerzos de las instituciones

Las actividades de investigación y desarrollo llevadas a cabo por agencias gubernamentales y no gubernamentales (ONG), universidades, institutos de investigación y otras organizaciones, e información de utilidad generada por éstas, no son aprovechadas del todo debido a la falta de integración y coordinación de esfuerzos a través de la cooperación e intercambio de información. De lograrse esta meta se reduciría la duplicación de esfuerzos y el derroche de recursos.

Los agricultores y usuarios de la tierra pueden sentirse literalmente apabullados y desmotivados al recibir exceso de atención y de sentirse presionados por diferentes organizaciones con objetivos que pudiesen entrar en conflicto. Si a esto añadimos el incumplimiento de algunos, la credibilidad en las iniciativas de conservación de organizaciones serias y responsables puede verse seriamente comprometida.

- Uso prudente de incentivos y subsidios

La mayoría de los esfuerzos llevados a cabo en conservación de suelos incluyen incentivos y subsidios de una manera o de otra. Típicamente, éstos son aplicados al inicio y luego son retirados progresivamente. Cuando los incentivos dejan de existir, es común que la adopción de la práctica decaiga. Los agricultores toman ventaja de los incentivos y subsidios, pero si ellos no son responsables en alguna medida de los costos y se sienten identificados con las medidas que se estén implementando, los efectos no van a ser sostenidos. Se pueden usar métodos financieros alternativos como fondos rotatorios, créditos blandos y créditos en “especies”, en lugar de pagos directos. Esto puede promover un mayor grado de responsabilidad.

Los pequeños agricultores requieren de cierto tipo de asistencia para iniciar cualquier cambio o mejora. Estas ayudas deben ser dadas de manera inteligente, para no crear dependencia o tener poca influencia o proyección en el largo plazo.

La implementación

- La necesidad de continuidad en los programas

Éste es un elemento considerado indispensable para el éxito de los programas de conservación. Los programas de conservación deben ser de largo plazo. Muchas prácticas requieren de varios años para lograr las mejoras y cambios esperados.

El financiamiento y apoyo institucional deben durar al menos hasta que se logren los beneficios esperados. De no ser así, se corre el peligro de que se abandonen los nuevos métodos y tecnologías incorporadas, debido a la imposibilidad, por diversas razones, de los actores involucrados de llevar el plan a término o mantener las inversiones y actividades dentro de lo previsto. Una adecuada evaluación de la adopción y de los beneficios de un programa de conservación de suelos y agua sólo se logra si éstos se desarrollan por períodos prolongados. Thomas (1996) atribuye el éxito de los programas de conservación de suelos llevadas a cabo por el Ministerio de Agricultura de Kenya, al apoyo sostenido por más de 15 años de parte de la Agencia Internacional de Desarrollo de Suiza-SIDA.

- La importancia de la mujer en los programas de conservación de suelos

Las mujeres son las principales trabajadoras en muchas comunidades rurales. Muchos programas han fracasado por no considerar las responsabilidades, capacidades y necesidades de las mujeres en las comunidades. Si éstas, por ejemplo, son responsables de cargar leña o agua para sus hogares, no se les puede recargar con actividades que añadan un exceso de trabajo físico adicional, a menos que se resuelva de alguna manera la provisión de agua y energía para los hogares. Éste ha sido una situación común en programas llevados a cabo en Kenya y Etiopía (Sanders, 1996). En algunas culturas, el personal del programa de extensión no puede ser masculino si hay que trabajar directamente con las mujeres de la comunidad.

- La promoción de medidas tradicionales y rescate del conocimiento local

Los agricultores sienten más confianza cuando las nuevas tecnologías contienen elementos de sus métodos tradicionales

y aumentan las posibilidades de adopción en el largo plazo. Los agricultores reconocen las limitaciones de sus conocimientos y tecnologías tradicionales ante un incremento en las presiones sobre el uso de la tierra (Zöbish, 1996). A su vez, los agricultores poseen habilidades y experiencias que pueden compartir con los extensionistas y los investigadores. Éstos muchas veces introducen modificaciones y adaptaciones de las nuevas tecnologías a su condición local.

En Venezuela se pueden mencionar algunas tecnologías tradicionales que merecen ser rescatadas y ajustadas según las condiciones que prevalezcan en los sistemas de producción locales, a saber:

- Trincheras de drenaje en el delta del Orinoco
 - Bancales en los llanos occidentales
 - Muros de piedra y andenes en la cordillera andina
 - Torobas en el estado Falcón
 - Policultivos y conucos tradicionales en diversas regiones
- La necesidad de hacer seguimiento y evaluación de los programas de CSA

Para realizar un seguimiento debe contarse con inventarios de línea base de los factores ambientales, sociales y económicos sobre los cuales se quiera luego medir, a través de indicadores e índices seleccionados, los avances o retrocesos alcanzados con las intervenciones realizadas. Metodologías específicas como fotointerpretación, encuestas, muestreos de campo, etcétera, servirán para llevar a cabo el levantamiento de información correspondiente. Debido al costo, tiempo e importancia, es crucial la selección de los indicadores e índices relevantes para la escala y alcances del programa. Esta actividad puede prevenir la extrapolación de medidas inapropiadas a otras zonas o facilitar la incorporación de correctivos oportunamente.

- El uso de los medios de comunicación

Los medios de comunicación incluyen los periódicos, revistas, radio, televisión y la Internet. Aun cuando la comunicación interpersonal y los encuentros grupales han demostrado ser altamente efectivos, la dispersión de la población rural y los presupuestos insuficientes justifican el uso de los medios para llegar a un mayor número de usuarios de forma remota. Ciertamente, los medios utilizados deben ser aquellos que están al alcance de las comunidades a las cuales se quiere transmitir el mensaje. Una combinación de varios medios suele ser más efectiva, ya que se refuerzan los mensajes diseminados. En muchos casos éstos jugarán un papel complementario, teniendo en cuenta que es importante asegurar la participación de los diversos actores, y los medios de comunicación masiva son utilizados en muchas ocasiones con un flujo de información en un solo sentido. Los medios pueden ser también utilizados como un instrumento para la capacitación e interacción del personal involucrado en programas de conservación.

La adopción

- La adopción como medida de éxito y factores que la limitan (técnicos, económicos, socioculturales)

La adopción de tecnologías conservacionistas y su mantenimiento sostenido y adaptación son la última medida de éxito de cualquier iniciativa en conservación de suelos. La adopción es un proceso de toma de decisiones. Los individuos se enfrentan a varias etapas de aprendizaje y experimentación desde reconocer un problema y sus potenciales soluciones, desarrollar cambios de actitud y niveles de conciencia, hasta finalmente adoptar o rechazar la innovación considerada. Los experimentos en las parcelas de los agricultores facilitan particularmente que éstos puedan seleccionar alternativas mediante la evaluación directa de las alternativas en sus predios (Enters, 1996).

Barreras para una implementación efectiva de la conservación del suelo (El-Swaify, 1994); otros.

- Limitada disponibilidad de tierras y una fragmentación progresiva de las mismas, lo cual induce a una explotación desmedida de las mismas
- Falta de reconocimiento o ignorancia sobre las causas, magnitud y consecuencias de la degradación
- La no aceptación o adopción de tecnologías
 - Tecnologías monodisciplinarias, aisladas
 - No da respuesta a necesidades de los agricultores
 - No considera el conocimiento local
 - Aplicadas prematuramente
- Falta de participación genuina de individuos y comunidades
- Inseguridad en el sistema de tenencia de la tierra
- Ausencia de conceptos integrales y enfoques holísticos
- Falta de un marco político-institucional favorable. Por ejemplo, ausencia de políticas crediticias o de mercado, regímenes de tenencia de la tierra inapropiados (latifundio, minifundio, arrendamientos en el corto plazo), inexistencia o insuficiencia de estudios e inventarios sobre los recursos naturales, la no existencia de organizaciones o insuficiencia de presupuesto y personal para ejercer sus funciones en el marco del desarrollo sustentable.

VII.3.2 EXPERIENCIAS EN PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN, TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y EXTENSIÓN CONSERVACIONISTA

Experiencia venezolana. Síntesis

- 1945-1960
 - Institucionalización del Programa de Conservación de Suelos y Agua - MAC

Misión científico-técnica Hugh Benett
(1941-42)

Misión científico-técnica William Voght
(1946)

- Alcances parciales, poca atención al hombre, sujeto principal de las acciones tomadas por el Estado en recursos naturales.

● 1960-1977

- Dirección de Recursos Naturales - MAC Programa de RNR. División de Conservación de Suelos y Agua. Inicio de experiencias con el instrumento llamado subsidio conservacionista en Táchira, extendiéndose a demás estados andinos y Nueva Esparta. Este programa se centró en la participación activa del campesino y su familia.
- Proyecto MAC-FAO. Estudios de las cuencas principales
- MOP, Proyectos de Riego. Estudios sobre Aguas y Tierras Coplanarh

● 1977-presente

- MARNR. Programa de Infraestructura Social Conservacionista
- Programa Prodetec I y II del Fonaiap
- Proyecto MARNR-BM-Conservación de cuencas prioritarias (ríos Boconó, Yaracuy y Tocuyo)
- Proyecto MAC-CIARA-BM-Asistencia técnica
- Convención para combatir la desertificación de la ONU firmada y apoyada por Venezuela, 1998. Elaboración de un Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación, 2004.
- Programas de conservación entes descentralizados

- Edelca-Cuenca del río Caroní
- Empresa Hidráulica Yacambú-Quíbor (cuenca del río Yacambú)
- Pdvs-a-Palmaven-Cuencas de abastecimiento estratégicas
Río Hueque, estado Falcón
Ríos Sanchón, Morón y Canoabo, estado Carabobo
Macizo del Turimiquire, estados Anzoátegui y Monagas
- Eleoccidente Cuenca Uribante-Caparo
- Otras - Gobernaciones, alcaldías, instituciones privadas
- Proyecto Cuenca del Río Guárico UCV-FP-MARNR-otros

Para ahondar en mayores detalles sobre la experiencia venezolana, se puede consultar la ponencia sobre el desarrollo histórico y evolución de la conservación de suelos en Venezuela hasta el año 1995, presentada por Fernández (1995d) durante el XIII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, desarrollado en Maracay ese mismo año.

Subsidio conservacionista. Evaluación de experiencias en Venezuela

En el pasado, la División de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura y Cría emprendió y llevó a cabo un programa denominado “Subsidio conservacionista”, el cual, a pesar de su impacto e importancia, tuvo muy corto alcance y se circunscribió a ciertas regiones de los Andes y Nueva Esparta. Posteriormente, el programa continuó adscrito a cargo del Servicio de Conservación de Suelos de la Dirección de Manejo de Cuencas del Marnr, bajo el nombre de “Infraestructura Social Conservacionista”.

Según Aguilar (1978), el subsidio conservacionista es un instrumento que permite el adiestramiento del agricultor en ciertas prácticas culturales y mecánicas, las cuales conllevan la protección y recuperación sistemática de su pequeña propiedad. Por medio del

subsidio, el agricultor adquiere conocimientos y destrezas en la ejecución de algunas prácticas conservacionistas, con las cuales defenderá sus suelos, logrando así mejores rendimientos e ingresos en su explotación.

Para la División de Conservación de Suelos y Aguas del Ministerio para aquel entonces, el subsidio conservacionista es definido como un incentivo económico que el Estado venezolano da a comunidades rurales organizadas en comités, para propiciar la conservación, fomento y aprovechamiento de los recursos naturales renovables, logrando a la vez la elevación socioeconómica de sus comunidades.

Debido a que el pequeño agricultor no cuenta con los recursos necesarios para invertir en prácticas de conservación, el subsidio conservacionista es un instrumento de gran importancia dentro de un plan de acción que tenga como objetivos el desarrollo agrícola sustentable. Sin embargo, como ya se ha mencionado, los técnicos que estén llevando a cabo un programa de esta naturaleza no deben imponer sus ideas, sino concertar las acciones con las comunidades y agricultores de la localidad, de manera que el plan surja de manera participativa. En muchos casos el incentivo viene dado en forma de insumos, semillas y plantas, alimentos y obras que beneficien a la comunidad, como un sistema de riego, una carretera, una escuela u otros bienes comunitarios a cambio de realizar las prácticas de conservación.

Los programas de subsidio o incentivos directos aplicados erróneamente pueden influir negativamente en la actitud del beneficiario, ya que éste puede creer que la conservación es un problema de otros y no de él. Luego de instalada una práctica, éste esperará recibir un pago también por el mantenimiento, lo que casi siempre se excluye del presupuesto del programa. También, puede traer como consecuencia un nivel bajo de participación y responsabilidad por parte de las comunidades e individuos receptores. Una vez elegida la alternativa del subsidio, otros agricultores esperarán el mismo trato para con ellos (Douglas, 1994).

Se han realizado algunas evaluaciones de un proyecto local donde se aplicó el subsidio conservacionista, reflejando las bondades que el mismo produjo.

- La evaluación agrotécnica y económica-Proyectos La Joya, Juan Martín y Las Porqueras (Comerma, Larralde y Soriano, 1970) concluyendo que el programa resultó en:
Aumento de la productividad
Reducción de cultivos en las áreas marginales
Aumento en la rentabilidad
- La evaluación sociocultural y económica - Proyectos La Joya y Juan Martín (Aguilar, 1978), encontrando que:
Los factores que más influyeron en la adopción de prácticas fueron: actitudes, tenencia, participación e ingresos. Otros factores estudiados fueron la escolaridad, estabilidad, edad, comercialización,

A principios de los años noventa surgió la iniciativa de llevar el Programa de Conservación de Suelos hacia tierras agrícolas mecanizables, ya que en sus orígenes se circunscribía principalmente a zonas montañosas de cuencas altas representativas. El programa se denominó Áreas Piloto de Conservación y contó con el apoyo de diversas instituciones gubernamentales y privadas (Marnr, 1990).

Algunas experiencias internacionales

- El Servicio de Conservación de Suelos. Estados Unidos

Como se mencionó en el capítulo IV sobre la USLE, ya a finales del siglo XIX en Alemania se desarrollaron estudios con parcelas de erosión. En Estados Unidos este tipo de estudios fue iniciado por Miller en la Universidad de Missouri en 1917. Para el año de 1935 se crea el Servicio de Conservación de Suelos, gracias al liderazgo y dedicación de H.H. Benett, su fundador. Inicialmente se había establecido el Servicio de Erosión durante el programa de empleo de emergencia de 1933, durante los años de la depresión.

Benett persuadió a los políticos que no sólo se debían construir terrazas, sino que la conservación de suelos abarcaba un amplio espectro de medidas de manejo, agronómicas, de uso adecuado de la tierra y de protección a la naturaleza. Este servicio se encomendó al Departamento de Agricultura (Helms, 1997).

La estrategia originalmente se concentró en áreas demostrativas cercanas a las estaciones experimentales. Más tarde se crearon los distritos conservacionistas como un nivel de organización de los agricultores y el gobierno estatal en el que sus directores eran elegidos por votación. El gobierno federal provee de asistencia técnica y financiera con un control compartido. La flexibilidad de esta estructura permite la adquisición de equipos por parte de las oficinas de campo; los oficiales de distrito pueden influenciar en la propuesta de nuevas leyes y en la zonificación y desarrollo de planes en el Estado. Eventualmente, se concretó en la realización de planes de conservación al nivel de finca, desarrollados conjuntamente por los agricultores y los técnicos del servicio mediante el desarrollo de una guía técnica. El énfasis inicial fue sobre el recurso suelo, pero desde el principio se desarrollaron acciones para la conservación del agua, que han evolucionado hacia diversos planes con enfoque de cuenca a distintas escalas de aplicación. La calidad del agua ha sido un elemento de alta consideración en los últimos años. Una de las razones de su éxito fue el trabajo coordinado con otras instancias gubernamentales y con las universidades.

En 1994 el Servicio de Conservación de Suelos se transforma en el Servicio de Conservación de Recursos Naturales, añadiendo formalmente una serie de tareas que se venían realizando al nivel de humedales, parques nacionales, conservación de la biodiversidad y otras tareas, sin abandonar la realización de planes conservacionistas con los usuarios de la tierra.

La iniciativa de crear un Servicio de Conservación de Suelos de manera institucionalizada fue seguida por muchos países desarrollados y en vías de desarrollo, aunque no todos tuvieron el mismo

éxito, debido a la transferencia del modelo sin las adaptaciones locales necesarias, por una parte, y sin el compromiso de apoyo político de largo plazo, que fue en sus inicios el factor principal del éxito de esta experiencia en Estados Unidos.

- Movimiento Australiano de Cuidado de la Tierra (Australian Landcare Groups)

Existen en Australia más de tres mil grupos de “cuidado de la tierra” en un movimiento iniciado a principios de la década de los ochenta. Éstos son grupos de agricultores australianos y ciudadanos interesados, que se han unido para combatir la degradación de los recursos naturales con el apoyo de los gobiernos locales y del nacional. A diferencia del esquema tradicional en que los procesos físicos de degradación son atacados con soluciones técnicas exclusivamente, este enfoque involucra procesos sociales y políticos, que incorporan una dimensión humana, así como la dimensión biofísica. Se basa en el fortalecimiento institucional, toma de decisiones a nivel local y estímulo al fortalecimiento de la autoconfianza en las comunidades. Dos aspectos resaltantes son el gran número de miembros del movimiento, 35% de los agricultores de Australia, y la forma en que el Gobierno ha dirigido el apoyo, dejándose influenciar en las formas en que las políticas de Gobierno son decididas, cómo se distribuyen los recursos y el tipo de apoyo institucional provisto (Prior, 1996).

El rol de los grupos de cuidado de la tierra va desde la identificación de los problemas de manejo de recursos naturales, investigación, extensión, publicidad y comunicación, formación de redes, movilización de recursos locales y el manejo de los recursos naturales. Muchos de esos roles eran asumidos tradicionalmente por las agencias gubernamentales. De esta manera, se ha logrado que la solución a los problemas sea definida en un rango de estrategias físicas y no físicas, las cuales raramente son de carácter tecnocrático. Los grupos de agricultores son capaces de precisar sus necesidades articuladamente y atraer recursos. La investigación y extensión se

ven de una manera estrechamente vinculada en un proceso progresivo y circular. Los beneficiarios tienen mucha más participación en la definición de los problemas de investigación y en la conducción y seguimiento del proceso (Prior, 1996). Estos grupos presentan varios componentes que los hacen más sustentables, como una alta efectividad en el logro de objetivos a nivel interno, relaciones horizontales con otras organizaciones (otros grupos, escuelas, gobierno local, otros) y relaciones verticales con otras organizaciones (Gobierno estatal y nacional, grupos paragua, comités de cuencas, otros, y estructuras de decisión informales y participativas, adaptables a cambios de necesidades y del entorno, producto de la iniciativa de la comunidad local). Un elemento clave ha sido el apoyo político provisto por los gobiernos a nivel nacional y estatal y el reconocimiento por parte del Gobierno de que el deterioro de los recursos naturales podrá ser revertido sólo mediante el desarrollo de las capacidades humanas, conjuntamente con las tecnologías apropiadas.

- La División para el Desarrollo de Tierras y Agua de la FAO

Esta división de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO ha estado preocupada por el desarrollo de las tierras en todas sus formas. En los años sesenta se produce el primer boletín de suelos, haciendo énfasis en el inventario y evaluación de los recursos, aunque la conservación de suelos y agua ha estado siempre presente en sus campos de acción. Además de las experiencias en proyectos en campo en todos los continentes, principalmente en países en vías de desarrollo y que son documentados en boletines y otras publicaciones, la División ha desarrollado muchas herramientas para la evaluación y planificación de tierras y ha desarrollado bases de datos y sistemas de información de recursos de la tierra, entre éstos el mapa mundial de suelos, de degradación de tierras, de zonas agroecológicas, entre otros (AGL, 2007). Recientemente, ha sido creado el Departamento de Manejo de Recursos Naturales y Ambiente, del cual la División de Tierras y

Agua forma parte. Muchos de los proyectos y actividades desarrollados por la FAO son realizados mediante alianzas estratégicas con otras instituciones de diversa naturaleza.

- WOCAT: Panorámica Mundial de los Enfoques y Tecnologías para la Conservación de Suelos y Agua

De la introducción sobre WOCAT en su página web (WOCAT, 2007b) se extraen los siguientes tres párrafos que resumen el alcance de este proyecto internacional, que trata de sistematizar y redistribuir la información disponible sobre enfoques y tecnologías en conservación de suelos y agua.

Los usuarios de la tierra y los especialistas de conservación de suelos y aguas (CSA) evalúan continuamente las experiencias y generan conocimientos relacionados con el manejo de la tierra, el mejoramiento de la fertilidad del suelo y la protección de los recursos del suelo. Sin embargo, la mayor parte de estos conocimientos no está bien documentada o no es fácilmente accesible y las comparaciones entre distintos tipos de experiencias son difíciles.

La misión de WOCAT es de facilitar los instrumentos que permiten a los especialistas en CSA compartir sus valiosos conocimientos del manejo de suelos y agua, que les asisten en su búsqueda de tecnologías y enfoques de CSA adecuados y que les dan el soporte necesario cuando tienen que tomar decisiones en el campo y al nivel de la planificación. WOCAT fue establecido como una red global de especialistas de CSA. Éste facilita un uso más eficiente de los conocimientos existentes y, por lo tanto, de los fondos destinados al desarrollo. De esta manera, se optimiza la implementación de métodos apropiados de CSA y se evita la duplicación de esfuerzos.

WOCAT pone énfasis en el mejor uso de los escasos recursos disponibles con el objetivo de promover el manejo sostenible de la tierra. En muchas partes de los países desarrollados y de los países en desarrollo los suelos no son manejados en forma sostenible. Más aún, la mayoría de la población de los países en desarrollo depende

directamente de los recursos de la tierra. Por esta razón, el mantenimiento o el aumento de la calidad de esos recursos es un paso importante hacia el mejoramiento del nivel de vida de la población rural, la disminución de la pobreza y, finalmente, hacia un desarrollo más sostenible.

La figura VII.6 ilustra el papel de la conservación de suelos y aguas en el manejo sustentable de la tierra. Ésta, a su vez, es parte del desarrollo sustentable. WOCAT eleva el papel de la conservación de suelos y agua a una dimensión global, por lo que se establece a una escala de trabajo general. Es necesario ahondar en el nivel de resolución adecuado para hacer operacional la propuesta metodológica de WOCAT a nivel local. Sin embargo, podemos considerar que WOCAT puede ser una herramienta ideal para intercambiar experiencias y contar con un nivel de interacción apropiado con otros actores beneficiarios del uso de la tierra y, muy particularmente, con los actores políticos y los responsables de tomar decisiones, presentando las ventajas y desventajas de las tecnologías y enfoques de la conservación de suelos y agua en un lenguaje accesible y entendible por un amplio público.

La metodología de WOCAT se basa en la aplicación de unos cuestionarios estandarizados para describir sistemáticamente las tecnologías y los enfoques en conservación de suelos y agua y la creación de mapas asociados. Las tecnologías se definen como medidas agronómicas, vegetativas, estructurales y de gestión usadas para prevenir y controlar la degradación de tierras y promover la productividad en el campo. Los enfoques constituyen las vías o medios de apoyo para ayudar a introducir, implementar, adaptar y aplicar una tecnología de conservación de suelos y agua, sobre el terreno. Esta última definición encaja mejor dentro del marco de un programa o proyecto de conservación en el cual se alienta el uso de determinadas tecnologías (WOCAT, 2007a).

La idea de la conservación de suelos y agua como una premisa del desarrollo sustentable, eje y fundamento de los contenidos de

esta publicación, queda claramente representada en la figura VII.6, siendo las técnicas y enfoques de esta disciplina las herramientas e instrumentos básicos mediante los cuales podamos aproximarnos cada vez más y contribuir de manera concreta a esa meta común de la humanidad: el desarrollo sustentable. El manejo sostenible de la tierra, como ya hemos discutido, debe también abordarse desde otros ángulos, como el político y el institucional, y deben considerarse diversos componentes como la conservación de la biodiversidad, los cambios climáticos, las fuentes energéticas, la contaminación, y muchos otros aspectos, que estando relacionados, se abordan en forma complementaria a la conservación de suelos y agua.

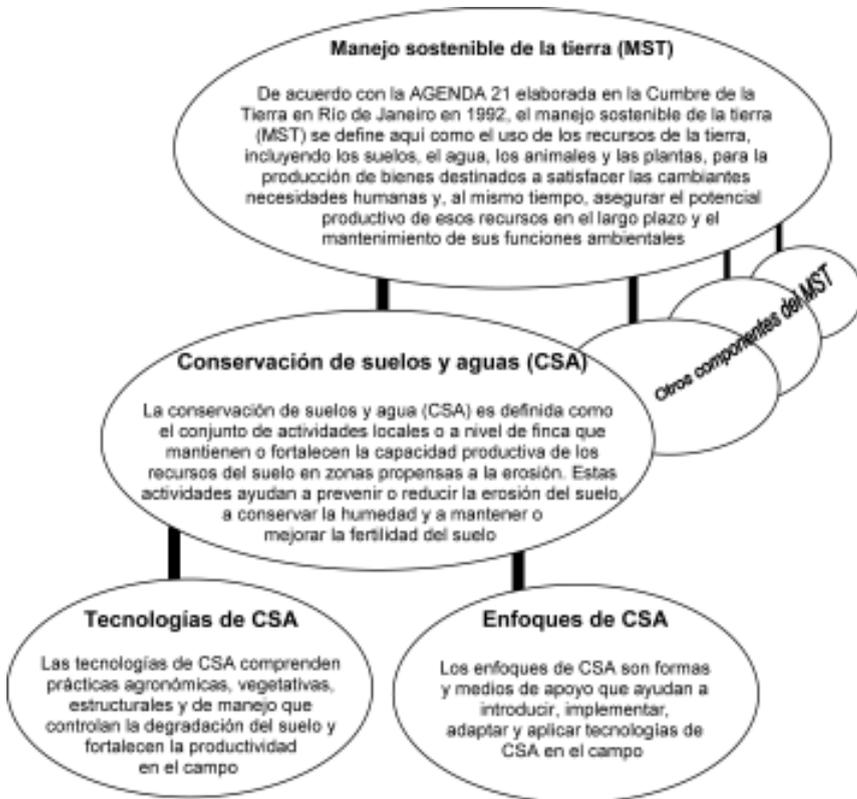


Figura VII.6. WOCAT, Panorámica mundial de los enfoques y tecnologías para la conservación de suelos y agua y el manejo sostenible de la tierra (MST) (WOCAT, 2007b).

VIII. CONSIDERACIONES FINALES

A manera de corolario, se establecen algunas consideraciones finales en referencia a los temas desarrollados en este texto. Entre estas consideraciones se pueden comentar e incluir las siguientes.

La degradación de tierras es un flagelo que tiene efectos diversos, locales y fuera de sitio, impactando la productividad de los sistemas agrícolas; afectando la cantidad y calidad de las aguas y la consecuente contaminación y degradación de los ecosistemas acuáticos; aumentando los riesgos de deterioro y colapso de edificaciones, vías de comunicación y otros tipos de infraestructuras; disminuyendo la cantidad y calidad de los servicios ambientales que prestan las tierras tanto cultivadas como no intervenidas por el ser humano; contribuyendo a las emisiones de gases invernadero que originan el sobrecalentamiento de la Tierra, estimulando la pérdida de la biodiversidad y, en general, alterando las funciones que sostienen la vida y, por tanto, las actividades humanas que de ella dependen. La economía de un país o de una región puede entrar en crisis si los recursos de los cuales depende son explotados, de tal manera que su productividad se vea disminuida en el tiempo y los procesos para su renovación o reemplazo sean interrumpidos. La sociedad ve mermada así su calidad de vida, al disminuir sus ingresos, su salud y la calidad del ambiente donde habita, generando conflictos sociales, la pobreza y la marginalidad, problemas de primer orden en la agenda política de los países menos desarrollados. La degradación de tierras puede convertirse en una limitación al desarrollo sustentable, en algunos casos de carácter irreversible.

La conservación de suelos y agua es una disciplina que sirve como herramienta para oponerse a los procesos de degradación de tierras y deterioro del ambiente y contribuir, junto con otros componentes y disciplinas, al manejo sostenible de las tierras, que a su vez forma parte de un objetivo de mayor alcance y trascendencia como lo es el desarrollo sustentable. Es por ello que la conservación de suelos y agua, como disciplina y como logro tangible, puede considerarse una premisa básica para el logro del tan ansiado y deseable desarrollo sustentable.

No podemos considerar aisladamente ni aplicar las prácticas de conservación de suelos y aguas sin contextualizarlas en un determinado ambiente ecológico, económico y social. Sólo así pueden éstas contribuir al verdadero desarrollo sustentable. En su selección deben satisfacerse no sólo los requerimientos técnicos relacionados con las condiciones físico-naturales en las que la práctica es más eficiente y eficaz, porque se adapta a características como la pendiente, profundidad del suelo, pH, clima, sistema de siembra u otras variables ecológicas y a la vez es capaz de evitar, detener o mitigar el proceso de degradación de tierras y en algunos casos de recuperar tierras ya degradadas. También deben satisfacerse criterios económicos a nivel individual (productor) o colectivo (beneficiarios de productos y servicios), es decir, que la inversión realizada en la o las prácticas sea redituable en el período de planificación considerado y sus costos financiados por alguna fuente; y, finalmente, deben ser socialmente aceptables, es decir, deben ser compatibles con las costumbres, valores y creencias del usuario de la tierra y demás actores involucrados y a la vez debe existir un convencimiento por parte de los interesados de la necesidad y las bondades de la o las prácticas, aspecto que se ve reforzado cuando la selección y desarrollo de la práctica ha sido implementada con la participación de los verdaderos protagonistas, es decir, de los productores, agricultores y demás interesados.

No existe una panacea ni hay recetas. No hay una tecnología universal única para el desafío de satisfacer las necesidades humanas y al mismo tiempo proteger la biosfera terrestre. Las tierras varían

ampliamente en su potencial productivo, en sus limitaciones y en sus respuestas al manejo, aun en áreas tan pequeñas como las fincas individuales. Siempre es necesario considerar varias opciones tecnológicas, porque raramente se pueden solucionar problemas reales con sólo una práctica y porque las tecnologías deben satisfacer los requerimientos ecológicos, económicos y sociales simultáneamente. Es por ello que se habla de sistemas de manejo de recursos SMR, en los cuales dos o más prácticas se combinan para solucionar uno o más problemas de degradación. Las soluciones presentadas en este documento se pueden considerar como una guía para ayudar a llegar a la combinación de prácticas más apropiadas para una situación dada según los principios generales discutidos. Lo que funciona bien en un lugar, puede no ser lo más apropiado en otro lugar, a pesar de las similitudes que pudieran existir.

La planificación conservacionista de la tierra, tanto estratégica como táctica, debe servir como marco de referencia y herramienta fundamental para desarrollar un plan conservacionista de uso de la tierra. Como menciona el documento de UNEP-FAO (2000), las metas específicas de los distintos grupos de usuarios también difieren, así como la tecnología y los recursos físicos y financieros a su disposición. Esas amplias variaciones de los recursos de la tierra y de las condiciones socioeconómicas necesitan un enfoque de planificación integrada aplicado con gran flexibilidad para enfrentar los problemas particulares y proponer soluciones específicas.

Las políticas ambientales y las políticas de uso de la tierra en particular, deben propender hacia la toma de decisiones basadas en una visión integral, sistémica y de largo plazo, que permitan darle continuidad a cualquier esfuerzo o iniciativa que pretenda facilitar la inserción de la conservación de suelos y agua y de los recursos naturales asociados en los sistemas de producción agrícola y otros sistemas de uso de la tierra, incluyendo áreas de construcción, minería, petróleo, corredores de servicio, turismo, industrias y áreas naturales protegidas, de manera de hacer de la conservación una realidad práctica sobre el terreno, que genere beneficios tangibles para las generaciones presentes y futuras.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A. y C. Cordero (1982). Estudio geográfico conservacionista de la cuenca alta del río Boconó. Tesis de Grado. UCV, Facultad de Agronomía, Maracay, 194 p.
- AG. (2007). Land and Water Development Division FAO. [Página web en línea] Disponible: <http://www.fao.org/landandwater/default.stm> [Consulta: 2007, abril 20].
- AGL-FAO (2000). Pro soil. Problem soils database. [Página web en línea] Disponible: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/prosoil/index.htm> [Consulta: 2007, mayo 10].
- Aguilar, L.A. (1978). El subsidio conservacionista y la difusión y adopción de innovaciones tecnológicas. Trabajo de Ascenso, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Mérida, 129 p.
- Ahumada, J. (1966). Número especial dedicado a Jorge Ahumada. Cuadernos de la Sociedad Venezolana de Planificación, 4(4-5). Caracas.
- Altieri, M. (1997). Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable. Clades. Lima, Perú. CIED / Secretariado Rural Perú-Bolivia, 512 p.
- Andreu, E. (2006). La mecanización en la conservación de suelos y aguas. Apuntes para la asignatura Conservación de Suelos. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Mimeografiado, 18 p. y anexos.
- Arnold, J.G., J.R. Williams, R. Srinivassan y K.W. King (1999). SWAT. Soil and water assessment tool. Documentación científica. USDA, Agricultural Research Service; Grassland Soil and Water Research Laboratory. Texas A&M, Blackland Research Center, Temple, Texas, 98 p.

- Azuaje, P., E. González, E. Amézquita, M. Jiménez, R. Díaz y T. Barreto (1987). Influencia de la labranza sobre el aprovechamiento de los fertilizantes en el cultivo de maíz en los estados Guárico y Yaracuy, X Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Maracaibo, 14-21 de junio. Mimeografiado, 10 p.
- Banco Mundial-B.M. (1995). *Vetiver la barrera contra la erosión*. Banco Mundial, Washington, D.C., USA. Tercera edición en español.
- Barfield, B.J., R.C. Warner y C.T. Haan (1981). *Applied hydrology and sedimentology for disturbed areas*. Oklahoma, Oklahoma Technical Press, 603 p.
- Barlowe, R. (1965). Economía de la utilización del suelo, pp. 275-306.
- Barlowe, R. (1986). Land resource economics. Capítulo 8. Long term management and conservation of land resources. Prentice Hall, New Jersey, pp. 182-217.
- Bergsma, E. (2000). Incentives of land users in projects of soil and water conservation, the weight of intangibles. *Geojournal*, 50: 47-54.
- Bergsma, E., P. Charman, F. Gibbons, H.Hurni, W.C. Moldenhauer y S. Panichapong (1996). Terminology for soil erosion and conservation. ISSS-International Society of Soil Science, ITC-International Institute for Aerospace Survey and Earth Science and ISRIC-International Soil Reference and Information Center. 313 p.
- Blanquies, J., M. Scharff y B. Hallock (2003). The design and construction of a rainfall simulator. International Erosion Control Association (IECA), 34th Annual Conference and Expo., Las Vegas, Nevada, February 24-28.
- Booth, T. (1986). Using a computerized land-use planning package with the FAO Framework for Land Evaluation. *Environmental Management*, 10(3): 351-358.
- Bordenave, J.D. y H.M. Carvalho (1978). *Planificación y comunicación*. Colección Intrigan. Editorial Don Bosco, Quito, Ecuador.
- Brito, P. y J. Gilabert. de Brito (1984). Caracterización agroclimática de las áreas de desarrollo rural integrado de los ríos Guárico, Tiznados y Orituco del estado Guárico. Fonaiap, Publicación Técnica. Serie C. N° 6-02, 73 p.
- Bryant, C.R., L.H. Ruswurm y A.G. McLellan (1982). *The city's countryside. Land and its management in the rural-urban fringe*. Longman, Inc. New York, USA, 249 p.

- Buckman, H. y N. Brady (1977). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Montaner y Simon, S.A., Barcelona, 590 p.
- Castellano, B.H. (1991). *El oficio del planificador*. Vadell Hermanos Editores, Valencia, Venezuela. 223 p.
- Castillo, M.A. (1991). *Evaluación de sistemas de conservación de suelos y aguas en áreas montañosas bajo cultivo de papa, durazno y otras coberturas permanentes*. Tesis de pregrado, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay, 76 p.
- Castillo, J.A. y M.L. Páez(1989). “Impacto de la erosión en la productividad y el ambiente”. Alcance n° 37. *Revista de la Facultad de Agronomía*, Universidad Central de Venezuela, pp. 137-147.
- CCSA (2001). *Conservación de suelos y agua. Manual de teoría*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Departamento de Agronomía, Cátedra de Conservación de Suelos y Agua. M.L. Páez, N. Fernández y O. S. Rodríguez (eds), Maracay.
- CCSA (2005). *Conservación de suelos y agua. Manual de prácticas*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Departamento de Agronomía. Cátedra de Conservación de Suelos y Agua. M.L. Páez, N. Fernández y O. S. Rodríguez (eds). Edición ampliada y revisada, O. S. Rodríguez y O. Silva. Maracay. 114 p.
- Cidiat (1990). *Proyecto Sanburbo. Evaluación de tierras por capacidad de uso*. Mérida.
- Ciriacy-Wantrup, S. (1979). *Resource conservation. Economics and policies*. Division of Agricultural Sciences, Third ed. 27-47.
- Comerma, J. y L. Arias (1971). “Un sistema para evaluar la capacidad de uso agropecuario de los terrenos en Venezuela”. *Seminario de Clasificación Interpretativa con Fines Agropecuarios*. Boletín de la SVCS. Maracay, Venezuela, 50 p.
- Comerma, J. A. Rivas Larralde y J. Soriano (1970). *Aumento de la productividad agrícola a través de los trabajos de conservación de suelos*. *Agronomía Tropical*, vol. XXIII, n° 1, pp. 95-112.
- Comerma, J. y R. Paredes (1978). “Principales limitaciones y potencial agrícola de las tierras en Venezuela”. *Agronomía Tropical*, vol. XXVIII, n° 2.
- Coplanarh (1972). *Plan de la Nación de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos*. 2 tomos.

- Costa, M.B.B. da (coord.); Calegari, A.; Mondardo, A.; Bulisani, E.A.; Wildner, L. do P.; Alcántara, P.B.; Miyasaka, S. y Amado, T.J.C. (1992). Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, AS-PTA, 346 p.
- Coyne, M.S., R.A. Gilfillen, A. Villalba, Z. Zhang, R. Rhodes, L. Dunn, y R.L. Blevins (1998). Fecal bacteria trapping by grass filter strips during simulated rain. *J. Soil and Water Cons*, 53(2):140-145.
- CPGCH-Colegio de Postgraduados de Chapingo (1991). Manual de Conservación del Suelo y el Agua. Cuarta edición. Instructivo. Dirección General de Conservación del Suelo y Agua. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- CPGCH-Colegio de Postgraduados-Chapingo (1991). Manual de conservación del suelo y del agua. Instructivo. Tercera edición. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, 248 p.
- Critchley, W. (1999). Food for work and rainwater harvesting: Experience from Turkana District, Kenya in the 1980s. En: Incentives in soil conservation. From theory to practice. D. Sanders, P. Huszar, S. Sombatpanit y T. Enters eds. Asociación Mundial de Conservación de Suelos y Agua, New Delhi, pp. 323-344.
- De la Rosa, A., W. Moosbrugger, W. A. Otero, C.A. Quintero y R. Solanilla (1994). Cuidemos nuestra tierra. Una vida mejor mediante el aprovechamiento de los recursos del campo. Proyecto Checua, Convenio Colombo Alemán. Segunda edición, Bogotá, Colombia, 69 p.
- Delgado, F. (1987). Prácticas agronómicas de conservación de suelos. Cidiat. Serie: Suelos y Clima. Mérida, Venezuela, 69 p.
- Delgado, F. (1997). Sistema para la evaluación y clasificación de tierras agrícolas y prioridades de conservación de suelos en áreas montañosas tropicales. Un enfoque metodológico. Serie Suelos y Clima N° SC-73. Cidiat Mérida, Venezuela.
- Delgado, F. 2001. Agricultura sostenible y mejoramiento de suelos de ladera. Serie: Suelos y Clima. CIDIAT-Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de Los Andes, Mérida, República Bolivariana de Venezuela, 205 p.
- Delgado, F. y R. López. (1995). "Validación de un modelo erosión - productividad en suelos de los Andes venezolanos". *Revista Venesuelos*, 3(1):13-24.
- Delgado, F.; R. Terrazas y R. López. (1998). "Planificación de la conservación de suelos" en Cuencas altas, utilizando relaciones erosión - productividad. *Agronomía Tropical*. 48(4):395-411.

- Dent, D. (1988). Guidelines for land use planning in developing countries. *Soil Survey and Land Evaluation*, 8(1988):67-76.
- Dillaha, T.A., R.B. Reneau, S. Mostaghimi y D. Lee. (1989). Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control. *Transactions of the ASAE*, vol. 32(2):513-519.
- Dissmeyer, G.E. y G.R. Foster (1980). A guide for predicting sheet and rill erosion on forest land. U.S. Dep. Agric., Forest Serv. Tech. Publ. SA-TP-11.
- Domínguez, A., J. Rosello y J. Aguado (2002). “Diseño y manejo de la diversidad vegetal en agricultura ecológica”. Cuadernos de Agricultura Ecológica. Phytoma ed. En colaboración con SEAE-Sociedad Española de Agricultura Ecológica 132 p.
- Doran, J.W. y T.B. Parkin (1994). Defining and assessing soil quality. En: J. W. Doran; D. C. Coleman; D. F. Bezdiced; y B. A. Steward, eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. SSSA Spec. Pub. N° 35. ASA, CSSA y SSSA, Madison, pp. 3-21
- Douglas, C. (1994). Sustainable use of agricultural soils. A review of the prerequisites for success or failure. *Development and Environment Reports* N° 11. Grupo para el Desarrollo y el Ambiente. Instituto de Geografía, Universidad de Berna, Berna, 161 p.
- Douglas, H. (2007). Natural resources conservation service brief history. NRCS History Articles. NRCS-USDA [Documento en línea] Disponible: <http://www.nrcs.usda.gov/about/history/articles/briefhistory.html> [Consulta: 2007, Abril 20].
- Eichler, A. (1960). Conservación de la naturaleza y de los recursos naturales. Rectorado de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 2 tomos.
- Ellison, W.D. (1952). Raindrop energy and soil erosion. En: *Empire Journal of Experimental Agriculture*, vol. 20, n° 78, pp. 81-96.
- El-Swaify, S. (1994). “State of the Art for assessing soil and water conservation needs and technologies: A global perspective”. In: *Adopting conservation on the farm*. Napier, Camboni y El-Swaify editores. Soil and Water Conservation Society. USA, pp. 13-27.
- Enkerlín, E., G. Cano, R. Garza y E. Vogel (1997). *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*. International Thomson Editores. México. 690 p.
- Enters, T. (1996). The token line: Adoption and non adoption of soil conservation practices in the highlands of northern Thailand. En: *Soil conservation extension: From concepts to adoption*.

- Sombatpanit, S., M. A. Zöbish, D. W. Sanders y M. G. Cook editores. Soil and Water Society of Thailand, Bangkok, pp. 417-427.
- FAO (1976). A framework for land evaluation. Boletín de Suelos n° 32. FAO, Roma, 79 p.
- FAO (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 86 p.
- FAO (1984). Proteger y producir. Conservación del suelo para el desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. Departamento de Agricultura, Roma, 40 p.
- FAO (1985a). “Directivas: evaluación de tierras para la agricultura de secano. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación”. Boletín de Suelos de la FAO n° 52, Roma, 228 p.
- FAO (1985b). Methods and materials in soil conservation. A manual. Land and Water Development Division. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- FAO (1987). “Soil and water conservation in semiarid area”. Boletín de Suelos n° 57, Roma, 172 p.
- FAO (1988). “Manual de Ordenación de Cuencas Hidrográficas. Estabilización de laderas con tratamientos del suelo y la vegetación”. Guía FAO Conservación 13/1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- FAO (1992). Desarrollo sostenible y medio ambiente. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 89 p.
- FAO (1993a). Papel del ganado doméstico en el control de la desertificación. Chile. [Documento en línea] Disponible: <http://www.fao.org/docrep/x5320s/x5320s00.HTM> [Consulta: 2007, mayo 17].
- FAO (1993b). Guidelines for land use planning. FAO Development Series. Roma, 96 p.
- FAO (1996). Agro Ecological Zoning. Guidelines. Boletín de Suelos de la FAO, n° 73, Roma, 228 p.
- FAO (1999). Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. FAO, Roma, 20 p.

- FAO (2001). Guidelines for the qualitative assessment of land resources and degradation. ISRIC-FAO, Roma, 31 p.
- FAO (2002). Agua y cultivos. Logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. FAO, Roma, 22 p.
- FAO-UNEP (2000). El futuro de nuestra tierra. Enfrentando el desafío. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en colaboración con el del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Pnuma) Roma, 80 p.
- Fernández, N. (1989). “Evaluación de prácticas de conservación de suelos en cultivos hortícolas”. Alcance 37, revista Facultad de Agronomía UCV, Maracay, Venezuela, pp. 87-96.
- Fernández, N. (1995a). “Evaluación de prácticas de conservación de suelos en cultivos hortícolas (Repollo y coliflor)”. Alcance 47/Revista Facultad de Agronomía UCV, Maracay, Venezuela, pp: 1-11.
- Fernández, N. (1995b). “Evaluación de la eficiencia de diferentes sistemas de conservación en tres cultivos hortícolas durante dos ciclos y otras coberturas permanentes”. Alcance 47, revista Facultad de Agronomía UCV, Maracay, Venezuela, pp. 115-124.
- Fernández, N. (1995c). “Efectos en las pérdidas de suelo y agua de diferentes tasas de residuos superficiales aplicados a un suelo sin cultivos en una cuanca alta”. Alcance 47, revista Facultad de Agronomía UCV, Maracay, Venezuela, pp. 105-113.
- Fernández, N. (1995d). “Desarrollo histórico y evolución de la conservación de suelos en Venezuela”. En: Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo Documento Aniversario de los 40 años de la SVCS: 1955-1995. (Un recuento de su acontecer. XIII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Gilabert de Brito, J.; Pla Sentis, I.; Cabrera de Bisbal, E. Maracay. Boletín Técnico Especial, pp. 117-131.
- Fernández, N. (2001). “Prácticas mecánicas de conservación de suelos”. En: Conservación de suelos y agua. M.L. Páez, N. Fernández y O. S. Rodríguez (eds). Cátedra Conservación de Suelos y Agua, Facultad de Agronomía, Departamento de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Capítulo VII. 20 p.
- Fernández, N. y Y. Arismendi (1994). Efecto de la erosión simulada y el abonamiento orgánico sobre la productividad del suelo usando

- remolacha (*Beta vulgaris* L.) como cultivo indicador”. *Revista Venesuelos*, 2(2):54-58.
- Flanagan, D.C y J. Livingston (1995). WEPP User Summary. USDA-Water erosion prediction project. National Soil Erosion Research Laboratory Report No. 11 USDA-ARS-MWA West Lafayette, Indiana, 141 p.
- Florentino, A. (2004.) Evaluación del nivel de degradación y de la calidad física de suelos. Material mimeografiado. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela, 6 p.
- Flores, B.Y. (2006). Impacto de los sistemas de producción agrícola sobre la calidad del suelo para la producción sostenible de agua y su relación con riesgos de desertificación en la subcuenca Callecitas, estado. Guárico. Tesis de Maestría, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, 145 p.
- Flores, E.A. (1994). Efecto de la remoción superficial y el abonamiento sobre la productividad de un oxic haplustalf en la faja maicera del Yaracuy. Tesis de Maestría. Postgrado en Ciencia del Suelo, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay, 139 p.
- Foster, G. (2003). Revised universal soil loss equation. Version 2. Guía de referencia del usuario. Laboratorio Nacional de Sedimentación. USDA-ARS, Oxford, Mississippi. Versión borrador. 178 p.
- Foster, G. (2005). Revised Universal Soil Loss Equation. Version 2. Documentación científica. Laboratorio Nacional de Sedimentación. USDA-ARS, Oxford, Mississippi. Versión borrador, 286 p.
- Foster, G.R., T.E. Toy y K.G. Renard (2003). Comparison of the USLE, RUSLE 1.06c and RUSLE2 for Application to highly disturbed land. En: K.G. Renard, S. McElroy, W. Gburek, E. Canfield, y R.L. Scott (eds.), Proc. 1st Interagency Conf. on Research in the Watersheds, Oct. 27-30, Benson, AZ, pp. 154-160.
- Fusagri-Fundación Servicio para el Agricultor (1988). “Mínima labranza”. *Noticias Agrícolas*, XI(15):61-64.
- Gabaldón, A. J. (2006). Desarrollo sustentable. La salida de América Latina. Editorial Melvin, Grijalbo, Caracas, 489 p.
- Greenfield, J.C. (2002). Vetiver grass. An essential grass for the conservation of planet earth infinity publishing. Com. Haverford, Pa. USA, 24 p.
- Grossman, R.B. y C.R. Berdanier (1982). Erosion tolerance for cropland. Application of the soil survey data base. En ASA y SSA (eds.) *Determinants of soil loss tolerance*, pp. 113-130.

- Hart, R. y M. Sands (1990). Sustainable land use systems research and development. USDA/ICAR/RRC Workshop on "Needs and opportunities for cooperative research in the development of sustainable land use systems". New Delhi, India, 13 p.
- Helms, D. (2007). Natural resources conservation service brief history [Documento en línea] Disponible: <http://www.nrcs.usda.gov/about/history/articles/briefhistory.html> [Consulta: 2007, Mayo 05]
- Hengchaovanich, D. (1998). Vetiver grass for slope stabilization and erosion control. Tech. Bull. N° 1998/2, Pacific Rim Vetiver Network (PRVN), Office of the Royal Development Projects Board (RDPB), Bangkok, Thailand.
- Herweg, K., K. Steiner y J. Slaats (1988). Sustainable land management-guidelines for impact monitoring. Workbook and toolkit. Working document for public discussion. Bern, pp. 79-128.
- Hill, I.D. (1982). Natural resource surveys in agricultural development planning: A quick and clean method. Agricultural Administration, 10(1982):181-188.
- Holdridge, L.R. (1967). Life zone ecology. Revised edition. Tropical Science Center, San José, Costa Rica, 206 p.
- Hudson, N.W. 1971. Soil conservation. B.T. Batsford limited, Bedford, Inglaterra. 320 p.
- Hudson, N.W. (1982). Conservación del suelo. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España, 335 p.
- Hudson, N.W. (1993). Field measurement of soil erosion and runoff. Boletín de Suelos de la FAO N° 68, Roma, Italia, 140 p.
- Hudson, N.W. (1988). Tilting at windmills or fighting real battles. En: "Conservation Farming on steep lands". Memorias del Taller Soil and Water Conservation on Steep Lands". San Juan, Puerto Rico, marzo, 1987. Soil and Water Conservation Society, World Association of Soil and Water Conservation. Ankeny, Iowa. USA, pp. 3-8.
- Hurni, H. (1985). Soil conservation manual for Ethiopia. Ministry of Agriculture. Addis Abeba, Ethiopia. October, 15 p.
- Hurni, H. (1995). Guidelines for development agents on soil conservation in Ethiopia. Ministry of Natural Resources Development and Environmental Protection. Watershed Development and Land Use Department. Switzerland, 100 p.
- Hurni, H. (1997). "Concepts of sustainable land management". ITC Journal 1997 3/4, pp. 210-215.

- Hurni, H. y colaboradores. 1996. Precious earth: From soil and water conservation to sustainable land management. International Soil Conservation Organization (ISCO) and Centre for Development and Environment (CDE), Berna, Suiza, 89 p.
- IIRR-International Institute of Rural Reconstruction (1992). Soil and water conservation (SWC) technologies and agroforestry systems. IIRR (International Institute for Rural Reconstruction), DENR (Department of Environment and Natural Resources), FF (Ford Foundation). En: Agroforestry Technology Information Kit (ATIK). N° 1 Silang, Cavite. Filipinas.
- Ives, J. R. y K.D. Cocks, (1983). siro-plan and LUPLAN: An Australian approach to land-use planning. 2. The LUPLAN land use planning package. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1983, vol. 10, pp. 347-355.
- Ives, J.R., K.D. Cooks y C.A. Parvey (1989). Using the LUPIS land management package to select and schedule multi-site operations. *Journal of Environmental Management*, (1989) 29:31-45.
- Ives, J.R., J.R. Davis y K.D. Cooks. (1985). LUPLAN. A computer package to support inventory, evaluation and allocation of land resources. *Soil Survey and Land Evaluation*, 5(3):77-87.
- Jegat, H. y C. Espinosa (1991). "Cuantificación de la pérdida superficial de suelos a nivel de cuenca mediante la aplicación de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)". En *Metodología de evaluación e investigación de la erosión del suelo y su impacto en la productividad y el ambiente. Memorias de Taller realizado en Mérida del 30 de mayo al 01 de junio de 1990*. Cidiat, Mérida, pp. 45-56.
- Karlen, D.L., M. J. Mausbach, J. W. Dora; R. G. Cline, R.F. Harris y G.E. Schuman (1997). Soil quality: A concept definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61:4-10.
- Karsies, L.E. y I. Prosser (1999). Guidelines for riparian filter strips for queensland irrigators. CSIRO Land and Water. Canberra. Technical report 32/99, 32 p.
- Kirkby, M.I. y R.P.C. Morgan (1980). Soil erosion. Publicación del British Geomorphological Research Group, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Kohnke H. y A. Bertrand (1959). Soil conservation. Batsford, Londres, 320 p.

- Lafren, J.M. y W. C. Moldenhauer (2003). The USLE Story. Pioneering Soil Erosion Prediction. Special publication N° 1, World Association of Soil and Water Conservation- WASWC. Thailand, 54 p.
- Lal, R. (1976). Soil erosion on alfisols in western Nigeria and their control. IITA Monograph N° 1 Ibadan, Nigeria, 126 p.
- Lal, R. (1985). Soil erosion and its relation to productivity in tropical soils. En: S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer y Andrew Lo., eds. Soil erosion and conservation. SCSA. Ankeny, Iowa, pp. 237-247.
- Lal, R., G.F. Hall y F.P. Miller (1989). Soil degradation: I Basic Processes. En Land degradation and rehabilitation, vol. 1:51-69.
- Lancaster, T. y D.N. Austin (1994). Classifying rolled erosion-control products: A current perspective. Geotechnical Fabrics Report Magazine, USA.
- Larson, W.E. (1964). Soil parameters for evaluating tillage needs and operations. Soil Science Society of America Proc., 28:118-122.
- Larson, W.E. y F.J. Pierce (1994). The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. En: J. W. Doran; D. C. Coleman; D.F. Bezdiced y B.A. Steward eds., Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Spec. Pub. N° 35. ASA, CSSA y SSSA, Madison. pp. 37-57.
- Magette, L.W., R.B. Brinsfield, R.E. Palmer y J.D. Wood (1989). Nutrient and sediment removal by vegetated filter strips. Transactions of the ASAE, vol. 32(2):663-667.
- Mannering, J.V. (1981). The use of soil loss tolerance as a strategy for soil conservation. En: Morgan, ed. Soil conservation: Problems and prospects. John Wiley, Chichester. pp. 337-349.
- Marnr (1979). Inventario Nacional de Tierras. Evaluación de Tierras con fines de aprovechamiento agrícola para las regiones de los Llanos Centrales y Occidentales. Serie de Informes Técnicos. Zona 2/IT/60. Maracay, octubre 1979, 92 p.
- Marnr (1980). Documento preliminar para la elaboración del Plan Nacional de Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Serie de Planes DGSPOA/PL/24. Caracas.
- ____ (1984). Sistemas ambientales venezolanos. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Proyecto VEN/79/01. Síntesis General. DGSPOA, 245 p.
- ____ (1990). Las áreas piloto de conservación". Primer Taller de Áreas Piloto de Conservación de Suelos y Aguas. Los Venados, Parque Nacional El Ávila, Caracas, 13 p.

- Márquez, L. (2005). "Una mirada a la siembra directa. Agrotécnica. Cuadernos de Agronomía y Tecnología". B&H Editores, año VIII, n° 9. Septiembre, pp. 38-42. www.bh-editores.com
- Marston, D. (1996). Extending soil conservation from concept to action. En *Soil conservation extension: from concepts to adoption*. Sombatpanit, S., M.A. Zöbish, D. W. Sanders y M.G. Cook eds., Bangkok., Soil and Water Society of Thailand, pp. 21-26.
- McCool D.K., G.R. Foster C.K. Mutchler y L.D. Meyer (1989). Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans ASAE*, 32:1571-1576.
- McCool D.K., L.C. Brown, G.R. Foster, et al. (1989). "Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation". *Trans. ASAE*, 30:1387-1396.
- McDonald, G.T. y A.L. Brown (1984). The land suitability approach to strategic land use planning in urban fringe areas. *Landscape planning* 11(1984): 125-150.
- Meier, H. (1982). *El derecho ambiental y el régimen social venezolano*". Ciclo de Conferencias. Marnr. Caracas.
- Misra, R.V. y R.N. Roy (2002). *On farm composting methods*. FAO, Roma. 26 p.
- M.M. (2007). Mecanismo mundial. [Página web en línea] Disponible: <http://193.194.138.128/spanish/About/index.htm> [Consulta: 2007, Mayo 17].
- Morgan, R.P. (1997). *Erosión y conservación del suelo*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, 343 p.
- Müller-Samänn, K. (1997). *Hacia conceptos integrales en la conservación de suelos y agua en la zona andina*. CIAT, Cali, Colombia. Notas de presentación Taller Internacional Regional: "Hacia conceptos integrales en la conservación de suelos y agua en la zona andina".
- Munasinghe, M. (1992). *Economic and policie issues in natural habitats and protected areas*. Congreso Mundial de Parques. IUCN. Caracas, 10 al 21 de febrero. mimeografiado, 35 p.
- Napier, T., S. Camboni y S. El-Swaify (1994). *Adopting conservation on the farm. An International perspective on the socioeconomics of soil and water conservation*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, 532 p.

- NAS–National Academy of Sciences (1979). Tropical legumes: Resources for the future. National Academy of Sciences. Washington, D.C., 332 p.
- Navas A., J. Machín, J. Soto (2005). Assessing soil erosion in a Pyrenean mountain catchment using GIS and fallout ¹³⁷Cs. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105: 493-506.
- Noya, M.I. (2002). Evaluación de diferentes métodos de propagación, establecimiento y mantenimiento de barreras vivas de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), como práctica de conservación de suelos y agua. Tesis de pregrado. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, 134 p.
- NRCS – Natural Resource Conservation Service (2002a). Hillside ditch. Conservation practice standard No. 423. [Documento en línea] Disponible: <http://www.nrcs.usda.gov/TECHNICAL/standards/nhcp.html> [Consulta: 2007, febrero 06].
- NRCS – Natural Resource Conservation Service (2002b). Terrace. Conservation Practice Standard N° 600. [Documento en línea] Disponible: <http://www.nrcs.usda.gov/TECHNICAL/standards/nhcp.html> [Consulta: 2007, febrero 10].
- NRCS – Natural Resource Conservation Service (2003). Windbreak/Shelterbelt Establishment. Conservation Practice Standard No. 380. [Documento en línea] Disponible: <http://www.nrcs.usda.gov/TECHNICAL/standards/nhcp.html> [Consulta: 2007, enero 27].
- NRCS – Natural Resource Conservation Service (2006). Prescribed burning. Conservation Practice Standard N° 338. [Documento en línea] Disponible: <http://www.nrcs.usda.gov/TECHNICAL/standards/nhcp.html> [Consulta: 2007, febrero 02].
- Odum, E. (1972). *Ecología*. Nueva Editorial Interamericana. México, 639 p.
- Oldeman, L.R., R.T.A. Hakkeling y W.G. Sombroek (1991). World map of the status of human induced soil degradation: An explanatory note. Segunda edición revisada. ISRIC, Wageningen y Pnuma, Nairobi, 35 p.
- Páez, M.L. (1980). Contribución al estudio de la precipitación como factor de erosión en condiciones tropicales. Chaguaramas (Edo. Guárico). Tesis de Maestría. Universidad Central de Venezuela Maracay, 120 p.

- Páez, M.L. (1986). Erodabilidad relativa de suelos agrícolas de Venezuela e índices de erodabilidad. Tesis de Doctorado en Ciencia del Suelo. UCV-Facultad de Agronomía, Maracay, 123 p.
- Páez, M.L. (1989). Diseño de prácticas de conservación con la ecuación universal de pérdidas de suelo. Cidiat Merida, 125 p.
- Páez, M.L. (1989). "Riesgos de erosión hídrica y alternativas de conservación en las tierras agrícolas del valle medio del río Yaracuy". Alcance 37/Revista Facultad de Agronomía UCV, Maracay, Venezuela, pp. 113-136.
- Páez, M.L. (1992). Diseño de prácticas de conservación con la ecuación universal de pérdidas de suelo. Cidiat. Serie Suelos y Clima Sc-64 Mérida, 130 p.
- Páez, M.L. (1994). Clasificación de suelos por riesgos de erosión hídrica con fines de planificación agrícola. Revista Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela UCV, vol 20, n^{os} 1-2, pp. 83-100.
- Páez, M. L. y O. S. Rodríguez (1989a). "Factores de la ecuación universal de pérdidas de suelo en Venezuela". Alcance 3, revista Facultad de Agronomía UCV, Maracay, Venezuela, pp.: 21-31.
- Páez, M. L. y O. S. Rodríguez (1989b). "El riesgo de erosión hídrica como criterio de diagnóstico en clasificación y evaluación de tierras". Alcance 37, revista Facultad de Agronomía UCV. Maracay, Venezuela. pp. 21-31.
- Páez, M. L. y O. S. Rodríguez (1992). Erosion and conservation assesment on arable lands in Venezuela. En: Erosion, conservation, and amall scale farming. Hans Hurni y Kebede Tato, Eds. 6th International Soil Conservation Conference Ethiopia y Kenya, 6-18 Noviembre 1989, Selected papers. Walsworth Publishing Company, Kansas, USA, pp. 39-49.
- Páez, M. L. y O. S. Rodríguez (1995). "Eficiencia de diferentes sistemas en el control de la erosión". Alcance 47, revista Facultad de Agronomía UCV. Maracay, Venezuela, pp. 13-28.
- Páez, M. L., O. S. Rodríguez y J. Lizaso (1989). "Potencial erosivo de la precipitación en tierras agrícolas de Venezuela". Alcance 37/Revista de la Facultad de Agronomía UCV. Maracay, Venezuela, pp. 45-58.
- Páez, M.L. e I. Pla (1989). "Erodabilidad relativa e índices agrícolas de erodabilidad en suelos agrícolas de Venezuela". Alcance 37, revista Facultad de Agronomía UCV. Maracay, Venezuela, pp. 59-72.

- Páez, M.L. y H. Agüero (1995). "Erosión hídrica en tierras agrícolas del macizo guayanés". Alcance 47, revista Facultad de Agronomía UCV. Maracay, Venezuela, pp. 29-48.
- Parr, J.F., R.I. Papendick; S. B Hornick y R.E Meyer (1992). "Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture". American Journal of Alternative Agriculture, 7:2-3.
- Perrens, S. J. y N.A. Trustum (1984). Assessment and evaluation for soil conservation policy. In: Workshop on policies for soil and water conservation (1983: Honolulu). Workshop report: East-west Environment and Policy Institute.
- Pierce, F. J., W.E. Larson, R.H. Dowdy y W.A.P. Gram. (1983). Productivity of soils: Assessing long-term changes due to erosion. J. Soil and Water Conservation, 38(1):39-44.
- Pla, I. (1983). "Sistema integrado agua-cultivo-suelo-manejo para evaluar la calidad de agua de riego". En: Isotope and radiation techniques in soil physics and irrigation studies. Int. Atomic. Energy Agency. Viena, Austria, pp. 191-206.
- Pla, I., A. Florentino y D. Lobo (1980). "Regulación del régimen hídrico de suelos bajo agricultura de secano en Venezuela mediante la aplicación superficial de emulsiones de asfalto". Revista de la Facultad de Agronomía, Maracay, 12(1-2):137-163.
- Pnuma/Isric (1990). Mapa mundial del estado de la degradación de suelo inducida por el hombre. 4 cartas. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Pnuma), Nairobi y Centro Internacional de Referencia e Información de Suelos (ISRIC), Wageningen.
- Prior, J.C. (1996). "From technology transfer to community development: the policy implications of the Australian Landcare Movement". En: Soil conservation extension: From concepts to adoption. Sombatpanit, S., M.A. Zöbisch, D.W. Sanders y M.G. Cook editores. Soil and Water Society of Thailand. Bangkok, pp. 77-86.
- Productos Tropi (2005). Mantos de fibra de coco para el control de la erosión. Material divulgativo sobre tropimantos. Productos Tropi para la preservación del ambiente. Estado Anzoátegui.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool y D.C. Yoder, coords. (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 703, 404 p.

- República Bolivariana de Venezuela (2006). Ley Orgánica del Ambiente. Gaceta Oficial N° 5833 Extraordinario del 22 de diciembre de 2006.
- Risjberman, F. R. y M.G. Wolman (1985). Effect of erosion on soil productivity: An internacional comparison. *J. Soil and Water Conservation* 40(4):349-354.
- Rivera-Posada, H. (1996). Por qué no se debe utilizar el azadón como herramienta de desyerba en sus cafetales. *Cenicafé Avances Técnicos* 233, Chinchiná, Caldas, Colombia, noviembre.
- Rivera-Posada, H. (1997). Establezca coberturas nobles en su cafetal utilizando el sector de arvenses. *Cenicafé, Avances Técnicos* 235, Chinchiná, Caldas, Colombia, enero.
- Rodríguez, O. S. (1985). Efectos de la labranza y de los residuos en superficie sobre el proceso de erosión hídrica y pérdidas de suelo por escorrentía en tres suelos agrícolas de Venezuela. Postgrado en Ciencias del Suelo, Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, Tesis MSc. Maracay, Venezuela, 90 p.
- Rodríguez, O. S. (1991). Métodos y sistemas de conservación. Conferencia Central. Sesión 4 del taller sobre "Metodología de evaluación e investigación de la erosión del suelo y su impacto en la productividad y en el ambiente" CIDIAT, Mérida, Venezuela, pp. 177-187.
- Rodríguez, O. S. (1997). "Hedgerows and mulch as soil conservation measures evaluated Ander field simulated rainfall". *Soil technology*, 11(1997):79-93.
- Rodríguez, O. S. (1998). Conflictos de uso de la tierra y estrategias de planificación en zonas periurbanas. Caso: Zona periurbana al oeste de Caracas. Trabajo de ascenso para optar a la categoría de Profesor Asociado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay.
- Rodríguez, O. S. (1999a.) "Efecto de las barreras vivas y de las coberturas en la conservación de los suelos en diferentes sistemas de producción agrícola". En: *Conservación de suelos y aguas en la zona andina*. Karl Müller-Sämann y José Restrepo Eds. Memorias del Taller Internacional Regional: "Hacia conceptos integrales en la conservación de suelos y agua en la zona andina", celebrado en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), octubre 1997.
- Rodríguez, O. S. (1999b). "Barreras vivas asociadas con coberturas para el control de la erosión y la protección del ambiente. Experiencias en

- investigación y recomendaciones para su aplicación en Venezuela”. En: Memoria del Taller de Bioingeniería para la Construcción Post-mitch: Experiencias con el Uso del Vetiver para la Protección y Estabilización de Infraestructura. San Salvador, El Salvador, julio 1999, pp. 33-43.
- Rodríguez, O.S. y O.E. Rodríguez (1989). Adaptación de un simulador de lluvia tipo boquilla para investigación en conservación de suelos. Alcance 37. Maracay, pp. 103-112.
- Rodríguez, O.S. y O. Andrade (2001). Research and practical experiences with vegetative barriers for water erosion control in Venezuela pp. 403-411. In: D.E. Stott, R.H. Mohtar, and G.C. Steinhardt (eds). Sustaining the global farm – Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting, May 24-29, 1999, West Lafayette, IN. International Soil Conservation Organization in cooperation with the USDA and Purdue University, West Lafayette, IN. CD-ROM available from the USDA-ARS National Soil Erosion Laboratory, West Lafayette, IN. Web site <http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/isco99/pdf/isco99pdf.htm> (verified 2 May 2002).
- Rodríguez, O.S. y N. Fernández (1992). Conservation practices for horticulture production in the mountainous regions of Venezuela. En: Erosion, conservation, and small scale farming. Hans Hurni y Kebede Tato, Eds. 6th International Soil Conservation Conference Ethiopia y Kenya 6-18 Noviembre 1989, Selected papers. Walsworth Publishing Company, Kansas, USA, pp. 393-406.
- Rodríguez, O.S., N. Fernández y A. Fernández. (1994). Evaluación de índices de erosividad de una cuenca alta de la cordillera Central de Venezuela. Rev. Fac. Agron., 20:177-187, Maracay. .
- Rodríguez, O.S. y M.L. Páez (1989). “Efectos de la labranza y de los residuos en superficie sobre la erosión hídrica”. Alcance 37, revista Facultad de Agronomía UCV. Maracay, Venezuela., pp. 73-86.
- Rodríguez, O.S. y G. Yépez (2006). “Vetiver (Vetiveria zizanioides). Una extraordinaria planta para la protección ambiental”. Revista Natura, N° 128, Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Caracas, pp. 30-37.
- Rodríguez, O.S. y J. A. Zinck. (1998). “El ensamblaje de escenarios para la toma de decisiones ambientales sobre el uso de la tierra. (Scenario building for environmental decision-making support on land use planning)”, pp. 337-342. En: R.J. Carrillo, comp. Memorias del IV

- Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente, realizado en Caracas, Venezuela, entre el 8 y 11 de diciembre de 1997. Colección Simposia, Vol. I: 344 p.; Vol. II: 334 p. Editorial Equinoccio, Ediciones de la Universidad Simón Bolívar, Caracas.
- Rodríguez, O.S., N. Fernández y A. Fernández (1995). Evaluación de la erosión en una secuencia zanahoria-lechuga con diferentes prácticas de manejo. *Rev. Fac. Agron., Maracay*, Alcance 47, 49-61.
- Rodríguez, O.S., J. Lizaso y M. L. Páez (1982). "Evaluación preliminar de los factores cobertura (C) y prácticas de conservación (P) en la usLE". VII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, San Cristóbal Venezuela, 1982.
- Rodríguez, O.S., J.R. Williams, J. G. Arnold y J. Sanabria (2002). "Modelling the efficiency of grass buffer strips on sediments and nutrients". En: *Memorias de la 3ra Conferencia Internacional sobre Degradación de Tierras y Reunión de la Sub-Comisión C de la IUSS. Río de Janeiro, 17-21 de septiembre de 2001. Sociedad Brasileira de la Ciencia del Suelo y Embrapa Solos Documento N° 40 (publicación en CD).*
- Rodríguez, O.S., M.L. Páez y C. Mendoza (1989). "Obtención computarizada de un mapa isoerodante para los llanos altos centrales". *Alcance 37, revista Facultad de Agronomía UCV. Maracay, Venezuela*, pp, 97-102.
- Rojas, R. (1980). *Hidrología de tierras agrícolas. Cidiat. Mérida, Venezuela*, 112 p.
- Rossiter, D.G. y A.R. van Wambeke (1993). *ALES version 4 User's manual. Automated Land Evaluation System. Cornell University, Department of Soil, Crop & Atmospheric Sciences, SCAS Teaching Series N° T93-2, Ithaca, NY, USA*, 170 p.
- Salomón de Padrón, M. (1977). *Aspectos jurídicos de la ordenación del territorio; su ámbito y medios de acción. Colección Monografías Jurídicas N° 7, Editorial Jurídica Venezolana, Caracas*, 115 p.
- Sanders, D. (1996). "Implementation: Section review". En: *Soil conservation extension: From concepts to adoption. sombatpanit, S., M.A. Zöbish, D. W. Sanders y M.G. Cook editores. Soil and Water Society of Thailand. Bangkok*, pp. 237-243.
- Schwab, G., R. Frevert, T. Edminster y K. Barnes (1981). *Soil and water conservation engineering. John Wiley and Sons. New York*, 525 p.

- Shaxson, T.F. (1988). "Conserving soil by stealth". En: Memorias del taller "Soil and Water Conservation on Steep Land. San Juan, Puerto Rico, marzo, 1987. Soil and Water Conservation Society, World Association of Soil and Water Conservation. Ankeny, Iowa. USA, pp. 9-17.
- Shaxson, T.F. (2001). Indicadores de la calidad de la tierra: ideas generadas por el trabajo en Costa Rica, norte de la India y Ecuador central". En: Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para agricultura sostenible y desarrollo rural. Boletín de Tierras y Aguas de la FAO, N° 5, pp. 163-182.
- Sheng, T.C. (1990). Conservación de suelos para los pequeños agricultores en las zonas tropicales húmedas. Servicio de Recursos de Fomento y Conservación de Suelos. Dirección de Fomento de Tierras. FAO. Boletín de Suelos N° 60, 122 p.
- Shepherd, T.G. (2000): Visual soil assessment. Volume 1. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. horizons.mw & Landcare Research, Palmerston North, 84 p.
- Shertz, D.L. (1983). "The basis for soil loss tolerances". En: Journal of Soil and Water Conservation. 38(1):10-14.
- Silva, O. (1995). "Descripción general de algunos modelos de simulación de erosión". Revista Venesuelos, 3(1):13-24.
- Silva, O. 1996a. Validación del modelo SWRRB en una quebrada de altas pendientes. I. Componente de producción de sedimentos. Rev. Fac. Agron, 22:85-97, Maracay.
- Silva, O. (1996b). Validación del modelo SWRRB en una quebrada de altas pendientes. II. Componente de producción de agua. Rev. Fac. Agron., 2:99-112, Maracay.
- Silva, O. (2000). Los modelos de simulación agroambiental en la evaluación de la sostenibilidad de sistemas de uso y manejo de la tierra. Trabajo presentado en Taller Indicadores de Sostenibilidad en Sistemas de Producción Agrícola. Centro de Investigaciones del Estado Anzoátegui. El Tigre, 20-21 de julio de 2000.
- Silva, O. (2002). Evaluación de los componentes de erosión de los modelos EPIC y WEPP y de la producción de agua del modelo SWAT en condiciones de sabana de altas pendientes. Trabajo de Ascenso. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía, Maracay, 132 p.

- Sombatpanit, S. y W. Suwanword. (2002). Development of methods to measuring soil loss and runoff in field experiments involving vetiver grass. Proceedings of The Second International Conference on Vetiver. Vetiver and Environment, pp. 381-387 Office of the Royal Development Projects Board, Bangkok.
- Stewart, B.A., R. Lal y S.A. El-Swaify (1991). Sustaining the resource base for an expanding world agriculture. En: Soil management for sustainability. R. Lal y F.J. Pierce Editors. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 125-144.
- Sthapit K.M. y L.C. Tensión (1991). El control la erosión en Nepal mediante la bioingeniería. Revista Unasyuva N° 164 Documentos Departamento de Montes, FAO, Roma.
- Stocking, M.A. (1981). Conservation strategies for less developed countries. En: Soil conservation problems and prospects. Morgan, R.P.C. editor. Chichester, Inglaterra, pp. 377-384.
- Suárez de Castro, F. (1980). Conservación de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica, 315 p.
- Suriyo, S. y W. Vongkasem. (2002). The use of vetiver for soil erosion prevention in cassava fields in Thailand. Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin N° 2002/2 Office of the Royal Development Projects Board, Bangkok, 12p.
- SWCS-Soil and Water Conservation Society (2001). Realizing the promise of conservation buffer technology. A report based on the National Conservation Buffer Workshop, Nebraska City, Nebraska, June, 12-13, 32 p.
- Syoufi, A. F. (1990). Evaluación de sistemas de conservación de cuencas altas. Parte I. Tesis de pregrado. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay, 57 p.
- Tecnoambiente (2007a). Control de erosión. Hidrosiembra [Documento en línea] Disponible: <http://www.tecnoambiente.com.ve/hidrosiembras.htm> [Consulta: 2007, febrero 02].
- Tecnoambiente (2007b). Control de erosión. Hidromantos [Documento en línea] Disponible: <http://www.tecnoambiente.com.ve/hidromantos.htm> [Consulta: 2007, febrero 02].
- Tejada, B. y O. S. Rodríguez (1989). “Metodologías para evaluar la cobertura de residuos en el control de la erosión”. Alcance 37, revista Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela, pp. 149-167.

- Theerawong, S. (1996). Prefacio. En: Soil conservation extension: From concepts to adoption. Sombatpanit, S., M.A. Zöbisch, D.W. Sanders y M.G. Cook eds. Soil and Water Society of Thailand. Bangkok.
- Thomas, D. B. (1996). "Soil conservation extension: Constraints to progress and lessons learned in East Africa". En: Soil conservation extension: From concepts to adoption. Sombatpanit, S., M.A. Zöbisch, D.W. Sanders y M.G. Cook eds. Soil and Water Society of Thailand. Bangkok, pp. 245-256.
- Thomson, W. et al. (1973). Middey Randstatd. Part 1: Final Report. Colin Buchanan, London.
- Tonnes, A., T. Thurow y H. Sierra (1998). Manejo sostenible de tierras de laderas tropicales: Un análisis de terrazas con una tecnología para conservación de suelo y agua. Boletín Técnico N° 98-1. Agencia para el Desarrollo Internacional, USA. Programa de Investigación Colaborativo de Manejo de Suelo de la Universidad de Texas A&M, 53 p.
- Troeh, H., J. Hobbs, y R. Donahue (1980). Soil and water conservation for productivity and environmental protection. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., USA, 718 p.
- Truong, P. (1996). Vetiver grass for land rehabilitation. Proceedings, Vetiver; A Miracle Grass First International Conference on Vetiver. Chiang Rai. Tailandia.
- Truong, P. y D. Baker (1998). Vetiver grass system for environmental protection. Tech. Bull. N° 1998/1 Pacific Rim Vetiver Network (PRVN), Office of the Royal Development Projects Board (RDPB), Bangkok, Thailand.
- Urbina C. y O.S. Rodríguez (1995a). Evaluación de sistemas de conservación en tierras altas bajo cultivo de trigo. Rev. Fac. Agron., Maracay, Alcance, 47: 75-87.
- Urbina, C. y O.S. Rodríguez (1995b). Efecto de dos abonos orgánicos en el control de la erosión y mejoramiento físico y químico del suelo. Rev. Facultad de Agronomía, Maracay, Alcance, 47: 63-74.
- USDA (1989). Conquest of the land through 7000 years. Agriculture Information Bulletin No. 99, U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
- USDA-NRCS (1998). Global major land resource stresses map. [Documento en línea] Disponible: <http://soils.usda.gov/use/worldsoils/mapindex/stresses.html> [Consulta: 2007, mayo 12].

- Useche, R., J.A. Méndez y P. Yáñez (1986). Evaluación preliminar del factor “C” en la ecuación universal de pérdidas de suelos bajo diferentes prácticas de manejo en el cultivo del café. IV Congreso Venezolano de Conservación. Mimeografiado. Maracaibo, Venezuela. 30 noviembre al 05 de diciembre de 1986, 11 p.
- USEPA-NPDES (2007a). Chemical stabilization. Environmental Protection Agency. National Pollution Discharge Elimination System. [Documento en línea] Disponible: <http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm?action=browse&Rbutton=detail&bmp=40> [Consulta: 2007, enero 20].
- USEPA-NPDES (2007b). Compost blankets. Environmental Protection Agency. National Pollution Discharge Elimination System. [Documento en línea] Disponible: <http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm?action=browse&Rbutton=detail&bmp=118> [Consulta: 2007, enero 20].
- USEPA-NPDES (2007c). Sediment basins and rock dams. Environmental Protection Agency. National Pollution Discharge Elimination System. [Documento en línea] Disponible: <http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm?action=browse&Rbutton=detail&bmp=57> [Consulta: 2007, enero 21].
- USEPA-NPDES (2007d.) Fiber rolls. Environmental Protection Agency. National Pollution Discharge Elimination System. [Documento en línea] Disponible: <http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm?action=browse&Rbutton=detail&bmp=121> [Consulta: 2007, enero 21].
- USEPA-NPDES (2007e). Silt fences. Environmental Protection Agency. National Pollution Discharge Elimination System. [Documento en línea] Disponible: <http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm?action=browse&Rbutton=detail&bmp=56> [Consulta: 2007, enero 21].
- USEPA-NPDES (2007f). Riprap. Environmental Protection Agency. National Pollution Discharge Elimination System. [Documento en línea] Disponible: <http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm?action=browse&Rbutton=detail&bmp=39> [Consulta: 2007, enero 22].
- Vecchiarelli, K. (2005). Erosion and sediment control for construction activities guidance handbook. East Grand Water Quality Board, Fraser, Colorado. [Documento en línea] Disponible: <http://>

- co.grand.co.us/Planning/Downloads/E&SControl.pdf [Consulta: 2007, mayo 19].
- Velasco, M. J. coord., M. Cabrera, C. de Hoyos, J. Ledesma, J. Nieto, J. Revuelta, T. Romero, C. Salamanca y M. Torres (2003). Ciencias de la tierra y medioambientales. Editorial Editex. España, 471 p.
- Villón Bejar, M. (2004). Hidrología. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, 474 p.
- Virmani, S.M.; Sivakumar, M.V.K.; Reddy, S.J. (1978). Climatological features of the semiarid tropics in relation to the farming systems research program. En: Memorias Taller Internacional de Agroclimatología. Necesidades de investigación en los trópicos semiáridos. Hyderabad, India, 22-24 noviembre.
- Williams, J.R. (1976). Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. En: Present and prospective technology for Predicting Sediment Yields and Sources. Publication ARS-5-40, ARS-USDA, Washington, D.C.
- Williams, J.R. y H.D. Berndt (1977). Determining the universal soil loss equation's length-slope factor for watersheds. En: Special Publication N° 21. Soil Conservation Society of America. Soil erosion: Prediction and control. Memorias Conferencia Nacional sobre erosión del suelo. Universidad de Purdue, West Lafayette, Indiana. pp.: 217-225.
- Williams, J.R., J.G., Srinivasan, R., Arnold, y T.S. Ramanarayanan (1998). APEX: "A new tool for predicting the effects of climate change and CO₂ changes on erosion and water quality". En: Boardman, J. y Favis Mortlock, D. (eds.), Modelling soil erosion by Water, NATO ASI Series I(55):441-449.
- Willis, K.G. y K.J. Thompson (1980). Decision optimizing technique: A critical comment. *Town Plann. Rev.* 51:50-56.
- Wilson, L.G. (1967). Sediment removal from flood water by grass filtration. *Transactions of the ASAE*, 10(1):35-37.
- Wischmeier, W.H. y D.D. Smith (1961). A universal equation for predicting rainfall-erosion losses-An aid to conservation farming in humid regions. U.S. Dep.Agric.-ARS, Special Report 22-66.
- Wischmeier, W.H. y D.D. Smith (1965). Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Guide for selection of practices for soil and water conservation. U.S. Dep. Agric.-ARS

- in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station, Agric. Handb. N° 282.
- Wischmeier, W.H., C.B. Johnson y B.V. Cross (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil Water Conservation*, 26:189-193.
- Wischmeier, W.H. (1959). A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. America. Proc.*, 32:212-225.
- Wischmeier, W.H. y D.D. Smith (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. N° 537.
- WOCAT (2007b). Panorámica mundial de los enfoques y tecnologías para la conservación de suelos y agua. [Página Web en línea] Disponible: http://www.wocat.org/default_s.asp [Consulta: 2007, abril 20].
- WOCAT (2003). Metodología para la documentación y evaluación de la conservación de suelos y aguas”: Enfoques. WOCAT-Panorama mundial de enfoques y tecnologías para la conservación de suelos y aguas. H. Liniger(ed). Cuestionario WOCAT. Berna, 93 p.
- WOCAT (2007a). Where the land is greener. Case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide. H. Liniger y W. Critchley editors. WOCAT-World overview of conservation approaches and technologies. Berna, 364 p.
- Wood, S.K. Sebastian y S. Scherr (2000). Pylot analysis of global ecosystems-agroecosystems. World Resources Institute-WRI Washington D.C., 95 p.
- Young, A. (1989). Agroforestry for soil conservation. CAB Internacional. International Council for Research in Agroforestry. UK, 275 p.
- Zimmermann, E. (1967). Introducción a los recursos mundiales. Colección Libros de Economía Oikos. Hunker, H. (ed). España, 257 p.
- Zinck, J.A. (1986). “Propiedades y estabilidad mecánica de los suelos en ambiente de selva nublada”. En: La selva nublada de Rancho Grande, Parque Nacional Henry Pittier: El ambiente físico, ecología vegetal y anatomía vegetal. Otto Huber Editor. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana y Seguros Arauco, C.A. Caracas, pp. 91-105.

- Zinck, J.A. (1988). Physiography and soils. ITC. Soil Survey Courses Subject matter:k6 1988/1989, Enschede, The Netherlands, 156 p.
- Zinck, J.A. (1996). "La información edáfica en la planificación del uso de las tierras y el ordenamiento territorial". XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Aguas de Lindóia, São Paulo, Brasil. Mimeografiado, 33 p.
- Zöbish, M.A. (1996). Concepts: Section Review. En: Soil conservation extension: From concepts to adoption. Sombatpanit, S., M. A. Zöbish, D. W. Sanders y M.G. Cook editores. Soil and Water Society of Thailand. Bangkok, pp. 21-26.