

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES**

**ORDENACIÓN DE LAS CUENCAS  
HIDROGRÁFICAS**

**JUAN ANTONIO MARTÍNEZ DUARTE**

Editorial Universitaria de Misiones  
2007



EDITORIAL UNIVERSITARIA DE MISIONES

**San Luis 1870**

Posadas - Misiones – Tel-Fax: (03752) 428601

Correos electrónicos:

edunam-admini@arnet.com.ar

edunam-direccion@arnet.com.ar

edunam-produccion@arnet.com.ar

edunam-ventas@arnet.com.ar

**Colección:** Cuadernos de Cátedra

**Coordinación de la edición:** Claudio Oscar Zalazar

**Armado de interiores:** Amelia E. Morgenstern

**Corrección:** Julia E. Renaut – Gabriela Domínguez

ISBN 978-950-579-072-2

Impreso en Argentina

©Editorial Universitaria

Martínez Duarte, Juan Antonio  
Ordenación de las cuencas hidrográficas. - 1a ed. - Posadas: EDUNaM -  
Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones, 2007.  
140 p.; 30x21 cm.  
ISBN 978-950-579-072-2  
1. Hidrología. 2. Cuencas Hidrográficas. I. Título  
CDD 551.46

Fecha de catalogación: 21/06/2007

## **EL AUTOR**

### **JUAN ANTONIO MARTÍNEZ DUARTE**

Formación académica: Ingeniero Forestal, Master en Ecoauditorías y Planificación empresarial del Medio Ambiente.

Cátedras: Docente regular en la Cátedra de Ordenación de Cuencas Hidrográficas de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Misiones.

Líneas de la investigación:

1-Director del proyecto Evaluación Económica Ambiental de Alternativas de Acción en la Cuenca del Arroyo Schwelm, Eldorado, Misiones, Argentina.

2-Co-Director del proyecto Plan de Ordenación de la Cuenca del Arroyo Piray Miní para la mejora del agua de la ciudad de Eldorado, Misiones, Argentina.



# ÍNDICE

|                                                                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Introducción.....                                                                                                                                                                   | 7   |
| 2. Antecedentes de la corrección de torrentes y la ordenación de cuencas.<br>Manejo integrado de cuencas hidrográficas y<br>usos múltiples de los recursos naturales.....              | 9   |
| 3. Clasificación de las cuencas de la argentina. Características principales.<br>Panorama general de la actividad torrencial.<br>Zonas más afectadas.....                              | 29  |
| 4. Corrección de torrentes. Formación de un torrente.<br>Partes principales. Estado torrencial de una cuenca.<br>Ecosistemas fluviales. Restauración de los ríos.....                  | 35  |
| 5. Erosión y sedimentación. Tipos de erosión.<br>Métodos de evaluación. Reconocimiento de campo .....                                                                                  | 43  |
| 6. Cuencas piloto. Objetivos y tipos.<br>Condiciones generales para su establecimiento.....                                                                                            | 51  |
| 7. Hidrología. Alcances y definiciones. El ciclo hidrológico.<br>Modelo conceptual. Hidrología forestal.....                                                                           | 55  |
| 8. La restauración hidrológico-forestal. Técnicas hidrológicas<br>y técnicas estructurales. Silvicultura de zonas áridas y semiáridas.....                                             | 69  |
| 9. Métodos de plantación. Siembra y plantación. Preparación de<br>terreno en zonas de pendiente. Sistema de terrazas. Bancales.<br>Cosecha de aguas de lluvia para la forestación..... | 81  |
| 10. Plantación. Siembra. Métodos. Cuidados culturales.<br>Restauración de los ríos. Estabilización de laderas.<br>Uso de vegetales, materiales vivos y muros de sostenimiento.....     | 85  |
| 11. Cárcavas. Causas de su formación. Etapas de desarrollo.<br>Clasificación. Técnicas biológicas y estructurales para la corrección.....                                              | 99  |
| 12. Obras de corrección. Clasificación y propósitos.<br>Obras en la cuenca de recepción, garganta y lecho de deyección.<br>Elementos para el diseño de diques.....                     | 103 |
| 13. Planificación de cuencas hidrográficas. Niveles de estudio.<br>Organización de los estudios. Lineamientos básicos de un plan de<br>manejo.....                                     | 109 |
| Bibliografía.....                                                                                                                                                                      | 129 |



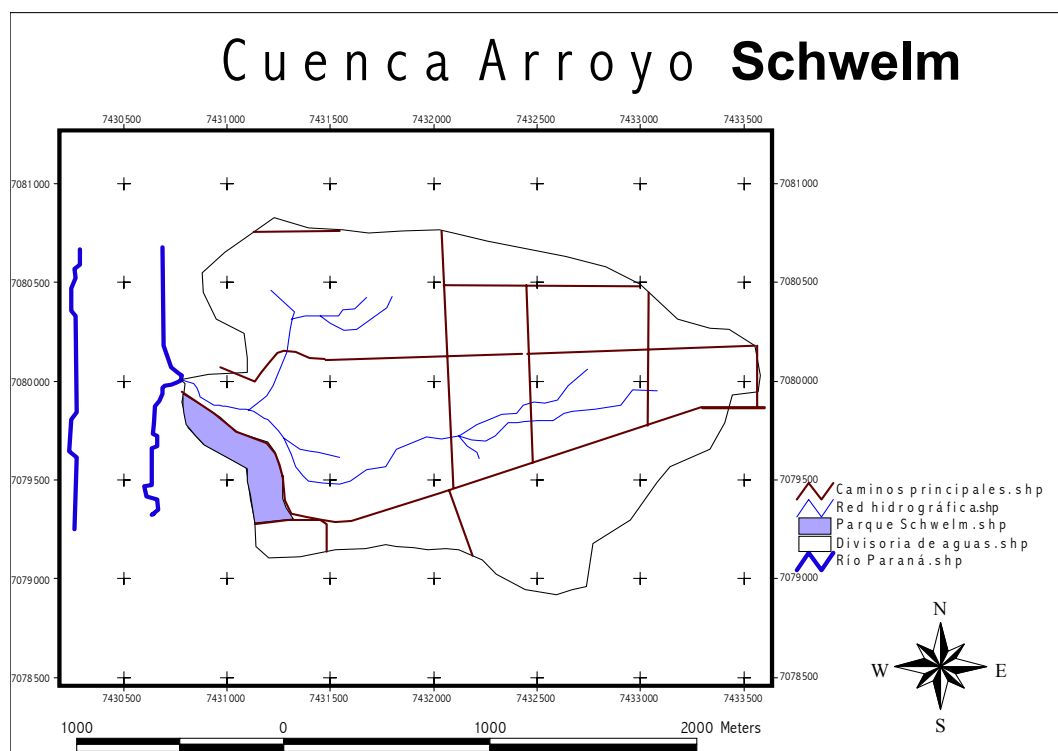
## 1. INTRODUCCIÓN

La demanda sostenida y el uso ineficiente de los recursos naturales del medio han generado un grave deterioro de la calidad ambiental.

Este problema constituye un producto indeseable de nuestra civilización y no se va a resolver por sí solo. Debemos empezar a tratar los problemas de cuencas hidrográficas como una parte de los programas de desarrollo económico de la sociedad.

El término cuenca hidrográfica (ver imagen 1)<sup>1</sup> se usa con el mismo sentido que el de cuenca colectora o de captación y se entiende por él toda la porción de superficie cuyas aguas vierten a un determinado río o curso de agua, grande o pequeño, o que van a descargar en un lago.

Imagen N° 1: Cuenca hidrográfica del arroyo Schwelm - Eldorado



Por ordenación de cuencas hidrográficas se entiende la realización de prácticas y operaciones planificadas para alcanzar los objetivos deseados en relación con el funcionamiento de la cuenca. Las dos palabras fundamentales de esta definición son: planificadas y objetivos.

Está mundialmente aceptado que la cuenca hidrográfica constituye la unidad homogénea de manejo adecuada para implementar programas de ordenación con el propósito de invertir la tendencia que entraña más erosión, menos agua para la

<sup>1</sup> Martínez Duarte, J. A. 2006. *Metodología para la formulación y evaluación económica ambiental de planes de ordenación de cuencas hidrográficas de la provincia de Misiones, Argentina*. FCE-UNaM, Posadas, 145 pág.

gente, los animales, la industria y en general menos calidad ambiental y bienestar social.

Las ventajas de utilizar la cuenca como unidad de manejo es que en ella se cierran los ciclos naturales como el hidrológico y posibilita la determinación de las consecuencias de las acciones que se realizan en las áreas ubicadas aguas arriba sobre las que están aguas abajo y viceversa.

Para proponer planes de ordenación de las cuencas hidrográficas y realizar un manejo eficiente de los recursos, es necesario conocer los secretos de la hidrología, de los suelos y de las plantas que condicionan el comportamiento de la cuenca.

La definición clásica de ordenación de cuencas se ha mejorado introduciendo el concepto de la integración y la sostenibilidad de tierras, aguas, recursos económicos y sociales para elevar el bienestar humano en un ambiente de calidad.

Hay un elemento común en casi todos los planes de desarrollo del territorio: una creciente demanda de agua. Si se alcanza entonces una integración prudente y eficaz de todos los esfuerzos y actividades dirigidos a la sostenibilidad de la producción de agua de calidad, podrá cumplirse armoniosamente el objetivo del pleno desarrollo del bienestar sin la degradación del medio ambiente.

El concepto de ordenación integrada de cuencas no es solo un enfoque y sistema eficaz dentro de una pequeña cuenca, sino también una integración de los resultados de pequeñas cuencas hidrográficas que constituyen un mosaico vivo en una gran cuenca fluvial.

La asignatura “Ordenación de cuencas hidrográficas” no es compleja, pero a veces el proceso de enseñanza-aprendizaje se dificulta debido a que en forma interdisciplinaria e interinstitucional abarca aspectos físicos, biológicos, socioeconómicos, ambientales y políticos. Del mismo modo que la guía de trabajos prácticos, el apunte sobre corrección de torrentes y otras guías didácticas, este apunte de cátedra ha sido preparado para facilitar a los estudiantes el abordaje de la materia.



## 2. ANTECEDENTES DE LA CORRECCIÓN DE TORRENTES Y LA ORDENACIÓN DE CUENCAS. MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y USOS MÚLTIPLES DE LOS RECURSOS NATURALES

El agua que necesita el hombre proviene de las cuencas hidrográficas o colectoras y de ello deriva, lógicamente, el concepto de ordenación de dichas cuencas que no es sino una parte más de toda buena planificación de aprovechamiento de la tierra.

La planificación premeditada del aprovechamiento de la tierra, sean cualesquiera los objetivos que se persigan, constituye una necesidad de los tiempos modernos. Aquella es esencial para el desarrollo de las grandes cuencas fluviales o de vastas regiones naturales. Pero, cuando se llega a la ejecución práctica de dicha planificación, es importante que esta se aplique a zonas suficientemente homogéneas en cuanto a sus características físicas, económicas y sociales, de modo que ofrezcan una base apropiada para un programa de ordenación. Tal unidad viene proporcionada por la cuenca hidrográfica, sea grande o pequeña.

Desde el punto de vista de la conservación de suelos y aguas la cantidad y calidad del agua que proporcione la cuenca, considerada como una unidad de ordenación, será la medida de la eficacia de los métodos de ordenación que se han aplicado en ella. Tales métodos serán en parte la suma de los conocimientos técnicos individuales aplicados por el agricultor, el silvicultor, el ingeniero forestal y el ingeniero agrónomo en sus tareas normales de conservación del suelo y de regularización del curso del agua. Cada uno de ellos, sin embargo, tenderá naturalmente a pensar que su método es el más adecuado y el que ofrece la solución a todos los problemas.

Pero los dos recursos básicos, la tierra y el agua, han de ser utilizados en la forma más eficaz compatible con una producción sustentable. Por consiguiente, es necesaria una coordinación cuidadosa de las técnicas y una íntima colaboración de los técnicos teniendo presente la división de las actividades. La cuenca hidrográfica ofrece precisamente el marco apropiado para tal coordinación, colaboración y división del trabajo.

Ello explica por qué se concede cada vez mayor importancia a la ordenación de cuencas en todos los países del mundo.

### **Ordenación de cuencas hidrográficas**

Aunque el término ordenación de cuencas hidrográficas es una expresión muy difundida, puede representar cosas diferentes para distintas personas.

La ordenación de cuencas hidrográficas no se produce simplemente por que sí, sino que las cosas se hacen o se dejan de hacer deliberadamente para un fin específico.

Los objetivos se determinan por lo general sobre la base de las necesidades económicas y sociales actuales y futuras de la población de una amplia cuenca, de una región o incluso de una nación en su totalidad. Pero la planificación y operaciones, con el fin de alcanzar dichos objetivos en forma eficaz y efectiva, solo se pueden aplicar a unidades físicas, económicas y sociales relativamente homogéneas, es decir, en el marco de una cuenca colectora cuya determinación en realidad es la primera fase de la ordenación de cuencas.

Hay quienes piensan que la ordenación de cuencas hidrográficas es solamente un sistema protector. Una buena ordenación maderera es sinónimo de una buena ordenación de la cuenca colectora, se suele decir. Esto no es forzosamente exacto. Una buena ordenación maderera tiene por objeto alcanzar, normalmente, el máximo rendimiento sustentable de la producción de maderas comercialmente valiosas que se desea. Esto nada dice acerca de los objetivos de la ordenación hidrográfica ni de las características que interesan en cuanto al rendimiento de las aguas.

Es cierto que las operaciones destinadas a alcanzar altos y sostenidos rendimientos de madera tienen que incluir algunas formas de protección del medio en que crecen los árboles, como de impedir la erosión del suelo y la consiguiente reducción de la capacidad productiva.

También, desde el punto de vista de la cuenca hidrográfica, es deseable impedir la erosión, pero esta forma general de razonar implica que la ordenación de las cuencas hidrográficas es una cosa pasiva mientras que, como indica su propio nombre, se trata de una acción positiva. Ordenación quiere decir “empleo juicioso de los medios para lograr un fin” y, por tanto, requiere a la vez planes y objetivos.

## Objetivos

La ordenación de una cuenca hidrográfica puede tener uno de los tres grandes objetivos que se indican a continuación. En ciertas zonas puede darse una combinación de los tres o formas modificadas de ellos<sup>2</sup>.

- El primer objetivo es la rehabilitación.

Consiste en los procedimientos destinados a reparar las cuencas hidrográficas deterioradas por haber sido mal utilizadas en el pasado; por prácticas nocivas accidentales o intencionales tales como incendios repetidos, pastoreo excesivo, constante corta abusiva de madera, sistemas de labranza indebidos y empleo de la tierra para fines para los que no es adecuada.

Siglos de prácticas destructivas han dado como resultado el deterioro de grandes extensiones de tierra con los graves efectos consiguientes en cuanto al régimen hidrológico, aumento de la frecuencia y gravedad de las inundaciones y pérdida de capacidad productiva de la tierra. Gran parte de estas tierras se encuentran situadas en climas semiáridos en los que las condiciones son tales que la rehabilitación es extremadamente difícil y costosa.

La necesidad de disponer de más tierra para satisfacer las necesidades de poblaciones cada vez más numerosas, exige la rehabilitación y reconstitución de estas zonas empobrecidas.

Algunos de los aspectos que perjudican la protección y conservación de las cuencas hidrográficas son:

- 1-Deforestación.
- 2-Cultivos que siguen la pendiente del terreno.
- 3-Grandes monocultivos.
- 4-Sobrepastoreo en laderas.
- 5-Cultivos sin barreras de protección contra los vientos.

---

<sup>2</sup> FAO.1992. *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas*. Roma. 1 Volumen. 185 pp.

6-Terrenos sin cobertura vegetal.

7-Nacientes y cauces de ríos sin árboles que los protejan.

- El segundo objetivo de la ordenación de cuencas hidrográficas es la protección.

Consiste en las prácticas destinadas a mantener las buenas condiciones que ya existen en la cuenca, sin abandonar otros aprovechamientos tales como el forestal de producción de madera, el pastoreo del ganado y de la caza mayor, el esparcimiento o la agricultura. Este objetivo es extraordinariamente importante aunque, hasta el momento, no ha merecido una atención tan sostenida o amplia como la rehabilitación.

- El tercer y último objetivo de la ordenación de cuencas hidrográficas es la mejora del régimen hidrológico.

Incluye prácticas destinadas a aumentar o variar el caudal total de agua adaptándolo a las épocas que más convengan a las necesidades humanas. Este objetivo ha recibido en general menos atención a lo largo de los tiempos que la rehabilitación o que la protección.

Esto es comprensible ya que la rehabilitación y la protección representan el mínimo estricto necesario si queremos simplemente limitarnos a sobrevivir, sin hablar de mejorar sensiblemente los niveles de vida en el mundo. El mejoramiento del régimen hidrológico en escala considerable representa una mirada hacia el futuro y probablemente puede ser considerado como el objetivo final en la ordenación de cuencas hidrográficas, ya que con ello se trata de mejorar la naturaleza.

Mediante nuestros esfuerzos, regularemos el funcionamiento de una cuenca hidrográfica en la forma que mejor se adapte a nuestras necesidades, por supuesto con las limitaciones impuestas por los factores que escapan a nuestra voluntad.

La importancia cada vez mayor atribuida a este aspecto de la ordenación de cuencas hidrográficas puede ser puesta de manifiesto por lo que ocurre en los Estados Unidos, Inglaterra y África del Sur.

En la parte occidental de los Estados Unidos el temor, que aumenta rápidamente, de que los recursos de agua resulten insuficientes para cubrir las crecientes necesidades domésticas, industriales y agrícolas, está dando lugar a que se reclame la ordenación de las cuencas hidrográficas a fin de que aumenten los caudales de agua o se estabilicen acortándose cada vez más el período de estiaje.

Se están realizando estudios intensivos para determinar si los cambios de vegetación pueden influir materialmente sobre el régimen hidrológico, la magnitud de tales cambios y cuáles son las condiciones en que estas prácticas podrían tener éxito. Además, los estudios relacionados con los límites altitudinales de la vegetación arbórea tienen por objeto establecer métodos para acumular la nieve a profundidades mayores en determinados puntos y retardar el deshielo, de tal forma que se disponga de esta agua para aumentar el caudal de los ríos en los meses de estiaje en que las necesidades son mayores.

En Inglaterra se está discutiendo mucho sobre el efecto de la repoblación forestal en el volumen de las aguas. Algunas mediciones indican que el caudal de estas puede disminuir cuando se hacen repoblaciones en cuencas con cubierta vegetal herbácea.

Se han hecho propuestas para que cese la repoblación forestal en ciertas zonas, o que solo se permita continuarla si los ingresos de los productos forestales se utilizan en parte para financiar el fomento de nuevos recursos de agua para compensar las cantidades absorbidas por el bosque.

En la Unión Sudafricana, el problema se ha planteado como consecuencia de la plantación de bosques donde antes no había ninguno. A partir de finales del siglo XIX, aproximadamente, se han creado vastas masas artificiales mediante la plantación de árboles madereros exóticos en zonas que, durante muchos años, si no siempre, solo habían estado cubiertas de gramíneas o de arbustos.

Después de un estudio a fondo se recomendó que no se emprendiera una repoblación extensa sin considerar antes debidamente las posibles consecuencias de tal medida sobre el caudal de las aguas. Incluso uno de los departamentos forestales, en 1932, adoptó la política de prohibir la plantación de árboles en las zonas húmedas a lo largo de las corrientes, cuando el caudal de los ríos se utilice para el riego o para fines industriales o urbanos.

La cuestión general del aumento del caudal de las aguas o de la variación sensible de su régimen a lo largo del año, presenta muchas relaciones desconocidas y exigirá una gran cantidad de investigaciones para poner al descubierto los procesos complejos que lleva consigo y explicar algunos de los resultados aparentemente contradictorios de distintos estudios.

En general los resultados de la investigación hasta la fecha, indican que el volumen de agua puede aumentarse en distintos grados reduciendo la densidad de la vegetación arbórea, aunque una supresión intensa de la vegetación puede determinar un aumento de la evaporación de la superficie del suelo que queda al descubierto sin elevar el caudal de las aguas.

Las investigaciones han indicado también que sustituir las plantas de raíces profundas por una cubierta de especies de raíces someras, puede elevar la cantidad de agua en algunas circunstancias.

En una zona de intensa nieve en invierno, los rendimientos de agua de una cuenca hidrográfica experimental han sido aumentados mediante sistemas especiales de corta del bosque de coníferas. También se han elevado los volúmenes de agua suprimiendo la vegetación leñosa a lo largo de los cursos de agua. Estos y otros resultados refuerzan la hipótesis de que puede aumentarse el caudal de las aguas si se logra reducir las pérdidas por evapotranspiración.

No se pueden alcanzar los tres objetivos principales que acaban de enunciarse, sin tener en cuenta las necesidades y las posibilidades de las poblaciones interesadas y sin obtener su cooperación efectiva.

La ordenación de cuencas hidrográficas debe encontrar el punto de coincidencia necesario entre los distintos intereses, a veces contrastantes, pero legítimos.

Algunas prácticas que contribuyen a la protección de las cuencas hidrográficas son:

1. Terrenos reforestados.
2. Cultivos siguiendo curvas de nivel del terreno.
3. Utilización de sistemas agroforestales.
4. Diversidad de cultivos.
5. Utilización de cortinas rompevientos.
6. Coberturas vegetales para interceptar la escorrentía.

7. Reforestación alrededor de nacientes.
8. Pastoreo en terrenos adecuados.

## Antecedentes

El origen de la moderna ordenación de cuencas hidrográficas se remonta a dos empeños paralelos e independientes: la rehabilitación de los Alpes a partir del último cuarto del siglo XIX, y el movimiento conservacionista de los Estados Unidos iniciado en el decenio de 1930<sup>3</sup>.

Al primero se deben las técnicas usadas para la rehabilitación de tierras y la corrección de torrentes, el segundo se concentró en el manejo de la vegetación y en los métodos para la conservación del suelo y del agua.

Ambas maneras tienen en común una importante característica: sus procedimientos fueron concebidos para aplicarlos en cuencas hidrográficas afectadas poco o nada por actividades humanas. Su fin era influir sobre fenómenos físicos naturales.

A partir de la segunda guerra mundial también muchos países en desarrollo han emprendido actividades de ordenación de cuencas hidrográficas, casi siempre como corolario de importantes obras de construcción destinadas a aprovechar mejor los recursos hidráulicos, reconociendo así la necesidad de proteger las nuevas estructuras y las correspondientes tierras de cultivo y asentamientos humanos. Inicialmente aplicaron las mismas técnicas y métodos usados en el mundo desarrollado.

No obstante, esos esfuerzos no dieron los resultados esperados, ya que no se tomó en cuenta una diferencia esencial en la situación de las cuencas hidrográficas de los países en desarrollo.

En estos, las cuencas (y sobre todo las menos distantes de algún considerable recurso natural) suelen estar densamente pobladas. La mayor parte de los habitantes de esas cuencas apenas logra sobrevivir, dada la escasez de los medios.

Obligados a cultivar laderas con pendientes pronunciadas y frágiles utilizando métodos inadecuados, obtienen rendimientos insignificantes y, además, destruyen el recurso básico sacrificando así toda posibilidad de producir permanentemente, acelerando los trastornos de las tierras y las aguas ubicadas río abajo.

El patrimonio técnico heredado de Europa y de los Estados Unidos era un elemento indispensable, pero no bastaba para resolver los problemas que planteaba la ordenación de cuencas hidrográficas en los países en desarrollo, donde el hombre es el elemento más importante del sistema.

La clave está en que la población local siga aprovechando su tierra, su ganado y otros recursos naturales de forma que mejore la productividad, reduciendo al mínimo los efectos negativos sobre los recursos de tierras y aguas, tanto en la cuenca propiamente dicha como aguas abajo. Ningún esfuerzo logrará los resultados deseados a menos que cuente con la participación de la población local.

Para lograr buenos resultados, las actividades de ordenación de cuencas hidrográficas han de incorporar “hidrología forestal”, “conservación de suelos y aguas” y “planificación del uso de la tierra” en un marco lógico más amplio que tome en consideración no solo los fenómenos físicos, sino también los factores económicos, sociales e institucionales.

La clave para que la ordenación de cuencas hidrográficas tenga éxito es una debida planificación. Si bien ya se reconoce que es deseable -incluso esencial-

---

<sup>3</sup> FAO. 1991. *Ordenación de cuencas hidrográficas*. Unasylva, Revista N° 164.

tomar en cuenta las necesidades de la población local, así como conseguir su participación activa en la ordenación, ahora se empieza a pensar en hacerla participar en el proceso de concepción de dichas actividades.

Aunque el interés por algunos aspectos de la ordenación de cuencas hidrográficas se remonta a más de un siglo, ha sido solamente en estos diez últimos años que la ordenación de las cuencas ha pasado a ser un término muy corriente en todo el mundo.

Durante aquellos primeros tiempos las actividades se dirigían principalmente a la corrección de torrentes en las zonas de montaña inestables y de gran pendiente, a la defensa contra las inundaciones mediante la construcción de presas, diques protectores y obras análogas, y a la repoblación forestal para regular el curso de las aguas, mejorar el clima y reducir la erosión.

Hacia finales del siglo XIX, aumentó considerablemente tal interés, especialmente en lo referente a ciertos aspectos como la magnitud y el carácter del efecto de los bosques en el régimen de aguas, las inundaciones, el clima local y regional. En esa época se celebraron en Europa Occidental varias reuniones internacionales para examinar el estado en que se encontraban los conocimientos referentes a la influencia de los bosques sobre el medio ambiente, a la necesidad de disponer de datos más fidedignos a este respecto y a mejorar los métodos e instrumentos precisos para obtener la información.

Desde la segunda guerra mundial, la ordenación de cuencas hidrográficas se ha convertido en un tema de gran interés internacional. Un examen de las publicaciones recientes en el mundo pone de manifiesto la gran cantidad que aparece sobre los problemas de la ordenación de cuencas, los programas de investigación y sus resultados, y los programas de acción emprendidos en muchas partes del mundo.

Existen diversas razones para este general y rápido incremento de la preocupación acerca de los problemas de las cuencas hidrográficas y del interés en las formas de resolverlos. La inquietud por las repetidas y devastadoras inundaciones con las consiguientes pérdidas de vidas humanas y propiedades, ha dado origen a muchos programas encaminados a impedir o a reducir los daños de las inundaciones.

El excesivo entarquinamiento de los cursos de agua con el consiguiente entorpecimiento de la navegación, el deterioro del hábitat de la población de peces, la reducción de la calidad de las aguas y el anegamiento de los fértiles fondos de los valles, ha contribuido a que se difundiera el interés por las medidas destinadas a corregir esas situaciones y a evitar su repetición en el futuro.

En casi todo el mundo se siente gran inquietud por la erosión acelerada que causa grandes pérdidas de suelo y la consiguiente merma de capacidad productora, mientras las necesidades de producción aumentan con rapidez.

Aunque en tiempos anteriores los problemas relacionados con la escasez de agua quizá no hayan recibido tanta atención como la dedicada a los elementos destructores más aparentes, existe una preocupación que aumenta con gran rapidez por el incremento alarmante de la escasez de agua con sus efectos presentes y potenciales en las economías industriales y agrícolas, así como por los graves peligros en cuanto al abastecimiento para el consumo humano en el país.

Todas estas preocupaciones e inquietudes están relacionadas íntimamente con el fabuloso crecimiento demográfico y los crecientes esfuerzos para mejorar el bienestar de las generaciones actuales y futuras.

Puede decirse que los problemas de todo género e intensidad que plantea el agua, son casi de amplitud mundial en las partes pobladas de la tierra, pero por lo general, son más críticos en aquellos puntos en que la presión sobre la tierra es mayor.

En las zonas de gran densidad de población humana se ha producido una tremenda necesidad de agua, alimentos, combustibles, fibras y espacio vital. Estos elementos son necesarios en cierto grado para poder mantener la vida y debe disponerse de ellos en cantidades mucho más abundantes si se quiere mantener un nivel de vida que permita algo más que la simple subsistencia.

El resultado de ello es que la tierra se explota en un esfuerzo para satisfacer todas las necesidades y comienza la degradación: se esquilma la vegetación, se erosiona el suelo y se reduce la productividad, el régimen regular de las aguas pasa a convertirse en alternativas de inundaciones seguidas de períodos de estiaje.

La degradación es un círculo vicioso que tiende a perpetuarse por sí mismo. A medida que las tierras se vuelven improductivas e inútiles, la presión sobre las que quedan aumenta y se acelera la degradación. Si este proceso no se contiene e invierte, un paisaje que en un tiempo ha sido fértil y productivo, llega a convertirse en un verdadero desierto biológico.

Varias organizaciones internacionales están llevando a cabo diversas actividades para ayudar en el progreso de la ordenación de cuencas hidrográficas.

El conocimiento de las influencias del bosque constituye una base importante para el desarrollo de las prácticas de ordenación de cuencas hidrográficas.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación ha trabajado activamente para promover un mejor conocimiento de los problemas de las cuencas hidrográficas, así como de las técnicas para resolver tales problemas y para proporcionar ayuda en el planeamiento de los programas de actuación necesarios.

### **Manejo integrado de las cuencas y usos múltiples de los recursos naturales**

Hacer un uso y manejo sustentable e integral de las cuencas hidrográficas y de los recursos naturales significa aprovechar, proteger y conservar este recurso sin agotarlo ni desperdiciarlo, satisfaciendo las necesidades de los seres humanos. Preservando y protegiendo las cuencas hidrográficas, aseguramos la cantidad y calidad del agua para las futuras generaciones, manteniendo y mejorando la calidad del ambiente y los sistemas ecológicos.

Sin embargo, en la comunidad en la que vivimos, se llevan a cabo algunas acciones por parte de la gente que son inadecuadas y perjudiciales. Por eso, la protección de las cuencas hidrográficas es una responsabilidad ciudadana.

El agua es indispensable para la vida de los seres humanos, animales y plantas. Todos los días la utilizamos, entre otras cosas, para bañarnos, lavar nuestros alimentos y beberla. Con el agua se genera electricidad, se riegan los cultivos y se producen las industrias. La vida del planeta depende del buen uso y manejo que hagamos de este valioso recurso.

Un plan de manejo estudia el uso actual de los terrenos y su condición de uso, además determina cuál es el uso más adecuado que se le debería dar a estos terrenos y cuál es el uso más intensivo que podrían soportar.

Por otra parte, se busca una participación activa de las personas y las organizaciones de la región, porque son ellas mismas las beneficiarias directas de la mejoría que se experimente por medio de esta estrategia de desarrollo sostenible.

La cuenca es quizás el medio más eficiente para la planificación del desarrollo macro y microregional, ya que en ellas interactúan las diferentes dimensiones para promover el desarrollo. El adecuado manejo y uso de las cuencas hidrográficas busca mejorar la calidad de vida de los habitantes.

La cuenca es considerada, tradicionalmente, como una entidad territorial topográfica e hidrológica para la planificación y ordenación sostenible de los recursos naturales renovables.

La distinción entre cuenca hidrográfica y cuenca fluvial suele considerarse únicamente una cuestión de tamaño. Aunque en muchos casos se utilizan ambos términos como sinónimos, las cuencas hidrográficas son pequeñas áreas de drenaje y las grandes cuencas se denominan cuencas fluviales. No obstante, la perspectiva histórica y el desarrollo conceptual de la ordenación integrada de cuencas siempre se han referido a las pequeñas áreas de drenaje de montaña donde los bosques y la vegetación natural han sido tipos predominantes de uso de la tierra entremezclados con otros tipos de usos.

Por ello, la evolución de este concepto como disciplina científica ha tenido su origen en las escuelas forestales de las universidades y sus prácticas en el campo las han realizado principalmente las organizaciones forestales.

Las pequeñas cuencas de montaña se han tomado por lo general como unidades territoriales de proyecto con el fin de controlar la erosión, los torrentes e inundaciones y de mantener la sostenibilidad de la producción de agua aprovechable.

Estos objetivos, en un sentido limitado, han tenido siempre una conexión concreta con la ordenación y desarrollo de los recursos naturales renovables y con la productividad sostenida de los recursos de tierras y aguas.

Como la ordenación de cada recurso o grupo de recursos de los espacios naturales tiene su propia peculiaridad relacionada con los principales objetivos, la tarea principal del ordenador de cuencas es integrar en un todo las actividades de planificación y ordenación para cumplir los principales objetivos de la ordenación y la sostenibilidad de recursos muy valiosos para el continuo bienestar de la comunidad que vive en la cuenca.

La definición clásica de ordenación de cuencas se ha mejorado algo introduciendo el concepto de la integración y la sostenibilidad de tierras, aguas, recursos económicos y sociales para elevar el bienestar humano en un ambiente de calidad.

Hay un elemento común en casi todos los planes de desarrollo del territorio: una creciente demanda de agua. Si se alcanza entonces una integración prudente y eficaz de todos los esfuerzos y actividades dirigidos a la sostenibilidad de la producción de agua de calidad, podrá cumplirse armoniosamente el objetivo del pleno desarrollo del bienestar sin la degradación del medio ambiente.

El concepto de ordenación integrada de cuencas no es solo un enfoque y un sistema eficaz dentro de una pequeña cuenca, sino también una integración de los resultados de pequeñas cuencas hidrográficas que constituyen un mosaico vivo en una gran cuenca fluvial.

Las principales causas de los problemas técnicos son los factores ambientales naturales en los países desarrollados del norte, mientras que en los países en desarrollo los factores sociales y económicos son los principales causantes del deterioro.

Aunque los principios fundamentales de los métodos de ordenación integrada de cuencas son universalmente aceptados, los resultados en la práctica pueden ser diferentes entre los países desarrollados y los países en desarrollo debido a que



la participación de la comunidad, asociada con el nivel de desarrollo social, económico y cultural, no es idéntica en ambos casos.

La educación y formación de los adultos es el tema clave, de alta prioridad en los países en desarrollo, que permite mejorar los resultados de las actividades de ordenación integrada de cuencas.

Pueden hacerse los siguientes comentarios y conclusiones para alcanzar el desarrollo sustentable de los recursos de cuencas hidrográficas:

1) La educación y la formación de la comunidad mediante trabajos de extensión son fundamentales para elevar el nivel de vida de las comunidades rurales. La transferencia de pequeñas tecnologías como la agrosilvicultura, la apicultura, la ganadería doméstica, la mejora de pastizales, etc., es un atajo para lograr las metas económicas.

2) La participación de la comunidad es un método necesario pero no suficiente para promover el desarrollo sustentable de las cuencas de cabecera. Debe darse una creciente atención a la dimensión técnica de la ordenación de cuencas.

3) La política de ordenación de cuencas y las medidas legislativas deben diseñarse sin dejar canales abiertos a las políticas locales que lleven a la gente al abuso y a malos sistemas en las cuencas hidrográficas. Este tema debe ser controlado y vigilado por la conciencia pública apoyada por organizaciones no gubernamentales.

4) Independientemente de las buenas cualidades y calificaciones del personal técnico empleado por las organizaciones gubernamentales, la falta de coordinación entre estas instituciones puede ser un serio inconveniente para cumplir las metas de la ordenación integrada de cuencas. Por ello, es absolutamente necesario lograr una integración de los esfuerzos y de las fuerzas aportadas por las organizaciones participantes.

5) Como cada cuenca es una entidad topográfica e hidrológica singular, las medidas técnicas y socioeconómicas deben basarse en datos y resultados seguros proporcionados por una investigación experimental auténtica.

6) Las cuestiones fundamentales de la ordenación y la rehabilitación pueden manejarse y lograrse más fácilmente en pequeñas cuencas unitarias, lo que facilita la integración de los resultados en el mosaico de una cuenca fluvial.

7) Los problemas de los recursos hídricos han demostrado claramente la interdependencia de individuos, comunidades, municipalidades, estados y naciones. La ordenación de este recurso para obtener el máximo beneficio de esta generación y las próximas requerirá la cooperación de toda la población.

La gestión racional de los recursos hídricos continentales, se ha convertido en una de las principales preocupaciones para asegurar la calidad de vida en nuestro planeta y el desarrollo económico sustentable de nuestras sociedades.

Durante mucho tiempo fue considerada como un simple fluido o un producto químico; hoy en día, el agua debe ser tenida en cuenta como un medio de vida que hace falta preservar tanto en cantidad como en calidad y diversidad.

Estimados, por lo menos en las zonas de clima húmedo, como abundantes y gratuitos, los recursos hídricos deben ser administrados hoy en día como un patrimonio precioso. Sus usos deben ser organizados para permitir satisfacer óptimamente la totalidad de las necesidades, evitar el despilfarro, impedir las degradaciones irreversibles y asegurar los reciclados indispensables, y en todas circunstancias deben ser abordados en términos de costos y de equilibrios económicos y financieros.

Estas cuestiones son ciertamente complejas, y es necesario en todo el mundo aportar respuestas jurídicas, organizacionales y técnicas que puedan permitir un real dominio del agua para poder:

- Luchar contra la erosión, sostener los estiajes, prevenir las catástrofes naturales y los riesgos tales como inundaciones o sequías.

- Mejorar la higiene y la salud de las poblaciones y prevenir las grandes epidemias, tanto dentro de las colectividades rurales como dentro de las grandes aglomeraciones y sobre todas sus extensiones urbanas periféricas, donde deben ser organizados los servicios de abastecimiento de agua potable y de tratamiento de las aguas residuales adaptados a las necesidades tanto en cantidad como en calidad.

- Asegurar la producción agroalimentaria para el saneamiento de las tierras y la irrigación apropiada, y desarrollar la acuicultura.

- Permitir el desarrollo de la industria, la producción energética y, dentro de ciertos sectores, la práctica del ocio y del turismo así como de los transportes fluviales, especialmente por los aprovechamientos integrados de vocación polivalente.

- Prevenir las contaminaciones permanentes, difusas o accidentales, y preservar el equilibrio y los ecosistemas acuáticos.

Todos estos problemas no pueden ser resueltos de forma sectorial y separados los unos de los otros, deben ser abordados en el marco de un enfoque integrado a la escala geográfica de cada gran unidad hidrográfica.

De aquí en adelante, es en el ámbito de cada afluente, de cada gran cuenca vertiente y cada vez más a escala internacional de continentes (grandes ríos, mares interiores o internacionales) que deben ser establecidos los acuerdos, definidas las estrategias, concebidos los programas, encontrada la financiación y los medios administrativos y técnicos de gestión, controlados, vigilados y comprobados los resultados.

Esto supone la movilización de medios considerables:

- Medios financieros, por un lado, para modernizar las instalaciones existentes, crear los dispositivos y nuevos equipos indispensables y establecer las redes de medida y análisis necesarias para la observación de los fenómenos y de su evolución.

- Por otro lado, medios humanos para organizar las instituciones y las estructuras de gestión, para sensibilizar a los responsables de todos los niveles y para formar a los hombres, profesionales y técnicos del agua (diseñadores, realizadores, constructores, explotadores, suministradores) y utilizadores (agricultores, acuicultores, industriales, pescadores, deportistas).

Las cuencas hidrográficas son unidades del territorio en donde funciona la combinación de un subsistema hídrico que produce agua, simultáneamente junto con un subsistema económico y social, activado por el hombre, el capital, el trabajo y la tecnología. En ellas se producen bienes y servicios agrícolas, pecuarios, forestales y recreativos que son demandados principalmente por las poblaciones localizadas aguas abajo. Su comercialización produce ingresos y contribuye al desarrollo.

Las cuencas hidrográficas de montaña constituyen unidades territoriales importantes por cuanto en ellas reside una proporción mayoritaria de la población. Tienen un clima muy agradable durante todo el año, poseen valles intermontanos muy fértiles para ciertos rubros agrícolas; una población muy laboriosa arraigada a su tierra, con valores culturales, históricos y económicos propios, con un potencial turístico importante; y sobre todo constituyen las fuentes hídricas estratégicas para facilitar el desarrollo regional aguas abajo.

Pero a su vez, tienen otras características vinculadas al medio físico natural. Poseen vertientes y cauces de altas pendientes, ocurren lluvias con fuerte erosividad, las rocas y las márgenes de torrentes y ríos tienen fácil disgregabilidad, los suelos son de alta erosionabilidad y ocurren, en épocas de lluvia, frecuentes movimientos en masa.

Asimismo, en las vertientes de los tramos medios y superiores de las cuencas ocurre un proceso activo de deforestación del bosque, con pérdida de la biodiversidad vegetal y animal, un aprovechamiento agrícola inadecuado de las tierras, presencia creciente de plagas en los cultivos agrícolas, cacería excesiva de especies de la fauna silvestre, contaminación de las aguas por exceso de agroquímicos, deterioro de las fuentes de agua, aparición de conflictos entre pobladores por demanda insatisfecha de agua, empobrecimiento de la población y éxodo rural. En algunos casos la minería ilegal es otro problema creciente de contaminación de ríos importantes.

A ello se une, en muchos casos, la ausencia de servicios básicos como: educación, asistencia médica, asistencia técnica agroforestal, viviendas inadecuadas, títulos de tenencia provisionales o inexistentes, falta de organización de la población para la autogestión y la comercialización, malas carreteras; lo que indica en su conjunto que existe poca presencia del estado. Se aplican un conjunto de leyes de nivel estatal y municipal para proteger el deterioro, pero cuyo efecto práctico no es todo lo deseable.

Estas carencias y comportamientos inapropiados se acentúan en el tiempo, ya que la población crece a un ritmo muy rápido, duplicándose cada 15 a 20 años y consecuentemente aumentando la demanda de agua y de alimentos.

Existe entonces un círculo de degradación de las cuencas altas que atenta contra la promoción del desarrollo aguas abajo y este sobre el desarrollo regional. El deterioro de las cuencas, aguas arriba, crea déficit en la disponibilidad de agua en las fuentes para cubrir la demanda, poniendo en dificultades las opciones del desarrollo regional por falta de fuentes de agua.

A los problemas anteriores se unen el deterioro de la calidad de la escorrentía que surte acueductos, por uso excesivo de agroquímicos, que produce efectos preocupantes sobre la salud de la población.

Una gran variedad de estudios ha diagnosticado las causas del deterioro de las cuencas hidrográficas de montaña en América Latina. Se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- 1) Las vinculadas al medio físico natural que se relacionan con la fragilidad propia de los ecosistemas de montañas jóvenes.
- 2) Las condiciones de la población, entre ellas el aumento demográfico explosivo, la búsqueda de su supervivencia y la pérdida de la autoestima a medida que se empobrece.
- 3) El "estilo de gobierno y de desarrollo" caracterizado por enfoques muy segmentados junto con excesivos celos interinstitucionales, lo que dificulta la acción coordinada. A esto se agregan actitudes de paternalismo y clientelismo.

No se brinda suficiente importancia a la actividad de asistencia técnica y de extensión agroecológica, debido a la escasez de recursos financieros, que en buena parte son absorbidos para el pago de la deuda externa o se dilapidan en una mala gerencia o en comportamientos contrarios a la ética del manejo del dinero público. A veces se aplican paquetes tecnológicos importados sin la adecuada validación local.

Para enfrentar la compleja situación de la conservación y desarrollo de las cuencas de montaña los gobiernos, sus técnicos y las universidades han ensayado diferentes estrategias con éxito variable, una de ellas la ordenación y manejo integral de cuencas hidrográficas.

Ha sido una estrategia de trabajo para la conservación de las zonas montañosas aplicada desde principio de siglo en los Alpes, en las montañas rocosas, en los Apalaches, en los Andes, en Asia y en Japón, por inspiración y motivación de los forestales, quienes desde un principio han estado conscientes de la necesidad de mantener interrelaciones óptimas entre los bosques, las aguas, la fauna y los suelos dentro de los ecosistemas montañosos. A través del tiempo se ha buscado su perfeccionamiento, adaptándola a los problemas y entornos sociales, políticos e institucionales de las diferentes regiones montañosas. Ha sido una estrategia que ha buscado la conservación y el desarrollo.

En su devenir se han desarrollado seis grandes variantes: el control de torrentes, el manejo hidrológico forestal de vertientes, el manejo hidrológico, el manejo integral de microcuencas y la más reciente recuperación de ecosistemas hídricos.

La ordenación y manejo de cuencas ha sido una estrategia institucional que ha promovido el incremento de la capacidad productiva del sistema de cuenca dentro de sus potencialidades y limitaciones.

El manejo integral de cuencas se puede concebir, siguiendo la definición presentada en el trabajo sobre terminología de la FAO, como *“la formulación y aplicación en toda la cuenca hidrográfica, tanto aguas abajo como aguas arriba, de un conjunto integrado de acciones en la búsqueda del desarrollo sustentable, minimizando los efectos ambientales negativos sobre el recurso hídrico que la población utiliza aguas abajo”*.

El manejo de cuencas es un método potente de planificación que aplica un enfoque holístico, destacando la interconectividad de los recursos naturales entre los usuarios aguas arriba y aguas abajo, aplicando el concepto de ecosistema, los

principios de la ciencia ecológica y los lineamientos del desarrollo sustentable. Además, facilita el monitoreo y evaluación del efecto de las inversiones en conservación de vertientes para protección del agua y privilegia la protección del valor estratégico del recurso agua.

Dificultades operativas en la aplicación del manejo de cuencas:

A pesar que de en la formulación y aplicación del manejo de cuencas existe un proceso metodológico bien estructurado y una justificación evidente, es necesario destacar que actualmente se registran pocas realizaciones al menos en América Latina.

Su aplicación ha sido difícil entre otras razones porque las instituciones no han sido diseñadas para aplicar enfoques integrales como el que requiere el manejo de cuencas, sino segmentados, existiendo muchas instituciones en compartimentos estancos. Otro problema es la conflictividad de los intereses entre la población y empresas ubicadas aguas arriba y aguas abajo: porque no se ha resuelto en forma apropiada las externalidades que causan flujos de retorno contaminados; por la inestabilidad de las políticas gubernamentales; por la falta de una clara política de incentivos que logre la participación sostenida de la población y por la falta de demostración convincente de los resultados exitosos que aparecen a mediano plazo dentro de un entorno político que solicita resultados inmediatos, sobre todo en América Latina.

La ordenación y manejo de cuencas requiere la decisión política de actuar decididamente con una fuerte coordinación interinstitucional en todo el sistema-cuenca, aguas arriba y aguas abajo, para promover la aplicación de políticas de desarrollo sostenible, privilegiando el valor estratégico del recurso hídrico, insertada en políticas de desarrollo regional, con enfoques de cogestión, autogestión y en función de las potencialidades y limitaciones del ecosistema.

La mayoría de los países de la región tienen dificultades financieras y una recesión general que ahora apenas muestra signos de recuperación. La actividad esta reducida al mínimo y solo algunos proyectos se están ejecutando con préstamos de la banca internacional, para protección de cuencas donde existen desarrollos hidráulicos, especialmente hidroeléctricos. Otros proyectos se realizan con donaciones.

El reajuste que se produce en la macroeconomía tiene semiparalizada la actividad de construcción en control de torrentes. Se observa una mayor actividad en aprobación de reglamentaciones de uso de las tierras, cuya efectividad es parcial; poca actividad de reforestación de vertientes y de riberas y se inician programas de asistencia agronómica.

Otro factor que ha contribuido a la disminución de la ejecución de proyectos de manejo de cuencas, es la falta de demostración cuantitativa de efectos y logros beneficiosos.

El ciclo tradicional de elaboración y ejecución de proyectos no ha incluido la medición de la situación inicial de indicadores seleccionados que permitan la comparación de los efectos de las acciones del proyecto, ni sistemas de monitoreo por lo que la evaluación de logros no ha formado parte de los proyectos de cuencas, salvo excepciones.

No ha existido una cultura de la instrumentación y medición. Por eso no se tienen respuestas convincentes a las preguntas de gobernantes y representantes de

organizaciones financiadoras y de países donantes sobre la magnitud de los efectos logrados.

La falta de monitoreo y evaluación de logros ha dificultado la consecución de financiamiento, el análisis del costo-efectividad de los tratamientos y la corrección y mejoría de los diseños. Para solventar esta falla se necesita convencer a los gerentes, al personal técnico y a los beneficiarios sobre la importancia del monitoreo y evaluación de logros, ya que el costo adicional que las mediciones implican se justificará al disponer de información cierta y objetiva que refuerce la marcha del proyecto.

Desde el principio, se tiene que lograr la planificación participativa en la búsqueda del desarrollo rural local sustentable, involucrando a la población para que el proyecto sea relevante a las necesidades y aumente la disposición de la población a cooperar financieramente. La participación significa la incorporación de los políticos y representantes de las instituciones para asegurar la implementabilidad de las propuestas.

La planificación participativa es un proceso de orientación y organización para que la población que reside dentro de una unidad hidrográfica se reúna, y con la ayuda de facilitadores identifique los problemas y necesidades de interés mutuo. Es un proceso para definir un plan de acción que conduzca a resolver los problemas y buscar beneficios mensurables para las familias, los individuos y los grupos localizados en la cuenca y en las áreas de influencia. La detección de problemas a través del diagnóstico participativo y la evaluación ambiental de cada finca son las actividades de arranque.

La búsqueda de solución de los problemas detectados en los talleres y en las evaluaciones de campo es la clave para el éxito del manejo de cuencas; pero debe ser una solución de problemas englobada dentro del marco de búsqueda del desarrollo rural local sustentable bajo las premisas establecidas en la definición del manejo de cuencas.

La planificación tiene que ser un proceso muy disciplinado para evitar inconvenientes ya que las alternativas seleccionadas no dejarán nunca satisfechos a todos los residentes, porque siempre existirán conflictos de intereses.

La planificación debe considerar sistemáticamente la recolección de información, identificación de líderes, formación del comité de planificación, talleres de diagnóstico, diseño de alternativas por especialistas, talleres de selección de alternativas, diseño de estrategias para la ejecución y aprobación política del proyecto.

El reto principal es desarrollar un proceso que permita incorporar la población a una filosofía de desarrollo sustentable en un entorno caracterizado por el crecimiento explosivo de la población, restricciones económicas y por lo tanto de stress social, y economía abierta de mercado. Dentro de ese marco institucional y social se proponen líneas de acción en cinco grandes áreas: Educación y capacitación, planificación, participación de la población, destacar el papel del bosque y financiamiento.

El manejo racional de las cuencas hidrográficas requiere el estudio cuidadoso de cuestiones científicas y técnicas, así como de los factores socioeconómicos de las estructuras institucionales, el apoyo comunitario, los marcos legislativos, reglamentarios y los instrumentos económicos que influyen esencialmente en el uso que hacen los seres humanos de los recursos naturales.

Muchas de las intervenciones técnicas que se requieren en las tierras altas, tales como la silvicultura sostenible, los sistemas agroforestales y las prácticas de conservación de suelos y agua, son muy conocidas y se reconocen sus beneficios.

En la imagen 2 se presenta el diagrama de una propuesta de metodología general para la formulación y evaluación económica ambiental de planes de ordenación de cuencas hidrográficas de la provincia de Misiones<sup>4</sup>.

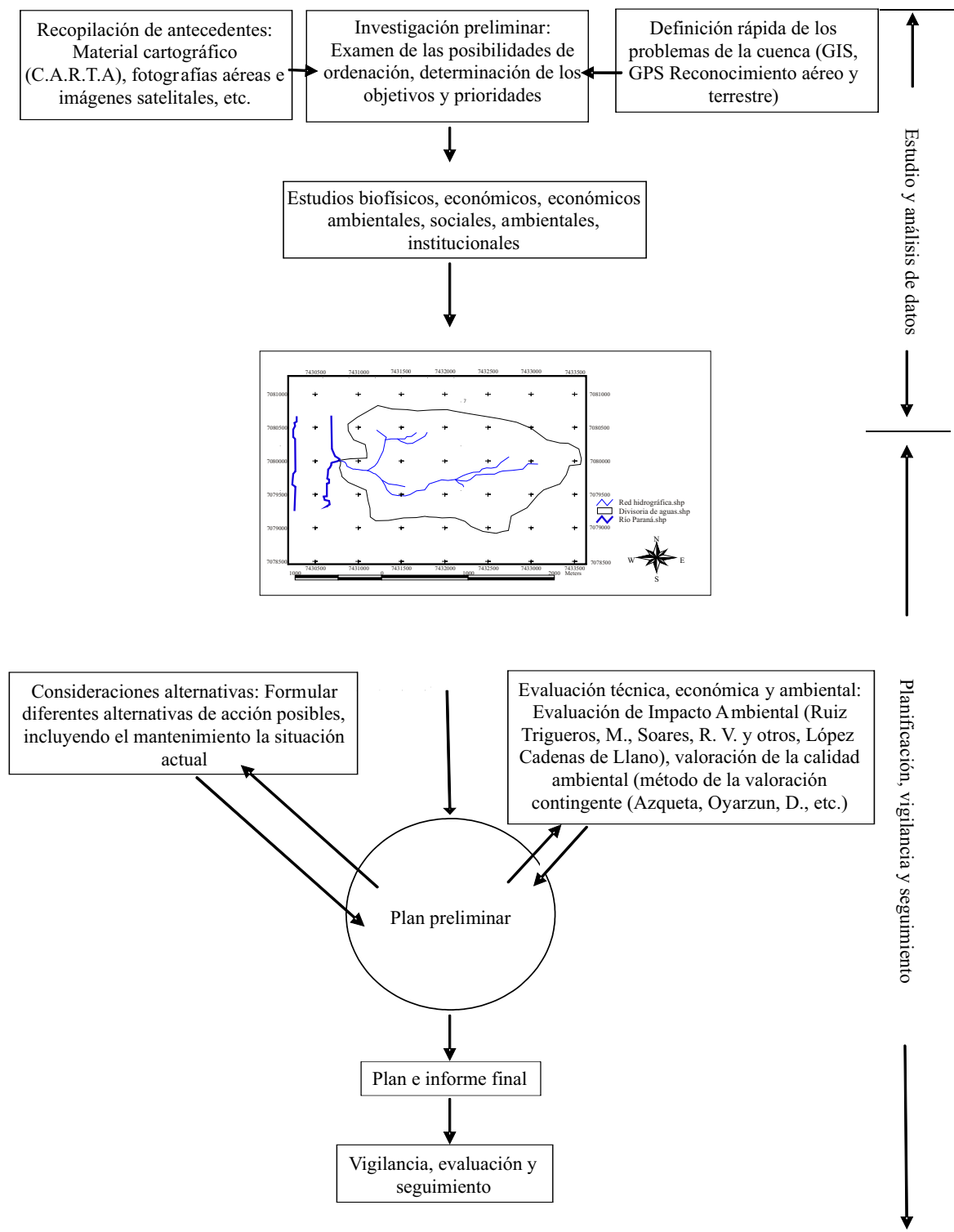
Si bien la enumeración de los impedimentos y limitaciones al manejo racional de las cuencas hidrográficas es extensa, destacamos tres que consideramos vitales: (1) la valoración inadecuada de los servicios ambientales que prestan las cuencas hidrográficas; (2) la estructura institucional inapropiada que sirve de apoyo al manejo de las cuencas hidrográficas y a las prácticas adecuadas de uso de la tierra, y, lo que es más importante, (3) la falta de atención a los problemas socioeconómicos que fomentan el círculo vicioso de la pobreza, el medio ambiente degradado y la vulnerabilidad a los desastres naturales (por ejemplo, la política de tenencia de la tierra y los incentivos económicos inapropiados para adoptar mejores prácticas agrícolas y de uso de la tierra; la participación pública que garantice la ejecución eficaz de los planes de manejo).

El tamaño de las cuencas hidrográficas va desde las cuencas fluviales internacionales que cubren miles de kilómetros cuadrados hasta las microcuencas de solo unos cuantos kilómetros cuadrados. El tamaño de la cuenca que se trate entrañará implicaciones para las soluciones relativas al manejo y técnicas.

---

<sup>4</sup> Martínez Duarte, J. A. 2006. *Metodología para la formulación y evaluación económica ambiental de planes de ordenación de cuencas hidrográficas de la provincia de Misiones, Argentina*. FCE - UNaM, Misiones, Argentina. 145 pag.

Imagen N° 2: Diagrama del método propuesto para la planificación





La escala geográfica es un factor decisivo en la identificación del propósito de las intervenciones, la magnitud de esfuerzos, los posibles participantes, socios, y los resultados y efectos que pudieran esperarse. Vale la pena tener en mente que de la manera en que se aborden los problemas anteriores depende el número de instituciones participantes, la población y el desarrollo económico, todo lo cual está relacionado en gran medida con el tamaño de la cuenca hidrográfica.

Las necesidades de información ilustran la pertinencia de la escala en la planificación y la ejecución. Muchos programas proponen sistemas complejos de acopio de información que resultan útiles para cuencas grandes pero que no son rentables para el manejo de cuencas pequeñas en el nivel local. Entre ellas se incluyen la vigilancia hidrometeorológica, el levantamiento cartográfico de las zonas que presentan riesgo de inundaciones, y el desarrollo de bases de datos complejas para su uso con los sistemas de información geográfica (SIG) para la preparación en casos de desastre.

Dichas inversiones se justifican solo cuando el posible daño económico a la infraestructura humana y social es grande. Son típicamente poco rentables para el manejo de cuencas rurales pequeñas y aisladas que no requieren, y con toda probabilidad no pueden asimilar, ese tipo de tecnología.

Las cuencas hidrográficas son, por su naturaleza misma, unidades físicas complejas. El hecho de que sustenten asentamientos humanos y de que se vean sometidas a los efectos de la actividad antropogénica complica aun más el asunto y aumenta la dificultad de reducir la degradación ambiental.

La actividad humana irrestricta puede acrecentar la vulnerabilidad de una cuenca hidrográfica a los desastres naturales, al tiempo que reduce su capacidad regenerativa. El grado de degradación dependerá del nivel socioeconómico, las actividades económicas y productivas prevalecientes y las condiciones ecológicas.

Mientras las llanuras aluviales, las laderas de pendiente pronunciada, las tierras inestables y otros sitios vulnerables continúen siendo las opciones más viables para los pobres, seguirá habiendo gran devastación y pérdida de vidas como secuela de los desastres naturales.

Los que viven en la pobreza normalmente no tienen acceso a tierras cultivables y seguras. Debido a ello, habitan y cultivan zonas marginales, tales como llanuras aluviales y laderas empinadas, con lo que elevan al máximo su exposición al siguiente desastre y perpetúan el círculo vicioso. Talan bosques esenciales para obtener leña y carbón, y acuden a la agricultura de tumba y quema o migratoria para la producción de alimentos.

El crecimiento demográfico y la escasez de tierras obligan a las comunidades rurales a arrasar los bosques y a cultivar suelos cada vez más frágiles, lo que disminuye aún más la productividad de las cuencas hidrográficas y el poder de recuperación ante los desastres naturales. La producción alimentaria de subsistencia (cereales básicos) mediante los métodos y tecnologías tradicionales constituye la actividad económica predominante en las zonas de tierras altas.

Los problemas ambientales resultantes son la deforestación, la erosión de los suelos, la escorrentía acelerada de las aguas y, en menor grado, la contaminación de fuentes no localizadas originadas por productos químicos para la agricultura.

Sin embargo, es poco el capital que los agricultores de cuevas empinadas pueden invertir en métodos de conservación de suelos y agua para subsanar esas preocupaciones ambientales.

La falta de derechos de propiedad seguros se ha identificado como una barrera común e importante para la adopción de tecnología, en especial para las innovaciones de horizonte a largo plazo como la arboricultura y las mejoras a los recursos naturales.

Los incentivos para beneficiar la tierra, por ejemplo, mediante la construcción de infraestructura de conservación del suelo y la siembra de cultivos perennes altamente valorados, disminuyen con el aumento de la incertidumbre respecto de la tenencia de la tierra. Igualmente, dado que son los propietarios de las tierras los que, a la postre, tienen la mayor influencia sobre el uso de los recursos, el tamaño de la granja también es un problema en lo tocante a los esfuerzos que se requieren para educar a los agricultores y brindarles los incentivos adecuados para que adopten prácticas de manejo racionales.

Para que tengan éxito, las intervenciones técnicas encaminadas a proteger las cuencas hidrográficas altas deben mejorar los ingresos de los propietarios de tierras y productores de esas zonas, quienes están más motivados por consideraciones económicas que ecológicas. Las intervenciones deben llevarse a cabo con los productores teniendo en cuenta los recursos y medios de producción que tienen a su disposición.

Las medidas racionales de uso de la tierra, como la silvicultura sustentable y la agroforestería, también contribuyen a mitigar los cambios climáticos mundiales al retener el carbono.

En los niveles locales y comunitarios, no suele comprenderse, y mucho menos valorarse, la relación que existe entre las partes altas y bajas de las cuencas hidrográficas, ni los servicios que brinda el manejo de cuencas.

Por ejemplo, los más interesados no han logrado relacionar los beneficios que entraña la protección de la cuenca hidrográfica con un mejor suministro de agua porque la mayoría de las personas no saben de dónde proviene el agua que consumen ni cómo las puede afectar lo que sucede en la cuenca alta.

Por lo general, al manejo sostenible de las cabeceras de las cuencas se le asigna una prioridad relativamente baja en comparación con los supuestos beneficios mayores y más inmediatos que pueden lograrse con las inversiones económicas en las cuencas bajas, tales como la irrigación para la agricultura de exportación y el desarrollo turístico.

Los formuladores de políticas, los inversionistas y otros interesados suelen hacer caso omiso de los servicios ambientales cruciales y los beneficios económicos que produce un buen manejo de las cuencas altas, tanto para la salvaguarda de las poblaciones y las inversiones económicas y sociales en las cuencas bajas, así como en el aseguramiento de otros servicios esenciales tales como el abastecimiento, la protección de las fuentes de agua y la regulación del clima.

Un enfoque sistémico de la valoración de las diversas funciones de las cuencas hidrográficas puede ayudar a los planificadores a comprender mejor las ventajas y desventajas relativas de las diversas opciones para el empleo de las cuencas hidrográficas.

Para que tengan la mayor utilidad, las valoraciones deben reflejar la mayor cantidad posible de los bienes y servicios de la cuenca, y deben reflejar cómo dichos bienes y servicios son aprovechados tanto por los hombres como por las mujeres, los ricos y los pobres. Los beneficiarios de las cuencas bajas deben contribuir a la protección de las cuencas altas.

A continuación mencionamos algunos ejemplos de dicha contribución. En Quito, Ecuador, un porcentaje de los pagos por uso de las aguas se está dedicando

a financiar proyectos para la conservación y el manejo de las cuencas hidrográficas que suministran agua a la ciudad para consumo doméstico e industrial.

Asimismo, en Colombia, la Autoridad Hídrica de Bogotá brinda fondos para el manejo del Parque Nacional de Chingaza para proteger la principal cuenca de la ciudad.

En el estado brasileño de Paraná, el cinco por ciento de la recaudación proveniente del impuesto sobre las ventas se asigna a los municipios donde se encuentran las fuentes de suministro de agua para que se emplee en la protección de dichas fuentes.

En Costa Rica, algunos propietarios de tierras reciben recompensa por sus esfuerzos de reforestación como reconocimiento por el servicio de regeneración de las aguas que brindan los árboles.

En El Salvador, el BID está apoyando una actividad de manejo de la cuenca del cauce superior del río Lempa para hacerle frente a los problemas de sedimentación en esa cuenca que están afectando la producción energética en la mayor instalación hidroeléctrica del país.

La escasez de recursos financieros y la falta de interés en los beneficios del manejo ambiental se han citado en muchas ocasiones como razones para no emprender actividades de manejo de cuencas.

Para que las políticas surtan efecto en mayor escala, es menester la adopción en masa de métodos agrícolas que no sean los de tumba y quema. Pero, como se explicó anteriormente, para que se puedan repetir y mejorar las experiencias hay que superar muchos impedimentos.

Como respuesta, hemos identificado varias acciones prioritarias, incluidas las siguientes:

- Fortalecer a las autoridades municipales y su capacidad de abordar los problemas del uso de la tierra y del manejo de las cuencas hidrográficas.

- Apoyar la planificación racional del uso de las tierras para viviendas, infraestructura, así como el manejo idóneo de los recursos naturales; garantizar la participación pública en la planificación de las cuencas hidrográficas; integrar los planes locales de desarrollo con los de manejo de las cuencas hidrográficas.

- Apoyar las políticas y los incentivos de mercado que fomenten la reforestación, la silvicultura sustentable, y la arboricultura en las cuencas altas de pendiente pronunciada (por ejemplo, tenencia de la tierra, tenencia de árboles, desarrollo de mercados para productos con certificación ecológica).

En ese campo existen posibilidades para estimular la participación del sector privado empleando, por ejemplo, el "Clean Development Mechanism" de los cambios climáticos.

- Requerir que los beneficiarios de las cuencas bajas paguen por los servicios de las cuencas hidrográficas y dedicar fondos a ayudar a los agricultores de subsistencia y otros propietarios de tierras en las cuencas altas a que adopten prácticas más sustentables de manejo de los recursos naturales, y proteger los ecosistemas de tierras altas, garantizando que las mujeres agricultoras se beneficien equitativamente de esos programas.

- Apoyar la protección de cuencas hidrográficas críticas y la restauración de sistemas ecológicos clave para mitigar los efectos de futuros desastres naturales (por ejemplo, el manejo de zonas protegidas).

□ Apoyar a las ONG locales que trabajan en el manejo de cuencas hidrográficas a que aclaren asuntos relativos a la tenencia de la tierra y facilitar el acceso de los agricultores al mercado oficial de tierras ayudándolos a lograr acceso a los mecanismos de financiamiento.

□ Establecer un marco transnacional de manejo de cuencas hidrográficas que movilice los esfuerzos de diversos países en torno a un conjunto de problemas comunes de manejo de cuencas hidrográficas y trabajar por la creación de acuerdos para el manejo de cuencas internacionales clave.

□ Empezar un programa de estudios e investigaciones que incluya los siguientes temas: a) valoración económica de los servicios ambientales; b) financiamiento innovador, incluido el pago por parte de los beneficiarios en las cuencas bajas por la protección de las cuencas altas (por ejemplo, tarifas por el uso de las aguas, el "Clean Development Mechanism" para retención de carbono); c) análisis de la relación entre uso de la tierra y el manejo ambiental, por una parte, y la naturaleza y magnitud de las pérdidas causadas por los desastres naturales; y d) acopio de experiencias fructíferas en la protección de las cuencas.

## **Las aguas corrientes**

Las aguas corrientes afectan a la casi totalidad de la superficie continental, solo los países cubiertos permanentemente de hielo desconocen su acción. Las aguas corrientes constituyen el objeto de estudio de la hidrología.

Tipos de circulación:

Las aguas corrientes se concentran linealmente o se extienden en superficie, tienen carácter permanente, aunque pueden llegar a ser intermitentes e incluso espasmódicas. Según estos criterios distinguimos entre ríos y torrentes.

Ríos:

Consideramos que un río es una corriente de agua permanente que fluye por un cauce desde las tierras altas a las tierras bajas y vierte en el mar o en una región endorreica (río colector) o a otro río (afluente). Estas corrientes se organizan jerárquicamente en redes. Los ríos se diferencian por su envergadura y por la complejidad de su régimen hidrológico.

Torrentes:

Los torrentes son ríos de alimentación esporádica, y frecuentemente espasmódica. En Latinoamérica se llaman arroyos.

El torrente es un curso de montaña episódico. Es muy sencillo y presenta tres elementos: la cuenca de recepción, en forma de embudo, el canal de desagüe, por donde circulan las aguas y el cono de deyección en la desembocadura. El lecho es torrencial y rocoso, con una fuerte pendiente.

### 3. CLASIFICACIÓN DE LAS CUENCAS DE LA ARGENTINA. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES. PANORAMA GENERAL DE LA ACTIVIDAD TORRENCIAL. ZONAS MÁS AFECTADAS

Con una riqueza excepcional, la Argentina presenta ríos en su mayor parte navegables y cuenta, además, con campos de hielo y aguas subterráneas.

Los sistemas hidrográficos más importantes de la Argentina pertenecen a la pendiente del Atlántico. Se trata de la Cuenca del Plata y del Sistema Patagónico.

Cuenca del Plata:

Abarca una extensión total de 3.100.000 km<sup>2</sup>. Es considerada la más relevante de la Argentina y tiene dimensión internacional: a ella pertenecen ríos cuya naciente se encuentra fuera del territorio argentino. Además, representa una vía de navegación para la Argentina, Paraguay y Brasil. Los principales ríos que la integran son: Paraná, Uruguay, Paraguay, Salado, Carcarañá, Iguazú y el Río de la Plata.

El Río de la Plata presenta una anchura de 40 Km. a la altura de Colonia (Uruguay) y de 200 Km. entre los puntos extremos de su desembocadura. Además es el que da nombre a la cuenca y a la región geográfica a la que limita por el este.

Sistema Patagónico:

Son los ríos de la Pendiente Atlántica que cruzan la Patagonia, los que conforman este sistema. Todos ellos nacen en la cordillera y crecen dos veces al año; en invierno por las lluvias y en primavera por fusión de la nieve, la mayor bajante se produce en el otoño.

Los ríos más importantes de este sistema son: Chubut, Santa Cruz y Río Negro.

Cuencas endorreicas:

Dentro de la clasificación de cuencas endorreicas se cuentan todos los ríos que no desaguan en el mar, sus aguas se pierden en el territorio por filtración o evaporación. Hay dos sistemas importantes con estas características en la Argentina:

Cuenca del Desaguadero:

De gran importancia hidroeléctrica y para el riego, esta cuenca, suele ser considerada temporaria porque en épocas de grandes crecientes, sus aguas pueden alcanzar el mar.

Incluye los siguientes ríos: Jáchal, Mendoza, Tunuyán, Diamante y Atuel. El río Desaguadero es el colector.

Cuenca de las Sierras Pampeanas:

Comprende cursos de agua de gran interés hidroeléctrico e irrigatorio. Incluye los siguientes ríos: Salí, Primero, Segundo, Quinto y otros menores.

Algunos de los ríos Argentinos cruzan la frontera con Chile hasta llegar al océano Pacífico y se los considera pertenecientes a la pendiente del Pacífico. Tal es el caso del río Futaleufú, que alimenta una usina hidroeléctrica.

Lagos y lagunas:

Lagos del Sur. Todos los lagos argentinos se hallan en la Patagonia, tanto en la zona cordillerana como en la extracordillerana. Alguno de los lagos de la región cordillerana son compartidos con Chile, en cambio los restantes son de exclusiva soberanía Argentina.

Las lagunas se encuentran esparcidas a lo largo de todo el territorio argentino. Las hay de origen marino, estas tienden a desaparecer para terminar convirtiéndose en salinas; otras son acumulaciones de agua de lluvia o de deshielos.

### **Panorama general de la actividad torrencial. Zonas más afectadas**

La producción agropecuaria es la actividad productiva más importante del país, por la contribución que hace a su economía, a través de la exportación de productos agropecuarios.

No obstante, el suelo, que es el soporte de esta actividad, no recibe suficientes cuidados sino más bien todo lo contrario. Casi 50 millones de hectáreas están afectadas por erosión hídrica o eólica en grado moderado o grave. Se estima que las pérdidas económicas debidas a la degradación del suelo ascienden a 700 millones de dólares por año.

Nadie ignora en el país la importancia que ha tenido y tiene el sector agropecuario en su economía, sin embargo el sostén de la actividad que es el suelo, no recibe suficientes cuidados.

La ocupación y el uso de la tierra por el hombre siempre originan cambios, generalmente negativos, para la cubierta vegetal y el suelo, al alterar las condiciones en que se desenvuelven los procesos naturales. Estos por lo general se desequilibran y generan fenómenos que perturban aún más el ambiente.

Los procesos que de alguna manera provocan en forma real o potencial una disminución de la capacidad productiva del suelo se denominan procesos de degradación, entre los cuales uno de los más importantes es la erosión, ya sea hídrica o eólica<sup>5</sup>.

Cada año el deterioro del suelo por degradación es mayor no solo por el aumento del número de hectáreas afectadas sino también porque el ritmo del perjuicio se acelera. Los efectos negativos, de por sí graves, por la disminución de la capacidad productiva de las tierras, se tornan dramáticos al incidir sobre la infraestructura básica del país. Cada vez hay más poblaciones, caminos, vías férreas, diques, puertos y vías navegables dañados por la degradación del suelo.

Estos son los signos más evidentes y espectaculares que en muchos casos impulsan a los gobiernos y funcionarios a reparar los daños ocurridos (reparación de caminos, puentes, dragados, etc.), y no a prevenirlos atacando las verdaderas causas del deterioro.

La prevención de la degradación del suelo, mediante la difusión de técnicas conservacionistas, conducirá a evitar muchos daños y perjuicios por destrucción de la infraestructura, permitirá incrementar la producción agropecuaria y disminuirá la contaminación. En definitiva, mejorará la calidad de vida de la población.

Situación actual:

En el territorio Argentino debido a las grandes diferencias climáticas, fisiográficas y de vegetación, como de usos y manejos dados a la tierra, se producen variaciones en el tipo y el ritmo de la degradación de los suelos. Por la superficie afectada y gravedad se destacan los siguientes procesos:

- Erosión hídrica.
- Erosión eólica.

---

<sup>5</sup> FAO. 1959. *El problema torrencial de Argentina*. N° 1142. Roma.

- Degradación física.
- Degradación química.

#### Erosión hídrica:

Según la información actual, se estima que la erosión hídrica en la Argentina, considerando todos sus grados de intensidad, afecta aproximadamente a 25.000.000 hectáreas. La superficie afectada por erosión hídrica en el país creció en un ritmo de 223.000 hectáreas por año.

A continuación se resume información regional que pone de manifiesto la gravedad del proceso.

#### Región del noroeste argentino (NOA):

Esta región comprenden las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán y Santiago del Estero.

En las tierras de secano los cultivos más importantes son: caña de azúcar, citrus, poroto, maíz, soja y sorgo. El cultivo de poroto se ha constituido en dinamizador de la actividad agrícola. El monocultivo de poroto, y en años recientes el de soja, contribuyen a crear condiciones favorables para la acción erosiva del agua, debido a que el suelo permanece desprotegido durante mucho tiempo, coincidiendo con la ocurrencia de precipitaciones intensas.

De esta forma, el arrastre de suelo y la formación de cárcavas y zanjas, son características frecuentes en los campos cultivados. Suelos de aptitud agrícola-ganadera, destinados exclusivamente a agricultura fueron transformados en campos improductivos. La falta de manejo adecuado con inclusión de rotaciones entre cultivos y/o pasturas, es factor determinante del deterioro total del suelo.

La ampliación de la frontera agropecuaria incorporó como áreas cultivadas las tierras altas susceptibles a erosionarse, y abarcó progresivamente campos bajos que incrementaron sus imperfecciones de drenaje, salinidad, etc., al ser receptores de excesos de las partes altas de agua.

#### Cuenca alta del río Bermejo:

La cuenca del río Bermejo es una de las de mayor potencialidad hídrica de nuestro país, con una superficie de 135.000 km<sup>2</sup>, ocupando la posición NO del territorio argentino y SE boliviano. La cuenca alta del ya mencionado río comprende una superficie 50.000 km<sup>2</sup>.

En esta, como en otras cuencas, los principales factores naturales que condicionan los procesos son: Topografía, fundamentalmente por el porcentaje y longitud de la pendiente; Geología; Características de los suelos; Intensidad de las precipitaciones; Densidad de la vegetación.

La acción antrópica acelera la erosión geológica mediante acciones, que el hombre realiza a través de la agricultura y ganadería, que determinan un aumento en la degradación y erosión de los suelos.

Se puede señalar que toda la alta cuenca del río Bermejo aporta grandes volúmenes de sedimentos a través de distintos cauces. Así, se obtiene para la junta de los ríos San Francisco y Bermejo, un transporte de material en suspensión de 78.954.100 ton/año, que representan un volumen de aproximadamente 63 km<sup>3</sup>/año.

El río Bermejo, según aforos realizados en Zanja del Tigre durante el periodo 1945/80, aportó 63.173.900 ton/año de sedimentos en suspensión.

El río Iruya en El Angosto, durante el periodo 1971/79 aportó 31.652.600 ton/año de sedimentos, siendo la pérdida específica de suelo de 10.730 ton/km<sup>2</sup>/año.

### Región Húmeda:

En esta región es donde radica la mayor y la más valiosa producción agraria del país.

La gravedad del problema de la erosión de suelos en la región pampeana húmeda se puede resumir e ilustrar en unas pocas cifras. Existen diagnósticos que dan valores alarmantes como 1.600.800 ha erosionadas en la pampa ondulada y 2.300.000 hectáreas en Entre Ríos, lo que representa el 34,8% y 37% respectivamente de la superficie de las mismas.

### Pampa Ondulada:

El mapeo semidetallado de los suelos de la subregión Pampa Ondulada (provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba), ha permitido conocer la magnitud de la erosión hídrica y estimar la disminución de la productividad de los suelos de pradera más valiosos del país.

Esta región que abarca aproximadamente 4.600.000 hectáreas, presenta un total de tierras erosionadas de 1.600.800 ha, es decir que el 34,8% de la superficie presenta algún grado de erosión.

### Entre Ríos:

Los suelos de la provincia presentan un alto grado de afectación y susceptibilidad a la erosión hídrica.

El relieve ondulado, la intensidad de las lluvias de verano y otoño, la baja capacidad de infiltración de los suelos negros arcillosos predominantes, y la realización de una agricultura tradicional que deja el suelo desnudo en períodos lluviosos críticos, son las principales causas que favorecen la erosión.

El mapa de suelos de la provincia de Entre Ríos, a escala 1:500.000, proporciona una idea clara de la magnitud de la erosión en la provincia. La erosión actual afecta a 2.300.000 hectáreas, y la susceptibilidad a la erosión caracteriza a 4.200.000 hectáreas, es decir el 37 y 68% de la superficie provincial respectivamente, excluyendo el delta del Paraná.

### Región del noreste argentino (NEA):

Esta región comprende las provincias de Chaco, Formosa, Corrientes y Misiones.

En toda la región del NEA el problema de la erosión hídrica y otras formas de degradación del suelo y del ambiente se manifiestan en grados diversos. La erosión hídrica es el más frecuente y espectacular de los procesos degradatorios.

En Misiones su acción deja signos muy elocuentes. Algo similar ocurre en Corrientes, en proximidades de los ríos Paraná y Uruguay y en el centro sur donde dominan suelos arcillosos. A diferencia del Chaco y Formosa donde la erosión hídrica de origen pluvial es más notoria en el tercio oriental.

La gravedad del problema se ve claramente manifestada en la decadente productividad de las tierras agrícolas y en la disminución de la receptividad de los campos de pastoreo.

En la provincia de Misiones la intensidad de las lluvias y las características del relieve hacen que las tierras presenten una alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

Se estima para los suelos arables de la provincia que un total de superficie de 1.256.090 hectáreas son susceptibles a la erosión, constituyendo el 42,3% de la superficie provincial.

El fenómeno erosivo se manifiesta en tierras con cultivos anuales como la soja y el maíz, como así también en tierras con cultivos perennes como yerba ma-



te, citrus, etc., cuando no se aplican prácticas conservacionistas. Los suelos protegidos por una espesa vegetación de selva pueden sufrir una pérdida por erosión hídrica de solo 3 a 7 ton/ha/año, pero al eliminarse esta cobertura esas pérdidas pueden ser mayores de 360 ton/ha/año.

En la provincia del Chaco las tierras arables totalizan 3.400.000 hectáreas, que representan el 34% de la superficie provincial. Una de las limitaciones más importantes de las mismas es la susceptibilidad a la erosión y el grado de erosión actual, ocasionado por más de medio siglo de monocultivo algodónero.

En la provincia de Corrientes, "zona de campos" sobre el margen argentino del río Uruguay, con departamento de Santo Tomé, se presenta una similitud de las condiciones físicas y productivas como las imperantes en Río Grande do Sul (Brasil).

Aquí domina un relieve ondulado, con suelos rojos y desde hace más de 20 años se está desarrollando una agricultura sobre la base de cultivos anuales como la soja y el maíz.

En esta región se estima que las pérdidas de suelo por erosión hídrica, para una rotación trigo-soja sin aplicación de prácticas conservacionistas, varían entre 26 y 77 ton/ha/año para pendientes del 1-2% y 3-4%, respectivamente.

#### Erosión eólica:

Se genera erosión eólica cuando la acción del viento sobre el suelo desnudo o con una pobre cobertura vegetal origina desagregación, remoción y transporte de partículas de suelo.

Este proceso afecta principalmente las regiones semiáridas de aptitud ganadero-agrícola, y áridas con uso predominante ganadero extensivo.

La superficie afectada por erosión eólica, para todo el país, se estimó durante 1988 en 21.410.000 hectáreas. El "*Instituto de Suelos y Agrotecnia*" del INTA estimó en 1957, que el área afectada en todos sus grados abarcaba aproximadamente 16.000 000 hectáreas; esto significa que la erosión eólica creció en una tasa de 175.000 hectáreas por año.

#### Patagonia:

En la región patagónica existen 4.000.000 hectáreas de médanos y pavimentos desérticos, fase más aguda y final del proceso de erosión, estimándose que el área total afectada en todos los grados de intensidad cubre aproximadamente 13.000.000 hectáreas.

Los procesos de erosión del suelo y las alteraciones del ciclo del agua en Patagonia forman parte de un proceso más amplio de desertificación progresiva. El pastoreo de lanares es la fuerza principal desencadenante del proceso de desertificación producido durante este siglo.

En un estudio realizado por la Agencia Europea Espacial y la EEA INTA Trelew, mediante análisis de imágenes satelitarias y trabajos de campo, se observó que en el SO de la provincia de Chubut, sobre una superficie de 1.030.000 hectáreas, los pavimentos de erosión y médanos ocupan 33.768 hectáreas que representan el 3,3% de la superficie relevada.

Según las estimaciones realizadas en algunos sectores de la Patagonia, en la provincia de Chubut, sobre una superficie de 22.272,5 km<sup>2</sup>, se tiene que la superficie afectada por erosión eólica, en sus distintos grados, es de 10.565 km<sup>2</sup>, lo que representa el 47,4%.

En la provincia de Santa Cruz, sobre una superficie de 21.384 km<sup>2</sup>, hay 10.335 km<sup>2</sup> con erosión o sea el 48,3% y en Tierra del Fuego, sobre una superficie de 19.750 km<sup>2</sup>, hay una superficie de 425 km<sup>2</sup> con erosión grave, que representa un 2,2% del área total.

En el sudeste, en la provincia de Río Negro se presenta una superficie de 94.000 hectáreas de médanos y dunas costeras vivas, y 119.000 hectáreas de focos erosivos fijados.

También la erosión hídrica adquiere características importantes, principalmente en la región oeste de la precordillera, también en el centro y sur de Patagonia. En estas áreas se encuentra erosión hídrica de leve hasta grave, con presencia de cárcavas, como por ejemplo en el área del lago Burmeister (Parque Nacional), lago Viedma (valle de los Guanacos) y Roca (cordón de los Cristales).

Región pampeana semiárida:

La región semiárida pampeana abarca el sur de la provincia de Córdoba, este de San Luis, NO de La Pampa y SO de la provincia de Buenos Aires, con una superficie total de 24.000.000 hectáreas. Actualmente se estima que la región está afectada por diferentes grados de erosión, en un 46% por erosión eólica y en un 27% por erosión hídrica.

Las causas directas de la erosión eólica en la región semiárida pampeana son:

- ✓ Falta de correctas rotaciones;
- ✓ Uso reiterado de implementos de labranza inadecuados;
- ✓ Sobrepastoreo de los forrajes naturales y cultivados;
- ✓ Deforestación indiscriminada;
- ✓ Laboreo de tierras no aptas para la agricultura;
- ✓ Época e intensidad de los laboreos inadecuados.

Las actividades de producción de mayor gravitación económica en la región son los cereales y la ganadería. La agricultura se basa principalmente en el cultivo del trigo que ocupa una superficie de 2.287.830 hectáreas que representa el 38,8% del total nacional.

La ganadería incluye lanares y vacunos, y constituye la explotación que mayor superficie ocupa: un 60% de la superficie total.

Región oeste central:

Considera la degradación antrópica (erosión hídrica y/o eólica) en las provincias de La Rioja, San Juan, Mendoza, San Luis y Oeste de La Pampa, sobre una superficie de alrededor de 550.000 km<sup>2</sup>.

#### 4. CORRECCIÓN DE TORRENTES. FORMACIÓN DE UN TORRENTE. PARTES PRINCIPALES. ESTADO TORRENCIAL DE UNA CUENCA. ECOSISTEMAS FLUVIALES. RESTAURACIÓN DE LOS RÍOS.

Características de una cuenca de montaña:

Una cuenca de montaña se caracteriza principalmente por las elevadas pendientes de sus suelos y los reducidos caudales que la generan.

En los ríos de montaña en equilibrio, los cambios se manifiestan luego de largos períodos de tiempo, debido a la estabilidad de sus suelos y a la protección que representa la vegetación. En los ríos de montaña en desequilibrio, por el contrario, las condiciones de régimen no se presentan porque los cambios son más rápidos. El desequilibrio se origina por la inestabilidad geológica, movimientos de masas por erosión o por intervención antrópica (agricultura, minería, vías de comunicación, etc.).

##### **Torrente:**

Un río de montaña o torrente, es un curso de aguas superficiales con pendientes pronunciadas que presenta gran diferencia entre los caudales de crecida y de estiaje. Durante la época húmeda conducen caudales grandes, y en época seca los caudales de escurrimiento son muy pequeños, llegando en muchos casos a no tener escurrimiento superficial<sup>6</sup>. Tienen en común su gran pendiente y los importantes volúmenes de suelo que mueven, principalmente en época húmeda. Durante los meses de estiaje el proceso de transporte de sedimentos se detiene.

La cuenca de un río de montaña, en general, consta de tres sectores (ver imagen 3):

- Cuenca Receptora
- Tramo medio
- Cono de deyección

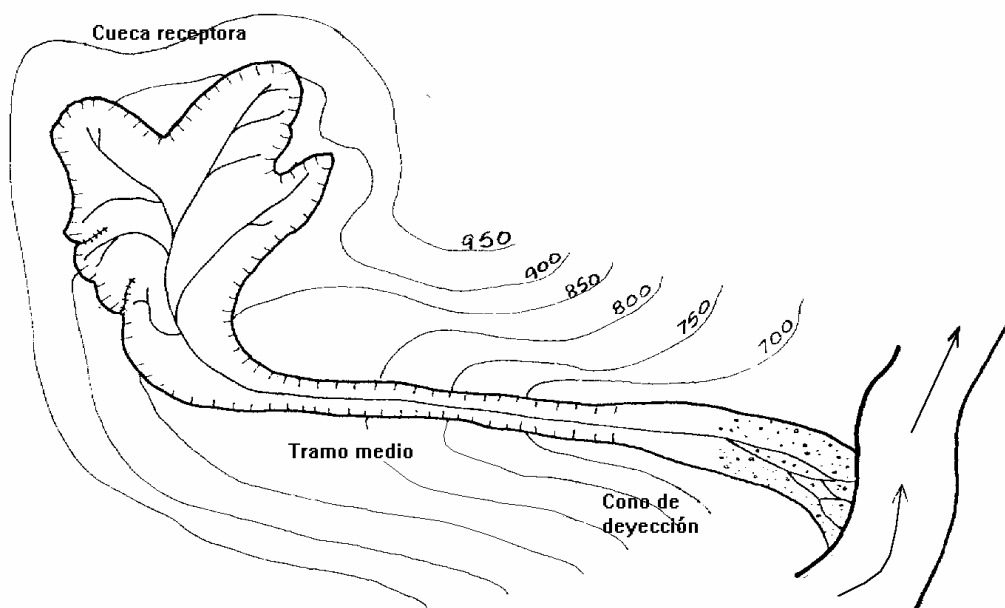
A diferencia de otras cuencas de montaña, las cuencas andinas adquieren condicionantes particulares con predominio de los elevados procesos de erosión, gran transporte de sedimentos y riesgos climáticos caracterizados por sequías y heladas. Al mismo tiempo la ocupación del territorio se extiende prácticamente a toda su superficie, con prácticas agrícolas, agropecuarias y mineras.

La cuenca receptora es la zona de mayor altura, de este sector proviene la mayor parte de los volúmenes de escurrimiento y es el de mayor aporte de sedimentos. La erosión es un factor decisivo para este fenómeno, interviniendo factores como: topografía, propiedades físicas y químicas de los suelos, cobertura vegetal, uso del suelo y régimen de precipitaciones.

---

<sup>6</sup> García Nájera, J.M., *Principios de Hidráulica Torrencial*, Ministerio de Agricultura. Madrid, 1962.

Imagen N° 3: Sectores de un torrente



El tramo medio de la cuenca es, por lo regular de topografía encajonada entre abruptos taludes, y más estrecho que las otras dos zonas y la solera de su lecho tiene pendientes acentuadas, aunque de menor magnitud que las que presenta la cuenca receptora.

En este sector pueden presentarse procesos de erosión, esta vez debido a las grandes velocidades de flujo, que originan fuertes tensiones de corte sobre la superficie del lecho de manera que el flujo de agua adquiere gran capacidad de transporte. A consecuencia de la erosión de fondo, el nivel de la solera disminuye progresivamente, aumentando la altura de los taludes laterales en la misma proporción, lo que puede provocar la inestabilidad de las riberas. Los cambios morfológicos se presentarán en función de la resistencia que ofrezcan los suelos componentes del perímetro hidráulico a la acción de las tensiones de corte del flujo.

El cono de deyección, es el área donde se deposita la mayor parte del material generado por erosión en la cuenca receptora y en el tramo medio. La trayectoria del flujo cambia continuamente en razón de las características propias de zonas de bajas pendientes y lecho aluvial. La condición de menor capacidad de transporte de sedimentos, dará lugar a que los sedimentos sean depositados de manera desordenada, generando continuos cambios de dirección en el flujo.

Cuenca receptora:

En la cuenca receptora se desarrolla el mayor movimiento de masas de suelo, que se ponen en movimiento a causa de diferentes razones, a saber:

- Movimiento de masas débiles de piedra y suelo, por peso propio e influencias antrópicas.

El movimiento de masas puede atribuirse a las características geológicas, tectónicas, condiciones hidrológicas, propiedades químicas y físicas de las masas, clima, topografía, pendiente, cobertura vegetal, cambios en el contenido de agua, en las masas de suelo.

- Derrumbes:

Desprendimiento de piedras en sectores de fuerte pendiente, por influencia del agua y movimientos sísmicos.

- Deslizamientos:

Movimientos en dirección de la pendiente, formados por masas de rocas sueltas o suelos. Se presentan en suelos arcillosos y limosos, con gran contenido de agua.

- Movimientos fluyentes:

Movimiento lento hasta rápido de rocas, rocas sueltas y suelos. Se presenta en suelos sin cohesión o en suelos con cohesión, cuando se supera la tensión de corte crítica.

- Cierre de Valle:

Movimiento muy lento de arrastre que cubre una gran extensión superficial. Este tipo de movimiento dura varios cientos de años y no puede ser regulado por el hombre porque tiene causas tectónicas.

- Mazamorra:

Movimiento muy rápido de masas, mezcla de: agua, suelo, cantos rodados, madera y otros. La carga que arrastra la mazamorra, proviene de la cuenca receptora del torrente (roca suelta, rellenos de valle, antiguas mazamorras, masas de canto rodado o productos de la descomposición de materiales susceptibles a cambios).

Además de los movimientos de masas mencionados, adquieren relevancia los procesos de erosión laminar, a consecuencia del impacto directo de las gotas de lluvia sobre la superficie y el transporte de material por los escurrimientos superficiales.

Como consecuencia de la erosión laminar, se advierten sectores de suelo de color más claro en las laderas; el suelo orgánico de otro tiempo ha sido removido, quedando el subsuelo, más claro, pobre en materia orgánica. La utilización de estas superficies de terreno con fines agrícolas significará una menor productividad y, por lo, tanto un incremento de los gastos para mantener los rendimientos de los cultivos.

En general, la superficie de los terrenos casi siempre es irregular, con depresiones y elevaciones, presentando además heterogeneidad en las características físicas y químicas de los suelos e irregularidades ocasionadas por las labores de labranza.

Estas condiciones dan lugar a que se presenten procesos de formación de surcos en dirección de la pendiente por la acumulación de agua en las depresiones hasta superar la resistencia de los componentes más débiles. La cantidad de surcos que se forman puede variar ampliamente, dependiendo de la irregularidad del terreno y de la magnitud que alcanzan las tensiones de corte.

La erosión en surcos se atribuye a la energía del escurrimiento, proporcional al cuadrado de la velocidad de flujo. Así por ejemplo, cuando la velocidad de flujo supera valores de 30 cm/s, frecuente en el flujo laminar, a 60 cm/s, la capacidad de desprendimiento de suelo del agua se cuadruplica.

La capacidad de transporte de suelo varía en relación a la quinta potencia de su velocidad. Por ejemplo, si la velocidad de flujo varía de 30 cm/s a 60 cm/s, el poder de transporte de suelo aumenta en treinta y dos veces. La erosión en surcos

origina el transporte de parte de la capa arable, pudiendo alcanzar el subsuelo, en cambio la erosión laminar arrastra únicamente la capa arable.

La profundización de los surcos puede generar procesos de formación de cárcavas y se presentará cuando el escurrimiento incrementa las velocidades de flujo y por lo tanto las tensiones de corte del flujo superarán las tensiones de corte resistentes de los materiales componentes de los perímetros de suelo afectado.

**Tramo medio:**

En el tramo medio de la cuenca, se mantienen las condiciones de erosión, aunque esta vez el escurrimiento será responsable del proceso. El fenómeno de erosión origina la inestabilidad de los taludes por la profundización del lecho.

La erosión se manifiesta cuando la tensión de corte originada por el flujo supera en magnitud a la tensión crítica del material que compone la solera.

Los estudios de erosión en canales han estado asociados a los mecanismos de transporte de sedimentos.

**Cono de deyección:**

Este tramo se encuentra ubicado en el sector inferior de la cuenca, constituyéndose en el lugar de deposición de los materiales erosionados en los sectores superiores. La zona adquiere pendientes menores, reduciéndose las velocidades y la capacidad de transporte, que dan lugar a procesos de sedimentación.

La distancia que recorren las partículas de suelo desprendidas por la erosión depende de su tamaño, densidad, forma y velocidad de escurrimiento. Algunos limos muy finos se sedimentan únicamente en las aguas estancadas; la arcilla finísima y el humus coloidal no se sedimentan, permaneciendo suspendidas indefinidamente.

Estas partículas permanecen en suspensión hasta que se coagulan por alcanzarse en el agua una concentración determinada por electrólitos, o hasta que se precipitan por producirse un brusco descenso de la temperatura.

La masa de tierra desprendida de las laderas se deposita al pie de estos terrenos o en planicies aluviales próximas. Esta masa es sobre todo resultado de la erosión laminar y de la erosión en surcos y se desplaza hasta distancias relativamente pequeñas de los terrenos de donde fueron desprendidos por la erosión, depositándose cuando la velocidad del escurrimiento disminuye.

Estos depósitos suelen tener una textura más fina, siendo más ricos en materia orgánica que los suelos de donde proceden, a causa de la acción selectiva de la erosión. En ocasiones, gran parte de esta tierra puede depositarse formando pequeños abanicos aluviales cuando las corrientes experimentan cambios bruscos de pendiente.

En el cono de deyección los problemas estarán asociados a desbordes e inundaciones o anegación de terrenos aledaños; en muchos casos estos lugares serán terrenos de producción agrícola o urbanizaciones.

La solución al problema de sedimentación estará asociada al control de los diámetros de material y la capacidad de transporte, y tomando acciones que permitan otorgar una mayor capacidad de transporte, por medio de la habilitación de secciones hidráulicas de mayor pendiente o de menor sección. Al mismo tiempo se protegerán los taludes laterales para evitar modificaciones en la trayectoria del cauce.

**Los ríos:**

Los ríos son un claro ejemplo de aguas superficiales. Se definen como la corriente natural de agua que fluye por un lecho, desde un lugar elevado a otro más bajo. La gran mayoría de los ríos desaguan en el mar o en un lago, aunque algunos desaparecen debido a que sus aguas se filtran en la tierra o se evaporan en la atmósfera.

Se constituyen como una importante fuente de suministro de agua tanto para usos agrícolas como domésticos. Pero, en los últimos años, los ríos se han visto afectados por los efectos negativos de la contaminación.

La cantidad de agua que circula por un río, caudal, varía con el tiempo y con el espacio. Estas variaciones definen el régimen hidrológico de un río. Las variaciones temporales se dan durante o justo después de las tormentas: la escorrentía que produce la arroyada incrementa el caudal. En casos extremos se puede producir la crecida cuando el aporte de agua es mayor que la capacidad del río para evacuarla, desbordándose y cubriendo las zonas llanas próximas o llanura de inundación.

El agua que circula bajo tierra, como la de la arroyada en surcos o en aguas subterránea, tarda mucho más en alimentar el caudal del río y puede llegar a él en días, semanas o meses después de la lluvia que generó la escorrentía. Aparte, el caudal de un río aportado por las aguas subterráneas recibe el nombre de caudal basal, que fluctúa en función de la altura del nivel freático.

Los ecosistemas fluviales son básicos para nuestra existencia. Si no llueve en absoluto o la media de las precipitaciones es inferior a lo normal durante largos periodos de tiempo, el río puede llegar a secarse cuando el aporte de agua de lluvia acumulada en el suelo y el subsuelo reduce el caudal basal a cero. Esto puede tener consecuencias desastrosas para la vida del río y sus riberas y para la gente que dependa de este para su suministro de agua.

La variación espacial se da porque el caudal del río aumenta aguas abajo, a medida que se van recogiendo las aguas de la cuenca de drenaje y por los aportes de las cuencas de otros ríos que se unen a él como tributarios. Debido a esto, el río suele ser pequeño en las montañas, cerca de su nacimiento, y mucho mayor en las tierras bajas, próximas a su desembocadura.

La excepción son los desiertos, en los que la cantidad de agua que se pierde por la filtración o evaporación en la atmósfera supera la cantidad que aportan las corrientes superficiales. Por ejemplo, el caudal del Nilo, que es el río más largo del mundo, disminuye notablemente cuando desciende desde las montañas del Sudán y Etiopía a través del desierto de Nubia y de Sahara hasta el mar Mediterráneo.

La cantidad, variaciones y regularidad de las aguas de un río son de enorme importancia para las plantas, animales y personas que viven a lo largo de su curso. Los ríos y sus llanuras de inundación sostienen diversos y valiosos ecosistemas, no solo por la capacidad del agua dulce para permitir la vida sino también por las abundantes plantas e insectos que mantienen y forman la base de las cadenas tróficas. En el cauce de los ríos, los peces se alimentan de plantas y los insectos son alimentos de aves, anfibios, reptiles y mamíferos.

Fuera del cauce, los humedales producidos por filtración de agua e inundación albergan entornos ricos y variados, no solo importantes para las especies autóctonas, sino también para las aves migratorias y los animales que utilizan los humedales como lugar de paso en sus migraciones estacionales.

Los ecosistemas de los ríos, también llamados ecosistemas fluviales, pueden ser considerados como un grupo perteneciente a los más importantes de la naturaleza y su existencia depende totalmente del régimen de los mismos. Por lo tanto, se debe tener gran cuidado para no alterar este régimen al actuar sobre el río y su

cuenca, ya que una gestión poco responsable de los recursos del agua o su sobre-explotación puede tener efectos desastrosos para el ecosistema de ribera.

El uso de los ríos y el conflicto entre la naturaleza y la explotación de los recursos fluviales no es algo nuevo. Los ríos y sus llanuras de inundación, estuarios y deltas han jugado un papel central en la historia, ya que han influido en la agricultura, el transporte, la industria, el vertido de desechos y los asentamientos humanos.

De hecho, los ríos Tigris y Éufrates, en la actual Irak, convirtieron a Mesopotamia, que significa literalmente 'entre ríos', desde la cuna de la civilización hacia la segunda mitad del IV milenio a.C. La larga asociación histórica entre sociedad y ríos es evidente por la gran importancia estratégica, comercial y religiosa de éstos. Por ejemplo, el Ganges en la India es sagrado para los hindúes, que lo visitan para su purificación al bañarse en sus aguas.

En un principio, los ríos atrajeron a la población por la seguridad que ofrecían en el suministro de agua y los ricos suelos agrícolas que proporcionaban. A lo largo del río se podía viajar y explorar nuevas regiones o transportar productos voluminosos a largas distancias sin necesidad de construir carreteras que cruzaran terrenos difíciles o espesa vegetación.

Más tarde, en los primeros tiempos de la revolución industrial los mismos ayudaron a proporcionar, a la vez, una importante materia prima y una fuente de energía para accionar las norias. Muchas industrias permanecen todavía junto a los ríos, aunque ya no empleen comercialmente esta energía hidráulica.

En muchos casos, los ríos han sido utilizados como sumideros para los desechos de la agricultura y de la industria. Gracias a su corriente y naturaleza ecológica, los ríos son capaces de regenerarse por sí mismos al admitir cantidades asombrosas de efluentes. Sin embargo, todos los ríos tienen un límite de capacidad de asimilación de aguas residuales y fertilizantes provenientes de las tierras de cultivo. Si se supera este límite, la proliferación de bacterias, algas y vida vegetal consumirá todo el oxígeno disuelto en el agua, eutrofización, lo que provoca la destrucción de todo el ecosistema fluvial ya que se interrumpen las cadenas tróficas. La capacidad de autoregeneración es alta.

La contaminación del agua por sustancias químicas, que no suelen estar presentes en el sistema puede tener terribles consecuencias ya que los ríos son muy vulnerables al envenenamiento por los productos tóxicos que generan la minería, las fundiciones y la industria, tales como metales pesados: plomo, cinc, cadmio; ácidos, disolventes, etc.

Estas sustancias químicas no solo destruyen la vida en el momento en el que se produce la contaminación, sino que también se acumulan lentamente en los sedimentos y suelos de la llanura de inundación. Las mutaciones y esterilidad que provocan en los animales al comer la vegetación que crece sobre estos terrenos, en la que se concentran los contaminantes, pueden conducir también, en efecto, a la destrucción irreversible de comunidades naturales enteras y a la permanente degradación de los paisajes.

El ser humano y los animales no están exentos de los peligros que se derivan del consumo directo del agua o de los alimentos que proceden de estos ríos y suelos contaminados. Los problemas para la salud pública que pueden presentarse son reales, aunque no están suficientemente estudiados.

La mayoría de los ríos de las naciones industrializadas están contaminados en mayor o menor grado. La sociedad del mañana no solo debe hacer frente al desafío de reducir los aportes actuales de contaminantes, sino que también tendrá que reconstruir la ecología natural de estos ríos. Tendrá que limpiar los suelos y



sedimentos de las sustancias químicas que los contaminan para hacer seguro el consumo de agua.

En los países en desarrollo, el desafío está en no repetir los errores cometidos por las naciones industrializadas y en prevenir la contaminación de sus ríos y ecosistemas vírgenes. Los ríos de estos países, como en el caso del Amazonas en América del Sur, son el último refugio de muchas especies de animales y plantas y el suministro de agua que pueden aportar es la mejor esperanza para el desarrollo sustentable de muchas naciones.

La importancia de los ríos trasciende las fronteras nacionales y los intereses locales. De ahí que para su conservación y manejo se necesite un acercamiento equilibrado entre los países en desarrollo y los desarrollados, para dividir equitativamente entre ambos los costos de su conservación gracias al reconocimiento de los ríos como un recurso natural mundial.



## 5. EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN. TIPOS DE EROSIÓN. MÉTODOS DE EVALUACIÓN. RECONOCIMIENTO DE CAMPO

### **Erosión:**

Se define como la acción de roer, gastar, provoca una pérdida de sustancia del relieve y elabora un vacío, una disminución de volumen. La erosión se produce cuando el agua, el hielo o el viento arrastran la tierra o la roca meteorizada. La roca blanda es más susceptible de ser fragmentada y arrastrada que la roca dura.

Cuando la erosión se produce repentinamente, puede ser muy peligrosa. Las avalanchas y los desprendimientos de tierra y barro son ejemplos de movimientos masivos: es decir, los movimientos repentinos, colina abajo, de una gran cantidad de tierra, roca y agua<sup>7</sup>.

La ablación y el desplazamiento de los materiales desgastados presuponen un transporte, que es la segunda fase del proceso de erosión. La gravedad a lo largo de una pendiente, el viento, etc., aseguran este desplazamiento. Y luego de un desgaste o pérdida del material y consecuente transporte del mismo, lleva a una acumulación que es la última fase de este proceso denominado erosión.

Tipos de erosión:

La erosión puede ocurrir en los ejes de los valles o en las laderas. La erosión de los valles se llama erosión lineal y la de las laderas erosión areolar (erosión hídrica). También existe la erosión causada por el viento denominada erosión eólica.

La erosión areolar:

Trata de los procesos dinámicos que afectan a las laderas y los efectos erosivos que produce, estos procesos transportan materiales de la ladera al eje del valle.

Los tipos de procesos son:

Lavado o arroyada: el lavado se produce cuando el agua baja en forma de lámina removiendo el material fino y transportando materiales en suspensión. Esto es más efectivo cuando el suelo no tiene vegetación.

Arroyada: las corrientes superficiales se concentran y tienen mayores efectos erosivos (regueros) que hacen que estos se pronuncien más en el terreno. El flujo de agua es turbulento y suele formar cárcavas. Las cárcavas o tierras malas se forman en zonas más o menos áridas sin vegetación y sin manto de alteración. Se desarrollan mejor cuando los materiales de las laderas son blandos (arcillas).

Reptación: se trata de un movimiento lento descendente del manto de alteración ladera abajo. Es un levantamiento perpendicular a la ladera y caída vertical.

---

<sup>7</sup> López Cadenas de Llano, F., *Hidrología Forestal*, Escuela Técnica Superior de Montes, Madrid, pp., 1976.

Las causas son:

1. Congelación y fusión del agua intersticial
2. Humectación y desecación del terreno
3. Dilatación y contracción térmica

La reptación se da cuando el desplazamiento afecta solo a una porción del manto de alteración y la reptación es cuando el proceso afecta a todo el manto de alteración.

Existe reptación estacional (en determinadas estaciones) y continua (todo el año). Siempre son movimientos lentos e imperceptibles. Cuando ocurre este proceso la ladera va a tener un perfil cóncavo con la máxima pendiente en la zona inferior. También se puede apreciar a través de la presencia de árboles o postes de teléfono que demuestran la existencia de este proceso.

Solifusión: se produce en laderas sobre materiales blandos con mucha agua intersticial lo que provoca que los materiales fluyan de manera viscosa. Puede ser un proceso de poca velocidad o con centímetros o metros anuales. El material más aceptable es la arcilla. Cuando este proceso ocurre en un ambiente periglacial y el movimiento se produce por la fundición del material se llama gelifusión. Forman coladas, lóbulos, mantos de solifusión, etc.

Deslizamiento: se produce un deslizamiento de los materiales sobre la vertiente los cuales pueden ser lentos o casi instantáneos (en ocasiones catastróficos). Afecta a un volumen de material variable y normal. Ocurren a favor de planos de estratificación, diaclasas, fracturas, es decir, en discontinuidades de la roca.

Existen deslizamientos de muchos tipos, algunos son:

1. Coladas de barro
2. Deslizamientos masivos
3. Desprendimientos: es la caída de fragmentos rocosos liberados de la superficie del terreno por una alteración mecánica o física a favor de las discontinuidades de la roca y forman canchales. Ocurren en zonas con una pendiente alta y dependen del tipo de roca.

Erosión lineal:

Acción torrencial: es, normalmente, el agua que circula por barrancos y que se une formando torrentes. En las regiones mediterráneas se llaman torrentes o ramblas y solo llevan agua en épocas de lluvia.

Canal de desagüe: es el eje donde se asocian todos los torrentes cuando terminan la zona montañosa y llegan a la zona de la llanura se produce el depósito de los materiales, que da lugar al cono de deyección o abanico fluvial.

La erosión del cauce se produce en el fondo y en las paredes. Esta erosión ocurre por:

1. Acción hidráulica: producida por la fuerza del agua.
2. Fenómeno de abrasión o corrosión: los fragmentos que se van desplazando golpean las paredes y el fondo haciendo que se separen fragmentos.

3. Por rozamiento: se produce cuando los fragmentos rozan con las paredes y se van desgastando.

4. Por disolución: se produce cuando los materiales se disuelven por causa del agua.

Erosión eólica:

En regiones sin vegetación y con mucho viento la atmósfera contiene una gran cantidad de polvo (de tamaño arena). El choque de estas partículas contra una roca dura provoca una abrasión (erosión eólica).

Transporte:

El viento puede transportar desde partículas finas hasta partículas del tamaño de la arena. Más frecuente son partículas del tamaño arena. En casos especiales las partículas pueden volar algunos miles de kilómetros para depositarse en regiones totalmente distintas, los depósitos eólicos más conocidos son las denominadas dunas.

Por último es importante decir que la erosión es uno de los factores principales para la modelación y creación del relieve, esto estará dado por las condiciones existentes y sobre todo por el papel fundamental que juega el agua para desgastar, transportar y depositar los materiales, y originar así nuevas llanuras y terrazas que producirán moldeamiento por una parte y formación por otra.

La meteorización:

En primer lugar conviene aclarar la diferencia entre erosión y meteorización. Entendemos por meteorización la rotura o la disgregación de una roca sobre la superficie de la Tierra, en la cual se forma un manto de roca alterada, regolito, que permanece *in situ*. El concepto de erosión incluye la denudación o degradación, es decir, la meteorización y el transporte del material.

La preparación del material ha recibido el nombre de *meteorización* porque de forma más o menos directa los agentes que preparan la roca son, en general, los meteoros: temperatura, agua, hielo, viento. Pero para que sean efectivos, además, debe haber debilidades estructurales en las condiciones litológicas.

La preparación del material, propia de la meteorización, se produce a causa de tres tipos de agentes básicos, los físicos, los químicos y los biológicos que son responsables, respectivamente, de la meteorización mecánica, la meteorización química, y la meteorización biológica.

El transporte:

Los procesos de transporte aseguran la evacuación de los materiales proporcionados por las vertientes, lo que evita que la erosión se detenga. Se identifican por las huellas de la ablación y de los depósitos correlativos asociados.

Transporte de sedimentos y erosión en cursos de agua:

Los sedimentos formados a partir de la erosión laminar y movimientos de masas son conducidos a los cursos de agua, donde tiene lugar la escorrentía en un

medio físico en forma de canal, responsable de la segunda fase del proceso de transporte de sedimentos. En este sector, el escurrimiento se desarrolla de manera concentrada, con capacidad suficiente para la conducción de los sedimentos, dependiendo de las condiciones geotécnicas de los suelos, principalmente de su capacidad de resistencia a las tensiones de corte, los pequeños canales naturales se profundizan gradualmente, dando lugar a la formación de cárcavas.

La presencia de cárcavas expresa un estado avanzado y complejo de erosión cuyo poder destructivo local es superior a las otras formas de pérdida de suelo y por lo tanto de mayor dificultad de control. En la cárcava actúan además de la erosión superficial, formas de erosión asociadas al escurrimiento superficial, a la desestabilización de taludes por humedecimiento y sobresaturación y al movimiento subterráneo (tubificación). Se asocian también a los procesos de erosión interna los "descalzamientos" de la base de los taludes de la cárcava, provocando desmoronamientos.

En suma, en una cárcava se presentan diversos fenómenos de erosión: erosión superficial, erosión interna, descalamiento y desmoronamientos, que generan procesos de alto poder destructivo, se manifiestan de manera flagrante en enormes superficies y que afectan, a la vez, zonas de producción agrícola, carreteras, obras públicas, etc.

En estos cursos naturales - incluidas las cárcavas, quebradas y torrentes - el flujo adquiere capacidad suficiente para transportar aguas abajo los sedimentos y fuerzas de corte, que en muchos casos superan las fuerzas resistentes de la solera y taludes; y para presentar la erosión por acción del escurrimiento. Durante este proceso disminuye el nivel de la solera, debilitando la base de los taludes, que dará lugar al desmoronamiento de las riberas e incrementará la carga de sedimentos sobre los cursos de agua.

La determinación de los volúmenes de transporte de sedimentos en canales abiertos es un problema central para el ingeniero hidráulico. Sus resultados son útiles para el dimensionamiento de obras hidráulicas como obras de toma, canales, para la regulación de ríos y torrentes, etc., así mismo será información necesaria para establecer la necesidad de incorporar obras complementarias y/o determinar la vida útil de una obra hidráulica.

La capacidad de transporte de sedimentos de un curso de agua ha sido motivo de investigaciones, debido al uso más frecuente de recursos hídricos de fuentes superficiales en los que se dan lugar, presentan procesos de erosión y sedimentación.

Métodos de evaluación de la erosión:

Métodos de reconocimiento:

Los "métodos de reconocimiento" son las maneras de obtener una primera aproximación al volumen de la erosión en una situación determinada. Esta aproximación primaria puede ser todo lo que se necesita o que, de ser menester, se deberá complementar con estudios más exactos.

La principal ventaja de los métodos de reconocimiento es que, como son de bajo costo y sencillos, se pueden efectuar muchas mediciones para que los resultados sean confiables y representativos; recordemos que una única medición exacta en un lugar puede no ser representativa.

Otra ventaja es que los "métodos de reconocimiento" se pueden aplicar con un personal de nivel intermedio; necesitan de escaso mantenimiento; por ejemplo, las varillas para medir la erosión, y el intervalo entre las mediciones puede ser flexible, o sea, las varillas pueden medirse después de un mes o después de una temporada o de un año.

Las técnicas sencillas pueden igualmente ser útiles como demostraciones cuando no se trata de medir el volumen de la escorrentía o la pérdida de suelo, sino de mostrar a los agricultores, a los extensionistas o al público en general que se está produciendo una erosión y que es preciso hacer algo al respecto.

#### Medición del cambio de nivel de la superficie:

La medición directa de los cambios en el nivel del suelo resulta adecuada cuando la erosión está localizada, los índices de erosión son elevados y la posición de la erosión es predecible, como en las tierras en pendiente deforestadas, o los pasos del ganado a través de los pastizales.

#### Mediciones localizadas:

Los resultados de las mediciones individuales; de cambios de nivel en un punto único varían considerablemente, pero este es un método sencillo y de bajo costo que permite establecer una muestra de un gran número de puntos y obtener una estimación válida.

#### Varillas para la medición de la erosión:

Este método ampliamente utilizado consiste en clavar en el suelo una varilla medidora de manera que en su parte superior se puedan "leer" los cambios en el nivel de la superficie del suelo. Conocidas con diversos nombres como postes, estacas y otros, las varillas pueden ser de madera, hierro o cualquier otro material que no se deteriore, que sea fácil de obtener y barato. Las barras de hierro redondas utilizadas para reforzar el hormigón pueden utilizarse a un costo reducido. En algunos países en desarrollo, es posible que las cañas de bambú cortadas puedan ser más adecuadas y menos codiciadas por los extraños.

#### Collares pintados:

Se puede obtener una indicación de cambios importantes de nivel, por ejemplo, en el lecho de una corriente o de una cárcava, pintando un collar apenas por encima del nivel del suelo alrededor de rocas, raíces de árboles, postes o cualquier otro elemento firme y estable. La erosión revela una banda no pintada por debajo de la línea pintada, que indica la profundidad del suelo eliminado. Al pintar el collar se aconseja cubrir el suelo ya que la pintura puede dispersarse accidentalmente y si cae pintura sobre el suelo este podría ser menos erosionable.

Las raíces desnudas de árboles pueden aportar una válida indicación del cambio cuando la razón de esta es evidente, como la erosión en el lecho de una corriente por debajo de un collar pintado.

### Mediciones volumétricas:

Las estimaciones de la pérdida de suelo basadas en mediciones tridimensionales del volumen pueden ser utilizadas de diferentes maneras. En la erosión producida por surcos o vías de escurrimiento, se miden la longitud de la sección erosionada y los cambios en el área transversal.

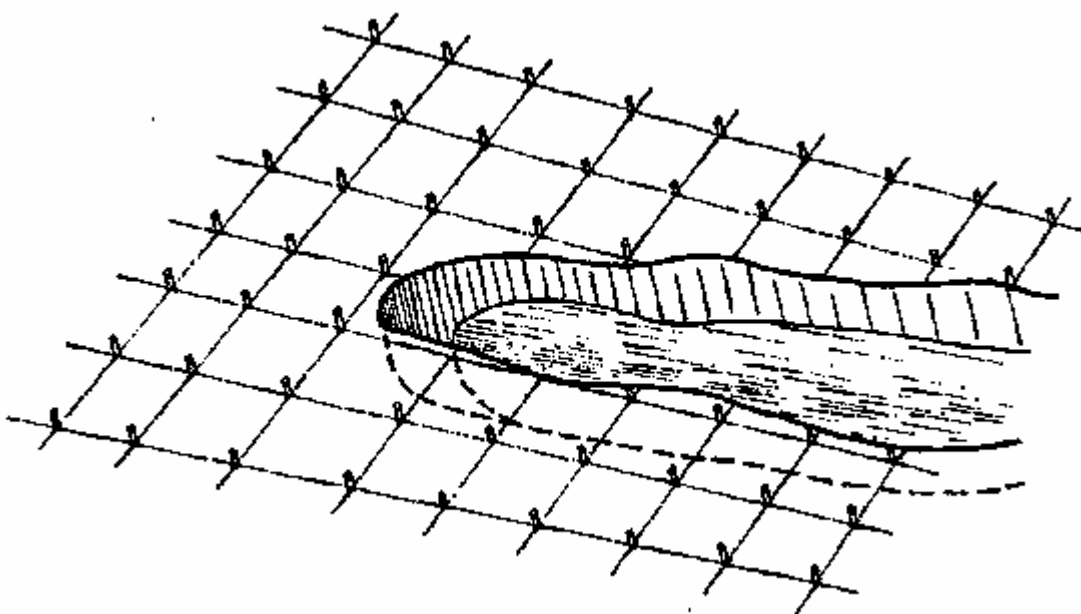
En la erosión producida por cárcavas, normalmente se necesita información no solo sobre la pérdida volumétrica, sino también sobre cuánto ha crecido la cárcava, por lo tanto también hay que medir los cambios en la longitud a medida que la cárcava se reduce. Otro método volumétrico consiste en medir o en calcular el volumen depositado por ejemplo en un abanico aluvial, o en un pozo de captación o embalse.

### Cárcavas y márgenes de las corrientes:

Cuando se estudia el avance de la erosión por cárcavas, es preciso medir la dispersión horizontal de las mismas y sus cambios verticales.

Para medir el área de la superficie y los cambios, debido al descenso y desmoronamiento de las orillas, se establece una red de varillas para medir la erosión en intervalos adecuados de entre dos y cinco metros, como en la imagen 4.

Imagen N° 4: Red de varillas para medir la erosión



De las mediciones a lo largo de las líneas de la red desde la varilla más próxima al extremo de la cárcava, se puede representar el área en papel cuadriculado. Las líneas de la red sirven también como cortes de las secciones transversales a través de la cárcava. Se extiende un cordel sobre el suelo a lo largo de la línea de la red con marcadores de intervalos fijos de aproximadamente un metro.

En cada marcador, en efecto, se mide la profundidad del suelo de la cárcava utilizando el personal encargado del estudio o una mira topográfica, y luego se puede trazar la sección. El volumen de la pérdida de suelo debido a la cárcava se



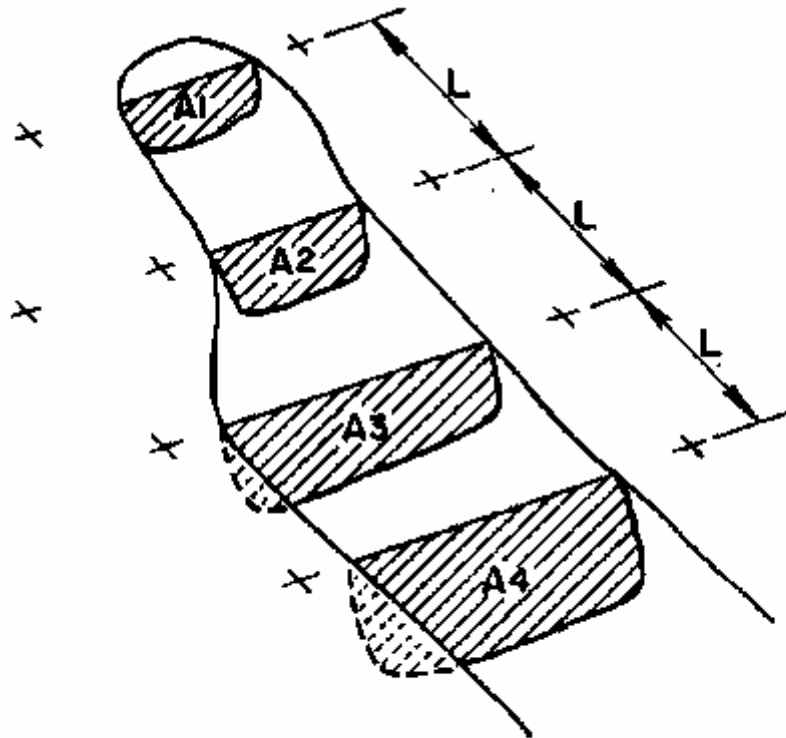
calcula como en la imagen 5; las mediciones posteriores servirán para cuantificar los cambios.

Pozos de sedimentación:

Los estudios de los sedimentos en los embalses se pueden utilizar para efectuar estimaciones cuantitativas de la erosión; como así también pozos de sedimentación más sencillos para demostrar las comparaciones.

No es posible obtener una estimación confiable del movimiento total del suelo, a menos que el embalse receptor sea lo suficientemente grande como para contener la carga total de la corriente y de los sedimentos: los pozos más pequeños que solo captan una porción desconocida del sedimento pueden utilizarse, no obstante, para obtener una información comparativa.

Imagen N° 5: Medición de la erosión en cárcava



$$\text{VOLUMEN} = \sum \left( \frac{A1 + A2 \times L}{2} \right) + \left( \frac{A2 + A3 \times L}{2} \right) + \dots$$



## 6. CUENCAS PILOTO. OBJETIVOS Y TIPOS. CONDICIONES GENERALES PARA SU ESTABLECIMIENTO.

Las microcuencas hidrográficas son unidades naturales para la evaluación de prácticas conservacionistas, además de ser apropiadas para la calibración y validación de algunos modelos de simulación de erosión.

Para que los objetivos sean alcanzados la elección de áreas piloto depende de algunos criterios técnicos y logísticos importantes. Esos criterios se refieren a los objetivos del estudio, a la representatividad de la cuenca o parcela, a su tamaño, a su homogeneidad, a la importancia de los suelos y a la severidad de la erosión, a la disponibilidad de datos y a la facilidad de acceso y de supervisión.

A diferencia de las parcelas experimentales, la utilización de microcuencas hidrográficas para la investigación hidro-sedimentológica, permite un análisis integral del proceso erosivo. Además, hay ciertas prácticas de manejo y conservación que solo pueden ser evaluadas a nivel de cuenca.

La extrapolación de los resultados de investigación es más segura cuando se utilizan áreas mayores. De esta manera, las microcuencas hidrográficas vienen a ser las unidades geográficas naturalmente indicadas para la investigación de manejo y conservación de suelos.

Las áreas piloto asimismo deben ser representativas y tener características adecuadas a los objetivos del estudio. A pesar de eso, pocos son los programas de investigación con microcuencas hidrográficas que siguen criterios adecuados de selección y supervisión.

Algunos criterios para la selección:

Entre los criterios para la selección de áreas para la investigación en microcuencas, están aquellos relativos al tamaño y representatividad, uniformidad de la cuenca, a la severidad del proceso erosivo, a la facilidad de acceso y de supervisión, y al objetivo del estudio. Algunos de estos criterios son tratados a continuación.

Representatividad:

La cuenca piloto debe tener características semejantes al área a la cual representará. Por ese motivo la cuenca piloto debe ser, si fuera posible, una pequeña subcuenca perteneciente a la cuenca que va a ser representada. Eso es necesario para que los resultados que se obtengan puedan ser más fácilmente extrapolables.

Además, debe darse preferencia a áreas que tengan datos disponibles de suelos, relieve y uso de la tierra, pues estos pueden ser factores limitantes en un programa de investigación, en áreas piloto.

Un ejemplo de utilización del criterio de representatividad fue la selección de las cuencas piloto del Programa de Manejo y Conservación de Suelos del Estado de Paraná (Paraná Rural, Brasil). Cinco de esas cuencas, con un promedio de 2.500 hectáreas de superficie cada una, fueron seleccionadas en cinco regiones distintas del estado (segunda y tercera meseta llamadas "planaltos").

#### Área:

En relación al tamaño de la cuenca, esta debe ser suficientemente grande para que los diferentes procesos hidro-sedimentológicos puedan ocurrir, y para que las variables importantes puedan alcanzar variabilidad plena. Por otro lado, el tamaño tiene que ser suficientemente limitado para que la heterogeneidad hidrológica no entorpezca la cuantificación de posibles relaciones causa-efecto.

Además, en cuencas mayores de 1.000 hectáreas hay una mayor variabilidad de la lluvia y contribuciones de sectores parciales para la esorrentía superficial ambas situaciones dificultan mucho los análisis. Por todo esto superficies de 1 a 4 ha parecen ser ideales para la mayoría de las investigaciones en microcuencas piloto.

#### Uniformidad:

Se requiere cuencas uniformes para que los efectos de introducción de prácticas de manejo conservacionista puedan ser evaluados. Para esto se utiliza frecuentemente el método del par de cuencas (*paired-watersheds*) en una supervisión de dos cuencas semejantes durante un cierto periodo, después del cual se introducen modificaciones en una de ellas. Así, las respuestas hidro-sedimentológicas observadas estarán en función de los tratamientos introducidos.

#### Objetivos del estudio:

La selección de la cuenca depende de los objetivos del estudio. Por ejemplo, si fuera necesario evaluar los métodos de control de erosión en áreas críticas, la elección del área piloto podría hacerse analizando los datos existentes por observación directa de campo o utilizando los modelos de simulación, teniendo como índice comparativo el aporte de sedimentos. Se debe dar prioridad a las áreas con suelos de buena aptitud agrícola y con suelos altamente erosionables.

#### Disponibilidad de datos y logística:

Dado la extensión significativa de las áreas y la escasez de recursos para la investigación, principalmente en América Latina, las micro cuencas piloto se localizan frecuentemente en campos de agricultores. Por consiguiente deben buscar áreas donde los productores sean receptivos y donde haya mano de obra disponible para la lectura periódica de los instrumentos de supervisión. (Pluviógrafos, limnógrafos, muestreadores de sedimentos, etc.).

#### Facilidad de supervisión:

Las áreas deben ser escogidas en función de su facilidad de acceso, para la instalación de equipos hidrosedimentológicos, su medición periódica y mantenimiento.

#### Estudios de Hidrología Forestal:

No existe ningún recurso forestal de cuya administración se sepa menos que del agua, por el hecho de que el hombre no puede influir mucho sobre el clima y,

al estar ésta asociada con el clima, se suele creer que no es posible hacer nada para administrar los recursos naturales de agua. Este concepto es sumamente engañoso y erróneo.

Mediante el uso que el hombre dé a la tierra puede, bien sea facilitar la regulación y el almacenamiento del agua de lluvia en el suelo, o crear en estas condiciones favorables al rápido escurrimiento, por lo general asociado con perjudiciales avenidas, malgastando así el agua que de otro modo se hubiera podido aprovechar. Con la administración de los recursos hídricos se persigue el objetivo de regular y cuidar las precipitaciones pluviales que llegan al suelo.

En todas partes los cursos de agua abundante y de superior calidad se presentan en tierras cubiertas de árboles. Se debe eso a que la estructura del suelo y su porosidad son favorables a la filtración y al máximo almacenamiento de agua y desfavorables para la erosión.

A pesar de eso, la influencia benéfica de los bosques sobre la cantidad de agua ha sido repetidamente puesta en duda por los hidrólogos e ingenieros especializados en abastecimiento de aguas, que argumentan que los árboles transpiran más agua que otras plantas, con lo cual reducen la cantidad que puede fluir por la cuenca.

Es evidente que ambos conceptos son razonables. Una de las consideraciones prácticas que han de tenerse en cuenta para resolver esta paradoja es la de mantener condiciones favorables del suelo y al mismo tiempo reducir las pérdidas por transpiración.

#### Investigación de cuencas hidrográficas:

La hidrología es una ciencia relativamente poco desarrollada, que trata del origen y de la distribución del agua considerada como recurso natural. La aplicación de los principios de la hidrología a la administración y al aprovechamiento de las tierras es tan completamente nueva que apenas la conocen incluso muchos técnicos de silvicultura y agronomía.

Desde luego que la principal razón por la cual se sabe tan poco acerca de las relaciones existentes entre el aprovechamiento de la tierra y las corrientes de agua, es la falta de datos experimentales. Hay razones poderosas que justifican ese estado de cosas. El estudio del curso de agua debe hacerse en cuencas completas, y las experimentales son difíciles y costosas de instalar y de manejar. Se necesita registrar datos durante muchos años para llegar a tener resultados aceptables.

Es preciso disponer de técnicos especializados en el manejo de los instrumentos indispensables y en el análisis e interpretación de los datos. Además, todavía no se han ideado o ensayado los mejores métodos y técnicas de investigación de cuencas hidrográficas en los diferentes climas, por lo que aún es preciso hacer muchos trabajos de exploración y tanteo del problema.

Lo mismo ocurre con la selección de cuencas experimentales que cumplan los indispensables requisitos geográficos, topográficos, edafológicos y pluviométricos. Por estas razones, no se han hecho todavía en el mundo más que un número limitado de estudios experimentales intensivos de cuencas hidrográficas y eso a pesar de que hace ya mucho tiempo que se ha reconocido la necesidad de disponer de datos de esta naturaleza.



## 7. HIDROLOGÍA. ALCANCES Y DEFINICIONES. EL CICLO HIDROLÓGICO. MODELO CONCEPTUAL. HIDROLOGÍA FORESTAL.

### El ciclo del agua

#### Distribución del agua en el planeta

La mayor parte del agua del planeta está almacenada en los océanos. En ellos, que constituyen el elemento central y más abundante de la hidrosfera, reside más del 97% del componente hídrico global: 1,348 millones de km<sup>3</sup>.

Otra parte considerable (2.01%) se encuentra congelada bajo la forma de hielo. Su volumen es de alrededor de 27.8 millones de km<sup>3</sup>. Estas masas heladas se mantienen relativamente constantes, aunque disminuyen por debajo del 2% durante el verano austral (cuando el hielo de la Antártida se funde parcialmente), y ascienden a poco más del 2 % en el invierno. En las últimas décadas, como resultado probable del efecto invernadero, se ha constatado un adelgazamiento de las capas heladas del mar Ártico.

Más de 0.5 % del agua global está contenida en las formaciones geológicas bajo la forma de aguas subterráneas. Estas representan aproximadamente unos 8 millones de km<sup>3</sup>. Una porción importante de este volumen está relativamente inmovilizada. Se trata de agua “fossilizada”, que, por tanto, no circula. Otra parte, se recarga y descarga en los sistemas superficiales. Además de ser el receptáculo más significativo de agua, los océanos contienen grandes volúmenes de sales disueltas (3.5% del total).

Por su parte, las aguas subterráneas presentan contenidos salinos variados. Las hay “dulces”, con bajos tenores en sales, salobres (con contenidos salinos intermedios), saladas (con salinidad alta pero no extrema) y verdaderas salmueras (cerca del punto de saturación).

Poco más de medio milésimo del total del agua del planeta (0.06%) ocurre como agua superficial, o sea alrededor de 225.000 km<sup>3</sup>. Como más de la mitad de esta es salobre o salada, solamente 0.02% (o sea 100,000 km<sup>3</sup>), puede ser catalogada como “agua dulce”.

De todas las aguas superficiales, 95% están almacenadas en lagos, por lo que los cursos de agua, ríos y arroyos, solo contienen 0.001% del total, o sea “apenas” 10.000 km<sup>3</sup>.

A pesar de esta proporción que parece pequeña al medirla en metros cúbicos, el volumen resulta aún considerable. El agua dulce superficial total, sin contar el hielo, alcanza un total de cien billones de metros cúbicos, o cien mil billones de litros. Si distribuyéramos esta cantidad entre todos los habitantes del planeta le correspondería a cada uno 18.000 metros cúbicos, o sea, ¡18 millones de litros per cápita!

A ello hay que agregar los acuíferos de agua dulce, que son 30 veces más abundantes que las anteriores. Si incluyéramos las aguas subterráneas en la distribución antedicha, el total por persona ascendería a 600.000 metros cúbicos.

En términos abstractos, este volumen parece ser más que suficiente para satisfacer todas las necesidades humanas actuales y del futuro cercano.

En la realidad, las cantidades disponibles son mucho menores. En ellas no se puede tener en cuenta toda el agua almacenada, pues su utilización actual indiscriminada, limitaría su uso futuro. El agua disponible desde el punto de vista ambiental es tan solo agua renovable. En segundo lugar, hay que considerar que gran parte del agua renovable no es fácilmente accesible. Y finalmente, que aún las

aguas dulces, renovables y accesibles, no suelen estar situadas en lugares donde más se las necesita.

La ecuación hídrica:

El ciclo del agua es un proceso complejo que incluye por un lado las precipitaciones (tanto bajo la forma de agua líquida como de nieve o hielo), que son las que periódicamente aportan agua a la superficie de la tierra, y por otro, la evaporación (tanto directa, como indirecta, a través de las plantas), la infiltración con o sin recarga de los reservorios subterráneos, el afloramiento de manantiales, y finalmente, el escurrimiento (superficial, torrencial, fluvial).

Desde el punto de vista matemático dicho ciclo acostumbra definirse a través de una fórmula generalmente denominada “ley de conservación”<sup>8</sup>.

De acuerdo con ella, los parámetros hídricos principales a tener en cuenta son los siguientes:

P = precipitación

E = evaporación

Qs = caudal superficial

Qg = caudal subterráneo (geológico)

R = reservas

U = utilización en el ciclo biológico

A los efectos prácticos se integran Qs y Qg en un término único: Q

Por otra parte se asume que R y U son constantes.

La fórmula simplificada sería:

$$P = E + Q$$

O dicho de otra forma:

$$Q = P - E$$

De ese modo se supone que el agua infiltrada va a reaparecer tarde o temprano para incorporarse a Q, o para evaporarse.

En los hechos, la integración de Qs y Qg en un solo término y la eliminación de la infiltración de la fórmula, puede hacer perder de vista algunos aspectos del intercambio hídrico entre acuíferos y cuerpos de agua superficiales. Una vez que las aguas se infiltran, sus itinerarios subterráneos pueden ser muy complejos, y difíciles de determinar. Por ello, resulta conveniente incluir el flujo subterráneo como término separado.

Por otra parte, U no es constante. La dinámica de los sistemas naturales, y aún más importante, la influencia humana sobre los mismos, lleva a que U cambie incesantemente. Debido a múltiples factores, la cobertura vegetal, en muchas cuencas (sobre todo las densamente pobladas), está en permanente evolución. Por esa razón, el término U sufre constantes modificaciones que dificultan las evaluaciones.

Del mismo modo, R (las reservas) pueden experimentar disminuciones o aumentos afectando la precisión de los cálculos hidrográficos.

---

<sup>8</sup> López Cadenas de Llano, F., *Hidrología Forestal*, Escuela Técnica Superior de Montes, Madrid, pp., 1976.



El agua renovable:

De una forma u otra, con mayor o menor frecuencia o intensidad, este ciclo hidrológico local tiene lugar en todo el planeta, tanto en los continentes como en los océanos. El insumo básico del mismo son las precipitaciones, cuyo volumen se estima en unos 496.000 kilómetros cúbicos por año. Esta cantidad es cuatro veces mayor al total contenido en todos los lagos y ríos. Si las precipitaciones se distribuyeran homogéneamente, su altura anual sería de 973 milímetros. Un 25% de este total cae en los continentes. Aunque sus precipitaciones medias son de apenas 696 mm por año, Asia recibe la mayor parte (28%) del agua caída. América del Sur con menos de la mitad del área asiática recoge 25% debido a sus precipitaciones medias superiores (1.464 mm por año). El promedio africano es similar al de Asia, y el norteamericano ligeramente inferior (645 mm por año).

Asumiendo que el agua almacenada en los acuíferos se mantuviera estable, se puede estimar que la evaporación a partir de los continentes alcanza 84% de las precipitaciones en África, 67% en Australia y 62% en América del Norte. En Asia y América del Sur las pérdidas por evaporación representan el 60% del agua caída; en Europa, 57%. Solamente en la Antártida la tasa es considerablemente menor (17%).

Limitando nuestros cálculos a las precipitaciones continentales (y restando el volumen evaporado que es aproximadamente un 60%) habría más de 80 mil metros cúbicos de agua anuales renovables disponibles para el consumo de cada persona en el planeta.

Las necesidades per capita varían de lugar a lugar, pero generalmente son inferiores a 1 metro cúbico por día y por persona, o sea unos 200-350 metros cúbicos por año.

Lo anterior muestra que la disponibilidad de agua para el consumo humano no se relaciona con su volumen, ni siquiera con su renovabilidad. Más bien, como explicaremos a continuación, depende de otros factores complejos, algunos de carácter natural, otros de naturaleza social.

Distribución y acceso:

A pesar del enorme volumen de agua dulce que circula a través de los continentes anualmente, suficiente para satisfacer las necesidades de la humanidad por siglos, mucha gente en diversas partes del mundo no tiene acceso a este líquido vital.

Hay varias razones para que ello ocurra. En primer lugar, porque el agua dulce utilizable solo existe en grandes cantidades dentro de pequeñas áreas del planeta (los cursos bajos de los ríos, los grandes lagos y los acuíferos de elevado caudal). En segundo lugar, porque las aguas disponibles no son siempre adecuadas para el consumo humano a veces por causas naturales, pero más frecuentemente como resultado de la degradación antrópica.

En tercer lugar, no todos los recursos hídricos se renuevan en una tasa suficientemente apropiada como para su utilización a largo plazo. Finalmente, la demanda de agua está concentrada en unas pocas áreas densamente pobladas que no coinciden necesariamente con los lugares de mayor disponibilidad.

En resumen, las aguas de buena calidad y en suficiente cantidad como para ser utilizadas para satisfacer las necesidades de la población y la producción, no se

encuentran fácilmente. La disponibilidad hídrica es uno de los principales factores con limitaciones para el crecimiento demográfico y económico.

Las aguas superficiales:

Se denominan aguas superficiales aquellas que fluyen o están almacenadas sobre las tierras emergidas. En ese sentido, el agua oceánica está excluida del concepto. Si bien desde un cierto punto de vista se trata de agua que se encuentra sobre la superficie de la corteza terrestre, desde otro ángulo, es agua que está relativamente inmovilizada debido a los grandes volúmenes y a la lentitud del proceso de renovación (que se produce debido a los fenómenos evaporativos).

La evaporación anual del agua de mar asciende a 424.700 kilómetros cúbicos por año, lo cual representa un 1/3000 del agua contenida en los océanos (cuyo volumen total es de 1.348 millones de kilómetros cúbicos). Se requieren, por ende, unos 3000 años para que el agua de mar se renueve completamente. En el caso de las aguas continentales el ciclo de renovación es de apenas 20 días.

El vapor de agua contenido en la atmósfera, así como las aguas condensadas o solidificadas en el aire (nubes, lluvia, granizo, nieve), pero que aún no ha tomado contacto con el suelo, tampoco se considera agua superficial.

Dentro de este marco lógico, el agua líquida atmosférica se transforma en superficial desde el momento en que toca la superficie de la tierra y deja de serlo al ingresar en las cubetas oceánicas.

En el caso de las precipitaciones que caen en forma sólida (granizo, nieve), es necesario además que los cristales de hielo se fundan, para poder, a partir de ese momento, ser considerados “aguas superficiales”.

El origen primario de estas se encuentra en las precipitaciones líquidas y en las aguas de fusión de las precipitaciones sólidas. Si bien gran parte del agua superficial se nutre de manantiales o zonas de descarga de napas, de origen subterráneo, prácticamente toda ella es el resultado indirecto de recargas ocurridas a partir de precipitaciones caídas en algún lugar conectado hidrológicamente con el sitio de alumbramiento.

Los afloramientos de aguas termales, a veces muy calientes, e incluso vapor (por ejemplo, los *géysers*) son comunes en ciertas zonas volcánicas o tectónicamente activas. A pesar de que estas aguas pueden provenir de grandes profundidades y no es fácil establecer conexiones con los lugares de recarga. Por eso se considera que, por lo menos la mayor parte, también se originan en lluvias, granizadas o nevadas ocurridas en tiempos pasados en el mismo u otros lugares.

Los sistemas hídricos:

Las aguas superficiales ocurren en una gran diversidad de sistemas naturales: lagos y lagunas, cursos de agua de variado tamaño y dinámica, sistemas de humedales, etc. Todos estos cuerpos de agua son alimentados directa o indirectamente por tres fuentes principales: las lluvias (y su subsecuente escurrimiento), los manantiales (descarga de acuíferos) y la fusión de hielos o de nieves.

En los climas áridos tropicales y templados, los cursos de agua se nutren principalmente a partir del escurrimiento instantáneo. La precipitación cae en los suelos desnudos, con poca o ninguna infiltración, fluyendo luego ladera abajo hacia los valles fluviales. En estos ambientes los ríos tienen regímenes irregulares y pueden dar lugar a inundaciones catastróficas o sequías.

En los ambientes húmedos ocurre lo contrario. Los suelos están cubiertos por vegetación y el agua de lluvia es interceptada por hojas y ramas. La mayor parte del agua se evapora o se infiltra y solo una pequeña fracción da lugar a corrientes superficiales. Bajo tierra, el agua fluye a través del subsuelo resurgiendo como manantiales cerca de los cursos de agua, lagos o humedales. Por esa razón, la mayor parte del agua proviene de los manantiales, mientras que en las zonas áridas se origina principalmente a partir de los procesos de escurrimiento.

Debido a las tasas de evaporación más elevadas y la presencia de sales en el suelo, el agua de los ambientes áridos contiene una mayor concentración de sólidos disueltos. En los ambientes húmedos sucede lo contrario. Este aspecto determina que la disponibilidad de agua en las regiones húmedas sea regular y permanente, mientras que en las zonas áridas sea irregular y esporádica. Por esa razón, las estrategias requeridas para obtener el recurso hídrico deben variar de acuerdo a las condiciones geoclimáticas regionales y locales.

Los procesos hídricos superficiales:

Las aguas que caen sobre la superficie o emanan del interior del suelo pueden escurrirse, evaporarse, infiltrarse o “estacionarse”, dependiendo de la pendiente y la permeabilidad de los materiales superficiales.

Cuando los suelos son impermeables y las pendientes empinadas, el agua puede comenzar a escurrir una vez que se satura la película superficial del suelo. Si las pendientes son muy escasas, el agua corre más lentamente. En superficies horizontales el drenaje es difícil y el escurrimiento superficial puede ser nulo o prácticamente inexistente. Del mismo modo, cuando el material del suelo es permeable, gran parte del agua se infiltra, disminuyendo la magnitud de los procesos de escurrimiento.

A ello hay que agregar una cierta porción que se evapora apenas toca la superficie de la tierra, o durante las primeras etapas de su flujo superficial. La evaporación es mayor en climas cálidos y áridos, donde la temperatura del aire es más elevada y la humedad relativa más baja.

En las zonas cubiertas de vegetación un porcentaje considerable del agua es interceptado por la vegetación, permaneciendo sobre las hojas, ramas y tallos bajo la forma de una película delgada, evaporándose sin siquiera tocar el suelo.

En las selvas tropicales húmedas, la intercepción puede alcanzar hasta un 20% del total de la lluvia caída. Esa cantidad es mucho menor en las praderas y sabanas, donde en general no excede de 10%. En las estepas y desiertos esta cifra tiende a cero.

Gran parte del agua que se infiltra en los horizontes superiores del suelo, es absorbida por las raíces de las plantas disminuyendo la cantidad que queda disponible para el escurrimiento posterior. Por esas razones, no toda el agua que cae (bajo forma líquida o sólida), o mana del subsuelo, contribuye a los procesos de escurrimiento hídrico.

Los porcentajes de agua escurridas (“*runoff*”) varían considerablemente, dependiendo de la intensidad y cantidad de la lluvia, de la temperatura, de la cobertura vegetal, de las pendientes y de los materiales de superficie.

Hay lugares y momentos en que, en forma predominante, el agua caída se escurre, por ejemplo, en suelos impermeables o saturados, sin vegetación, con pendientes fuertes. En otros casos, toda el agua precipitada se infiltra o evapora, sin que haya ningún flujo superficial apreciable.

Las cuencas hidrográficas:

El agua que se escurre sobre las diversas áreas continentales se dirige hacia las partes deprimidas del relieve. El escurrimiento superficial tiende a organizarse a partir de las zonas elevadas dando lugar a valles, planicies fluviales y lacustres, humedales, salinas, deltas, estuarios y otros elementos morfológicos. El conjunto de estos elementos paisajísticos se estructuran alrededor de ejes y desembocaduras comunes en las llamadas cuencas hidrográficas.

Las cuencas hidrográficas son configuraciones complejas incluyendo tanto agua superficial como subterránea, categorías hidrológicas estrechamente relacionadas que deben ser consideradas como un conjunto continuo.

Los principales componentes de una cuenca hidrográfica típica son la cuenca de recepción propiamente dicha, la red hidrográfica y los sistemas de aguas subterráneas asociados. Estos tres elementos están interconectados: las cuencas de recepción reciben las precipitaciones, estas a su vez se infiltran en los sistemas subterráneos o fluyen hacia los valles formando ríos y arroyos. Parte de las aguas subterráneas pueden regresar a los cursos de agua y los caudales de estos contribuyen a recargar los acuíferos subyacentes.

Una porción del agua es reevaporada pudiendo precipitarse nuevamente en las cuencas de recepción, completando el ciclo.

En general, el sistema es abierto, pues la mayoría de las cuencas egresan hacia el mar o a otro cuerpo de agua mayor. La desembocadura de la cuenca es también la vía de salida para los sedimentos, las sales disueltas y los contaminantes.

Los diseños de drenaje:

Las redes de drenaje o hidrográficas contienen, a la vez, un registro de la historia geológica local que, además, expresan las condiciones geomorfológicas que dieron lugar al modelado de los valles.

La profundidad de los entalles se relaciona con la tenacidad o friabilidad de los materiales, la pendiente y los regímenes de flujo a nivel de los lechos fluviales. Las direcciones y dibujos longitudinales de los valles están sobre todo condicionadas por las estructuras geológicas, los sistemas de fracturas y las fallas.

La densidad hidrográfica es, principalmente, resultado de la intensidad del escurrimiento y de la erodibilidad de los materiales.

Los diseños de drenaje son en cierto modo una integración de los elementos y factores antes mencionados.

Cuando los materiales geológicos son homogéneos las redes hidrográficas tienden a asumir una forma arborescente (dendrítica), fluyendo desde las ramas (afluentes) hacia el tronco (valle principal).

Cuando el sustrato es heterogéneo, o contiene direcciones de debilidad especial (por ejemplo fracturas) la dirección de flujo se sale del molde dendrítico, los tramos fluviales pueden volverse más rectilíneos y las curvas se hacen más angulosas. En situaciones extremas, el diseño es de tipo “enrejado”.

En algunos casos especiales (conos volcánicos, dunas “estrellas” y domos de sal, etc.) las direcciones de drenaje pueden hacerse radiales centrífugas, y en otros, como dolinas, cráteres volcánicos o meteoríticos y ciertos circos glaciares, radiales centrípetos.

Finalmente, cuando la energía de relieve es muy escasa, o hay obstrucciones eólicas o de otro tipo, el agua no logra excavar valles, y los diseños de drenaje son desorganizados o cambiantes (anastomosados).

Los modelos conceptuales:

Antes de que la acción humana introdujera perturbaciones que modificaran radicalmente el paisaje, el caudal de los cursos de agua dependía exclusivamente de los factores naturales. Entre ellos se encuentran el tamaño de la cuenca, el clima en general, y más especialmente, las precipitaciones, la evaporación, tanto directa como transpirativa, la cobertura de vegetación, la descarga de los manantiales y las características geológicas del terreno.

Este complejo de elementos se integra en el terreno generando regímenes hídricos particulares en cada zona del planeta. A medida que los relieves evolucionan desde el punto de vista geo-ecológico, las cuencas también cambian de forma y de dinámica. Estas alteraciones quedan registradas de diversas maneras en el paisaje que, al fin, pasan a ser un registro integrado de la historia de la superficie de La Tierra.

El análisis detallado de las cuencas es una tarea compleja. En primer lugar por la innumerable cantidad de componentes y parámetros físicos que influyen en su dinámica y, en segundo lugar, como resultado de la presencia y acción de los elementos biosféricos, cuya previsibilidad es limitada.

Por esta razón, tanto el modelado conceptual como el matemático de las cuencas hidrográficas deben de encararse tan solo como una aproximación.

Si se introduce la acción humana, dichos modelos son aún más problemáticos. Las sociedades humanas cambian aceleradamente y resulta muy difícil prever su evolución tanto a nivel local, como regional y/o global. De todos modos, más allá de estas limitaciones que son típicas de todas las simplificaciones, los modelos pueden ser excelentes herramientas cognoscitivas, y de utilización oportuna para muchas situaciones específicas.

La aplicación de modelos hidrológicos, tanto conceptuales como matemáticos, ha permitido desarrollar complejas tecnologías hidráulicas que constituyen un soporte fundamental en las sociedades urbanas contemporáneas.

La acción humana como factor hidrológico de las cuencas:

El avance de las sociedades agro-urbanas e industriales ha agregado un nuevo factor en la dinámica hidrológica, que se ha hecho más relevante a medida que se extiende su influencia.

La acción humana se ejerce directamente sobre los sistemas hídricos, a través del bombeo o desvío de las aguas a canales o receptáculos artificiales, construcción de embalses, vertidos de aguas residuales, o indirectamente, a través de la modificación de la cobertura vegetal (deforestación, plantíos), influencias sobre el clima y micro-clima, las excavaciones y construcciones en laderas y cimas. Por esa razón las cuencas hidrográficas deben ser estudiadas teniendo en cuenta, no solo los componentes naturales del sistema, sino también los diferentes modos de ocupación territorial.

Esta se hace sentir en los interfluvios por medio de la deforestación, “apertura” de campos para la agricultura y urbanización. Como resultado de estas modificaciones se producen impactos intensos que luego se han de manifestar a nivel

de los caudales instantáneos y anuales de los lechos. Cambian el albedo y características térmicas de la superficie que se calienta más rápido durante los días y se enfría mucho más en las noches.

Al desecharse la cobertura vegetal, o al disminuir su densidad, se reduce la permeabilidad de la superficie, se incrementa el escurrimiento instantáneo, las partículas del suelo son erosionadas, generándose inundaciones y sedimentación en los valles y en las llanuras aluviales.

Del mismo modo, la acumulación de sedimentos en las cañadas de alta montaña suele favorecer la formación de flujos de lodos. Las construcciones también tienen efectos degradatorios: pueden modificar la configuración del drenaje, destruyen o sustituyen la vegetación nativa e introducen elementos orográficos artificiales con impacto generalmente negativo.

Tipos de drenaje:

1. Dendrítico

Precipitaciones homogéneas; materiales homogéneos y friables; pendientes suaves a moderadas; escurrimiento superficial actual o pasado importante

2. Subdendrítico

Variedad del anterior. La diferencia es que los materiales no son totalmente homogéneos, o que hay una débil influencia estructural que no llega a manifestarse completamente.

3. Pinado

Se da en ciertos ambientes geológicos en que los interfluvios son estrechos y alargados, y con materiales friables.

4. Paralelo y rectangular

Generalmente influenciado por un sistema de fracturas paralelas o rectangulares. La orientación de los valles tiene control estructural.

5. Rómbico

Como el rectangular pero con ángulos agudos/ obtusos entre los sistemas de fracturas.

6. Subparalelo y subrectangular

Donde los sistemas de fracturas son numerosos o están mal definidos, o donde el control estructural es menos importante que en el anterior.

7. Radial (centrífugo)

Se da en conos volcánicos, domos volcánicos o salinos.

8. Radial (centrípeto)

Se da en cubetas endorreicas, circos de origen glaciar, cráteres volcánicos y meteóricos, dolinas, cuencas de depresiones en clima árido, cuencas de sabanas interiores

9. Discontinuo

En zonas de dunas

#### 10. Desorganizado

En zonas volcánicas (vulcanismo reciente) y kársticas.

#### 11. Microcuencas

Drenaje de pequeñas cubetas u “ojos de agua” por donde fluye el agua de las zonas más altas. Se le encuentra en zonas que sufrieron procesos de deflación, las depresiones de deflación se transforman en pequeños lagos (en general de unas pocas decenas de metros de largo).

#### 12. Anastomosado, meándrico

En zonas llanas donde el agua tiene dificultad para fluir debido a las bajas pendientes.

#### 13. Sin drenaje

Salinas, ciertos humedales

### **Hidrología forestal**

Influencia de la vegetación forestal sobre suelo de aguas:

Si puede llegarse a una conclusión general en cuanto a la influencia de los bosques en las zonas áridas y en las tropicales húmedas, tal conclusión es la siguiente: que dichas influencias son en estas zonas más pronunciadas que en las más templadas y que, por consiguiente, se hace en ellas más imperiosa la necesidad de una acertada y minuciosa ordenación de la vegetación forestal que conduzca a una regulación óptima de las aguas y a la estabilidad del suelo.

Si esto es cierto significa que habrá de exigirse del ordenador de tierras forestales una especial comprensión de los principios a que se ajustan las influencias del bosque, que le permiten proteger o tratar la vegetación de sus tierras en la forma que mejor conduzca a los objetivos fijados.

### **Las influencias del bosque**

Una de las primeras y más difundidas hipótesis en cuanto a la relación entre los bosques y el agua ha sido la referente a la influencia de estos sobre el clima<sup>9</sup>. Esta influencia es difícil de demostrar basándose en el clima regional general. Las zonas comparadas son por necesidad grandes, y las variaciones inherentes a las mismas encubren todo efecto regional que se deriva de la presencia o ausencia de vegetación forestal. Sin embargo, al menos en determinados casos, parece existir una sólida base racional que permite admitir este efecto regional.

Cuando la vegetación forestal existe en zonas expuestas a masas de aire marítimo y caliente, es muy probable que la presencia de tal vegetación ejerza una acción apreciable sobre la precipitación total, y quizá también sobre el clima regional. Como ejemplos, pueden citarse los bosques de Sequoia a lo largo de la costa del Pacífico de los Estados Unidos, así como otras zonas boscosas del África Occidental.

---

<sup>9</sup> López Cadenas de Llano, F., *Hidrología Forestal*, Escuela Técnica Superior de Montes, Madrid, pp, 1976.

Con entera independencia de los efectos regionales hipotéticos, se sabe que la vegetación forestal influye en grado considerable sobre el clima local correspondiente al área que ocupa y a las adyacentes. En todo el mundo, como puede atestiguarlo cualquiera que se haya cobijado bajo los árboles o de cortinas de protección, la presencia de vegetación forestal mejora el clima local. Las temperaturas máximas quedan disminuidas y las mínimas aumentan; la humedad relativa es ligeramente superior y la velocidad de los vientos puede reducirse en grado variable. Estas influencias son en general beneficiosas, sobre todo en las regiones áridas. Pero de mayor interés para el ordenador de cuencas hidrográficas es la influencia de los bosques sobre la precipitación local, escorrentía, movimiento de tierras y pérdidas hidrológicas.

Al caer la lluvia sobre una masa forestal, la primera influencia de esta es la intercepción. Según el carácter de la precipitación y la densidad de la masa, queda retenida en la cubierta de copas una cantidad variable de agua, que se evapora sin llegar al suelo. Los datos experimentales obtenidos para diversos climas y tipos de bosques indican que la cantidad de lluvia interceptada por una cubierta de copa es función del espacio de almacenamiento que exista en la superficie de la vegetación cuando comience la lluvia.

Un bosque espeso de árboles con copa alta y densa interceptará, según esto, la máxima cantidad de agua descargada por una tormenta; la mínima intercepción corresponderá a la cubierta clara de una vegetación rala.

Aparte de la clase y densidad de la vegetación, la intercepción es menor a medida que avanza la tormenta y que va empapándose la cubierta de copas. Al final de una tormenta intensa y prolongada las copas solo retienen una cantidad de agua apenas suficiente para compensar la evaporación que durante el aguacero se produce en la superficie de las hojas. De esta suerte, las máximas pérdidas de agua son de esperar en los climas que se caracterizan por un gran número de lloviznas cortas, separadas por períodos de tiempo claro. De todos modos, la intercepción significa una pérdida por evaporación de la lluvia caída.

Además de esta pérdida la vegetación forestal también consume agua por evapotranspiración. Una vez que la lluvia ha atravesado la cubierta de copas, toda el agua o parte de esta penetra en el suelo. Una parte de este agua ocupa los espacios de almacenamiento formados por los “poros” del suelo, llenando los espacios capilares y después, si existe un volumen suficiente de agua, los espacios mayores no capilares.

A medida que el aguacero se acerca a su fin el agua, contenida en los espacios no capilares, se filtra por gravedad llegando a los espacios más profundos, al nivel freático, o a través de corrientes subterráneas, hasta los cursos de agua. El agua restante queda retenida en el suelo venciendo la fuerza de gravedad y toda ella o parte de la misma se restituye a la atmósfera por evaporación directa o transpiración a través de las raíces y de las copas de los árboles.

El volumen de agua consumida de esta suerte varía según la temperatura, humedad y movimiento del aire, y también según el volumen del agua almacenada en el suelo, la amplitud y profundidad de los sistemas radicales y el período de tiempo que transcurra entre dos lluvias.

La evaporación directa se produce en el agua depositada en la superficie del suelo o en los intersticios de este. La velocidad de evaporación es máxima en la superficie o cerca de esta, y disminuye rápidamente al aumentar la profundidad, llegando a ser insignificante en la mayor parte de los suelos a una profundidad aproximada de 50 cm. Por supuesto, la evaporación puede producirse a mayores



profundidades si la capa exterior del suelo aparece muy quebrada y resquebrajada. En este caso la superficie expuesta al aire queda aumentada por las paredes de las resquebrajaduras.

En cuanto a la transpiración, el volumen total de agua eliminada depende de varios factores relacionados entre sí, no únicamente del volumen de agua almacenada en el suelo, sino también de la profundidad y grado de desarrollo de los sistemas radicales, así como de la profundidad hidrológica del suelo. Las mayores proporciones de agua quedan consumidas por la transpiración a través de sistemas radicales profundos y completos en suelos profundos que el agua almacenada atraviesa en todo su espesor.

En cambio, la transpiración puede ser decididamente poca si los sistemas radicales están limitados por una escasa densidad de la vegetación o por una insignificante profundidad hidrológica del suelo, esto es, cuando la penetración del agua en el suelo es limitada, sea por la presencia de una capa densa rocosa o arcillosa situada a una distancia relativamente breve de la superficie externa del suelo, o por una precipitación escasa que nunca llega a penetrar más allá de una capa relativamente somera.

Cuando el suelo es profundo, la vegetación densa y la precipitación abundante, como ocurre en los Montes Apalaches meridionales de los Estados Unidos, la reducción de la vegetación hace disminuir la evapotranspiración y aumentar el rendimiento hidráulico.

Quizá convenga ampliar los juicios que anteceden. Según el concepto de Thornthwaite (1955) de "*evapotranspiración potencial*", podrá llegar a la atmósfera una cantidad calculable de agua desde una superficie terrestre cuando concurren un cierto número de condiciones y cuando exista una provisión continua y abundante de agua en el suelo. Si disponen de una abundante provisión de agua, las plantas transpiran en proporción con las radiaciones solares que reciben. Pero al disminuir la provisión de agua en el suelo, las estomas de la planta se cierran, y la transpiración disminuye aun cuando la radiación solar se mantenga elevada.

Así, pues, las pérdidas hídricas reales de un suelo determinado son corrientemente inferiores a las cantidades "potenciales", debido a deficiencias en la provisión de agua en el suelo. En los climas áridos, la precipitación total puede ser solo una pequeña fracción del consumo potencial, y esta cantidad potencial únicamente podrá alcanzarse en zonas de un nivel freático constantemente elevado. Por lo tanto, solamente en tales zonas (a lo largo de cursos de agua o en oasis) podrá desarrollarse una vegetación abundante. En algunas comarcas áridas, tales como en el sudoeste de los Estados Unidos, tal vegetación ocasiona graves pérdidas hídricas.

Cuando no se cuenta con aguas freáticas, en cambio, el consumo de agua en las zonas áridas asciende solo a la cantidad de agua que penetra en el suelo por la lluvia. Después de deducir la escorrentía, este consumo es únicamente de unos cuantos centímetros por año. Debido, además, a que este agua penetra solo a una breve distancia en el suelo antes de ser consumida, se pierde completamente por evaporación o por transpiración, exista o no vegetación. En tales condiciones, la vegetación ejerce poca o ninguna influencia sobre el consumo hídrico, pero sigue desempeñando su importante función estabilizadora del suelo.

Ampliando estas ideas, se ve que la evapotranspiración efectiva es de esperar que aumente al ser mayores las provisiones disponibles de agua hasta un máximo equivalente a la evapotranspiración potencial. Esto parece ajustarse a la realidad

en líneas generales, pero los dos ejemplos que siguen muestran que este principio fundamental no debe simplificarse en exceso.

En primer lugar, suele suponerse con frecuencia que la evapotranspiración real es independiente de las variaciones que se producen en la vegetación, siempre y cuando la superficie del suelo esté bien cubierta. Esto sería cierto si la provisión hídrica de que dispone la vegetación no produjera tales variaciones en la vegetación. Esta condición puede observarse en las zonas de nivel freático constantemente elevado, o de suelos; y sistemas radicales poco profundos.

Pero consideremos una zona de suelo profundo y con buen desagüe y lluvias abundantes y bien distribuidas entre las que medien períodos de sol. Si no existiera vegetación, o si esta poseyera sistemas radicales poco profundos (por ejemplo, de menos de medio metro) la cantidad total de agua disponible para la evapotranspiración sería ciertamente mucho menor que si la vegetación consistiera en un bosque maduro con sistemas radicales profundos y bien desarrollados que ocuparan una columna de suelo de, por ejemplo, 2 metros de profundidad.

El efecto de eliminar tal bosque y sustituirlo por otro denso de chirpiales de frondosas queda ilustrado gráficamente por los experimentos desarrollados en el sudeste de los Estados Unidos. En tal región, la eliminación de un bosque maduro de frondosas hizo disminuir la evapotranspiración anual desde unos 99 cm. hasta unos 51 cm. Al crecer los chirpiales, la pérdida hídrica anual creció de nuevo lentamente. Sin embargo, incluso después de 12 años de la corta, la pérdida era todavía inferior en varias pulgadas a la anterior al tratamiento.

En segundo lugar, puede considerarse que la oportunidad para la evapotranspiración aumenta directamente con la precipitación anual. Esto es cierto en general cuando la precipitación anual total no excede demasiado de la evapotranspiración potencial. Pero en las zonas húmedas con una excesiva precipitación, parece lógico que la oportunidad de evapotranspiración puede disminuir realmente al aumentar todavía más la precipitación.

Esto parece quedar ilustrado por las relaciones entre precipitación y escorrentía observadas en las montañas de Luquillo de Puerto Rico en que las lluvias alcanzan unos 500 cm., indicando los datos correspondientes a la escorrentía pérdidas totales por evapotranspiración de unos 50 cm. o menos. Digamos además que esta zona particular está caracterizada por un “monte higrofítico” enano que podría también indicar velocidades de transpiración reprimidas.

Aparte de su influencia sobre el volumen de la evapotranspiración, la vegetación forestal ejerce otras influencias en extremo importantes sobre el aprovechamiento del agua. Después de que la lluvia ha atravesado la cubierta de copas, no toda ella penetra en el suelo llenando los espacios de almacenamiento o llegando al nivel freático desde donde se traslade tranquilamente hasta los cursos de agua.

Según el régimen de precipitación y la densidad de los horizontes superiores, pueden escurrir por la superficie del suelo cantidades de aguas mayores o menores. El régimen de lluvias no puede controlarse mediante actividades de ordenación de tierras, pero la densidad de los horizontes superiores del suelo queda afectada enormemente por el crecimiento, explotación o degradación de la cubierta vegetal. Al irse desarrollando una vegetación selvática sin que medie ninguna actividad humana, tiende a generar un medio ambiente cada vez más favorable para la formación de suelo permeable.

La capa orgánica se deposita primero sobre la superficie de la tierra. Al comenzar su descomposición, los productos orgánicos de esta penetran en las capas

superiores del suelo, estableciendo así condiciones favorables para que las bacterias y otros microorganismos vegetales o animales comiencen su obra de formación estructural del suelo. Asimismo, una red de raíces “nutricias” penetra en las capas superiores, confiriéndoles a estas una estabilidad mecánica a la vez que crea una muchedumbre de canalículos subterráneos a medida que estos mueren y se descomponen.

Así pues, a lo largo de un cierto período de tiempo, el desarrollo de una cubierta forestal crea condiciones óptimas para la penetración y almacenamiento del agua. Por otra parte, la eliminación de la vegetación (aun sin causar trastornos mecánicos) tiende hacia cambios degenerativos en grado mayor o menor. La eliminación de las copas de cobertura expone al humus a una mayor oxidación, al efecto mecánico de las lluvias y a su desplazamiento.

La degradación progresiva de la fauna y flora microscópicas, la pérdida de raíces nutricias sin sustitución y el chapoteo de la lluvia tienden conjuntamente a apelmazar las capas superficiales hasta que, llegada la fase crítica, comienza la escorrentía. Si en tal momento no se produce una recuperación de la vegetación, comienza un ciclo progresivo de posteriores degradaciones. La escorrentía agita los sedimentos, que se depositan en los intersticios superficiales del suelo y esto conduce a una menor porosidad, que a su vez intensifica aún más la escorrentía, y así sucesivamente.

El ciclo finaliza en una situación relativamente estable de baja capacidad de filtración y de almacenamiento de la cuenca hidrográfica, así como de una excesiva velocidad de escorrentía. Durante los períodos lluviosos se produce el desbordamiento de los cursos de agua, y entre dos temporales sucesivos aparecen cárcavas.

Esta degeneración de las cuencas queda agravada por el apisonado mecánico del suelo causado por la apertura de arrastraderos y por la construcción de carreteras; por el movimiento de trozas; por la presión de la maquinaria pesada de explotación forestal, y por el pisoteo de los animales mientras trabajan o pastan. En las tierras de pastoreo, en particular, el pisoteo de los animales puede ser una importante causa de degradación de las cuencas hidrográficas. También puede serlo las pisadas de los seres humanos en las zonas muy pobladas.

De esta discusión puede verse que el objetivo general de la ordenación o protección de cuencas hidrográficas es evitar que la degradación de la cubierta forestal llegue a alcanzar la fase crítica de degeneración. En algunas zonas con suelos relativamente porosos y lluvias relativamente escasas, esto puede permitir un aprovechamiento bastante intenso de la vegetación sin graves daños. Otras zonas de elevada precipitación y suelos vulnerables pueden exigir una completa protección contra toda clase de aprovechamiento.

Resumiremos en varios conceptos generales la influencia del bosque sobre la provisión hídrica, estabilidad del suelo y régimen de los cursos de agua. En líneas generales, la vegetación consume agua en grado variable según el clima y el tipo de tal vegetación. De ordinario, tal consumo de agua es un factor de importancia en la ordenación de cuencas hidrográficas, si bien en climas extremadamente áridos o húmedos, o cuando el suelo es hidrológicamente poco profundo, la presencia o ausencia de vegetación no supone gran diferencia en la provisión total de agua de lluvia. Sin embargo, su presencia puede influir enormemente en la estabilización de suelos y regulación de cursos de agua.

Por consiguiente, si el objetivo primordial de la ordenación de tierras es la corrección de las inundaciones y la estabilización del suelo, deberá procurarse el

mantenimiento de la cubierta de vegetación más densa posible. En cambio, si tal objetivo es obtener el máximo rendimiento hídrico, compatible con la estabilidad del suelo y con la contención de las inundaciones, interesará al ordenador de tierras mantener la mínima densidad de vegetación por encima del punto crítico de degradación.

Se observará que estos conceptos llevan consigo políticas de ordenación y protección que difieren de las adoptadas para la sola producción maderera, pudiendo incluso estar en pugna con estas últimas. El aspecto fundamental de las políticas forestales es la producción de volúmenes máximos de madera por unidad de superficie. En cambio, el ordenador de cuencas hidrográficas persigue el mantenimiento de una densidad de cubierta forestal que permita llegar a los resultados fijados en cuanto a rendimiento hídrico y estabilización del suelo y de los cursos de agua.

En algunos casos esto significa la completa protección de la vegetación que no producirá ninguna madera. En otros casos, cuando el rendimiento hídrico es importante, se supone el mantenimiento de las masas forestales a una densidad notablemente inferior a la perseguida por el forestal, cuyo objetivo es la máxima producción de madera. Necesariamente, en todos los casos estos objetivos discrepantes deben armonizarse de suerte que a la larga proporcionen los máximos beneficios a los conjuntos considerables de personas interesadas.

## 8. LA RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL. TÉCNICAS HIDROLÓGICAS Y TÉCNICAS ESTRUCTURALES. SILVICULTURA DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Se ha desarrollado con el transcurso del tiempo, gran número de prácticas adaptadas a las distintas combinaciones de condiciones agroecológicas y socioeconómicas existentes, para:

- ✓ Proteger la superficie del suelo contra el golpe de las gotas de la lluvia y el arrastre del agua de la escorrentía
- ✓ Reducir la cantidad de la escorrentía, aumentándose la proporción del exceso de agua que entra al suelo como infiltración
- ✓ Reducir la velocidad de la escorrentía, cortándose el largo de la ladera, para dividirla en una serie de fajas más angostas
- ✓ Reducir la velocidad de la escorrentía, achicando la pendiente de la ladera con la construcción de las estructuras y subsiguientes por la nivelación que ocurre respecto a la acumulación de los sedimentos

Las principales prácticas para tierras de ladera

Las prácticas mecánicas son obras estructurales construidas para controlar el movimiento del agua (ver imagen 6 al 10). Entre ellas se incluyen las obras físicas, el control de cárcavas y el drenaje agrícola. En las pequeñas fincas de laderas, las obras físicas son la práctica mecánica de mayor importancia.

Imagen 6: Canal de desviación

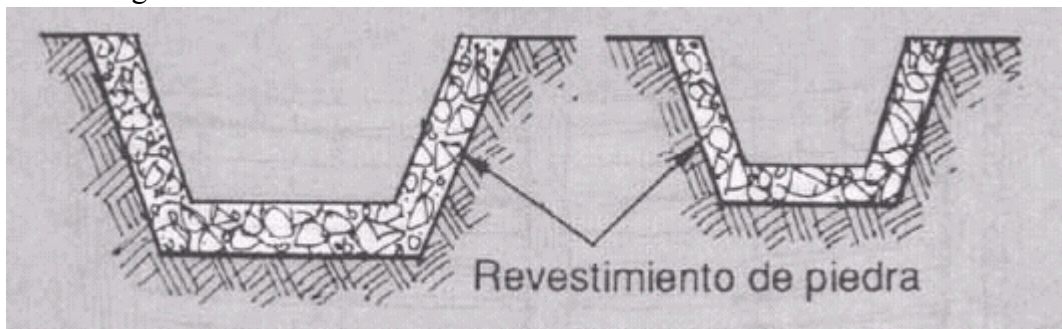


Imagen 7: Muro de retención

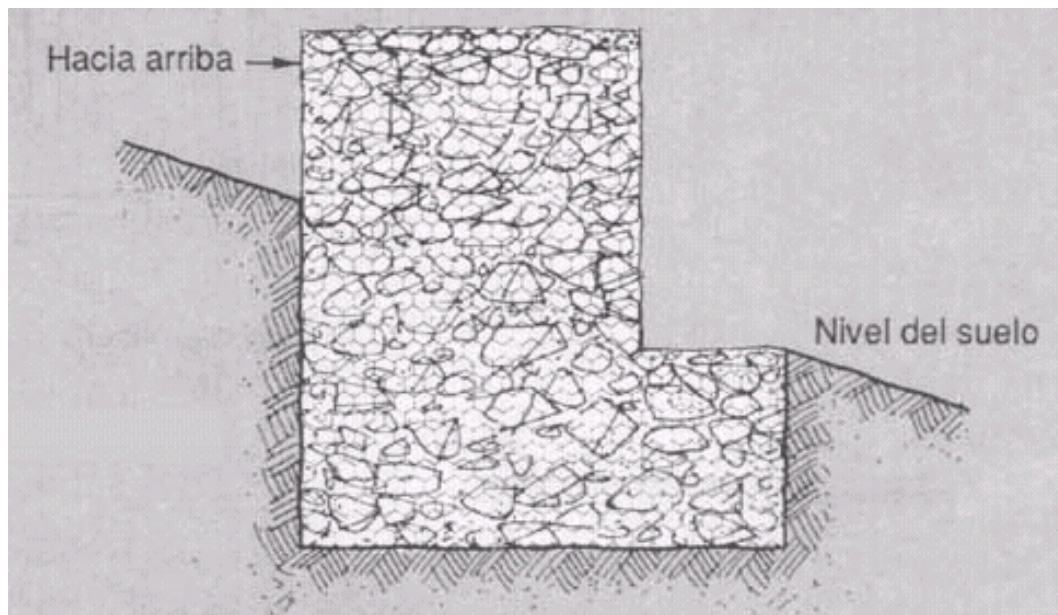


Imagen 8: Muro de retención

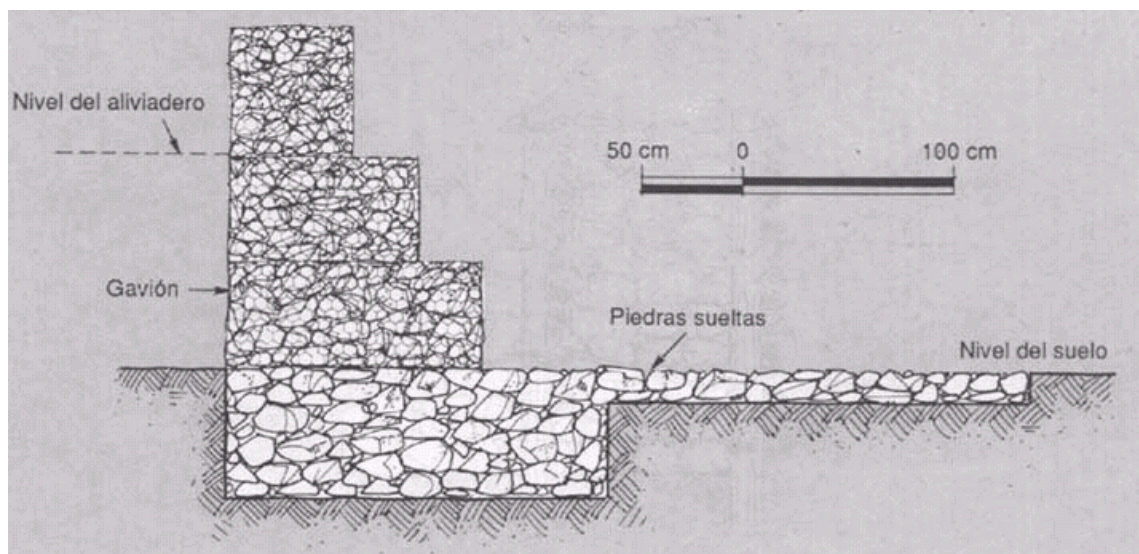
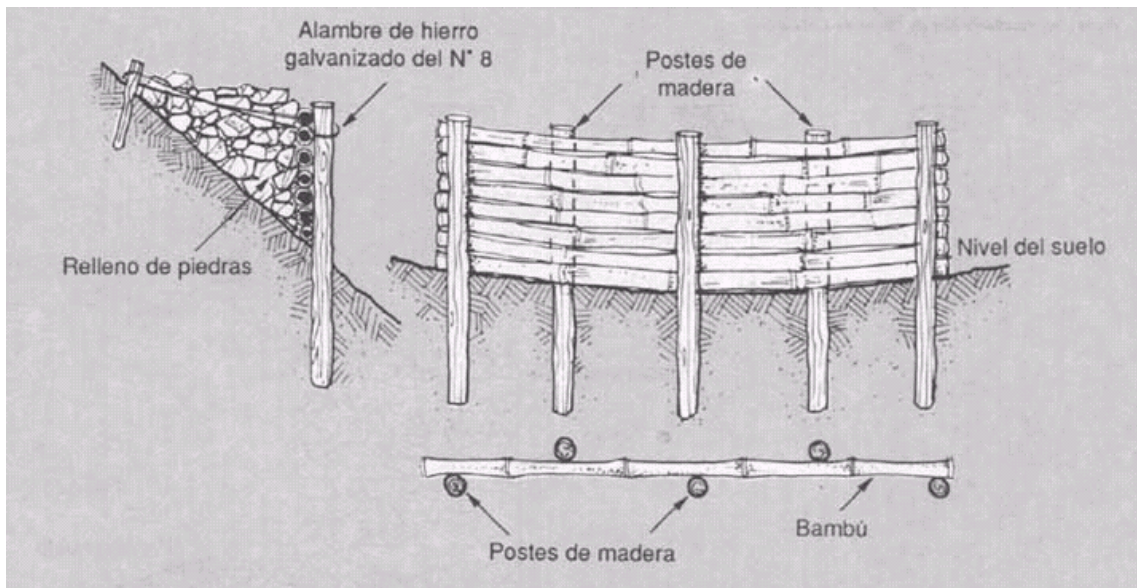




Imagen 9: Retención de Bambú

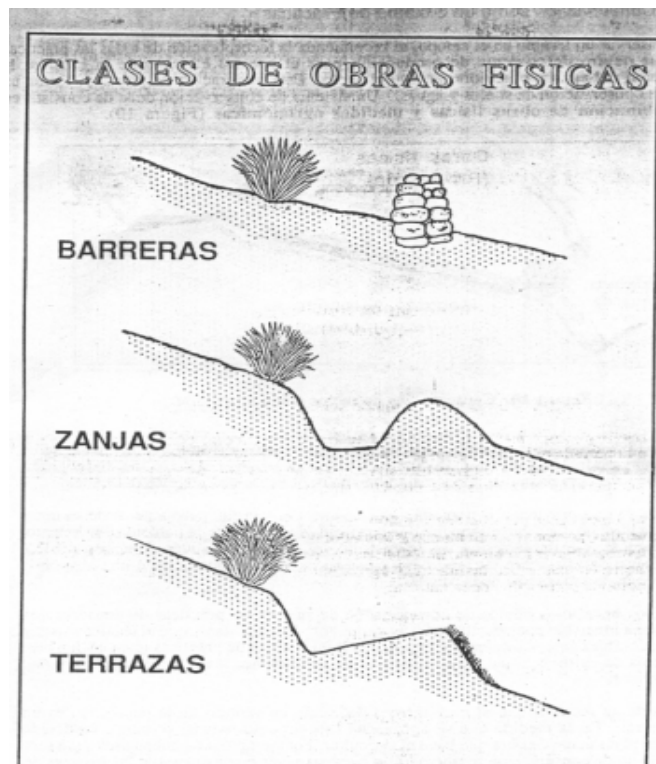


Las medidas agronómicas son prácticas de manejo del suelo que sirven para detener el agua, pero también contribuyen a rehabilitar y mantener la capacidad productiva del suelo. Estas medidas son más fáciles y más baratas para incorporar en el sistema de producción del agricultor que las obras físicas

Las medidas agronómicas más difundidas en la región son:

- Cultivo en curvas a nivel
- Labranza conservacionista
- Incorporación de materia orgánica
- Algunas prácticas agroforestales

Imagen N° 10: Obras físicas



Conservaciones como un sistema de prácticas:

Al conservar un terreno en el campo, se recomienda la incorporación de todas las prácticas apropiadas dentro del sistema de producción para el control efectivo de la erosión, la conservación del agua y el mejoramiento del suelo. Esta integración de prácticas forma un sistema de conservación de suelos y aguas.

Un sistema de conservación debe de consistir en una combinación de obras físicas y medidas agronómicas. Las obras físicas sirven de protección a la parcela agrícola, controlando la erosión, previenen la pérdida adicional de suelo y permiten un mayor aprovechamiento del agua. Dichas obras, en efecto, previenen la degradación continua del terreno, pero a pesar de su costo relativamente alto, no contribuyen mucho a la productividad actual de la parcela. Por lo tanto, se hace indispensable implementar un sistema de conservación lo más completo posible (haciendo fuerte énfasis sobre las medidas agronómicas) a fin de asegurar tanto un alza en la producción como la protección de la parcela.

Algunas prácticas mecánicas de conservación de suelos:

### **Barreras**

Consisten en líneas de un mismo material, sea arbustos, piedra, troncos de árboles o cualquier otro material efectivo, que disminuyen la velocidad del agua y captan los sedimentos que lleva.

Zanjas de ladera:

Las zanjas de ladera son canales angostos, trazados transversalmente en la pendiente de un intervalo predeterminado. Se construye con el propósito de interceptar las aguas de la escorrentía, para luego almacenarlos o evacuarlos de la parcela en forma controlada. De esta forma, se reduce el largo de la pendiente, disminuyendo la erosión.

Canales de desagüe y cajas de disipadoras:

Los canales de desagüe son trincheras o zanjas construidas y protegidas para evacuar en forma controlada la escorrentía interceptada por un sistema de obras físicas. Cuando no existe un desagüe natural que cumpla satisfactoriamente esta función y se usa este tipo de canal para proteger un terreno que reciba gran cantidad de agua de terrenos pendiente arriba, se le llama canal de desviación o interceptación. En este caso, el objetivo es desviar la corriente de agua para evitar daños al terreno pendiente abajo.

Terrazas:

La última de las tres principales clases de obras, es la terraza; aunque resulte muy efectiva para controlar la erosión. Además, es tal vez la más estética de todas, sin embargo, debido a su costo relativamente alto tanto como su requisito de suelos relativamente profundos, poseen una aplicación limitada a condiciones más específicas que las barreras o las zanjas.



### Forestación:

La meta es lograr un bosque estructurado, es decir un medio mixto de árboles de diferentes edades y especies. Es importante incorporar a estas acciones especies arbustivas de manera de contribuir a una mejor protección del suelo, incrementando tiempo de concentración y reduciendo la formación de cursos de agua.

En función de estas medidas se disminuyen las descargas máximas y se aumentan las descargas mínimas. Por medio de la intercepción y la transpiración sobre las áreas de bosques se evapora más agua que sobre las superficies con menor vegetación, generando un ambiente ecológico con mejores condiciones para el desarrollo de la flora y fauna.

### Recubrimiento de laderas con vegetación:

Para la consolidación de los taludes, son adecuadas medidas técnicas, como drenaje, construcción de terrazas, muros de drenaje, muros de contención, etc., pero principalmente la forestación de tipos de árboles de raíces profundas, plantaciones de arbustos y diferentes tipos de construcciones de ingeniería biológica. La finalidad principal de los métodos de superficies con materiales vivos es cubrir y proteger la superficie de laderas amenazadas o dañadas. Con la aplicación de un gran número de plantas, semillas o trozos de plantas por unidad de superficie, se protegerá la superficie del suelo contra el impacto de lluvias intensas, corrientes de agua, viento, nieve, granizo y otras formas de erosión.

Entre las medidas de recubrimiento vegetal de laderas, se puede tener en cuenta las recomendaciones de la FAO<sup>10</sup>:

### Construcción de colchones de ramas:

Se introducen en el suelo estacas de madera o de acero con ganchos, con una profundidad de unos 20 cm. y espaciadas cada 60 a 80 cm. A continuación se colocan ramas vivas en el suelo suficientemente próximas como para establecer una cubierta completa. Es fundamental que los extremos de las ramas queden bien cubiertos con una capa superior de suelo, de tal modo que puedan enraizar, en lugar de secarse o ser arrastrados por el agua. Los colchones de ramas se protegen normalmente con fajinas, postes de madera, empalizadas trenzadas o rellenos de piedra.

El colchón de ramas se sujeta al terreno con alambre, ramas cruzadas, fajinas o empalizadas trenzadas en hileras distanciadas de 80 a 100 cm. En áreas con lluvias intensas y pendientes pronunciadas, los colchones de ramas pueden ser anclados con mayor seguridad utilizando una malla metálica o un material similar.

Si no se dispone de suficientes plantas vivas, podrán ser utilizadas en parte plantas leñosas muertas, pero deberá entremezclarse muy bien el material vivo el material muerto para lograr un crecimiento homogéneo.

El empleo de materiales vivos ayuda a lograr un efecto permanente, ya que continúan su desarrollo acelerando la formación de una cobertura vegetal estable.

---

<sup>10</sup> FAO. 1985. *Estabilización de laderas con tratamientos del suelo y la vegetación*. Gafa FAO Conservación 13/1. Roma.

### Empalizadas trenzadas:

Se clavan en el terreno estacas de madera de 3 a 10 cm. de diámetro y de 100 cm. de longitud, o estacas metálicas de longitud similar, a una distancia aproximada de 100 cm. Entre ellas se colocan otras más cortas, clavadas en el terreno a intervalos de unos 30 cm. aproximadamente. A continuación 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.

La rama del fondo y las partes cortadas de todas las otras deben estar en el suelo de tal modo que puedan enraizar. Las cerdas completamente enterradas son mejores que las que sobresalen de la superficie, ya que en este último caso las ramas que se encuentran por encima del suelo tienden a secarse, lo cual 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 solo es eficaz para retener material suelto.

### Cordones:

Se prepara una pequeña terraza horizontal cerca del pie de la ladera, tal como el suelo que se extrae para construir la primera terraza, que se vuelca al pie de la ladera. Si el fondo de la terraza excavada consiste en material muy duro y compacto, que no pueden penetrar las raíces, debe mullirse. A continuación se colocan las plantas elegidas sobre la superficie de la terraza, de tal forma que se mantengan en pie completamente derechas. Para sujetarlas hay que cubrir las plantas con tierra.

Posteriormente se construye la terraza siguiente. Cuanto más inclinada sea la ladera, más estrecha debe ser la terraza. La distancia entre terrazas sucesivas depende principalmente del material del terreno y de su tendencia a deslizarse. El material sobrante en lugar de volcarlo, se deja deslizarse con suavidad hacia abajo de la terraza inferior; de esta manera las plantas de la terraza inferior se cubren de tierra y la terraza excavada se rellena por completo. Solamente sobresalen las plantas vivas. El proceso se repite avanzando hacia arriba hasta llegar a la cumbre de la ladera.

### Fajinas de ladera:

Se colocan fajinas de plantas leñosas vivas en zanjas con un ancho y profundidad de 30 a 50 cm. Cada fajina estará formada con por lo menos cinco ramas de pequeño diámetro. Las ramas colocadas en las zanjas enraízan sin mucha dificultad porque están en contacto con el suelo.

### Plantación de juntas de muros:

Se hincan estaquillas en las juntas de muros de piedra y de montones de piedra sin mortero. Deben ser suficientemente largas para penetrar en el terreno existente detrás de los muros. Para esta operación puede emplearse una barra larga o un pico.

Después de haber plantado las juntas es conveniente llenarlas con arena seca o con material fino húmedo.

Las estaquillas deben ser colocadas de forma irregular, en ninguna circunstancia deben alinearse, porque su apariencia sería demasiado artificial.

Deben colocarse por lo menos dos estaquillas por metro cuadrado; en áreas sujetas a una presión considerable (laderas donde son frecuentes los aludes o barrancos con fuerte movimiento de arrastre) deben emplearse cinco estaquillas por metro cuadrado. En lugares secos las estaquillas crecerán mejor en las juntas del sistema del terraplén, donde se retienen de la humedad, que pueda haber en un suelo sin protección.

#### Muros de piedra recubiertos de vegetación:

Durante la construcción de muros de piedra en seco se colocan plantas vivas en las juntas existentes entre la roca, de manera que lleguen al suelo existente detrás del muro. Si los muros tienen que rellenarse con grava para drenar el agua, las ramas o las plantas con raíces deben alcanzar el suelo a través de la grava. Para evitar la desecación, las ramas no deben sobresalir del muro más de 30 cm. Los muros no deben tener una altura superior a 10 m. y se construirán fuertemente inclinados hacia la ladera.

Después de la construcción, los muros y los montones de piedra con el coronamiento plano se pueden rellenar con material fino y cubrirlos de vegetación con ayuda de paja. Se puede emplear una combinación de ramas vivas, plantas con raíces y césped.

Se utilizarán ramas delgadas vivas en proporción de 2 a 5 por metro cuadrado; pueden emplearse arbustos con raíces o césped cortado con las dimensiones de las aberturas de las juntas; no se utilizarán árboles. Los muros de piedra con vegetación se construirán durante la época seca.

#### Prevención y control de la erosión eólica en las regiones áridas:

La ira de Eolo, dios griego del viento de cuyo nombre deriva el término “eólico”, tenido desde tiempos remotos como referencia de los efectos catastróficos sobre el entorno biológico y cultural del hombre. Baste pensar en los huracanes y tifones de los trópicos, en las ventiscas de las regiones más frías y en las tormentas de arena en zonas áridas. De todas las regiones de la Tierra, las más vulnerables y las más gravemente deterioradas por el viento son las zonas áridas.

La erosión es el proceso de desalojamiento y transporte de las partículas del suelo por los dos principales agentes de erosión: el agua y el viento. Muchas veces es difícil precisar cuál es el factor dominante en un emplazamiento concreto. Sin embargo, por lo general la erosión del viento es un proceso prolongado y gradual, mientras que la erosión del agua es con frecuencia muy rápida y llamativa.

En los últimos años se han realizado notables progresos en la evolución de las tecnologías para la prevención y control de la erosión eólica aunque, en lo que respecta a las aplicaciones concretas, es todavía mucho lo que queda por hacer, sobre todo en las regiones áridas. Un análisis más detallado de la situación en estas regiones demuestra que, si bien es preciso controlar y contener este fenómeno, lo primero que habría que hacer sería intentar evaluar y comprender las técnicas disponibles y, en segundo lugar, seleccionarlas y aplicarlas en las debidas proporciones en el contexto de una ordenación integrada de la tierra.

El movimiento del aire debe alcanzar una determinada velocidad, es decir, convertirse en “viento eficaz” (con la velocidad suficiente para generar un movi-

miento visible de partículas a nivel del suelo), para poder desalojar y transportar partículas. Los vientos con velocidades de menos de 12 a 19 Km. /h a 1 m por encima del suelo casi nunca tienen al nivel del suelo la energía suficiente para desalojar y poner en movimiento partículas del tamaño de la arena. El desplazamiento de los suelos muy erosionables comienza normalmente cuando el viento alcanza una velocidad de avance de 25 a 30 Km. /h a una altura de 30 cm. por encima de la superficie del suelo.

#### Causas de la erosión eólica:

Varios factores, además de la propia velocidad del viento, contribuyen a la erosión eólica. Dichos factores pueden dividirse en dos grupos de elementos íntimamente relacionados: los vinculados con las propiedades del suelo en cuanto tal y los asociados a la cobertura del suelo.

La vulnerabilidad del suelo a la erosión aumenta con la sequedad. Los suelos húmedos no vuelan ni se mueven pero los suelos superficiales de las zonas áridas casi nunca tienen humedad. Las asperezas del suelo, especialmente de la superficie, reducen eficazmente el movimiento de las partículas. Sin embargo, en las regiones áridas predominan los suelos superficiales lisos, pulverizados y sin estructura. También la textura del suelo influye en la erosión, los suelos de textura fina son especialmente vulnerables a la erosión del viento.

La presencia de una cubierta vegetal protectora, por ejemplo la hierba, arbustos, plantas cultivadas y hasta rastrojos, disminuye la velocidad del viento y merma su capacidad de erosión. Además, las raíces de los vegetales hacen que las partículas del suelo resulten más compactas y se mantengan unidas. El material orgánico, o humus, procedente de la vegetación mejora la textura y estructura de los suelos.

Por eso, la destrucción de la cubierta vegetal protectora como consecuencia de varios factores - incendios, actividades agrícolas, sobrepastoreo, destrucción de árboles para conseguir leña o prolongados períodos de sequía - expone el suelo a la acción erosiva de los vientos, cuya velocidad en las regiones áridas alcanza su punto máximo en los meses calurosos del verano.

#### Control y prevención de la erosión eólica:

La forma más eficaz de controlar es la introducción de sistemas de ordenación de la tierra, que reúnan las siguientes condiciones:

No lleven a la eliminación de la cubierta vegetal en grandes extensiones.

Reduzcan la longitud de los espacios libres y de esa manera disminuyan el impulso del viento.

Aumenten la coherencia del suelo o lo protejan con una coraza de manera que impidan el levantamiento de las partículas por el viento.

Reduzcan la velocidad del viento cerca del suelo y desvíen su dirección.

Controlen la fuente del material del cual están hechas las dunas.

En lo que respecta a las formas de evitar la erosión causada por el viento, las más eficaces son las siguientes:

Localizar los puntos donde se abreva el ganado en suelos resistentes a la erosión;

Proteger los campos agrícolas y las zonas más explotadas con cortinas cortavientos;

Mantener un buen equilibrio entre plantas herbáceas y leñosas;

Distribuir arbustos y árboles en las tierras de pastoreo para reducir la velocidad del viento.

Basta la presencia de una mínima cubierta vegetal para reducir la velocidad del viento y disminuir su capacidad erosiva

Prácticas adecuadas de explotación agrícola:

Para que las actividades agrícolas en tierras áridas no favorezcan la erosión eólica es preciso respetar uno o varios principios básicos sobre la explotación de la tierra. A continuación se mencionan algunos de ellos:

Las prácticas de labranza deben favorecer las irregularidades del terreno dejando terrones en el suelo o haciendo caballones y surcos perpendiculares a la dirección dominante del viento. Para intensificar la acción de los caballones y surcos, en la superficie deben disponerse terrones resistentes. Los surcos con terrones limitan la erosión del viento hasta que los terrones no sean desmenuzados como consecuencia de las actividades de roturación, la acción del tiempo o la erosión.

La eficacia de las prácticas de labranza en el control de la erosión eólica aumenta con la introducción de cultivos con abundantes raíces, que incrementan el contenido de materia orgánica del suelo. En el caso de suelos arenosos esta práctica no resulta eficaz, por la textura del suelo y la falta de coherencia.

Los residuos superficiales y de los cultivos pueden dejarse después de la recolección, que generalmente coincide con la temporada seca, para proteger el suelo y reducir la erosión. Sin embargo, en las regiones áridas no siempre es posible disponer de residuos, ya que muchas veces son devorados por el ganado en libertad. Por desgracia, después de la recolección de la cebada o del trigo a veces se queman los barbechos, por lo cual se priva a los suelos de una capa protectora.

El cultivo en franjas reduce la anchura de la superficie en el cual el suelo se ve expuesto a la erosión eólica. Alternando las franjas de cultivo y de barbecho o las de cultivos y pastos se consigue reducir mucho la erosión. Sin embargo, dada la escasez de tierra en las regiones áridas, el cultivo en franjas no es una práctica muy general.

Fijación de dunas de arena:

La rotación de los cultivos, además de mejorar la fertilidad del suelo, evita la exposición indebida del suelo a la sequedad y a la erosión del viento. Si a la cosecha de cereales sigue otra de leguminosas, y a esta una de cultivo en hileras o el barbecho, para luego volver a los cereales, aumentan los residuos que mantienen unidas las partículas del suelo. Sin embargo, dada la disponibilidad de fertilizantes inorgánicos, la rotación de cultivos está perdiendo aceptación. En los trópicos secos, actualmente se está practicando una combinación de leguminosas/arbustos/árboles.

El cultivo intercalado es muy frecuente en las regiones áridas. Los sistemas son varios. Uno que recibe cada vez mayor atención, el de la “agricultura de oasis”, consiste en disponer la vegetación en tres alturas: una altura dominante de

palmeras, otra más baja de frutales y una tercera, a nivel del suelo, de cultivos agrícolas.

Los sistemas de cultivo en varias alturas permiten aprovechar al máximo la energía solar, abundante en las regiones áridas, utilizando los rayos luminosos laterales (en oposición a los verticales) para la fotosíntesis. Las plantas de las capas superiores sirven de protección del excesivo calor y mejoran el microclima que pueden disfrutar los cultivos a nivel de suelo. En consecuencia, el suelo no necesita tanta humedad, ésta de por sí escasa, y la producción agrícola por unidad de superficie aumenta y se diversifica.

Se han introducido numerosas modificaciones del sistema, con árboles frutales o especies forestales en la parte superior y en la inferior cultivos.

Otros sistemas combinan hileras de cultivos protectores de rápido crecimiento (maíz) con otros cultivos más vulnerables a la acción del viento (tomates, frijoles). Este sistema se utiliza también en las zonas donde no hay problemas de escasez de agua para el cultivo protegido.

El pastoreo controlado mediante la regulación del número de animales y los períodos durante los cuales pueden utilizarse los pastizales contribuyen en gran forma a proteger y perpetuar la cubierta vegetal. Por desgracia, el “descanso” periódico de los pastizales para favorecer la recuperación vegetal no siempre es practicable. Ello se debe al gran número de animales y a la ausencia de fuentes alternativas de pienso para mantener a los animales durante los períodos de veda de los pastizales.

La resiembra de los pastizales y el cultivo de árboles dispersos y arbustos, en ellos, no solo ha mejorado la capacidad de carga de dichas tierras sino que ha contribuido también a reducir el peligro de erosión eólica. El forraje procedente de los árboles y arbustos puede representar un elemento fundamental en la dieta animal, sobre todo durante los años de sequía en que no hay acceso a otras especies forrajeras anuales.

#### Papel de la silvicultura en el control de la erosión eólica:

Como en el caso de la erosión debida al agua, la silvicultura puede desempeñar un papel importante en el control de la erosión eólica. Actualmente son tres las prácticas forestales más aplicadas en las regiones áridas: cortavientos y cortinas protectoras; estabilización de las dunas de arena; árboles de usos múltiples.

Los cortavientos y cortinas protectoras son barreras de árboles y arbustos plantadas en una o más hileras en ángulo recto respecto a la dirección del viento dominante. Su objetivo principal es reducir la velocidad del viento, filtrar las partículas de polvo flotantes y, de esa manera, proteger los cultivos agrícolas y el ganado. Al reducir la velocidad del viento a la altura del suelo - se reduce también el peligro de erosión eólica.

La experiencia ha demostrado que los cortavientos deben ser permeables, con una densidad de copa vertical de aproximadamente el 50 ó el 60 por ciento, pero no superior al 80 por ciento. Cuando la cortina protectora es densa y no permeable, la mayor parte del viento se desvía hacia arriba. La presión en la zona resguardada del viento se reduce, causando turbulencia, lo que disminuye enormemente la velocidad del viento, pero solo en un tramo muy breve.

El efecto sobre la velocidad del viento está en relación con la altura (H) de los árboles más altos de la barrera y, en consecuencia, se expresa en múltiplos de esta altura. Normalmente, el efecto se observa en distancias de 20H a 40H. Estas

barreras, si se utilizan debidamente, pueden permitir obtener productos madereros con los diversos cortes y aclareos, sin reducir por ello su efecto protector.

Como consecuencia de la reducción de la velocidad del viento y del mejoramiento microclimático, los cortavientos y cortinas protectoras en las zonas áridas contribuyen notablemente a la producción agrícola y ganadera. El aumento de la producción agrícola total como consecuencia de un sistema debidamente planificado de cortinas protectoras en las regiones áridas es de aproximadamente el 30 por ciento.

La estabilización de las dunas de arena es otro ejemplo de práctica forestal con aplicaciones directas en el control de la erosión eólica. Cuando no están cubiertas de una vegetación protectora, las dunas de arena se mueven en dirección al viento dominante. Ello puede suponer un peligro para los cultivos agrícolas, los bosques y tierras boscosas, los canales de riego y carreteras, los oasis e incluso los poblados. Para evitar este avance, es preciso estabilizar las dunas.

Se han desarrollado varias técnicas para la estabilización de las dunas de arena. Un método tradicional consiste en fijar en el suelo “empalizadas” o “micro-rompevientos” y extender material vegetal (paja u hojarasca con barro o agua) en la superficie para inmovilizar la tierra antes de establecer una cubierta vegetal permanente.

Con una gestión acertada las dunas repobladas pueden aportar varios beneficios:

Protección de las tierras agrícolas, de la infraestructura y de las viviendas;

Incremento de la producción maderera (leña, estacas, etc.) y no maderera (fruta, aceites esenciales y miel).

Los árboles de usos múltiples desempeñaron siempre un papel importante en los sistemas tradicionales de ordenación de la tierra en las zonas áridas. Los árboles dispersos, así mismo, permitieron obtener fruta y fibras, energía y forraje. La introducción de árboles frutales (higueras, almendros, olivos, algarrobos) así como de árboles y arbustos forrajeros es un aspecto importante de la labor de conservación de suelos y aguas en las tierras en pendiente.

La inclusión de estas especies en los programas de conservación contribuye a la producción así como a la protección del medio ambiente. La práctica de la agrosilvicultura en las zonas áridas representa una protección frente a los efectos de las irregulares precipitaciones y reduce la presión sobre los recursos locales durante los períodos de sequía. Además, los árboles con funciones múltiples dispersos en el paisaje árido frenan el viento y quiebran la fuerza de las gotas de agua al caer, disminuyendo así el peligro de la erosión derivada del agua y del viento.





9. MÉTODOS DE PLANTACIÓN. SIEMBRA Y PLANTACIÓN. PREPARACIÓN DE TERRENO EN ZONAS DE PENDIENTE. SISTEMA DE TERRAZAS. BANCALES. COSECHA DE AGUAS DE LLUVIA PARA LA FORESTACIÓN.

**Cuadro N° 1: Manejo conservacionista de secano**

| P<br>e<br>n<br>d<br>i<br>e<br>n<br>t<br>e | Erosión<br>aparente | M<br>A<br>N<br>E<br>J<br>O                                              | VENTAJAS                                                                                                                      | INCONVENIENTES                                                                  | PRÁCTICAS<br>OBLIGATORIAS                                                                  | RECOMENDA-<br>CIONES                                                                                               |
|-------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3%                                        | Nula                | L<br>A<br>B<br>O<br>R<br>E<br>O                                         | Fácil control de malas hierbas, aumento del agua infiltrada, Distribución homogénea de la humedad, menor pérdida fertilizante | Dstrucción estructura del suelo y rotura de raíces alterando relación hoja/raíz | No utilizar vertedera o grada de disco para evitar formación de suelo de labor             | No labrar en primavera para evitar pérdidas de agua por evaporación directa                                        |
| ~7%                                       | Baja                | L<br>A<br>B<br>O<br>R<br>E<br>O<br>M<br>I<br>N<br>I<br>M<br>O           | Aumento agua infiltrada y reducción pérdida suelo                                                                             | Peor control malas hierbas                                                      | Solo labores superficiales (5cm) cuando no haya problemas de evaporación directa del suelo | Si son necesarias labores profundas utilizar subsolador con la periodicidad adecuada (una sola cara del olivo/año) |
| ~10%                                      | Moderada            | L<br>A<br>B<br>O<br>R<br>E<br>O<br>A<br>N<br>I<br>V<br>E<br>L           | Disminución arrastre de suelo                                                                                                 | Difícil laboreo.                                                                | Reducir al máximo el número de labores superficiales                                       | Evitar surcos de mucha longitud                                                                                    |
| 0-15%                                     | Alta                | C<br>U<br>B<br>I<br>E<br>R<br>T<br>A<br>V<br>E<br>G<br>E<br>T<br>A<br>L | Mayor infiltración agua y menor pérdidas por evaporación directa                                                              | Dificultades manejo cubierta                                                    | Siega de la cubierta cuando empiece competencia por agua con el olivar                     | Utilizar cubierta cereal y malas hierbas gramíneas (ballico, cebadilla, bromo, etc.)                               |

**Cuadro N° 2: Manejo conservacionista de regadío**

| PENDIENTE | EROSIÓN APARENTE | MANEJO           | VENTAJAS                                                         | INCONVENIENTES                       | PRÁCTICAS OBLIGATORIAS                                                                              | RECOMENDACIONES                                                                      |
|-----------|------------------|------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <7 %      | Baja             | Laboreo mínimo   | Aumento agua infiltrada y reducción pérdida suelo                | Peor control malas hierbas           | Solo realizar labores superficiales (5cm) cuando no haya problemas de evaporación directa del suelo | Si es necesario labores profundas utilizar subsolador con la periodicidad adecuada   |
| 7-10 %    | Modorada         | No Laboreo       | Disminución arrastre de suelo                                    | Perdida de capacidad de infiltración | Vigilar con frecuencia estado de malas hierbas                                                      | Disponer calles de plantación perpendiculares a línea de máxima pendiente            |
| 10-15 %   | Alta             | Cubierta vegetal | Mayor infiltración agua y menor pérdidas por evaporación directa | Dificultades manejo cubierta         | Siega de la cubierta antes de competencia por agua con el olivar                                    | Utilizar cubierta cereal y malas hierbas gramíneas (ballico, cebadilla, bromo, etc.) |

Quando se superen las pendientes anteriores, los daños causados por la erosión pueden ser tan alarmantes, que creemos, no basta con aplicar una técnica específica sino que son necesarias, además, las siguientes medidas de defensa:

**Cuadro N° 3: Medidas de defensa contra la erosión**

| PENDIENTE | EROSIÓN APARENTE | MEDIDAS DEFENSA | VENTAJAS                         | INCONVENIENTES                                                                                  | PRÁCTICAS OBLIGATORIAS                                           | RECOMENDACIONES                                                                                                             |
|-----------|------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 15-25%    | Severa           | Terrazas        | Recuperación suelos a bajo coste | Obstáculos para labores y practicas culturales, posible difusión de las hierbas de los taludes. | Laboreo a nivel o cubierta vegetal                               | Adoptar medidas de protección en desagües                                                                                   |
| 25-35%    | Muy severa       | Bancales        | Reducción total pendiente        | Alto coste de ejecución                                                                         | Longitud máxima 250m. Adoptar medidas de protección en desagües. | Si existen problemas de encharcamiento hacer el plano del bancale inclinado en contrapendiente (1%) hacia el muro superior. |
| 35%       | Extrema          | No cultivar     |                                  |                                                                                                 |                                                                  | Destinar a monte y pastos                                                                                                   |

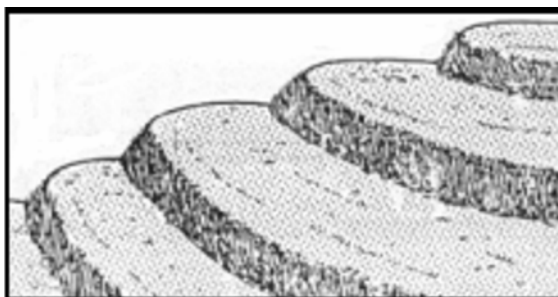
Estas tablas están basadas principalmente en experiencias y deberán adaptarse a cada situación concreta, así, cuando concurren otras circunstancias que favorezcan la erosión se adoptarán medidas más limitantes. La idea es establecer, en cada caso, la técnica de manejo más fácil y eficaz sin poner en peligro el futuro de la plantación.

#### Terrazas:

La terraza (ver figura 11) es muy efectiva en controlar la erosión y, además, es tal vez la más estética de todas. Sin embargo, debido a su costo relativamente alto y su requisito de suelos relativamente profundos, tiene una aplicación limitada a condiciones más específicas que las barreras o las zanjas.

Imagen N° 11: Terrazas

Las terrazas de  
banco



A continuación se examinan los tres tipos de terraza que son más utilizados: la terraza individual, la terraza angosta y la terraza de banco.

#### Terrazas individuales:

Las terrazas individuales son pequeñas plataformas circulares o redondas trazadas al tresbolillo. Al igual que las demás terrazas, consisten de un corte y un relleno pero no son continuas. Además de su función de reducir la erosión, la terraza individual permite la captación y conservación de humedad y el mejor aprovechamiento de los fertilizantes. Son obras complementarias para el uso con terrazas angostas y zanjas de ladera para la siembra de frutales u otros cultivos permanentes.

Esta plataforma se compone de una sección de corte y un relleno bien compacto, con una pendiente inversa de 10% (15 cm de desplazamiento vertical). Igual que en los demás cortes, los taludes deben tener relación de 0.75: 1 a 1:1 (horizontal a vertical) según las variedades a sembrar.

Entre más desarrollo tiene la copa de la planta, mayor debe ser la distancia entre terrazas.

#### Terrazas angostas:

Las terrazas angostas son plataformas continuas y de base angosta, trazadas transversalmente a la pendiente para interceptar el agua de la escorrentía. Esta

agua captada se almacena en la plataforma para que se infiltre, si está trazada a nivel, o para que se vaya lentamente a lugares debidamente protegidos, cuando la terraza se traza a desnivel. La plataforma o banco esta formado por un corte y relleno, y tiene una pendiente inversa.

Hay dos usos principales para las terrazas angostas. En las tierras menos inclinadas se utilizan conjuntamente con las medidas agroquímicas para los cultivos limpios, como granos básicos, hortalizas y flores. En los terrenos muy inclinados, por el contrario, se construyen para cultivos permanentes, como críticos, café, cacao u otros frutales.

Las terrazas angostas para cultivos permanentes se recomiendan para tierras con pendientes entre 50% y 60%. El distanciamiento entre terrazas, debido a la fuerte pendiente, es menor que entre las terrazas angostas para los cultivos limpios y varía con el cultivo o la especie que se siembra.

#### Terrazas de banco:

Las terrazas de banco son plataformas o bancos escalonados, contruidos transversales a la pendiente y superados por taludes protegidos con vegetación. El ancho del banco varía con la pendiente, el cultivo y la profundidad del suelo.

Aunque son las obras más efectivas en controlar la erosión en laderas, su uso es limitado por su alto costo. Se recomiendan las terrazas de bancos para cultivos muy rentables como hortalizas, flores y algunos cultivos especiales, como la fresa y ananá. Además, debe contarse con la disponibilidad de agua para riego en la temporada seca, asegurando el máximo provecho de las terrazas.

10. PLANTACIÓN. SIEMBRA. MÉTODOS. CUIDADOS CULTURALES. RESTAURACIÓN DE LOS RÍOS. ESTABILIZACIÓN DE LADERAS. USO DE VEGETALES. MATERIALES VIVOS Y MUROS DE SOSTENIMIENTO.

### **Las principales prácticas para tierras de ladera**

Barreras:

Consisten en líneas de material, arbustos, piedras, troncos de árboles o cualquier otro material efectivo que disminuyen la velocidad del agua y captan los sedimentos que lleva (ver imagen 12).

Sus ventajas sobre otras clases de obras son:

- Costo relativamente bajo (utilizan materiales locales, no requieren muchas herramientas y utilizan mano de obra del agricultor).
- Encajan bien dentro de los sistemas de producción practicados en ladera y son de fácil adopción por el agricultor (técnicas de construcción generalmente ya conocidas).
- Producen beneficios secundarios (forraje, flores o materia orgánica).

Barreras vivas:

Las barreras vivas son hileras de plantas perennes (Ej. arbustos) de crecimiento denso y resistentes a la fuerza de la escorrentía, las cuales se siembran siguiendo las curvas a nivel. Tiene un doble propósito: proteger el suelo contra la erosión por el agua al reducir la velocidad y retener los sedimentos; además de producir forraje para alimentación animal, materia orgánica para incorporar al suelo, o flores para la venta.

Sin embargo, en laderas deben combinarse con algún tipo de obras físicas como barreras, terrazas o zanjas.

Se recomiendan las barreras vivas solas en terrenos planos o casi planos donde la pendiente no excede al 12%. Sin embargo, en terrenos con pendientes mayores de 12% la barrera viva debe ser acompañada por algún tipo de obra física.

La forma de propagación de la barrera, varía según la especie de planta a sembrar y el tipo de material vegetativo disponible sea caña, macollas o semillas.

Los pasos principales para el establecimiento de la barrera viva son:

Selección y preparación del material.

Preparación de la tierra.

Siembra o plantación del material.

La siembra de la barrera viva se hace en un surco o trinchera poco profunda, siguiendo la curva a nivel o la corona de la estructura de conservación a todo su largo. El surco se puede hacer con azadón, picando una franja de 20 cm. de ancho y de 10 a 15 cm. de profundidad.

Es sumamente importante deshacer los terrones grandes para mejorar la retención de humedad en el suelo y asegurar la fácil emergencia de los brotes.

#### Estacas:

Con el establecimiento por estacas, el material brota en unos 8 - 12 días debido a la pequeña porción del material enterrado, y el brote por las yemas aéreas, reduce los problemas de pudrición en suelos muy húmedos y reduce la cantidad de trabajo en el establecimiento.

La siembra por estacas: se coloca una estaca cada 15 a 20 cm enterrando dos nudos (5- 7 cm.) y dejando 2 o 3 nudos por fuera de la tierra. Se entierra la estaca con una inclinación de aproximadamente 30°C sobre la superficie del suelo.

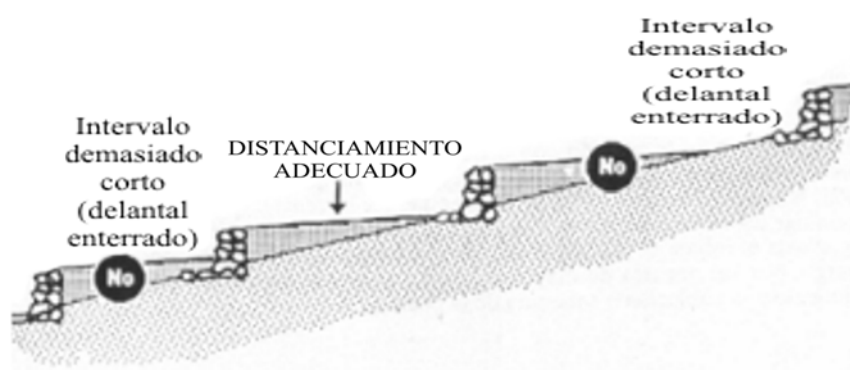
Macollas sepas o bulbos: La propagación por material vegetativo se hace en la misma forma que con la caña o con las estacas. Se recomienda una distancia de 15 cm. entre matas para asegurar una barrera bien tupida.

Semilla: A pesar de que se tarda más en establecer la barrera por la siembra de semilla, a veces es el único material disponible del agricultor. Para sembrar con semilla se prepara el surco en la misma forma ya explicada, solo teniendo más cuidado para desterronar y dejar la superficie suelta y nivelada. Se riega la semilla en una banda uniforme de 15 a 20 cm. de ancho. La cantidad de semilla a sembrar dependerá de la viabilidad determinada en la prueba de germinación. El último paso es rastrillar la superficie del surco ligeramente para medio incorporar la semilla en la superficie del suelo. Es importante no enterrar la semilla, sino solo incorporarla en el primer centímetro de la capa superior.

Mantenimiento de las barras vivas: es bastante sencillo, y muy importante para que funcionen bien al brotar las yemas o nacer la planta. Se debe revisar la barrera y resembrar los vacíos periódicamente para asegurar que se mantengan tupidas. Una vez que se desarrolla, se lo debe cortar periódicamente. La altura a mantenerse varía según las distintas especies, aunque una altura promedio de 0.75 cm. a un metro es recomendable

#### Barreras de piedra:

Imagen 12: Distanciamiento de barreras



La barrera de piedra es un tipo de barrera de material, puesta en sentido transversal a la pendiente con el propósito de disminuir la velocidad del agua de escorrentía y a la vez causar la deposición de sedimentos gruesos.

La gran abundancia de piedra en muchas zonas de la región y la práctica tradicional de los agricultores de construir cercos de piedra, subraya la importancia y aceptación de este tipo de estructura como práctica de conservación de suelos.

Estas estructuras tienen la ventaja de ser casi permanentes si realizan un mínimo de mantenimiento. Aunque facilitan el trabajo con piedra tienen como desventaja que, al inicio, el esfuerzo invertido tiene poco rendimiento.

Inicialmente, las barreras de piedra pueden ser poco efectivas debido a la gran cantidad de espacios entre ellas. Sin embargo, con el tiempo, la acumulación de materia orgánica y suelo sella estos vacíos. Como todas las obras físicas en ladera, las barreras de piedra deben ser combinadas con medidas agronómicas.

Especificaciones: Las barreras de piedra son más adecuadas en tierras de ladera con pendientes menores de 50%. Se recomienda una altura máxima para las barreras de un metro, aunque pueden hacerse más altas. Haciendo un mayor número de barreras de una altura menor y reduciendo el distanciamiento entre cada una, se logra un mejor aprovechamiento de la piedra y una mayor protección del terreno.

La base de la barrera debe estar bien enterrada (empotrada) en la tierra. Debe excavarse una plataforma o trinchera de unos 20 cm de profundidad a lo largo de la curva a nivel para la ubicación de la primera línea de piedra.

Para extender la vida útil de la barrera una vez que está llena de tierra, se puede levantar la barrera si hay piedra adicional disponible o se puede establecer una barrera viva sobre el relleno acumulado. Se recomienda engramar al pie de la barrera.

#### Zanjas de ladera:

Las zanjas de ladera son canales angostos, trazados transversalmente a la pendiente a un intervalo predeterminado. Se construye con el propósito de interceptar las aguas de la escorrentía, para luego almacenarlas o evacuarlas de la parcela en forma controlada. De esta manera se reduce el largo de la pendiente, disminuyendo la erosión.

Especificaciones: Las zanjas de ladera son efectivas en pendientes hasta 50%. En terrenos donde el suelo es poco profundo (menor de 50 cm), son la obra física más adecuada en este rango de pendientes. Sin embargo, en pendientes menores de 30% cuando la profundidad no es un límite (mayor de 50 cm), es más rápido (menos tierra que remover) y se aprovecha mejor la tierra construyendo terrazas angostas.

Protección y mantenimiento: Hay cuatro aspectos principales para la protección y el mantenimiento de las zanjas de ladera. El establecimiento de la barrera viva es esencial para la retención de los sedimentos y la protección del talud. Durante el periodo que se establece la barrera, es importante revisar la obra sacando los sedimentos acumulados para mantener la profundidad recomendada.

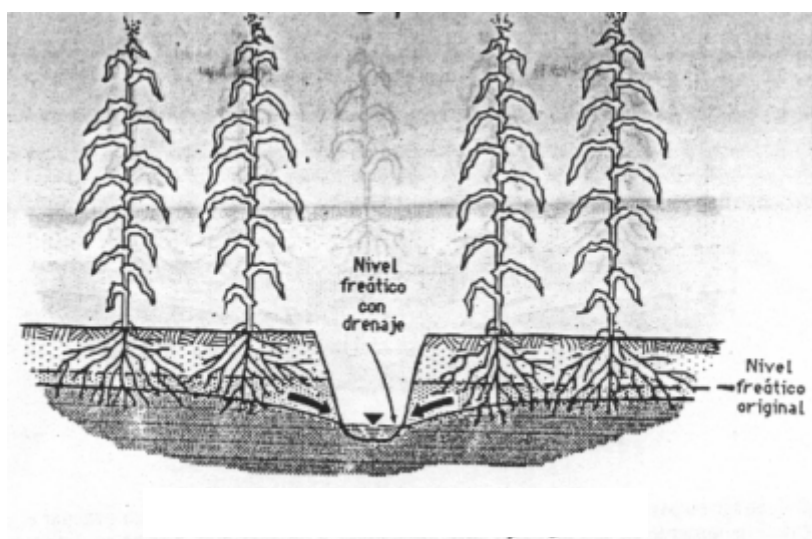
Además de sacar los sedimentos se debe revisar el largo de cada zanja asegurando que:

- a) El drenaje esté libre si esta construido a desnivel.
- b) Los diques estén en buen estado y funcionen adecuadamente si está construido a nivel. Finalmente, si se utilizó la tierra excavada como borda de retención, sería necesario engramarla.

Canales de desagüe y cajas de disipadoras:

Los canales de desagüe son trincheras o zanjias construidas y protegidas para evacuar, en forma controlada, la escorrentía interceptada por un sistema de obras físicas cuando no existe un desagüe natural que cumpla satisfactoriamente esta función (ver imagen 13). Cuando se usa este tipo de canal para proteger un terreno que reciba gran cantidad de agua de terrenos pendiente arriba, se lo llama canal de desviación o interceptación. En este caso el objetivo es desviar la corriente de agua para evitar daños al terreno pendiente abajo.

Imagen 13: Drenaje



Para la construcción de canales de desagüe, se deben recordar las siguientes reglas generales:

Cuan mayor sea el área de la parcela, más agua tendrá que evacuar por el canal.

Pendientes suaves requieren canales más grandes debido a que el agua corra más despacio.

Pendientes fuertes requieren canales más pequeños pero mejor protegidos, debido a que el agua corre rápidamente.

Los canales deben ser lo más rectos posible.



Especificaciones: el diseño generalizado del canal de desagüe consiste en un canal de fondo semicircular (parabólico) con un ancho de 1 a 1.5 m. y una profundidad de 35 a 50 cm. Se hace el canal más ancho y más profundo si la parcela es pequeña y/o muy inclinada.

La construcción del canal debe comenzar desde la salida del agua hacia arriba para evitar que el agua se acumule antes de estar terminado. La protección, sobre todo si el canal se construye en épocas de lluvias, debe realizarse inmediatamente después de su construcción.

Protección y mantenimiento: hay dos principales formas para proteger los canales.

En pendientes más suaves, menor a 20%, la grama brinda una protección adecuada. Sin embargo, en las laderas con pendientes mayores de 20% la velocidad del agua es tal que puede arrancar la grama, por lo tanto se recomienda que se revista el canal con piedra.

En el caso de protección con piedras deben buscarse piedras planas y grandes para colocar en el fondo del canal. La protección con grama se puede hacer con bloques de grama sujetos con estacas.

Además de la protección y mantenimiento del lecho del canal es importante revisar los puntos donde las obras se juntan con el canal, así como todas las cajas disipadoras.

Se sacan los sedimentos acumulados y se riegan sobre el terreno. Así se mantiene el flujo sujetado en el canal y el buen funcionamiento de las cajas disipadoras.

#### Forestación:

La meta es lograr un bosque estructurado, es decir un medio mixto de árboles de diferentes edades y especies. Es importante incorporar a estas acciones especies arbustivas de manera de lograr una mejor protección del suelo, incrementando el tiempo de concentración y reduciendo la formación de cursos de agua. Por medio de estas medidas se disminuyen las descargas máximas y se aumentan las descargas mínimas. Por medio de la interceptación y la transpiración sobre las áreas de bosques se evapora más agua que sobre las superficies con menor vegetación, generando un ambiente ecológico con mejores condiciones para el desarrollo de la flora y la fauna.

Un bosque de una sola edad tiene deficiencias biológicas y una acción protectora relativamente corta. En algunos casos únicamente las capas superiores del suelo alojarán las raíces, principalmente en suelos muy densos, otorgando poca resistencia al medio biológico frente a las acciones de la erosión. En consecuencia, la débil acción de bombeo de agua y evaporación de las coronas conducirá a la sobresaturación del suelo, formando horizontes de transporte de agua que pueden generar derrumbes y que, en algunos casos, pueden originar focos de acarreo en grandes superficies.

La mezcla de diferentes tipos de árboles garantiza una mejor estabilidad del medio. Especies de raíces profundas apoyarán a las de raíces superficiales. El suelo estará suficientemente cubierto y la luz lateral será suficiente para el desarrollo de una flora de superficie.

### Esquema de reforestación. Bosque Mixto:

El desarrollo de un bosque mixto deberá ser apoyado con medidas de consolidación de taludes. Las especies vegetales serán en lo posible típicas de la región y las técnicas a ser aplicadas deberán considerar las condiciones físicas existentes en la zona de proyecto, como ser: características hidrológicas, geológicas, suelos y topográficas.

Una de las dificultades para la aplicación de programas de forestación es el déficit de agua que reduce las posibilidades de crecimiento de la cobertura vegetal, por lo que será necesario incorporar sistemas de dotación de agua, principalmente durante la primera etapa de crecimiento.

Para la estructuración de un sistema de dotación de agua y tomando en cuenta las dificultades de aplicación de riego, es conveniente adoptar principios de administración de agua sobre la base de conceptos de "cosecha de agua", que se fundamenta en la retención del agua por medio de canales horizontales a manera de zanjales de infiltración. Esto permite la captación de mayores volúmenes de agua por el suelo manteniendo su humedad por un período de tiempo más largo. Esta medida puede combinarse con pequeños movimientos de suelo formando microdiques de radio circular, principalmente en los sectores de pendiente moderada.

Para la aplicación de proyectos o programas de forestación, deberán ser consideradas las características socioculturales de las poblaciones asentadas en el lugar, por cuanto su participación será determinante para alcanzar los objetivos del proyecto. Debe lograrse concordancia entre la técnica y la cultura, a través de metodologías de comunicación que logren la participación activa del poblador afectado por el proyecto.

Demostrado está, que un proyecto logrará sus objetivos si y solo si se logra la participación de los diferentes actores sociales directos o indirectos.

### Recubrimiento de laderas con vegetación:

Para la consolidación de los taludes, son adecuadas las medidas técnicas como drenaje, construcción de terrazas, muros de drenaje, muros de contención, etc., pero principalmente la forestación de tipos de árboles de raíces profundas, plantaciones de arbustos y diferentes tipos de construcciones de ingeniería biológica. La finalidad principal de los métodos de superficies con materiales vivos es cubrir y proteger la superficie de laderas amenazadas o dañadas. Con la aplicación de un gran número de plantas, semillas o trozos de plantas por unidad de superficie, se protegerá la superficie del suelo contra el impacto de lluvias intensas, corrientes de agua, viento, nieve, granizo y otras formas de erosión.

Entre las medidas de recubrimiento vegetal de laderas, se puede tomar en cuenta las recomendaciones de la FAO:

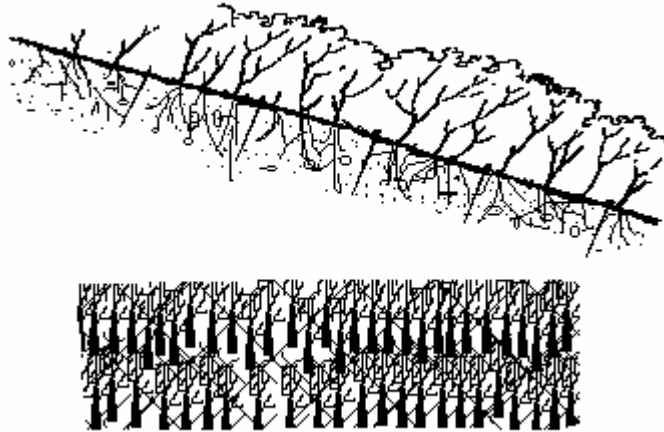
#### a) Construcción de colchones de ramas:

Se introducen en el suelo estacas de madera o de acero con ganchos con una profundidad de unos 20 cm. y espaciadas cada 60 a 80 cm. A continuación se colocan ramas vivas en el suelo, suficientemente próximas como para establecer una cubierta completa. Es fundamental que los extremos de las ramas queden bien cubiertos con una capa superior de suelo, de tal modo que puedan enraizar, en lugar de secarse o ser arrastrados por el agua. Los colchones de ramas se protegen normalmente con fajas, postes de madera, empalizadas trenzadas o rellenos de piedra.

El colchón de ramas (ver imagen 14) se sujeta al terreno con alambre, ramas cruzadas, fajinas o empalizadas trenzadas en hileras distanciadas de 80 a 100 cm. En áreas con lluvias intensas y pendientes pronunciadas, los colchones de ramas pueden ser anclados con mayor seguridad utilizando malla metálica o un material similar. Si no se dispone de suficientes plantas vivas, podrán ser utilizadas en parte plantas leñosas muertas, pero deberá entremezclarse muy bien el material vivo y el material muerto para lograr un crecimiento homogéneo.

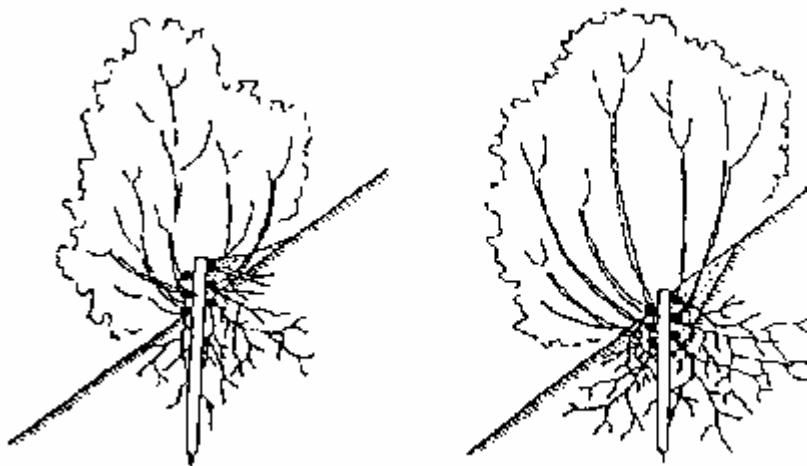
El empleo de materiales vivos ayuda a lograr un efecto permanente, ya que continúan su desarrollo acelerando la formación de una cobertura vegetal estable.

Imagen N° 14: colchones de ramas:



b) Empalizadas trenzadas:

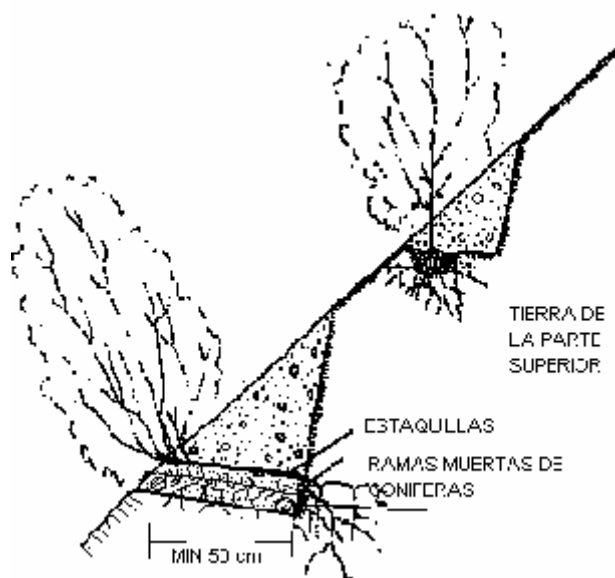
Imagen N° 15: empalizadas:



c) Cordones:

Se prepara una pequeña terraza horizontal cerca del pie de la ladera. El suelo que se extrae para construir la primera terraza se vuelca al pie de la ladera (ver imagen 16).

Imagen N° 16: construcción de cordones



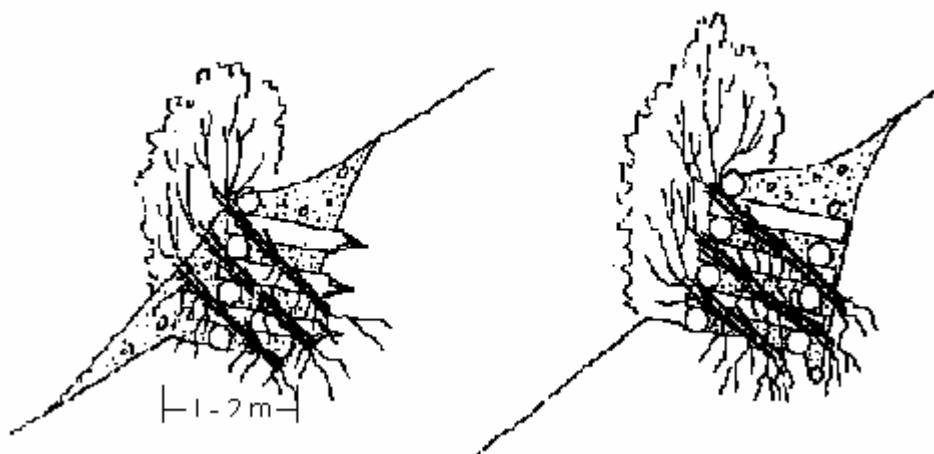
Si el fondo de la terraza excavada es de un material muy duro y compacto, y no puede penetrar las raíces, debe mullirse. A continuación se colocan las plantas elegidas sobre la superficie de la terraza, de tal forma que se mantengan en pie completamente derechas. Para sujetarlas hay que cubrir las plantas con tierra.

Posteriormente se construye la terraza siguiente. Cuanto más inclinada sea la ladera, más estrecha debe ser la terraza. La distancia entre terrazas sucesivas depende principalmente del material del terreno y de su tendencia a deslizarse. El material sobrante, en lugar de volcarlo, se deja deslizarse con suavidad hacia abajo, a la terraza inferior; de esta manera las plantas de la terraza inferior se cubren de tierra y la terraza excavada se rellena por completo. Solamente sobresalen las plantas vivas. El proceso se repite avanzando hacia arriba hasta llegar a la cumbre de la ladera.

d) Fajinas de ladera:

Se colocan fajinas de plantas leñosas vivas en zanjas con un ancho y profundidad de 30 a 50 cm. Cada fajina estará formada con por lo menos cinco ramas de pequeño diámetro. Las ramas colocadas en las zanjas enraízan sin mucha dificultad porque están en contacto con el suelo.

Imagen N° 17: Muros de sostenimiento de madera con lechos de ramas para la estabilización del pie de una ladera.



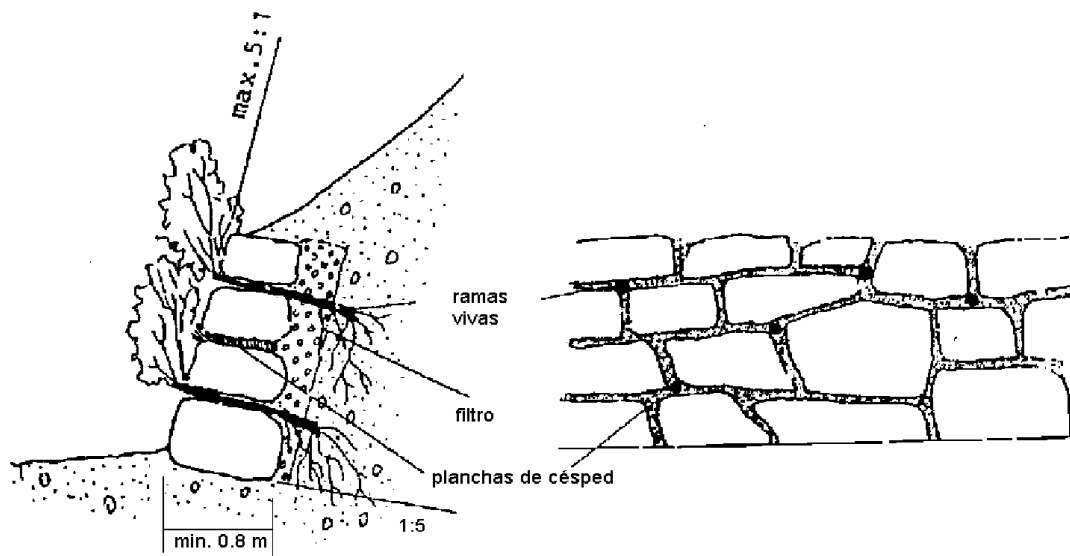
Las fajinas de ladera se fijan con estacas vivas o muertas de 60 cm. de longitud como mínimo, colocadas a intervalos de 80 cm.

e) Plantación de juntas de muros:

Se hincan estaquillas en las juntas de muros de piedra y de montones de piedra sin mortero. Deben ser suficientemente largas para penetrar en el terreno existente detrás de los muros. Para esta operación, puede emplearse una barra larga o un pico. Después de haber plantado las juntas, es conveniente llenarlas con arena seca o con material fino húmedo.

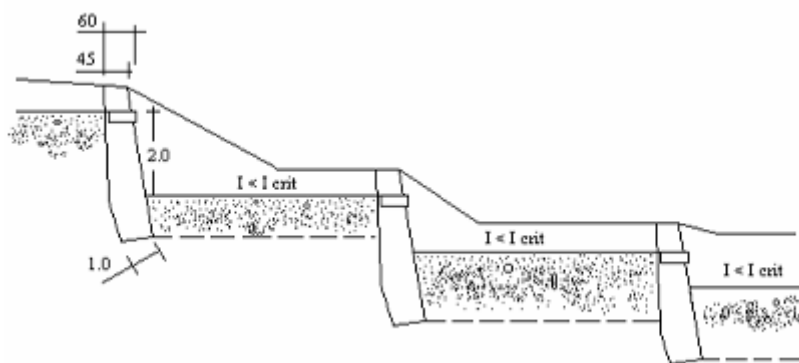
Las estaquillas deben ser colocadas de forma irregular; en ninguna circunstancia deben alinearse, porque su apariencia sería demasiado artificial. Deben colocarse por lo menos dos estaquillas por metro cuadrado. En áreas sujetas a una presión considerable (laderas donde son frecuentes los aludes o barrancos con fuerte movimiento de arrastre), deben emplearse cinco estaquillas por metro cuadrado. En lugares secos las estaquillas crecerán mejor en las juntas del sistema del terraplén, donde se retiene humedad, que en un suelo sin protección.

Imagen N° 18: muros de piedra recubiertos de vegetación.



Obras Civiles  
Tramo medio

Imagen N° 19: Presas de retención



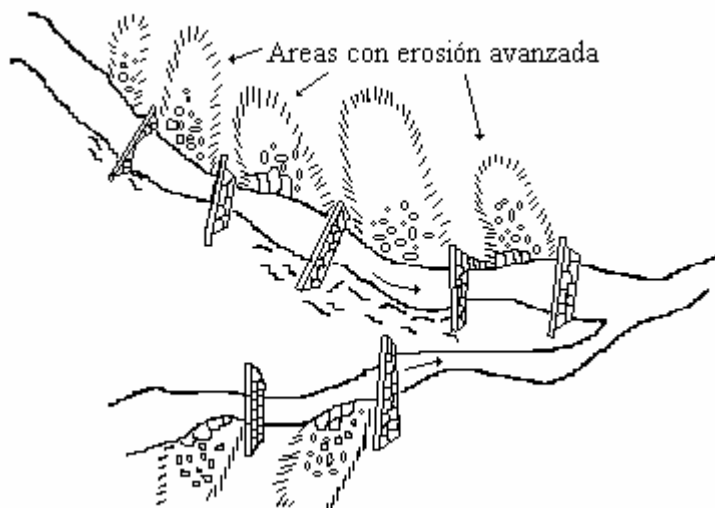
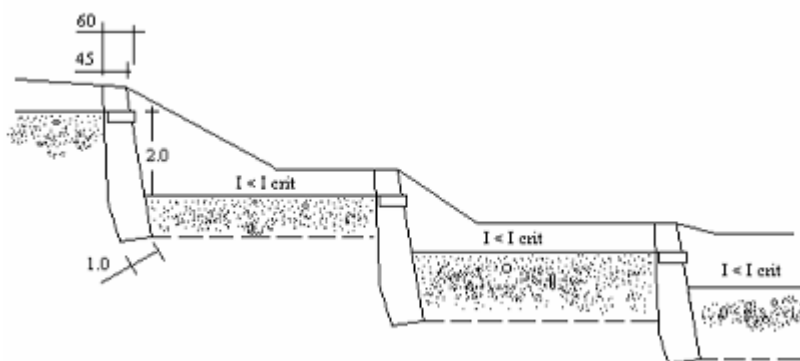


Imagen N° 20: Estructuras transversales para reducción de la pendiente

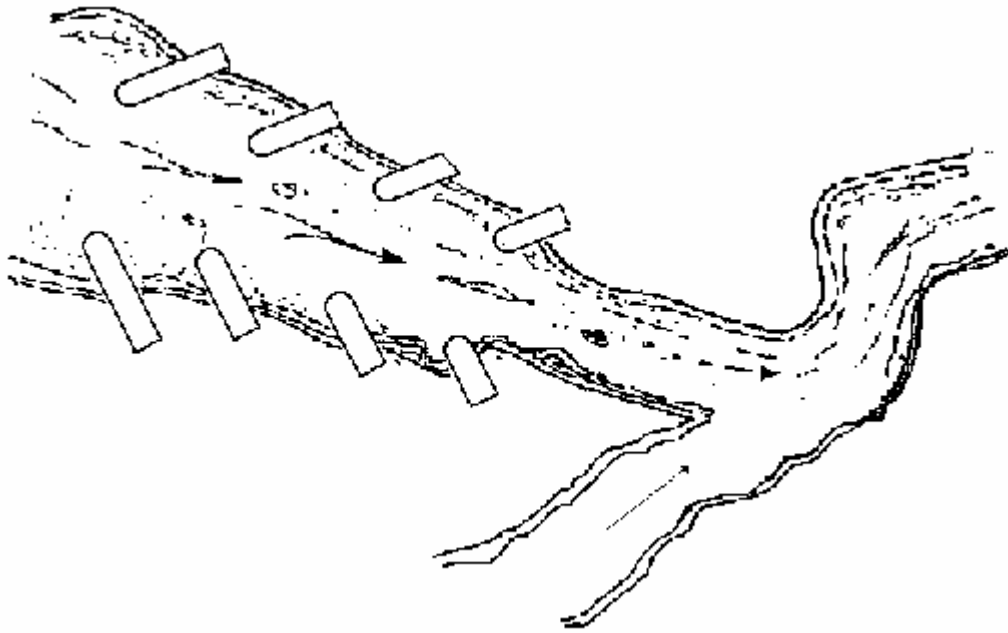


Cono de deyección:

El control del cono de deyección estará relacionado a la necesidad de incrementar la capacidad de transporte del río en esta zona, a establecer un solo curso de escurrimiento y a consolidar o crear nuevas riberas.

El establecimiento de nuevas condiciones de estabilidad, requerirá importantes movimientos de tierra para desarrollar secciones con capacidad de conducción de los caudales líquidos y sólidos que provengan de aguas arriba, por lo que deberán concebirse medidas que permitan la formación del nuevo canal aprovechando la acción del agua. El escurrimiento de grandes masas de sedimentos durante las crecidas, será el instrumento para el propósito indicado; una aplicación de este criterio serán los espigones transversales como elementos de regulación.

Imagen N° 21: Disposición de espigones en el cono de deyección



La formación del nuevo curso es un proceso gradual en el que se presenta la sedimentación en los sectores ubicados entre cada espigón a consecuencia de una disminución en la velocidad de flujo. Durante este proceso y hasta alcanzar la estabilidad morfológica de la zona de influencia del proyecto, se presentarán modificaciones en la geometría del suelo a consecuencia de las deformaciones de la misma; por lo que las medidas que se apliquen deben considerar estructuras que permitan deformaciones sin afectar su estabilidad. Las estructuras rígidas serán entonces alternativas a ser consideradas en último lugar.

Es usual el uso de estructuras de gaviones los cuales permiten deformaciones en el suelo de fundación. Sin embargo es necesario tomar medidas complementarias para evitar el colapso a consecuencia de la rotura de los elementos metálicos. Esto se logra protegiendo el espigón con material granular grueso que tenga resistencia a las tensiones de corte que desarrolla el flujo, o aplicando revestimiento de hormigón simple. La aplicación de gaviones deberá considerar los procesos de erosión interna del material que se protege, por lo que deberá estudiarse la aplicación de elementos como filtros de geotextil en el perímetro de contacto entre la estructura y el suelo.

En muchos casos, las obras con gaviones, por los volúmenes de obra que representan, alcanzan costos que superan las posibilidades del proyecto, por lo que es necesario considerar otras alternativas manteniendo el principio de regulación que da lugar a la aplicación de este tipo de estructuras transversales.

Bajo este marco, pueden ser consideradas estructuras transversales de tipo poste-malla. Cada espigón consiste en postes de madera dura de 4 m de largo, anclados en el lecho con una profundidad de 2.5 m. y distanciados entre 3 a 4 m, de acuerdo a la ubicación del espigón. Se colocará malla de alambre galvanizado en toda la longitud del espigón, sujetando el conjunto con fierro de 1/2 pulgada de diámetro. La excavación y colocación de los postes se realizará con una pala retroexcavadora.

Para el funcionamiento exitoso de un sistema de estructuras poste- malla, deberá considerarse los siguientes conceptos:

- Definir y controlar las áreas protegidas.



- Ser flexibles y resistentes al impacto de piedras, ramas y troncos.

- Permitir la acumulación de material granular grueso entre espigones para desarrollar una nueva orilla.

- Tener costos de construcción inferiores a los tradicionales espigones de gaviones y al mismo tiempo lograr una larga vida útil.

- Ser estructuras sencillas, de simple ejecución y rápida construcción.

Así mismo, la acción conjunta de estas estructuras dará lugar al incremento de la rugosidad general de las riberas y, en consecuencia, se inducirá al desplazamiento de las zonas de mayor velocidad hacia el centro del curso logrando un efecto erosivo temporal en esta zona central.

Para una efectividad adecuada es importante que las obras actúen en conjunto, manteniendo como base de diseño los siguientes aspectos:

- Los espigones se construirán desde la ribera, disminuyendo el ancho general del cauce y delimitando la línea de cauce definitivo.

- El ángulo de desviación de los espigones respecto del eje del curso será de  $75^\circ$ .

Las primeras estructuras ubicadas aguas arriba serán las más solicitadas ya que recibirán el impacto mayor de la crecida, por lo que deberán ser construcciones de estructuras más resistentes (ej. gaviones).

Durante las crecidas el río transporta elementos que cubren los orificios de la malla (ramas, hojas, etc.) desarrollando, sobre la misma, solicitaciones similares a las ejercidas sobre una superficie compacta.

Frente a estas solicitaciones, cada poste actúa de manera individual teniendo como base resistente el empuje pasivo de un medio granular sumergido. La esbeltez de estos elementos determina que el sistema poste-malla adquiera resistencia menor a los espigones convencionales, por lo que su tratamiento deberá ser diferente. En este caso, la colocación de la malla de alambre se realizará por etapas, cada una con una altura máxima, que será función del material de protección que se coloque para recibir la lámina que supere el límite superior de la malla y que precipite en caída libre a manera de una estructura de caída.

En cada caso en particular se deberá diseñar el tipo de material que servirá de protección a la acción de la lámina vertiente.

En las primeras crecidas el río conducirá sedimentos que alcanzarán o superarán el límite físico superior de la malla. Una vez que el sedimento alcance este nivel se procederá al colocado de la malla en una segunda fila, tomando medidas de protección de la nueva orilla formada. Este procedimiento continuará hasta lograr el desarrollo del nuevo y definitivo curso.

Adicionalmente, se protegerá la cabeza del espigón con material de grano mayor (diámetros mayores a 50 cm.), para reducir las posibilidades de una soca-

vacación local. De acuerdo al caso se estudiarán otras medidas de protección complementarias.

Con el propósito de lograr la protección de zonas aledañas al río y mejorar las condiciones del medio ambiente de la zona de proyecto, se podrán ejecutar programas de reforestación en sectores contiguos a las nuevas riberas con base en la vegetación que se genere en los mismos espigones, estableciendo un área de seguridad.

El costo de estas obras podrá alcanzar valores de 25 % respecto a obras similares construidas con gaviones, logrando de esta manera el mismo efecto a un menor costo, en un marco de trabajo asociado al comportamiento natural del sector en tratamiento.

La protección de las riberas puede ser realizada por medio de muros de gaviones, mallas alveolares de geotextil de polipropileno, rellenas con hormigón simple, etc. En cada caso su diseño estará asociado a las tensiones de corte resistentes vs. las tensiones generadas por el escurrimiento.

## 11. CÁRCAVAS. CAUSAS DE SU FORMACIÓN. ETAPAS DE DESARROLLO. CLASIFICACIÓN. TÉCNICAS BIOLÓGICAS Y ESTRUCTURALES PARA LA CORRECCIÓN.

### Control de cárcavas

Como se describió anteriormente en la discusión sobre erosión por cárcavas, una cárcava es un zanjón o arroyo con fuertes taludes sujeto a grandes caudales esporádicos o intermitentes<sup>11</sup>.

Además de la pérdida de tierra agrícola, las cárcavas muchas veces transportan grandes cantidades de agua y sedimento causa disposición, al llegar a tierras planas, causan daños severos. Estos sedimentos entierran suelos más productivos y rellenan los cauces de los ríos causando desbordamiento.

El objetivo del control de cárcavas es establecer un nuevo equilibrio en el cauce, a través de una vegetación estable. La vegetación efectiva se caracteriza por el establecimiento de una alta densidad de plantas de baja altura, con sistemas radiculares densos y profundos. Para lograr el control de la cárcava es necesario tomar medidas a corto y a largo plazo porque es muy difícil y a veces imposible alcanzar el establecimiento de la vegetación directamente en una cárcava activa.

Por lo tanto es necesario en primer lugar modificar las condiciones en la cárcava (medio a corto plazo) para permitir el establecimiento de una vegetación estable a largo plazo. Por consiguiente, el control efectivo de la cárcava debe estabilizar tanto al gradiente del cauce, como el corte de la cabecera. Los pasos en el control o recuperación de una cárcava incluye:

- Protección del área contribuyente a la cárcava.
- Construcción de obras de recuperación dentro de la cárcava.
- Establecimiento de vegetación en el cauce de la cárcava.

Protección del área contribuyente:

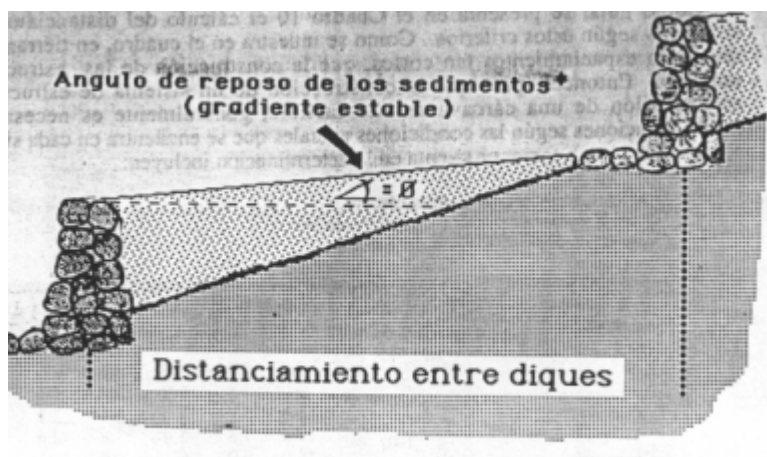
El área contribuyente de la cárcava se refiere a toda el área que drena hacia la cárcava. Es importante proteger esta zona para reducir la cantidad y velocidad de las aguas que se concentran en la cárcava. Una buena cobertura vegetativa intercepta y disipa la fuerza erosiva de la lluvia, protegiendo contra el golpe de las gotas, aumentando la infiltración y reduciendo la velocidad de la escorrentía.

Para proteger el área contribuyente se debe establecer o aumentar la cobertura vegetativa por la reforestación y/o siembra de pastos. En las tierras agrícolas se debe incorporar la conservación de suelos a través de un sistema de obras físicas y medidas agronómicas.

---

<sup>11</sup> TRAGSATEC., *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*, Edición Mundi – Prensa(ed), Madrid, 1994.

Imagen N° 22: Construcción de obras de recuperación (muros o diques)



Las obras de recuperación tienen el propósito de proteger el corte de la cabecera de la cárcava y al mismo tiempo, reducir la velocidad del flujo y disminuir el gradiente (Pendiente) en el cauce. Se construyen estas obras en los puntos críticos de la cárcava, como en el corte de la cabecera, donde hay un cambio en la dirección de flujo o un cambio brusco en el gradiente y en intervalos regulares a lo largo del fondo del cauce.

**Materiales:** se deben utilizar los materiales más disponibles en el sitio. Generalmente, la piedra es el material más abundante, duradero, fácil de trabajar y económico para la construcción. Sin embargo, se pueden utilizar troncos, postes, tablas o una combinación con tallos leñosos.

**Diseño:** la obra de recuperación, ya sea de piedra o de madera, está constituida por la cortina, el vertedero y el delantal. La cortina retiene el agua, reduce la velocidad, aumenta la infiltración y acumula los sedimentos que se depositan. El vertedero permite la salida en forma controlada de las aguas acumuladas por la cortina. El delantal o piso protector, absorbe la mayor parte de la energía del agua que pasa por el vertedero, evitando que la corriente socave el pie de la cortina.

**Especificaciones:** se construye la cortina del muro o dique según las dimensiones de la sección transversal de la cárcava en el sitio seleccionado. Las estructuras más grandes serán según el flujo y mucho más caros. Además, se recomienda construir un número mayor de estructuras pequeñas en lugar de unas pocas estructuras de gran tamaño. Por ejemplo, en el tramo de una cárcava de 30 metros es preferible construir 6 muros de 50 cm. de altura a 10 metros de distancia uno al otro.

Con mayor número de muros pequeños hay más estabilidad en el gradiente del lecho y mayor reducción en la velocidad de la corriente del agua

Una buena regla en el campo es no pasar de 1.5 metros de altura total en la cortina. Además, el lado aguas abajo de la cortina de los muros de recuperación de piedra, debe tener un declive desde la corona y debe estar bien empotrado tanto en el fondo del lecho como en los taludes. Se recomienda que se profundice la base y los taludes unos 30 cm. por cada metro de altura de la cortina.

El delantal debe estar bien empotrado al pie de la cortina aguas abajo. El empotramiento del delantal es muy importante para que resista la fuerza de la caída

da del agua que descarga por el vertedero. Esta superficie debe de extenderse en una faja continua, al pie de la cortina, a lo ancho del fondo del cauce. Se recomienda que el delantal alcance el mismo ancho, en su dirección aguas abajo, que la altura total del muro o dique.

El distanciamiento de las obras de recuperación es un cálculo complejo basado en las características físicas de la cárcava y de la corriente máxima. La distancia entre una obra y la otra debe estar calculada para que el nuevo lecho, sobre acumulación de sedimento, forme un cauce con gradiente estable entre los dos. El gradiente estable de los sedimentos depende de las mismas características físicas de ellos y de las características de la corriente de agua. Sin embargo, se complica la determinación de esta gradiente por el hecho de que los sedimentos son mezclas de material de distintas clases y por la distribución de tamaño de las partículas.

En el campo, muchas veces es posible determinar el gradiente estable del sedimento de un sitio revisando el canal. El gradiente actual de las acumulaciones de sedimento atrás de los obstáculos naturales o estructuras antiguas, provee una indicación directa del gradiente estable según las condiciones de la zona

Para la construcción más eficiente de un sistema de estructuras y mayor estabilidad a largo plazo, la distancia entre diques debe ser tal que el depósito de sedimento llegue al delantal de demasiado corto (Intervalo insuficiente); el delantal de la próxima obra (aguas arriba) queda enterrado por el sedimento y no se aprovecha eficientemente su capacidad de captación de las obras. Con un distanciamiento demasiado largo, el delantal del próximo queda aislado arriba del límite de deposición y está expuesto a socavación por la profundización del canal en el tramo aguas abajo.

Para que la construcción de un sistema de estructuras de control y recuperación de una cárcava resulte factible, generalmente es necesario modificar las recomendaciones según las condiciones actuales que se encuentran en cada situación específica.

Algunos factores a tomar en cuenta en la determinación incluyen:

- Gradiente formal y tamaño de la cárcava.
- Cantidad y clase de material disponible en el sitio.
- Capacidad y disponibilidad de mano de obra.

Establecimiento de vegetación permanente:

Una vez estabilizado de nuevo el gradiente del fondo del zanjón, se puede proceder a la rehabilitación directa de la cárcava. Los dos pasos para la rehabilitación son: 1. La reducción de la inclinación de los taludes; y 2. La siembra de la vegetación protectora.

Debido a la profundización del canal, la cárcava generalmente desarrolla taludes fuertemente inclinados o escarpados. Antes de establecer una vegetación permanente, es necesario reducir la inclinación de los taludes. Se logra esta reducción de la inclinación, reformando los taludes en una forma más uniforme y estable con pendientes más largas y menos inclinadas.

Con la reducción de la velocidad del agua en la cárcava, es posible restablecer la vegetación en el lecho. Como previamente se menciona, una vegetación

estable se caracteriza por una plantación de alta densidad de plantas de baja a mediana estatura, con sistemas de raíces densos y profundos. Los pastos llenan bien estos requisitos.

## 12. OBRAS DE CORRECCIÓN. CLASIFICACIÓN Y PROPÓSITOS. OBRAS EN LA CUENCA DE RECEPCIÓN, GARGANTA Y LECHO DE DEYECCIÓN. ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE DIQUES

Obras de control en un río de montaña:

Las medidas de control de un río de montaña forman parte de un programa o de un proyecto de manejo de la cuenca y tienen por objeto tomar control de los escurrimientos y corregir gradualmente los estados de inestabilidad geomorfológica hasta alcanzar niveles adecuados de régimen.

Estas medidas estarán asociadas a las características propias que presente cada zona o sector componente de la cuenca<sup>12</sup>.

Cuenca receptora:

El control de la cuenca receptora comprende las medidas orientadas a reducir el movimiento de masas de suelo, de manera que la carga de sedimentos sobre las zonas del torrente ubicadas aguas abajo sean menores a la capacidad de transporte de estos sectores.

Entre las medidas que pueden ser consideradas, se mencionan las siguientes:

- Forestación.
- Recubrimiento de laderas con vegetación.

Para la consolidación de los taludes, son adecuadas las medidas técnicas como drenajes, construcción de terrazas, muros de drenaje, muros de contención etc., pero principalmente la forestación de árboles de raíces profundas, plantaciones de arbustos y diferentes tipos de construcciones de ingeniería biológica.

La finalidad principal de los métodos de superficies con materiales vivos es cubrir y proteger la superficie de laderas amenazadas o dañadas. Con la aplicación de un gran número de plantas, semillas o trozos de plantas por unidad de superficie, se protegerá la superficie del suelo contra el impacto de lluvias intensas, corrientes de agua, viento, nieve, granizo y otras formas de erosión.

Entre las medidas de recubrimiento vegetal de laderas, se puede tomar en cuenta las siguientes:

- Construcción de colchones de ramas.
- Empalizadas trenzadas.
- Cordones.
- Fajinas de ladera.
- Plantación de juntas de muros.
- Muros de piedra recubiertos de vegetación.
- Recubrimiento con césped y estructura alveolar de geotextil.

---

<sup>12</sup> TRAGSATEC., *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*, Edición Mundi – Prensa(ed), Madrid, 1994.

Garganta:

- Obras Civiles
- Presas de retención

Estas obras tienen la misión de retener el material erosionado en los sectores más altos y que es transportado hacia la zona media de la cuenca. La construcción de estas estructuras permite al mismo tiempo reducir la pendiente de la solera del curso en la zona de aplicación.

La ubicación de las presas de retención dependerá de los aspectos siguientes:

- Presencia de sectores con mayor movimiento de masas de suelo.
- Topografía del sector que permite la mayor acumulación de material sólido.
- Lugar de la obra con estructura geológica favorable a su construcción.
- La sección transversal será angosta de manera que los costos de construcción y mantenimiento no superen los niveles de inversión previstos.

Es evidente que en muchos casos no se pueden cumplir las condiciones indicadas, por lo que se tendrán que postergar aquellas de menor importancia.

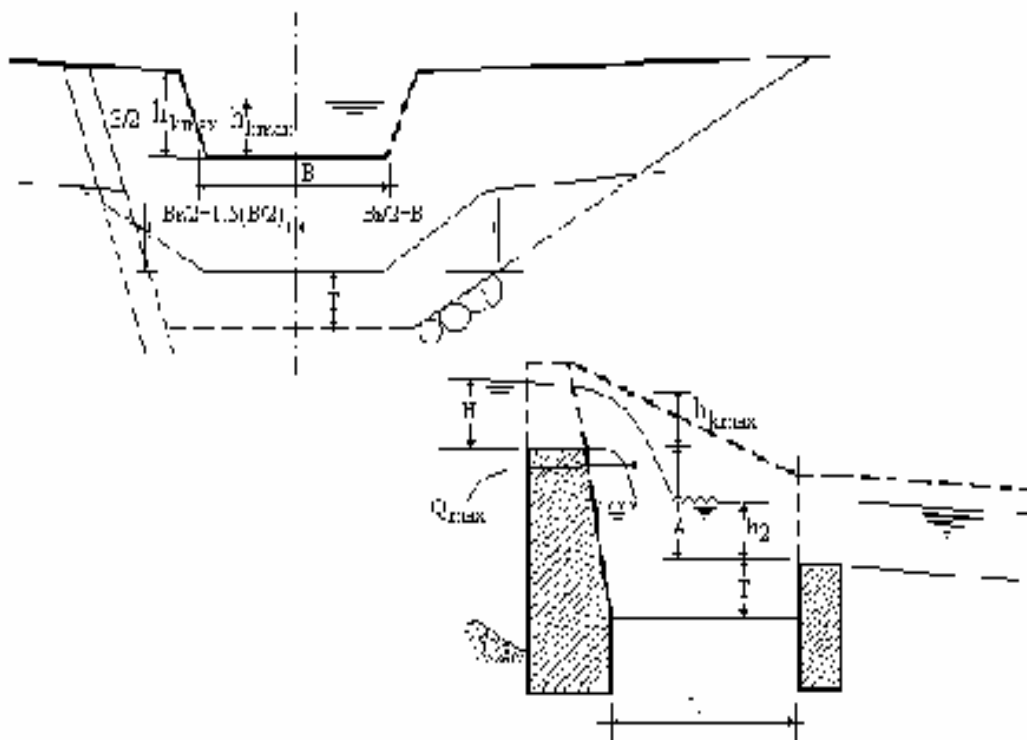
Las dimensiones de la presa o muro de retención están asociadas a los volúmenes de retención deseados, por lo que sus dimensiones serán función de la altura de represamiento.

El dimensionamiento hidráulico tomará en cuenta la regulación de la trayectoria del curso principal, las condiciones geológicas, el caudal y las necesidades de disipación de energía cinética al pie del muro. Los dos primeros aspectos tienen que ver con la ubicación del vertedero, que definirá la trayectoria de la corriente y la conveniencia de ubicar esta obra cerca de la ribera que ofrezca mejores condiciones geológicas.

La determinación de los caudales de crecida, definirá las dimensiones geométricas del vertedero. El flujo, al superar la estructura, se precipitará en caída libre sobre la solera por lo que es necesario construir obras complementarias que logren disipar la energía cinética y devolver las aguas al medio físico en condiciones menos agresivas.



Imagen N° 23: Esquemas de una presa de retención



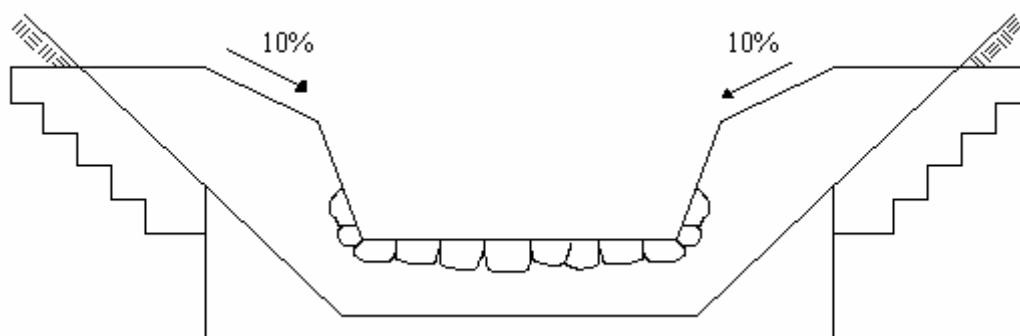
Desde el punto de vista de la estabilidad de la estructura, pueden ser considerados los siguientes aspectos:

- Es recomendable para presas de retención que se construyan de hormigón (con armadura o sin armadura), utilizar dosificaciones de cemento mayores. Para presas sin armadura se recomienda una dosificación de cemento de 250 Kg. y para estructuras armadas 300 Kg. por metro cúbico.
- La excavación para las fundaciones se realizará de manera escalonada o paralela a los flancos de la presa.
- El hormigonado se realizará en capas horizontales, de manera que sea posible que las juntas dentadas permitan conformar un cuerpo sólido, compacto y de una sola unidad.
- En los casos de estructuras armadas, la armadura deberá contar con un revestimiento de por lo menos 5 cm.

Complementariamente, será útil observar las consideraciones hidráulicas adicionales siguientes:

- Deberá diseñarse la estructura de manera que no sea posible que las aguas superen el límite físico de los alerones que conforman el vertedero, por lo que en general tienen una inclinación hacia el eje del vertedero de 1:10.

Imagen N° 24: Inclínación de los alerones de una presa de retención



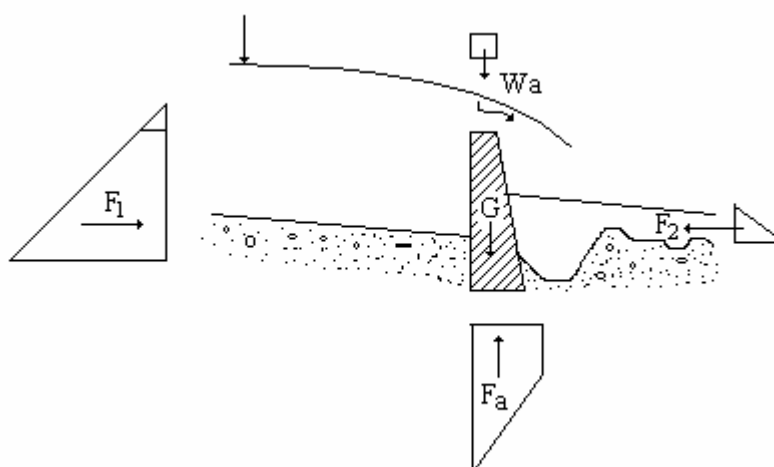
La lámina vertiente se precipitará sobre la solera inmediatamente aguas abajo socavando el sector, por lo que deberán preverse medidas de disipación de energía.

Para reducir la acción de la presión hidrostática se aplican orificios, denominados barbacanas, que se disponen al tres bolillo y que atraviesan el muro; en los casos de sedimento fino se deberá prever filtros naturales o artificiales.

Este tipo de obras deben tener coeficientes de seguridad mayores a los utilizados en muros de sostenimiento convencionales, por cuanto el material que retienen es no compactado, que en situaciones de colapso dan lugar a la formación de masas fluyentes (mazamorras) cuya acción devastadora es normalmente mayor a la generada por una avenida líquida.

Para el diseño estático deben considerarse los siguientes estados de carga:

Imagen N° 25: Antes de la sedimentación



Donde:

$F_1$ : Fuerza hidrostática de aguas arriba.

$F_2$ : Fuerza hidrostática de aguas abajo.

$F_{p+R}$ : Resistencia del perímetro, incluida la fricción.

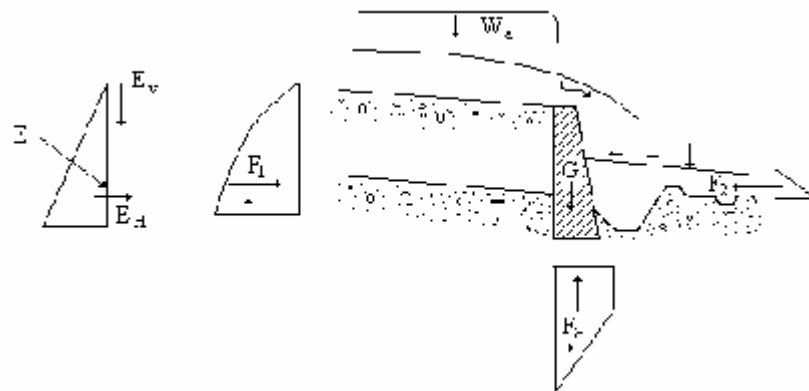
G: Peso propio del muro.

W<sub>a</sub>: Carga de agua sobre el coronamiento del muro.

F<sub>a</sub>: Fuerza de empuje.

Se despreciarán las fuerzas que resultaren de pequeña magnitud, en este caso F<sub>2</sub>, W<sub>a</sub> y en algunos casos inclusive F<sub>a</sub>.

Imagen N° 26: Inmediatamente después de la sedimentación



Donde:

E: Empuje activo del material sedimentado.

E<sub>H</sub>: Componente horizontal del empuje activo.

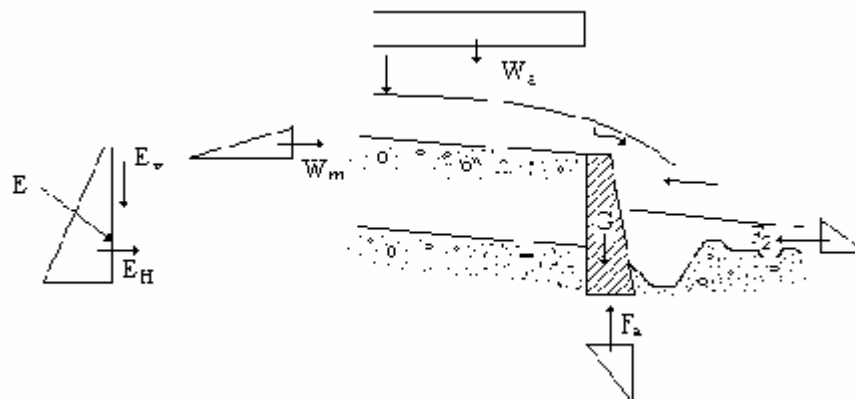
E<sub>V</sub>: Componente vertical del empuje activo.

F<sub>1</sub>': Presión hidrostática considerando la acción de filtración que generan las barbacanas.

Las fuerzas que pueden despreciarse, para facilitar el cálculo son F<sub>2</sub>, W<sub>a</sub>, E<sub>V</sub> y en algunos casos inclusive F<sub>a</sub>. Así mismo puede considerarse que F<sub>1</sub>' + E<sub>H</sub> = F<sub>1</sub>.

- Después de la colmatación total del embalse de retención, los flancos de la presa intactos.

Imagen N° 27: Embalse colmatado y flancos intactos



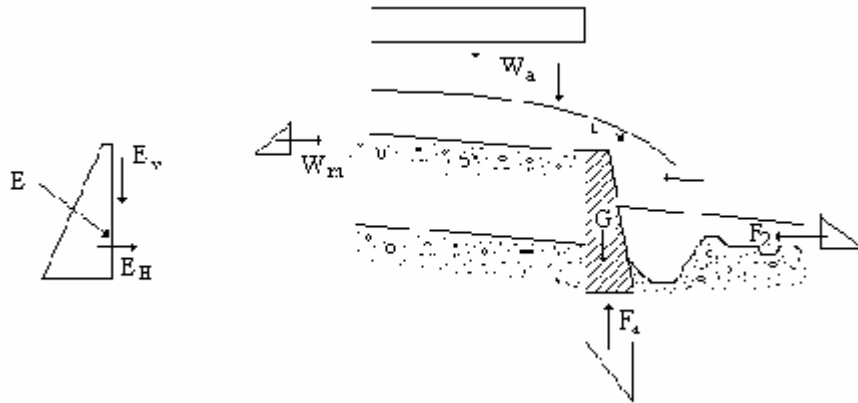
Donde:

$W_m$  Fuerza generada por el movimiento de mazamorra sobre los alerones que forman el vertedero.

Se pueden despreciar  $F_2$ ,  $W_a$ ,  $E_v$  y en algunos casos inclusive  $F_a$ .

- Después de la colmatación total del embalse de retención, los flancos de la presa erosionados o socavados.

Imagen N° 28: Embalse colmatado y flancos socavados



Donde:

$F_R$ : Fuerza generada por la fricción entre el muro y los flancos.

$F_o$ : Fuerza hidrostática sobre los alerones.

Se podrán despreciar  $F_2$ ,  $W_a$ ,  $E_v$  y en algunos casos inclusive  $F_a$ .

La fuerza hidrostática  $F_2$  adquiere magnitudes pequeñas, debido a los valores que alcanza el tirante en ese sector, por lo que normalmente no se la toma en cuenta.

La fuerza de empuje puede no ser considerada por las siguientes razones:

- El área de acción normalmente no alcanza grandes valores.
- La fuerza de empuje, comparada con el peso propio del muro, resulta en muchos casos pequeña.
- La fuerza de empuje en los flancos del muro se debilita.

De igual modo, la carga sobre el coronamiento normalmente no es considerada, debido a los pequeños valores que alcanza el ancho del coronamiento.

En los casos de cuencas con tendencia a la formación de mazamorras, deben considerarse las fuerzas que originan este movimiento, aunque el fenómeno no es conocido plenamente y un cálculo preciso puede resultar difícil.

Para una primera aproximación, el cálculo puede ser realizado considerando un peso específico de fluido de 1.4 ton/m y una velocidad de acercamiento de 15 Km. /h, desplazándose en capas de 1 de altura.

### 13. PLANIFICACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS. NIVELES DE ESTUDIO. ORGANIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS. LINEAMIENTOS BÁSICOS DE UN PLAN DE MANEJO.

La planificación del fomento de cuencas hidrográficas:

La planificación consiste en decidir una actividad y la forma en que debe desarrollarse. Reviste una importancia particular en relación con las cuencas hidrográficas<sup>13</sup>. Los problemas que plantea una zona de recepción con frecuencia se hallan tan entremezclados y son tan complejos que resulta difícil decidir por dónde debe empezarse. Además, suele ocurrir que la solución de problemas que en un primer examen pueda parecer clarísima, se ve luego, cuando se procede a una investigación más detenida, que depende de la solución previa de otros problemas más fundamentales.

Por ejemplo, no es raro que una zona de captación de aguas exija la construcción de terrazas para combatir la escorrentía superficial y que, al mismo tiempo, resulte imposible construir tales terrazas hasta que se haya encontrado algún medio para la racionalización de un régimen de propiedad de tierras basado en una excesiva parcelación. En modo análogo, en algunas zonas, la necesidad de repoblaciones forestales es evidente, pero tales repoblaciones no tendrían éxito alguno en tanto no se introdujeran algunos cambios en las servidumbres tradicionales de pastoreo en esos terrenos.

Suele también ocurrir con cierta frecuencia que un aspecto del fomento de una cuenca de recepción dependa de lo que se haga en otros lugares. La capacidad de acumulación de limo con que se proyecten los embalses dependerá parcialmente de las medidas que se adopten para combatir la erosión en los terrenos de la zona de captación. Los planes para la regulación del pastoreo suelen depender de la posibilidad de disponer de otra fuente de forrajes para los animales. Todos estos aspectos del mejoramiento de las cuencas hidrográficas están relacionados entre sí, siendo necesaria una minuciosa planificación si se quiere que los trabajos tengan éxito positivo.

Si bien los trabajos de mejoramiento de cuencas hidrográficas pueden dar resultados sorprendentes, exigen tiempo y dinero y, si se quiere evitar todo malgasto de ambos, la planificación de cada proyecto debe recibir una atención muy particular. Es trágico perder diez o quince años de trabajo por haberse tratado de establecer una cubierta forestal en terrenos no aptos para ello. Constituye, también, un malgasto de recursos construir obras de ingeniería condenadas al entarquinamiento a breve plazo por no haberse prestado la atención debida a combatir la erosión aguas arriba.

Constituye un doble malgasto dedicar tiempo y dinero a trabajos de mejoramiento del terreno llamados a deteriorarse, por no haberse previsto el menor plan para su mantenimiento. El costo de una minuciosa planificación, de los programas de mejoramiento de cuencas hidrográficas, es reducido en comparación con las enormes inversiones que con frecuencia deben efectuarse de fondos tanto públicos como privados. En aquellos países donde escasean los capitales disponi-

---

<sup>13</sup> Sheng, T.C., *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas*, FAO, Roma, 1992.

bles, debe procurarse la utilización adecuada de los mismos y no su derroche a causa de deficiencias en la planificación de los proyectos.

Los planes para la ordenación de cuencas hidrográficas se proponen dos objetivos. En primer lugar, constituir un medio para obtener la autorización a invertir fondos y a realizar los trabajos. Nunca se dispone de dinero y de tiempo suficientes para todos los trabajos de mejoramiento, por lo que hay que elegir entre los diversos proyectos. La mejor forma de hacer esta elección es comparando los planes de proyectos optativos. Es difícil decidir en qué zona de recepción conviene invertir el capital si se desconoce el costo probable y los posibles resultados de cada proyecto.

Ambas cosas pueden conocerse gracias a los planes correspondientes y, mientras más perfecta sea la planificación, más fidedignos serán los datos en cuanto a costos y resultados. Además, mientras mejor sea la planificación del proyecto, mayores garantías tendrán los administradores de que los desembolsos propuestos conducirán en realidad a los resultados previstos. En muchas administraciones nacionales la aprobación de un proyecto de obras como las relativas al mejoramiento de cuencas hidrográficas suele ser larga, e implica la decisión de muchas personas. Un informe detallado sobre los planes del proyecto puede ser un medio muy útil para simplificar y acelerar esta aprobación oficial.

El segundo objetivo de la planificación es servir de guía en los trabajos que deban efectuarse. Esto reviste una importancia particular porque en casi todas las cuencas hidrográficas la labor exige una gran variedad de medidas cuya responsabilidad recae en muchas personas, tanto particulares como funcionarios del gobierno. Asimismo, con frecuencia, la responsabilidad de la labor del gobierno se reparte entre diversas oficinas u organizaciones. Así, por ejemplo, al servicio de extensión le incumbe asesorar a los agricultores sobre sistemas de cultivos que reduzcan a un mínimo la erosión de las tierras labrantías.

El servicio forestal puede encargarse de las actividades de repoblación y de protección contra incendios. Al servicio de obras públicas le corresponde la construcción de presas, etc. Un plan previamente convenido para la totalidad del programa de mejoramiento de cuencas hidrográficas hace posible la necesaria coordinación entre las diversas oficinas. Sirve a la vez para esclarecer lo que puede hacer el gobierno y lo que incumbe hacer a los usuarios de la tierra.

Un plan preparado con detenimiento mostrará el orden cronológico de las operaciones, haciendo ver, por ejemplo, que deben adoptarse determinadas medidas de tratamiento del terreno para combatir la erosión antes de construir embalses para la contención de inundaciones, eliminando así la posibilidad de que los mismos queden rápidamente cegados por los materiales edáficos arrastrados desde las tierras altas por corrientes superficiales destructoras. El plan puede indicar también el momento de ejecución de aquellas actividades que influyen sobre los ingresos de los agricultores, de forma que, en la medida de lo posible, las que se aborden primero conduzcan a mayores ingresos, permitiendo que los particulares puedan financiar fases posteriores de los trabajos necesarios.

#### Organización de la planificación del fomento de cuencas hidrográficas:

Toda oficina o departamento encargado del mejoramiento de las cuencas hidrográficas necesita contar con una dependencia que se ocupe de la planificación. La naturaleza de esta dependencia estará supeditada, por supuesto, a muchos factores, como por ejemplo el alcance de los trabajos que deban emprenderse y la naturaleza de las atribuciones de la oficina gubernamental respecto del programa.

Un programa de mejoramiento de cuencas hidrográficas de un servicio forestal responsable en zonas forestales de dominio público, será distinto del de una organización encargada del complejo de problemas que suscitan las cuencas de recepción que son objeto de toda clase de aprovechamientos y contienen tierras tanto privadas como de dominio público. En modo análogo, las necesidades de la planificación y los organismos encargados de planear los proyectos han de ser distintos.

Existen, sin embargo, algunos principios generales que pueden constituir una guía muy útil para organizar grupos encargados de la planificación del mejoramiento de las cuencas hidrográficas, cualquiera que sea la magnitud del proyecto y la naturaleza de los problemas técnicos que entran en juego. En primer lugar, el organismo planificador debe ser parte integrante del organismo encargado de la ejecución práctica.

El grupo planificador, si está orgánicamente separado de la entidad encargada de llevar a la práctica los mejoramientos planeados, no verá convertirse sus planes en realidad tangible, a la vez que el organismo encargado de la ejecución práctica encontrará probablemente difícil utilizar los planes preparados por un grupo independiente, por no tenerse en estos debidamente en cuenta los problemas prácticos inherentes a la ejecución de los trabajos.

El planeamiento y la ejecución práctica deben discurrir paralelamente y en estrecho contacto. Por supuesto, deberá existir un cierto grado de especialización. No todos los miembros del personal han de tomar parte a la vez en el planeamiento y en la ejecución del proyecto. La solución más satisfactoria suele ser formar un pequeño equipo planificador con sede en el organismo ejecutor, existiendo así un contacto continuo entre planificadores y encargados del aspecto práctico.

Un segundo principio que puede orientar la estructuración de un organismo planificador es que, entre el personal encargado de la planificación deben figurar expertos cuyos campos de actividad abarquen todos los aspectos del mejoramiento de las cuencas hidrográficas que concurren en las zonas en estudio.

Por ejemplo, un equipo planificador para el mejoramiento de cuencas hidrográficas en montes de régimen público puede exigir solo un hidrólogo, un forestal y un ingeniero de montes. En cambio, un organismo planificador que deba encargarse de cuestiones relacionadas con las tierras labrantías y de pastoreo, así como con los montes y con tierras de régimen tanto privado como público, exigirá las funciones de expertos de otras clases. Un organismo planificador de este tipo debe poseer competencia técnica en ordenación de pastizales y en agronomía y, asimismo, contar con expertos calificados y con experiencia en el campo de la economía de la empresa agrícola, la tenencia de tierras y otros aspectos institucionales que condicionan la vida y la renta de la población rural.

Casi siempre se observará que el personal más satisfactorio para un organismo planificador es aquel que posee una cierta experiencia práctica en programas activos, con una capacitación especial en sus respectivos campos técnicos. La experiencia práctica es tan importante como una capacitación superior.

En el caso de algunos trabajos especiales de mejoramiento de cuencas hidrográficas, la necesaria planificación deberá realizarla el propio personal encargado de la ejecución del proyecto. Esto es así, sobre todo, en los trabajos de investigación y en los proyectos experimentales. En estos casos, la magnitud del programa total suele ser tan reducida que no justifica un organismo separado para la planificación.

Además, en los proyectos de investigación y experimentales las consideraciones relativas a la recogida y análisis de datos y las relaciones íntimas que existen entre los planes de trabajo y los resultados que deben evaluarse aconsejan encomendar la necesaria planificación del proyecto directamente al personal ejecutivo, en lugar de hacerlo a una dependencia planificadora separada.

Tipos de planes de mejoramiento de cuencas hidrográficas:

No es necesario entrar en los detalles de los proyectos de ingeniería, en relación con el mejoramiento de las cuencas hidrográficas. De los detalles constructivos de las estructuras para la contención de aguas, combate de la erosión y otros objetivos afines tratan suficientemente muchas obras clásicas de ingeniería. Conviene observar, sin embargo, que los aspectos no referentes a la ingeniería merecen una atención igualmente detenida.

Es esencial un minucioso y detallado planeamiento (proyecto) de un programa de repoblación para una cuenca hidrográfica particular, o de una campaña educativa que mueva a los usuarios de la tierra a adoptar métodos de cultivo que frenen la erosión. En el mejoramiento de cuencas de recepción el tiempo y el dinero son los elementos que más escasean, y estos pueden economizarse contando con un proyecto detenidamente preparado o con planes de trabajo para cada aspecto del programa.

En los trabajos de ingeniería, los especialistas altamente capacitados dedican gran parte de su tiempo al planeamiento metódico de las actividades que deben desarrollarse. La misma política tiene que seguirse en otros aspectos prácticos del mejoramiento de las cuencas hidrográficas.

No es fácil trazar una divisoria entre la planificación y el proyecto, si bien conviene diferenciar estos conceptos. En líneas generales, la planificación se refiere a la formulación de decisiones en cuanto a lo que debe hacerse, y el proyecto a la forma en que debe hacerse. Desde el punto de vista de la ingeniería, el proyecto suele referirse al planeamiento de las estructuras en detalle como guía para los encargados de construirlas.

Esto mismo puede aplicarse a otros aspectos de un programa de mejoramiento de cuencas hidrográficas, utilizando el término “proyecto” para designar el planeamiento de todos los detalles de un programa práctico. Sin embargo, es más usual servirse del término “plan de trabajo” en relación con aquellos aspectos de los trabajos distintos del proyecto de estructuras. En el presente artículo se utiliza este término con tal significado.

Muchas son las clases de planes de mejoramiento de cuencas colectoras, proponiéndose cada una de ellas un objetivo concreto que determina la naturaleza del plan. Para algunos fines, basta con un reconocimiento, mientras que para otros se precisa de un planeamiento extremadamente detallado. Asimismo, para algunos objetivos, la planificación puede referirse a un solo aspecto técnico del fomento de una cuenca hidrográfica, mientras que para otros será necesario contar con un plan completo e integrado que abarque los múltiples aspectos de un programa de fomento.

Planificación en las cuencas fluviales:

El mejoramiento y la ordenación de las zonas de recepción es uno de los aspectos más importantes del planeamiento completo en las cuencas fluviales. Junto con los planes de construcción de medios en el tronco principal para la obtención de energía eléctrica y el almacenamiento de aguas de riego o de inundación, o



para el mejoramiento de la navegación, es preciso prestar atención a los planes relativos a los trabajos necesarios en la propia cuenca hidrográfica.

En muchas partes del mundo, descuidar las cuencas hidrográficas puede tener efectos desastrosos. Sobre todo en aquellas zonas en que los suelos son altamente erosionables, si no se planea el combate contra esta erosión podrá producirse el entarquinamiento de embalses muy costosos y mucho antes de llegado el fin de su vida económica prevista. Por desgracia, la realidad es que la planificación de las cuencas de recepción suele descuidarse con frecuencia en la planificación total de cuencas fluviales recibiendo, en el mejor de los casos, una atención insuficiente.

Esto ocurre así a veces por considerarse que las estructuras de canalización fluvial ejercen un efecto directo sobre un determinado problema de importancia económica. Unas veces proporcionan un bien económico, como energía eléctrica, medios de transporte o agua de riego, otras sirven para reducir al mínimo las pérdidas económicas que ocasionan las inundaciones. En cambio, el mejoramiento de las cuencas colectoras suele considerarse relacionado exclusivamente con la protección de los propios embalses. En muchos casos es posible proyectar embalses de suficiente capacidad para el almacenamiento de los materiales edáficos, lo que les asegura una prolongada vida útil.

Suele pasarse por alto que precisamente los trabajos más necesarios en la cuenca colectora, para la protección de los embalses, son a la vez de tal naturaleza que pueden reportar ventajas económicas directas. Los trabajos prácticos de conservación de suelos suelen ser casi siempre una forma de ordenación de tierras mejorada que conduce generalmente a una mayor productividad y a ingresos más altos. En los bosques, en las zonas de pastoreo y en las tierras labrantías esto es lo que ocurre.

Las posibilidades de combatir la erosión y de ofrecer así una protección para los embalses depende de que los usuarios de las tierras adopten técnicas de ordenación que aumenten sus ingresos y a la vez preserven los recursos agrológicos, sosteniendo así las fuentes de ingresos y preservando la vida de los embalses.

Por supuesto, existen grandes zonas en el mundo en que la lucha contra la erosión del suelo está fuera del alcance de los diversos usuarios particulares de las tierras: en estas zonas, según el grado en que formen parte de cuencas fluviales donde se proyecta la construcción de embalses, es preciso que los proyectistas incluyan en sus planes y en sus estimaciones de gastos las adecuadas medidas de tratamiento de tierras, que deban emprenderse con carácter de obras públicas.

Como mínimo, el informe de un plan completo para una cuenca hidrográfica deberá contener una sección especial sobre mejoramiento y ordenación de las zonas de captación. Esta sección comprenderá una clasificación de las cuencas colectoras tributarias, según la naturaleza y gravedad de la situación. Conviene que esta clasificación se ajuste a dos criterios: protección de las estructuras que deban construirse en el cauce del río y aumento del bienestar económico de la población de la zona.

En el primer caso, la clasificación ilustrará preferentemente las zonas en que más necesario es el combate contra la erosión, con objeto de mantener la vida útil de determinadas estructuras. Una clasificación ajustada al segundo criterio se basará en las zonas en que una mejor ordenación de tierras conduciría a una máxima obtención de ingresos. Combinando ambos criterios, quedarían indicadas las zonas en que la necesaria protección de los embalses podrían derivarse a una ordenación mejorada de las tierras por parte de los usuarios particulares. Delinearía,

asimismo, las zonas críticas en que se precisan subvenciones públicas para un mejor aprovechamiento de las tierras, con el fin de ofrecer la necesaria protección de los embalses.

La sección sobre mejoramiento de zonas de captación en un plan de cuenca fluvial debe bosquejar asimismo los diversos programas necesarios para conseguir, en el grado debido, un mejor aprovechamiento de las tierras. Comprenderá la forestación, la ordenación del pastoreo y el aprovechamiento de tierras labrantías. Discutirá las necesarias reformas en los sistemas de tenencia de tierra, los cambios que conviene introducir en la legislación o en la política gubernamental y los ajustes que se hacen necesarios en la organización de las actividades gubernamentales, y deberá indicar la forma en que pueden robustecerse los trabajos educativos entre los usuarios de la tierra y otros servicios oficiales, como los programas de crédito y subvención agrícola para conseguir un mejor empleo de las tierras que integran una cuenca hidrográfica.

Planes de trabajo en la zona de captación:

Un plan de trabajo en una zona de captación puede definirse como aquel que abarca una cuenca colectora que deba ser escenario de un programa de actividades. No existe una medida práctica para determinar la magnitud de tal zona. Para fines prácticos puede solo definirse como la zona abarcada por un plan de trabajo. En algunos casos en que se trata de proyectos de gran envergadura la zona puede tener varios millares de hectáreas mientras que en otros casos, puede ser de pocas hectáreas, y quizá afectar solo a una media docena de fincas.

De cualquier forma, el rasgo más sobresaliente de esa zona es el ser objeto de una planificación completa, indicándose en los planes cada una de las diversas actividades que deben emprenderse para conseguir un mejoramiento en el régimen de las aguas captadas en la zona.

Ya que deben servir de base para la labor de mejoramiento, los planes de trabajo destinados a las zonas de captación deben ser detallados y precisos. Indicarán por medio de mapas, cuadros, gráficos y texto lo que debe hacerse, dónde debe hacerse, por quién, cómo y cuándo. De esto se trata con mayor amplitud más adelante.

Una parte importante del informe relativo a los planes, es la sección sobre estimación de gastos. Uno de los objetivos de la planificación es llegar a una estimación fidedigna del costo de las obras propuestas. Durante la planificación pueden trazarse diversos planes y estimarse sus costos respectivos antes de seleccionar uno como el más conveniente desde el punto de vista de su factibilidad técnica y de los costos relativos. Estas estimaciones de gastos sirven de guía en las decisiones relativas a la aprobación de los trabajos planeados, y también en el proyecto de financiación del plan por parte del gobierno y de los usuarios de las tierras que más directamente se benefician.

Planes de fomento de la comunidad:

Los trabajos de mejoramiento de cuencas hidrográficas suelen ser difíciles porque dichas zonas están habitadas. No es muy difícil planear y ejecutar medidas respecto de los problemas de una cuenca hidrográfica boscosa cuyas tierras son propiedad del Estado y se hallan reguladas por este, sin que habiten en ellas particulares ni tengan sobre ellas derecho alguno. En cambio, cuando los particulares

poseen derechos en las tierras de la cuenca hidrográfica deben tenerse presentes los intereses de estos tanto como los intereses públicos.

Una forma muy eficaz de resolver esta situación es por medio de planes de fomento de la comunidad. En este caso, las agrupaciones sociales primarias, la aldea o sus alrededores sirven de base para un sistema de organización social o política. El objetivo de estos trabajos es fomentar la autoayuda en cuanto a los problemas de aprovechamiento de tierras, aguas y demás cuestiones afines. Rara vez los límites de una cuenca hidrográfica coinciden con los de una comunidad rural, por lo cual la zona de planeamiento hidrográfico y la del planeamiento de fomento de la comunidad suelen ser del todo diferente.

Sin embargo, es frecuente que las zonas de recepción seleccionadas para los proyectos de mejoramiento abarquen zonas correspondientes a diversas comunidades rurales, aldeas o vecindarios. De esta forma es frecuente la posibilidad de estimular el desarrollo de los planes de mejoramiento de la comunidad como medio de promoción del aprovechamiento de las tierras y otras mejoras afines en parte de la zona en que se desarrolla un programa de mejoramiento hidrográfico.

El planeamiento del desarrollo de la comunidad constituye primordialmente un medio para organizar las actividades de particulares, que de esta forma contribuyen hacia el mejoramiento de su propia comunidad y hacia el de toda la cuenca colectora. En el propio plan se suelen poner de relieve las medidas referentes a problemas locales, sean comunes o individuales.

Por ejemplo, un plan de mejoramiento de la comunidad puede prever la modernización de carreteras y la obtención de mayores rendimientos agrícolas. La primera podrá planearse como empresa cooperativa, en la que cada familia proporcione mano de obra o instrumentos. Los trabajos de mejoramiento de cultivos pueden exigir una actividad estrictamente individual.

En tales trabajos de mejoramiento de la comunidad, desarrollados como parte de un proyecto de fomento hidrográfico, se prestará naturalmente una atención considerable a los cambios en el aprovechamiento de tierras que tengan consecuencias hidrológicas favorables. Entre estos cambios pueden figurar la repoblación de montes de propiedad particular, la regulación del pastoreo y de la quema en los montes privados o comunales, la construcción de terrazas, bancales y demás sistemas de evaluación de las aguas, la estabilización de cárcavas y otras medidas de lucha contra la erosión, el mejoramiento de la cubierta vegetal en los pastizales y todo cambio en el aprovechamiento de tierras que conduzca a una reducción de las pérdidas de suelo y de la escorrentía superficial.

#### Planes en la granja:

En las tierras labrantías de propiedad privada, y en cierto grado también en las tierras boscosas y en las de pastoreo, el elemento fundamental en la planificación del mejoramiento hidrográfico es el plan en la granja. Cada usuario de la tierra posee un plan de alguna clase. Casi nunca está escrito y de ordinario ni siquiera se le considera un “plan” ni se lo supone relacionado con las operaciones de una explotación agrícola en su conjunto. Suele consistir simplemente en una serie de hábitos y costumbres a las que se ajustan las decisiones que toma el agricultor. Por casual que pueda parecer este criterio es el que determina la forma en que se aprovecharán las tierras. Corresponde, pues, al técnico en mejoramiento de cuencas hidrográficas idear algún medio que influya sobre esta planificación en la granja.

Es esencial que los trabajos de mejoramiento de cuencas se basen en las mejoras introducidas en los planes de las diversas fincas. El comportamiento hidrológico de una gran zona de captación es, en gran medida, el resultado de las actividades diarias desarrolladas por los centenares de millares de personas que aprovechan las tierras de la cuenca hidrográfica para el cultivo, el pastoreo o la producción de madera. Casi siempre, un cambio en las condiciones de la cuenca hidrográfica significa un cambio correspondiente en las operaciones realizadas en cada granja, lo cual a su vez significa un cambio en los planes de operaciones de los agricultores.

Estos cambios deben planearse en relación con los objetivos económicos y sociales de los agricultores. Sería ocioso aconsejar a un agricultor que adoptara una cierta práctica de conservación del suelo y de las aguas que condujera a menores ingresos para su familia. En modo análogo, un plan realista para el mejoramiento de una cuenca hidrográfica debe tener presente los niveles sociales y las preferencias de la población. El valor que las gentes conceden a los recursos de tierras y aguas influye poderosamente sobre los cuidados que recibirán estos recursos. En modo análogo, el valor que se concede a los animales influye con frecuencia sobre la amplitud del pastoreo.

Los planes de granja necesarios para el mejoramiento de cuencas deben ser planes de “toda una explotación”. Deberán estar relacionados con el aprovechamiento de las tierras y también con muchos otros aspectos del funcionamiento de los establecimientos y de las formas de vida de las familias. El mejoramiento de las tierras de pastoreo, reduciendo el número de animales en las mismas, supone además la planificación necesaria para, al menos, mantener la producción de carne, leche, fibras o fuerza de tiro.

Esto puede significar el tener que recurrir a otras fuentes de alimentos para los animales, o mejorar la calidad de los animales de pastoreo: en cualquier caso, para obtener los resultados apetecidos, serán precisos planes factibles. En modo análogo, un plan para el mejoramiento de la cubierta vegetal o de las tierras de pastoreo mediante el empleo de fertilizantes con objeto de combatir la erosión y la escorrentía superficial, exige convertir los pastos en sumas en metálico para la adquisición de los fertilizantes. También en este caso el planeamiento de las empresas pecuarias reviste importancia.

En toda planificación de cambios en el sistema de aprovechamiento de tierras en las granjas, el cambio propuesto debe examinarse hasta en el último de sus efectos sobre el funcionamiento de la explotación en su conjunto. Este detenido examen de todas las posibles consecuencias es lo que antes se enunció como “planificación de toda una explotación”.

Planes para lugares concretos:

En realidad, estos son parte de los planes de trabajo para los programas de mejoramiento de cuencas hidrográficas. Se refieren a las zonas más críticas de la cuenca desde el punto de vista de la escorrentía y de la erosión, y en su mayor parte comprenden aquellas actividades que deben emprenderse por el organismo público encargado del mejoramiento de cuencas. Estas zonas pueden presentar una grave abundancia de cárcavas, y en ellas las necesarias mejoras en el aprovechamiento de tierras caen fuera del alcance tanto del usuario particular como de las personas que cooperan en un proyecto de mejoramiento comunal.

Los planes para tales zonas de ordinario se refieren a obras de ingeniería para la estabilización del suelo, unidas a otras mejoras de la cubierta vegetal tales como repoblación de montes o empedramiento. En los planes para estas zonas con frecuencia no se prevé ningún aprovechamiento de las tierras durante algunos años, ya que el mejoramiento hidrológico es tan importante, desde el punto de vista de la zona de recepción en su conjunto, que resulta más necesario remediar rápidamente la situación que aprovechar los terrenos para el pastoreo, la producción de cultivos o la obtención de madera.

Un aspecto muy importante de la planificación en lugares delimitados, es el análisis económico. Las obras de corrección en tales zonas son siempre caras y debe procurarse por todos los medios reducir los costos a un mínimo. Cuando existe mano de obra libre, los trabajos en estas zonas con frecuencia pueden plantearse como una forma de ofrecer empleo en beneficio del bienestar público. Aun así, casi siempre hay que tener cuidado de no invertir sumas excesivas en el mejoramiento de estos lugares críticos. En algunos casos puede dedicarse un mayor tiempo en lugar de recurrir a obras costosas. Asimismo, las medidas que se propongan eliminar la causa de la dificultad (por ejemplo, un excesivo número de animales de pastoreo), darán a su debido tiempo los resultados apetecidos.

Datos necesarios en la planificación de mejoras en las cuencas colectoras:

La clase y cantidad de datos necesarios para la planificación de los proyectos de mejoramiento de cuencas dependerán en parte de la naturaleza y finalidad del proyecto. Los requisitos especiales de las actividades de investigación en pequeñas cuencas se discuten en otra sección. Cuando el proyecto constituye primordialmente una actividad de demostración, pueden ser necesarios los datos sobre la situación inicial algo más detallados que si se tratara de un proyecto general de mejoramiento hidrológico. Para esta última finalidad, los datos necesarios en la planificación caen en las categorías siguientes:

1. Información meteorológica.
2. Información hidrológica.
3. Datos sobre el aprovechamiento de tierras y suelos.
4. Información económica y social.

Se recogerá una información de estos tipos suficiente para servir de base en la evaluación de la situación actual y que permita a la vez trazar un plan para corregir los actuales problemas hidrológicos, preparar un pronóstico de los probables efectos de los trabajos propuestos y formular algunas estimaciones fidedignas en cuanto al costo del proyecto.

Información meteorológica:

Se atenderá en especial a la recogida de datos sobre la precipitación. Estos datos comprenderán mediciones de la precipitación anual, distribución estacional de esta y características de las tormentas típicas, es decir, duración, intensidad y frecuencia. Los datos sobre la temperatura son de particular utilidad cuando la precipitación o la escorrentía están asociadas con temperaturas bajo cero.

### Información hidrológica:

Deberá recogerse información sobre el régimen de las corrientes que permita trazar gráficos hidrológicos para la magnitud de las tormentas contra las cuales se proyecta la protección. Como mínimo, deberán figurar observaciones o estimaciones sobre el caudal de las corrientes en una gran variedad de condiciones durante las tormentas y después de estas.

Es también importante trazar estimaciones de la carga de sedimentos de la corriente en cuestión. Se recogerá una información adecuada que permita el proyecto minucioso de estructuras, sobre todo para conseguir una adecuada capacidad de almacenamiento de las aguas que verterán las tormentas previstas, para que la capacidad de los aliviaderos garantice la seguridad de cada construcción y para permitir un adecuado almacenamiento del limo, de forma que cada construcción tenga una duración útil y económica.

### Datos sobre aprovechamiento de tierras y suelos:

Un detenido reconocimiento edafológico es esencial para la adecuada planificación de un pequeño proyecto hidrológico. La información obtenida con tal reconocimiento no solo servirá de base para determinar la situación actual, sino que será también fundamental para planificar las actividades de mejoramiento de tierras, tales como repoblaciones, regeneración de praderas, construcción de terrazas y bancales para combatir la escorrentía superficial y las pérdidas de suelo. Un detallado reconocimiento edafológico proporciona la mayor parte de la información necesaria para determinar la situación erosiva y para delinear las principales zonas limógenas.

Los datos sobre tipos de suelos son esenciales para elegir las especies arbóreas o herbáceas que conviene plantar en determinados lugares, a la vez que esta información es también útil para predecir los posibles cambios en el régimen de infiltración como consecuencia de los cambios introducidos en la cubierta vegetal.

Para los fines de la planificación y evaluación del mejoramiento de cuencas se necesita un tipo especial de clasificación de tierras. Este sistema es una clasificación según el rendimiento hidrológico y se basará tanto en los caracteres del suelo como en la cubierta vegetal. El objeto de esta clasificación es proporcionar un medio para la estimación del comportamiento hidrológico de una zona de recepción. Basándose en una serie de clasificaciones para diversos lugares, puede asignarse un índice a la cuenca hidrográfica en su conjunto, el cual a su vez puede correlacionarse, mediante ajustes en los valores de ponderación utilizados, con los datos deducidos del gráfico hidrológico de la corriente.

De esta forma, el índice correlacionado servirá para medir los efectos esperados de los cambios en el uso de las tierras sobre el comportamiento del curso de agua. La marcha del mejoramiento de la cuenca hidrográfica puede también evaluarse mediante reconocimientos periódicos de la cubierta del suelo en la cuenca hidrográfica y por un nuevo cómputo del índice de la cuenca.

Los índices utilizados son puramente ilustrativos, y en cada zona en que deba utilizarse uno de estos sistemas deberá fijarse los valores del caso basándose en la investigación.

Al adaptar el sistema de clasificación a las necesidades de una zona determinada será preciso modificar las definiciones. Debe observarse, sin embargo, que el rasgo esencial del sistema es el de constituir una clasificación de doble

efecto, en la que se deja lugar para los efectos compensadores de los suelos y de la cubierta vegetal. Una vegetación densa es, en cierto grado, una compensación para un suelo de permeabilidad limitada. Por otra parte, los caracteres de infiltración del suelo pueden contrarrestar en cierta medida las condiciones de la vegetación.

Debe esperarse, sin embargo, que los caracteres edáficos permanezcan relativamente inalterados mientras dure un proyecto de mejoramiento de cuencas hidrográficas, a la vez que las condiciones de la vegetación pueden quedar sustancialmente alteradas. Por consiguiente, al efectuar las evaluaciones periódicas de la marcha de los trabajos será preciso únicamente recoger nuevos datos sobre las condiciones de la cubierta que puedan combinarse con los datos ya recogidos anteriormente acerca de los suelos.

#### Información económica y social:

En la planificación de un proyecto hidrográfico es esencial un cierto volumen de datos económicos y sociales. Importa conocer la estructura social de la zona para elegir los medios por los que pueda conseguirse una plena cooperación local en los trabajos. En las zonas en que la colonización se organiza por pueblos, no será necesaria ninguna investigación especial para definir los principales grupos sociales, o para comprender la estructura organizativa en las comunidades. En cambio, en zonas de libre colonización será preciso tratar de delinear la estructura y organización de la comunidad. Para este fin, pueden aplicarse las técnicas de investigación sociológica ordinarias.

Debe también prestarse una atención considerable a la recogida de datos sobre la organización de empresas agrícolas y sobre la economía del aprovechamiento de tierras, sea para la agricultura, el pastoreo o la producción forestal. Si bien puede no ser factible o necesario efectuar un reconocimiento completo de cada predio de una cuenca hidrográfica, es esencial estudiar las operaciones de algunas fincas típicas de la zona en cuanto a extensión y naturaleza de la explotación. Estos estudios permitirán conocer el régimen de aprovechamiento de tierras, el volumen de producción y los gastos e ingresos del agricultor.

Se harán otras estimaciones que reflejen los efectos que en la explotación han de tener los cambios en el aprovechamiento de la tierra, previstos en el programa de mejoramiento de la cuenca. Las comparaciones, sobre todo las de la renta calculada con los datos sobre la renta actual para algunas granjas típicas, darán útiles indicaciones de la probable actitud de los diversos explotadores respecto de los ajustes que en cuanto al aprovechamiento de las tierras en sus granjas exige el mejoramiento hidrológico. Otros estudios análogos de empresas forestales privadas y de explotaciones pastorales serán igualmente valiosos.

Los datos necesarios para la evaluación de las posibilidades económicas de un proyecto de mejoramiento de cuenca dependen de muchos factores, y en modo particular de la política seguida por el gobierno en lo relativo a tales evaluaciones. En algunos países, el procedimiento para tales evaluaciones se prescribe en detalle, sea en la legislación correspondiente o en las normas rectoras de la política oficial.

Debe observarse que los procedimientos ideados y aplicados en países en que existe una abundancia de personal técnico y de datos pueden ser en exceso complicados para su empleo en países menos desarrollados. Quienes se interesen

por la cuestión general de la evaluación de proyectos podrán estudiar las obras especiales sobre el tema.

Como mínimo, para un proyecto de mejoramiento de cuencas hidrográficas habrá que contar con una minuciosa estimación de los costos públicos del proyecto y una descripción de efectos estimados de los trabajos, tanto sobre el régimen hidrológico de la zona colectora como sobre los ingresos de los usuarios de las tierras comprendidas en dicha cuenca.

La planificación:

El procedimiento a que se ajustará la preparación de un plan de mejoramiento hidrológico dependerá, en primer lugar, de la naturaleza del desarrollo previsto para dicha cuenca y de la amplitud en que entran en juego los intereses y la participación locales. Quedará también influida por la estructura de los servicios oficiales encargados de los trabajos de mejoramiento. Si todos los servicios técnicos que participan se centralizan en una sola oficina u organismo gubernamental, la planificación del proyecto será mucho más simple que si existen varios organismos encargados cada uno de parte de los trabajos.

Por ejemplo, un departamento de tierras montañosas encargado de toda clase de mejoramientos y de ordenación en las zonas montañosas no encontrará dificultades en el trazado de planes de mejoramiento de la zona colectora. Cuando de tales tierras se encargan diversos organismos, tales como un servicio forestal, un servicio de conservación de suelos, un servicio de fomento de la comunidad y un organismo de producción pecuaria, el trazado de planes integrados para el mejoramiento de las cuencas colectoras será en extremo difícil.

La forma más fácil de resolver este problema consiste en promulgar leyes que autoricen los trabajos de mejoramiento de cuencas hidrográficas. En estas leyes podrá especificarse a quién corresponde la planificación. Una organización gubernamental que deba encargarse de un gran volumen de trabajos de mejoramiento hidrológico precisa de un personal planificador. El volumen y composición del organismo planificador dependerá del volumen de trabajo que deba realizarse.

Cuando se prevé un programa de grandes proporciones serán necesarios un núcleo central de personal y una organización de campo, pero si el número de proyectos no ha de ser muy grande el personal central podrá encargarse de toda la labor de planificación.

En general, la labor de planificación puede dividirse en dos tipos de actividades: estudios preliminares y planes del proyecto. Casi siempre, los costos de planificación de un proyecto son considerables, por lo cual conviene efectuar primero un reconocimiento o un estudio preliminar de la zona, tras de lo cual se decidirá si debe o no procederse a una planificación detallada. El reconocimiento podrá iniciarse a solicitud de los usuarios interesados o por encargo del jefe del organismo responsable.

De ordinario, se necesitan algunas semanas para recoger datos sobre la naturaleza y grado de aprovechamiento de las tierras y sobre los problemas de regulación de aguas, así como para obtener juicios autorizados sobre la posibilidad de acometer un programa de mejoramiento. Se prepara entonces un breve informe en el que se describe la situación actual, se esboza el programa de mejoramiento y se efectúa una primera estimación de los costos, informe que se presenta a las autori-



dades encargadas de decidir si se procederá o no a una planificación detallada del proyecto.

En algunos casos, esta decisión la adoptará el organismo encargado del mejoramiento de cuencas hidrográficas, pero en otros la decisión deberá tomarse en un plano ministerial o incluso superministerial, si en los trabajos de mejoramiento entran en juego diversos ministerios. En algunos países, el informe preliminar o de reconocimiento constituye la base para las reuniones públicas en la cuenca, en las que se determinará el grado de interés local en los trabajos propuestos, la amplitud en que los propietarios de tierras están dispuestos a efectuar los necesarios desembolsos para los trabajos de mejoramiento y la actitud de la población local respecto de la necesaria fiscalización del aprovechamiento de la tierra (por ejemplo, pastoreo y explotación forestal).

La preparación de un plan detallado de fomento para una zona de recepción puede exigir varios meses. Si no se cuenta con un reconocimiento edafológico detallado de la zona en cuestión, deberá realizarse este. En modo análogo, si no se cuenta con datos suficientes deberán hacerse otros reconocimientos relacionados con las obras de ingeniería. Por ejemplo, deben recogerse datos sobre la precipitación y la escorrentía, realizarse estudios del cauce del curso de agua desde el punto de vista de la ingeniería, delimitarse provisionalmente los lugares en que se erigirán estructuras, examinándose los lugares en que irán los cimientos, y delimitarse igualmente los puntos del cauce en que se introducirán mejoras, esbozándose la naturaleza de estas últimas.

Deberán hacerse, además, los necesarios reconocimientos en cuanto al aprovechamiento de las tierras, tanto como la base para planear los cambios que deban introducirse en tal aprovechamiento, como para establecer un término de comparación que permita evaluar la marcha futura del programa.

Una vez en posesión de todos estos datos podrá trazarse el programa de mejoramiento de la cuenca hidrográfica. En el caso de obras de ingeniería, los planes se elaborarán lo suficiente para permitir una estimación de gastos fidedigna. Los planes relativos a cambios en el aprovechamiento de las tierras se detallarán lo suficiente para indicar la naturaleza concreta de tales cambios y los procedimientos y técnicas que habrá que aplicar a tal fin.

Por ejemplo, el plan de repoblación forestal deberá especificar las zonas que deban repoblarse, las especies que se emplearán, el número de árboles necesarios, las fechas de plantación, los trabajos de preparación del terreno que deban hacerse, las precauciones que deban adoptarse contra el pastoreo y la quema de las plantaciones y la estimación de los costos correspondientes.

Para un mejoramiento en el aprovechamiento de tierras en predios de régimen privado, el plan deberá especificar la naturaleza de los trabajos que deban emprenderse en cada clase de aprovechamiento de tierras, las actividades que corren a cargo de los organismos gubernamentales, las aportaciones en metálico de los usuarios privados, los procedimientos que se seguirán en la planificación de los trabajos en las diversas fincas, la naturaleza de los acuerdos que se concertarán entre el gobierno y los usuarios de la tierra, las aportaciones financieras que realizará el gobierno, y el calendario de los trabajos para toda la zona de captación.

Una vez preparado el informe de planificación por el equipo de campo se presenta al examen de los oficiales principales encargados del organismo u organismos que desarrollarán el programa de fomento. En las zonas colectoras en que existen algunas tierras de propiedad privada, el plan definitivo del proyecto deberá

reflejar las opiniones de los dirigentes locales. La ejecución práctica del plan será más fácil si tales personas tienen la oportunidad de participar en la planificación.

En algunos casos convendrá dedicar todo el tiempo y los recursos que sean necesarios a estimular la participación de la población local en la planificación del proyecto, para así conseguir que dicho proyecto se considere esencialmente como empresa local, y no como algo impuesto a distancia por el gobierno. Para este fin suele ser de utilidad una asociación local de mejoramiento de la cuenca hidrográfica. En otros casos podrá recurrirse a un comité asesor local. Por último, en otros casos se solicitará el consejo oficioso de algunos dirigentes locales.

La aprobación definitiva de los planes de fomento de la cuenca hidrográfica exigirá su examen por todos los organismos públicos que se encarguen de los aspectos del fomento de tierras y aguas en la zona en cuestión. Se proyectará un sistema de presentación de informes de planificación que reduzca al mínimo las pérdidas de tiempo y, a la vez, que dé a todos los interesados la oportunidad de hacer comentarios.

#### Participación popular en la planificación de la ordenación de cuencas hidrográficas:

La participación popular es considerada cada vez más por los organismos gubernamentales como componente esencial en la ejecución de iniciativas de ordenación de cuencas hidrográficas en las zonas altas habitadas. La política de nacionalizar los recursos naturales, como bosques y pastos, imperante hace 30 ó 40 años, está dejando paso al convencimiento de que el medio más eficaz para conservar los recursos naturales es que las comunidades locales participen directamente y puedan beneficiarse de su ordenación y de un aprovechamiento racional.

Sin embargo, este cambio de perspectiva está encontrando gran resistencia, sobre todo porque los intentos estatales de “imponer” la conservación de los recursos naturales no han conseguido producir los resultados deseados de forma sostenible. En algunos casos, los servicios nacionales encargados de los bosques, parques nacionales, etc., consideran esta nueva orientación como fuente de confusión e incluso como una amenaza para sus competencias y fuentes de ingresos tradicionales.

Sin embargo, estas instituciones podrían beneficiarse enormemente en términos de apoyo popular y político si se transformaran en instituciones al servicio de la población rural. Los técnicos forestales tendrían por su parte mucha mayor demanda con un planteamiento forestal comunitario que si se limitan a la protección de una base de recursos cada vez menor.

#### Planteamientos nuevos y tradicionales de la ordenación de cuencas hidrográficas:

En los diez últimos años, la ordenación de cuencas hidrográficas, que era una actividad de competencia gubernamental y limitada casi exclusivamente a las tierras públicas, ha ido pasando a ser competencia de la población directamente interesada, mientras que los organismos gubernamentales adoptan un papel de apoyo y asesoramiento.

Las razones son varias: la protección de los bosques basada en la vigilancia de guardias forestales o en su nacionalización han fracasado en gran parte; las poblaciones afectadas por la ordenación de cuencas hidrográficas y la presión sobre los recursos de las tierras altas han aumentado por el enorme crecimiento demográfico del siglo XX (la población se ha multiplicado por dos cada 25 o 30

años); los programas de reasentamiento han resultado muy costosos y por lo general socialmente inaceptables; los proyectos experimentales con fondos gubernamentales, jornaleros asalariados, etc. han sido también muy costosos y de breve duración.

El personal que participa en la ordenación de cuencas hidrográficas es cada vez más conciente de que los elementos tradicionalmente considerados al margen del ámbito de interés de un proyecto - por ejemplo la agricultura - pueden desempeñar un papel decisivo en la ordenación de cuencas.

Las políticas y subvenciones a los precios de los alimentos pueden favorecer determinados cultivos o, por el contrario, hacerlos poco rentables; la mayor atención a los cultivos de exportación puede confinar a los agricultores de subsistencia a tierras cada vez más marginales; la inseguridad en la tenencia de tierras puede hacer que los agricultores tengan más interés en ocupar la tierra que en mantener su capacidad de producción a largo plazo. La ordenación de las tierras comunales se está convirtiendo en un tema de interés mundial.

Se reconoce que la participación popular es un elemento esencial de la ordenación de cuencas hidrográficas. Sin embargo, las poblaciones locales y sus representantes solo participan en casos aislados en las fases de diseño y planificación de los proyectos de ordenación de cuencas hidrográficas.

La mayor parte de los encargados de la planificación de las cuencas trabajan todavía en departamentos gubernamentales centralizados y ordenancistas y, por lo tanto, no tienen los reflejos necesarios para responder simultáneamente a las exigencias de una mejor y más rápida formulación y planificación de proyectos para las cuencas prioritarias y a la necesidad de contar con los dirigentes locales en el diseño de los proyectos.

Además, la mayor parte de los organismos de asistencia técnica y créditos, tanto nacionales como internacionales, exigen todavía la presentación de un detallado documento de proyecto antes de autorizar fondos para las actividades, incluso las que pudiera realizar la población local.

De ello se deduce la necesidad de descentralizar los organismos gubernamentales, crear o consolidar las organizaciones e instituciones locales, controlar y ordenar los recursos locales y establecer programas rurales de capacitación.

Se requiere un nuevo planteamiento en el diseño y ejecución de los proyectos de ordenación de cuencas hidrográficas que, en vez de luchar contra las condiciones externas antes mencionadas, trate de incorporarlas en la justificación de los proyectos y beneficiarse de ellas. Si un cultivo es rentable puede ayudar a los agricultores a financiar prácticas de cultivo mejoradas; si la tenencia de tierras es un problema, un certificado escrito que garantice una explotación duradera de la tierra puede ser un incentivo importante para que participen los agricultores. El control local sobre las tierras y recursos forestales puede motivar a un grupo de usuarios -una asociación de colmeneros, por ejemplo- a participar en la prevención de incendios forestales.

Una planificación de cuencas hidrográficas basada en la participación:

La planificación de cuencas hidrográficas de carácter participativo debe ir más allá de las meras consultas iniciales con la “población destinataria”, tras lo cual los encargados de diseñar el proyecto se encerrarían en sus despachos para redactar una propuesta detallada de proyecto. La participación en la planificación

presupone la existencia de un mecanismo para determinar las prioridades y adoptar decisiones a nivel local.

Hay que informar sobre las alternativas existentes y demostrar que se tienen en cuenta las preocupaciones de la población. La planificación inicial requiere como complemento un sistema de seguimiento y evaluación. Solo así la propia población rural podrá supervisar y medir los progresos realizados en relación con las decisiones conjuntas e introducir cambios, si fuera necesario, para mejorar los resultados.

La participación supone también el diseño de proyectos preliminares o provisionales para “tomar contacto” con la realidad. Como se ha indicado antes, la mayor parte de los organismos nacionales e internacionales de crédito exigen un documento de proyecto perfectamente detallado antes de asignar fondos. Sin embargo, para que el nuevo planteamiento pueda ser tomado con seriedad, las fases de ejecución deberán ser precedidas por proyectos de formulación con los fondos necesarios para lograr la participación de la población local o de sus representantes.

Lo que se requiere es un nuevo planteamiento en que aumente la proporción de fondos asignados a la formulación de proyectos y se prevea un período relativamente largo de “arranque”, en que los detalles se perfilen en consulta con la población afectada.

Un proyecto representativo podría implicar las siguientes fases:

- Identificación del proyecto y formulación de su idea básica. Para ello se necesitarían dos o tres semanas de trabajo de campo y la preparación de un breve documento.
- Evaluación de la idea del proyecto y, si se considera positiva, presentación a los organismos interesados de crédito para que manifiesten su interés en términos generales. Podrían requerirse varios meses.
- Formulación de un proyecto inicial y esbozo general de la fase principal. La preparación podría durar de cuatro a seis semanas y requeriría la preparación de un documento de formulación del proyecto.
- Evaluación y, en caso afirmativo, aprobación oficial y financiación del proyecto preliminar. Según el organismo de crédito, podría durar desde unos meses hasta un año, o incluso más.
- Ejecución del proyecto preliminar. Ello implicaría los siguientes aspectos: identificación de instituciones rurales y de sus dirigentes; el establecimiento de un diálogo con la población local; una rápida valoración rural; estudios sobre las cuencas hidrográficas; análisis de los problemas; formulación de objetivos inmediatos, estrategias, actividades, resultados, insumos, presupuesto, etc.; identificación de técnicos competentes nacionales y, en su caso, internacionales; identificación de las necesidades de cambios o acuerdos institucionales y establecimiento de un sistema de seguimiento y evaluación; formulación de un plan preliminar de ordenación de cuencas hidrográficas para toda la cuenca o para algunas subcuencas; preparación del documento de proyecto para el proyecto principal.

La necesidad de cultivar plantas alimenticias es determinante para la suerte de una cuenca:

Durante ese período, la ejecución de las actividades experimentales -por ejemplo, la estabilización de una pendiente que amenace a una escuela local- podría ser un medio especialmente eficaz para suscitar el interés y el apoyo de la población.

Deberá alentarse el uso de técnicas e instrumentos avanzados de planificación (evaluación rural rápida, planificación computarizada del aprovechamiento de la tierra, elaboración de modelos hidrológicos sobre cuencas hidrográficas, sistemas de información geográfica, etc.) para agilizar la planificación y hacerla más fiable y flexible. Sin embargo, el tiempo ahorrado deberá dedicarse a la cooperación con los usuarios de la tierra, más que a una planificación detallada y jerarquizada para ellos. Este proyecto tendría normalmente una duración de 6 a 18 meses.

Primera fase del proyecto principal: tendría lugar inmediatamente después de la fase preparatoria y podría durar de tres a cinco años.

Segunda fase del proyecto principal: la mayor parte de las iniciativas de ordenación de las cuencas hidrográficas que respondan a las necesidades y preocupaciones de la población local requerirán un período de ejecución relativamente largo. En algunos casos, después viene una fase de seguimiento de cinco años de duración.

Seguimiento y evaluación basados en la participación:

El seguimiento y la evaluación basados en la participación, deben formar parte integrante del nuevo concepto de ordenación de cuencas hidrográficas. Las personas que participan, es decir que invierten tiempo y esfuerzo en una actividad con la esperanza de obtener beneficios, deberán intervenir en un proceso continuo que permita examinar cómo van las cosas, qué cambios son necesarios, qué resultados se pueden conseguir, qué nuevas alternativas se presentan, etc.

La población pobre -que quizá ha invertido una proporción mayor de su tiempo y de sus recursos- correría mayores riesgos en el caso de que fracasase el proyecto, por lo tanto tendrá especial interés en conocer los progresos realizados. En tales casos es preciso perfilar un conjunto práctico de indicadores que permitan responder a los interrogantes planteados por los participantes y den la alarma cuando las cosas comiencen a andar mal, y si es posible antes.

La decisión de proteger la cuenca superior de un embalse corresponde a autoridades de nivel nacional

Nuevos planteamientos de la extensión:

Es evidente que los métodos tradicionales de extensión, en que la misión del extensionista era transmitir al campesino el “mensaje” del centro de investigación o del Ministerio, deben ampliarse ahora en consonancia con el nuevo concepto de ordenación de cuencas hidrográficas. Ahora la misma comunidad es con frecuencia el “centro de investigación” o “laboratorio externo”, y el ministerio y su personal, además de enseñar, pueden aprender algo de la población local.

Los extensionistas deberán examinar nuevas soluciones con la población rural, ayudar en la formación y consolidación de los grupos de usuarios, asociaciones de cultivadores, etc. e, inicialmente, hacer de vínculo con los organismos gubernamentales, estaciones de investigación, universidades, organizaciones no gu-

bernamentales (ONG), etc., para transmitir un “mensaje” pero en sentido contrario, de la comunidad a los servicios de apoyo. El extensionista deberá enseñar a los representantes de la comunidad a obtener los servicios gubernamentales directamente.

Incentivos:

Los incentivos directos -alimentos por trabajo, distribución de plantines gratuitos en los viveros gubernamentales, etc.- pueden tener cierta importancia en las actividades de ordenación, pero deben organizarse de tal manera que permitan a la población de tierras altas dedicar tiempo y esfuerzo a la puesta en marcha de actividades que sean productivas y que más adelante, en menos de 4 ó 6 años, puedan prescindir de los insumos recibidos durante la fase de establecimiento.

Función de las organizaciones rurales:

Las organizaciones rurales son un elemento clave tanto para promover la participación en las fases previas como para garantizar la sostenibilidad y continuidad del proyecto una vez comenzada la ejecución. Sin ellas, no puede haber diálogo entre organismos gubernamentales y población local ni, por lo tanto, una planificación con participación de la base.

Los organismos gubernamentales deben localizar instituciones rurales y dirigentes, tanto oficiales como extraoficiales. Sin embargo, procurarán no comandar ni emplear a dichos dirigentes, ya que ello reduciría su autoridad y competencia para hablar en nombre del grupo o de la comunidad.

No hay normas ni modelos establecidos para las organizaciones rurales ni ninguno que sea implícitamente el mejor para la planificación y ejecución de actividades de ordenación de cuencas hidrográficas. Pueden formarse grupos partiendo de una serie de intereses comunes a sus miembros: religión, sindicatos, asociaciones de cultivadores (de café, por ejemplo), asociaciones ganaderas, familia en sentido amplio, fronteras comunes, grupos de mujeres, cooperativas, etc. Lo que importa no es qué son sino cómo funcionan, si representan los intereses de sus miembros y si sus dirigentes hablan realmente en nombre de todos los miembros.

Organizaciones no gubernamentales:

Las ONG pueden contribuir de forma decisiva al apoyo de las organizaciones rurales, a su formación, a la capacitación de los dirigentes comunitarios, a la sensibilización política, etc. Al ser independientes de la estructura gubernamental, pueden ser más flexibles y abiertas a las necesidades de la comunidad, así como tener acceso más fácil a las tribus y grupos minoritarios, zonas de conflicto nacional o internacional, etc.

Sin embargo, es preciso tener cierta cautela cuando las ONG hablan o actúan en nombre de la población rural. Las ONG tienen sus propios objetivos, que no siempre coinciden con las necesidades de la población de las tierras altas. Las grandes ONG nacionales e internacionales tienen con frecuencia una mentalidad urbana ante problemas como la conservación de la naturaleza, la deforestación, la contaminación del agua y del aire, etc., y su orden de prioridades difiere considerablemente del de los agricultores de subsistencia de tierras altas que trabajan para alimentar a sus familias.

Implicaciones para la organización de la ordenación de cuencas hidrográficas en el plano nacional:

Como se ha señalado al comienzo del artículo, la participación eficaz de la población local en la planificación y ejecución de actividades de ordenación de las cuencas implica el paso del sistema jerárquico tradicional a otro más descentralizado. Pero ello no significa el desmantelamiento de las actividades de alcance nacional. Más bien al contrario, existen razones que aconsejan la consolidación y coordinación de los organismos y mecanismos nacionales.

La planificación centralizada es necesaria para las cuencas de importancia nacional. Las zonas situadas aguas arriba de las grandes presas hidroeléctricas, las fuentes de abastecimiento hídrico para las ciudades, los grandes planes de riego y las zonas expuestas a las inundaciones deben ser objeto de planes nacionales de protección. Y en las iniciativas de gran alcance, es fundamental contar con los recursos de todo el país.

Sin embargo, aun en las cuencas de importancia nacional, es impensable planificar o modificar la explotación de la tierra sin consultar a los usuarios de la misma, sean organismos gubernamentales o comunidades locales, agricultores comerciales o de subsistencia, propietarios o pastores de ganado, recolectores de madera, etc. Sería también poco realista pensar que la explotación de la tierra puede cambiar sin que el usuario perciba un beneficio para él y para su familia o comunidad.

Las comprobaciones de la Red de cooperación técnica en ordenación de cuencas hidrográficas de América Latina confirman la necesidad de una fuerte organización nacional y señalan una serie de elementos básicos para que las iniciativas sean eficaces y sostenibles. Estos elementos, especialmente válidos en los proyectos y programas que intentan contar con la participación de la población local y aportarle beneficios, son los siguientes:

- Un comité interministerial: los desafíos de la conservación de tierras altas son competencia de muchos ministerios y lo mejor es confiar su supervisión a un comité encargado de promover la armonización de las materias más importantes, como la protección del medio ambiente, la producción agrícola, la silvicultura, la infraestructura del suministro hídrico, el empleo, los asentamientos humanos y la migración, etc., para tener debidamente en cuenta las necesidades de la población local.
- Un mecanismo para la coordinación interinstitucional de la acción sobre el terreno: La coordinación de las instituciones encargadas de la ejecución es fundamental para orientar debidamente el desarrollo y conseguir un aprovechamiento óptimo y sostenible de los recursos naturales. Por ejemplo, la construcción de caminos (quizá bajo la jurisdicción del Ministerio de Obras Públicas) debe progresar con cautela en las cuencas con instalaciones hidroeléctricas (competencia del Ministerio de Energía). Los programas de conservación de suelos, las redes de zonas protegidas, la construcción de escuelas rurales, etc., deben coordinarse y, en caso necesario, modificarse con vistas a una ordenación eficaz de las cuencas hidrográficas.

- Un organismo principal: para la planificación y ejecución eficaz de una determinada iniciativa de ordenación, es preciso identificar y reforzar las competencias de uno de los organismos coordinadores. El organismo principal variará de unos casos a otros. Lo fundamental es que esté plenamente decidido a resolver todos los problemas de la cuenca, y no solo los que sean directamente de su competencia.

Muchos países han realizado progresos significativos en relación con los temas antes examinados, pero en la mayoría de ellos, por no decir en todos, queda todavía mucho por hacer para que los programas, en gran escala de ordenación de cuencas hidrográficas basados en la participación popular, pasen de la teoría a la realidad. La tarea pendiente es, por tanto, analizar las deficiencias e identificar la forma de combinar las experiencias incompletas, pero valiosas, de los distintos países en la búsqueda de soluciones generales que luego puedan aplicarse según la situación peculiar de cada país.



## BIBLIOGRAFÍA

Azqueta Oyarzun, D., *Valoración Económica de la Calidad Ambiental*, Editorial Mc Graw, Madrid, 1996.

Conesa Fernández, V., *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*, Mundi Prensa, Madrid, 1997.

Díaz, R.A., “Efectos de un mayor uso forestal sobre los recursos hídricos de una cuenca agrícola del sudeste de Santa Fe, Argentina”. Actas de las 11º Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, Eldorado, Misiones, Argentina, pp.1-17, 2004.

Estrada Fernández, P., *Manual de control analítico de la potabilidad de las aguas de consumo humano*, Ediciones Díaz de Santos S. A., Madrid, España, 1986.

FAO. 1959. “El problema torrencial de Argentina”. N° 1142. Roma.

-----, 1991. “Ordenación de cuencas hidrográficas”. Unasylya, Revista. N° 164.

-----, 1996. “Influencia de los bosques”. Unasylya, Revista n° 185.

Fundación Vida Silvestre, Fundación Mundial para la Naturaleza(ed), *La conservación de la Selva Misionera*, Buenos Aires, 1994.

García Nájera, J.M., *Principios de Hidráulica Torrencial*, Ministerio de Agricultura. Madrid, 1962.

IOVIF, *Ordenación de las cuencas de los ríos Quemquemtrey, Azul y Epyuén*, Universidad Nacional de La Plata (ed), Buenos Aires, 1971.

INTA, “Evaluación de especies forrajeras gramíneas tropicales en distintos niveles de iluminación bajo monte forestal de pino para uso en sistemas forestogaderos”, INTA (ed), Cerro Azul, Misiones, 2000.

INTA, *Sistemas foresto-ganaderos, Proyecto Forestal de Desarrollo* (ed), 2000.

López Cadenas de Llano, F., *Hidrología Forestal*, Escuela Técnica Superior de Montes, Madrid, pp., 1976.

Martínez Duarte, J. A. 2006. *Metodología para la formulación y evaluación económica ambiental de planes de ordenación de cuencas hidrográficas de la provincia de Misiones, Argentina*. Tesis doctoral, FCE-UNaM, Posadas, 145 pag.

Martínez Duarte, J. A. 2003. “Evaluación económica ambiental de alternativas de acción en la cuenca del arroyo Schwelm, Eldorado, Misiones, Argentina”. Resumen de tesis de maestría en ciencias forestales, Acta de las décimas jornadas técnicas forestales y ambientales, Eldorado, Misiones, Argentina. 5 pag.

Martínez Duarte, J. A. 1999. *Auditoria Ambiental del Sistema de Abastecimiento Público de Agua y Servicios de Cloacas de Eldorado, Misiones, Argentina*. Tesis de maestría en ecoauditorias y planificación empresarial del medio ambiente. 118 pag.

Menéndez, J.L., “La influencia del bosque en los valores hidrológicos, edafológicos y ambientales de las cuencas hídricas”. Acta de la V Jornadas Técnicas, Eldorado, Misiones, pp.69-85, 1989.

Mármol, L. A., “Manejo hidráulico, forestal y ecológico de microcuencas próximas a la ciudad de Salta”, Eldorado, Misiones. Acta de la V Jornadas Técnicas, Eldorado, Misiones, pp.86-97, 1989.

Michaelsen, T., “La participación popular en la planificación de la Ordenación de cuencas hidrográficas”. Revista Unasylya, 1991.

OEA, “Calidad ambiental y desarrollo de cuencas hidrográficas: Un modelo para la planificación y análisis integrados”, OEA(ed), Washington D.C, 1978.

Palavecino, J.A., “Propuestas para el manejo hidrológico forestal de la cuenca del Arroyo Pomar, Eldorado, Misiones”, Proyectos de Investigación del Instituto de Investigaciones Forestales, Facultad de Ciencias Forestales (UNaM), Eldorado, Misiones, Argentina, 2001.

Palavecino, J.A., “Caracterización, diagnóstico, y propuestas para la rehabilitación de bosques protectores de la cuenca del Arroyo Pomar, Eldorado, Misiones”, Proyectos de Investigación del Instituto de Investigaciones Forestales, Facultad de Ciencias Forestales (UNaM), 2001.

Palavecino, J.A., “Parámetros hidrológicos en la cuenca del arroyo Pomar, Eldorado, Misiones”. Actas de las 11º Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, Eldorado, Misiones, Argentina, pp. 18-19, 2004.

Ruiz Trigueros, M., *Relación entre Economía y Medio Ambiente*, Instituto de Investigaciones Ecológicas, Málaga, España, 1998.

Sheng, T.C., *Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas*, FAO, Roma, 1992.

TRAGSATEC., *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*, Edición Mundi – Prensa(ed), Madrid, 1994.

Viana S., R.V., “Técnicas de monitoramento ambiental”, Anais do XI Seminário sobre atualidades e perspectivas florestais, EMBRAPA, Curitiba, Brasil, pp.173-181, 1984.

Vicente, M.A., *Fundamentos de Administración de Organizaciones*, La Ley, Buenos Aires, 2005.

Wattenbach, H., “Instrumentos Económicos Ambientales para la valoración de cuencas hidrográficas”, GTZ, Eschborn, 2004.