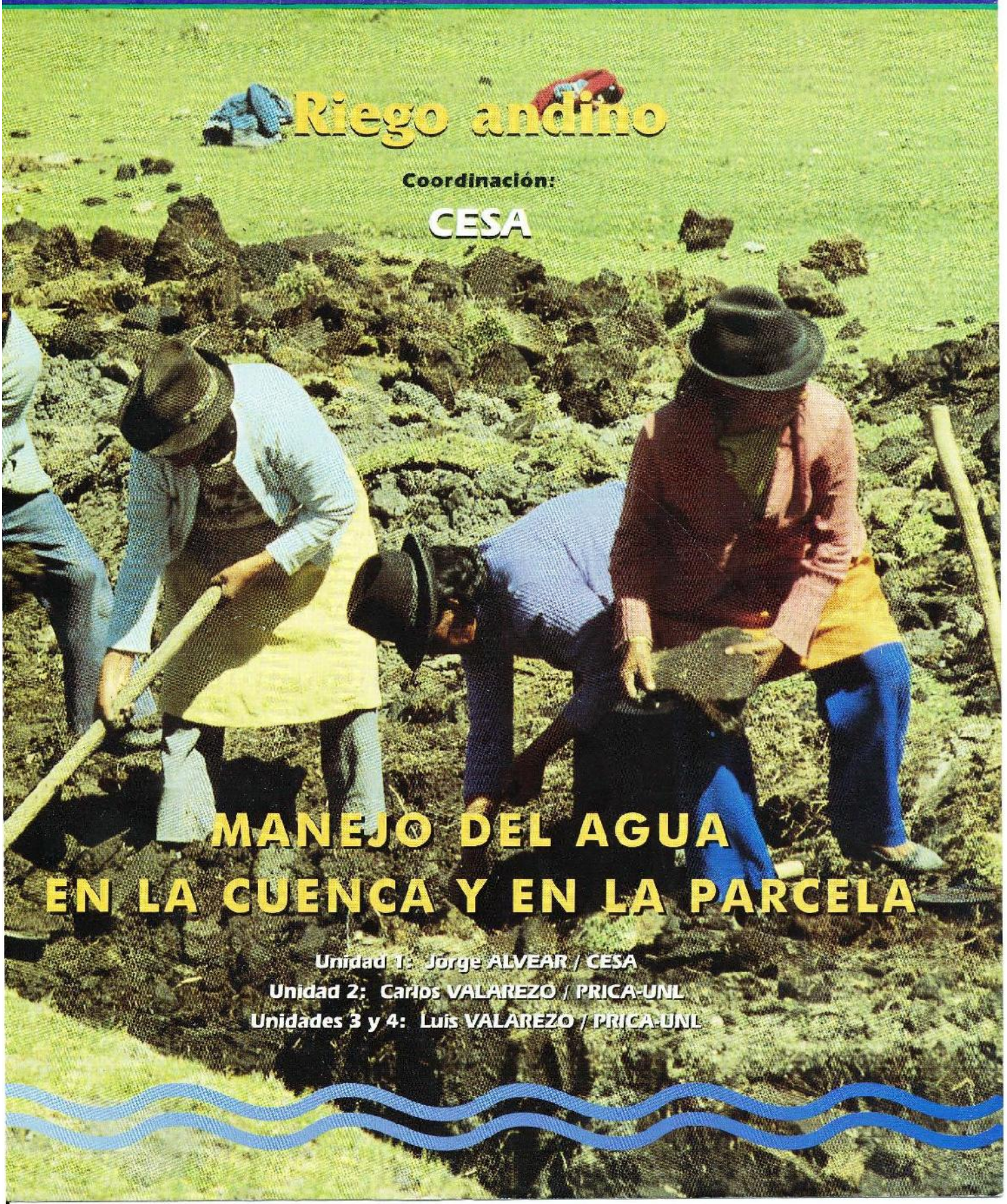
CAMAREN

SISTEMA DE CAPACITACIÓN PARA EL MANEJO SOSTENIBLE
DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES



# Riego andino

Coordinación:

CESA

# MANEJO DEL AGUA EN LA CUENCA Y EN LA PARCELA


Unidad 1: Jorge ALVEAR / CESA

Unidad 2: Carlos VALAREZO / PRICA-UNL

Unidades 3 y 4: Luis VALAREZO / PRICA-UNL

CAMAREN

SISTEMA DE CAPACITACIÓN PARA EL MANEJO SOSTENIBLE
DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

# Riego andino

Coordinación:

**CESA**

# MANEJO DEL AGUA EN LA CUENCA Y EN LA PARCELA


Unidad 1: Jorge ALVEAR / CESA

Unidad 2: Carlos VALAREZO MANOSALVAS / PRICA-UNL

Unidades 3 y 4: Luis VALAREZO MANOSALVAS/ PRICA-UNL

© CAMAREN, Quito-Ecuador, 1999

**Título:** Manejo del agua en la cuenca y en la parcela
**Autores:** Jorge Alvear
Carlos Valarezo Manosalvas
Luis Valarezo Manosalvas

**Eje temático:** Riego Andino
**Coordinación:** CESA
Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas

**Coordinador del eje Riego Andino:** Sandra Jácome
**Revisión de género:** María Solís C.
**Revisión pedagógica:** Lucrecia Maldonado
**Diseño gráfico:** Luis Calderón
**Diagramación:** Sara Comunicación Visual
**Fotografías:** CESA
**Diseño portada:** Luis Calderón
**Fotografía de Portada:** CESA
**Auspiciantes:** COSUDE Y DGIS
**Organismo internacional asesor:** INTERCOOPERATION

**PARTICIPANTES EN MESAS DE TRABAJO:**

**Unidad Coordinador del CAMAREN**
Antonio Gaybor / Patricio Crespo / Dennis García

**Coordinación del Eje Temático en CESA**
Ramiro Moncayo / Christophe Eberhart / Guadalupe Tobar / Edmundo Narváez / Jorge Alvear / Sandra Jácome

**CESA**
Edison Mafla / Guillermo Terán / Fernando Terán / Aline Arroyo

**CICDA**
Frédéric Apollin / Telmo Robalino

**SNV**
Rutgerd Boelens / Joost Noordholland de Jong / Hugo Olazával / Juan Burgmeijer / Gerben Gerbrandij / Hugo Van Drunnen

**PRICA - UNL**
Carlos Valarezo

**CID / CESA**
Christophe Eberhart

**FECD**
Pablo Salazar

**PRONADER**
Homero Castanier

**COSUDE**
Luis Heredia

**IICA**
Fabio Bermúdez

**CNRH**
Maribel Montenegro
Rafael Guamán

**MBS**
Vladimiro Paredes

**CORSICEN**
Wilson Dueñas

**CEBYCAM**
Bélgica Villamarín

**FEPP**
Jorge Sánchez

**IEDECA**
Iván Cisneros

**Proyecto Penipe**
Aurelio Silva

## DIRECCIONES

**CAMAREN**
Av. Amazonas y Eloy Alfaro
Edificio MAG. 7mo. Piso
Telefax. 553 419 - 563 485
Celular: 09 824 084
E-mail: camaren@hoy.net
http//:www.camaren.org
Quito - Ecuador

**CESA**
Inglaterra N 31-30
Telf.. 524830 / 567475
Fax: 503006
Email: cesaoc@cesa.org.ec
*Quito-Ecuador*

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

UNIDAD 1: LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS: CARACTERÍSTICAS, IMPORTANCIA Y PLANES DE MANEJO 9

TEMA 1.1 CARACTERÍSTICAS DEL CICLO DEL AGUA 12

1.1.1 ¿El agua estuvo, está y estará allí para siempre? 13

1.1.2 El ciclo del agua 14

1.1.2.1 Los factores naturales del ciclo del agua 16

1.1.2.2 Los factores antrópicos 18

1.1.2.3 Importancia de los páramos en los andes 20

1.1.2.4 Algunas concluciones iniciales 22

TEMA 1.2 LA CUENCA HIDROGRÁFICA: UNA UNIDAD DE PLANIFICACIÓN 26

1.2.1 La cuenca hidrográfica: características generales 26

1.2.1.1 Algunas definiciones 26

1.2.1.2 La cuenca: una realidad compleja 28

1.2.1.3 Las cuencas hidrográficas en el Ecuador 29

1.2.1.4 Los actores involucrados y las fuentes de conflicto 32

TEMA 1.3 EL PLAN DE MANEJO DE CUENCA 38

1.3.1 Visión general de los planes de manejo de cuenca: orígen e implicaciones 38

1.3.1.1 Historia reciente del manejo de cuencas 39

1.3.1.2 Situación actual 41

1.3.1.3 Implicaciones principales 44

1.3.2 El plan de manejo de cuencas: una vía para el desarrollo sustentable 47

1.3.2.1 Enfoques y estrategias vigentes en los planes de manejo de cuencas 50

1.3.2.2.1 Enfoque regional para la implementación de planes de manejo de cuenca 52

1.3.2.2.1.1 Caracterización y principales componentes 52

1.3.2.2.1.2 Estrategias, experiencias y bibliografía 56

1.3.2.2.2 Enfoque local del manejo de cuenca 58

1.3.2.2.2.1 Caracterización y principales componentes 60

UNIDAD 2: RELACIÓN SUELO - PLANTA - AGUA 75

TEMA 2.1 EL SUELO Y SU FUNCIÓN CON EL MUNDO VEGETAL 77

2.1.1 Soporte 78

2.1.2 Nutrientes esenciales 78

2.1.3 Agua 78

2.1.4 Oxígeno 79

2.1.5 Medio ambiente favorable 79

2.1.6 Textura 80

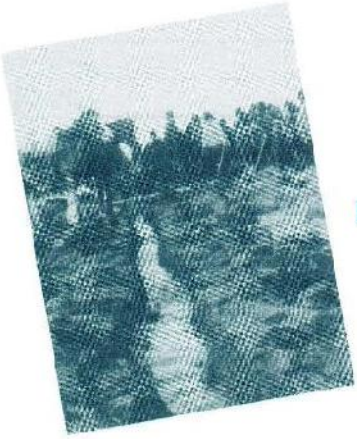
2.1.7 Extructura 82

2.1.8 Color 82

2.1.9 Reacción 83

2.1.8 Fertilidad del suelo 83

TEMA 2.2 RELACIONES DE MASA, VOLUMEN Y HUMEDAD DEL SUELO 85
2.2.1 Densidad real 86
2.2.2 Densidad aparente 86
2.2.3 Porosidad 87
2.2.4 Formas de expresar el contenido de humedad 87
2.2.5 Almacenamiento y disponibilidad de agua en el suelo 90
2.2.6 Métodos para medir la humedad del suelo y decidir cuando regar 94
2.2.7 Infiltración 98
TEMA 2.3 APTITUD DE LOS SUELOS PARA EL RIEGO E IMPLICACIONES SOCIALES Y AMBIENTALE 102
TEMA 2.4 LOS PROCESOS DE DEGRADACIÓN Y LA RECUPERACIÓN DE SUELOS BAJO RIEGO 106
2.4.1 La degradación del suelo 106
2.4.2 Salinización y sodificación 106
2.4.3 Acidificación 106
2.4.4 Pérdida de nutrientes 106
2.4.5 La erosión 107
2.4.6 Prevención y reconstitución 110



UNIDAD 3: NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS 115
TEMA 3.1 LA EVAPOTRANSPIRACIÓN, LA EVAPORACIÓN Y LA TRANSPIRACIÓN 117
3.1.1 Evapotranspiración de referencia (ETo) 120
3.1.1.1 Formas para determinar la ETo 121
TEMA 3.2 INFLUENCIA DEL TIPO DE CULTIVO Y LA FASE DE DESARROLLO SOBRE LAS NECESIDADES DE AGUA 128
3.2.1 Kc y tipo de cultivo 129
3.2.2 Kc y la fase de desarrollo de cultivo 130
3.2.3 Cálculo del Kc 133
3.2.4 Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos 138
3.2.5 La necesidad de regar 142
3.2.6 Determinación de la precipitación efectiva 142
3.2.7 Cálculo de las necesidades netas de agua de riego 144
3.2.8 Cálculo de las necesidades brutas de agua de riego 145
3.2.9 Determinar la Eto, por medio del método de tanque evaporímetro 152
3.2.10 Cálculo de la temperatura media mensual: Tmax y Tmin 153

UNIDAD 4: RIEGO PARCELARIO 155
TEMA 4.1 MÉTODOS DE RIEGO 157
4.1.1 Riego por superficie 157
4.1.2 Riego por presión 162
4.1.3 Riego subterráneo 164
4.1.4 Eficiencias de los diferentes métodos 165

TEMA 4.2 RIEGO POR SURCOS 166
4.2.1 Conceptos 166
4.2.2 Condiciones para utilizar el riego por surcos 167
4.2.3 Elementos del diseño 169
4.2.4 Fases del riego por surcos 177
4.2.5 Construcción de los surcos en terrenos inclinados 180
4.2.6 Técnicas de planificación 181
4.2.7 Condiciones para utilizar el riego por surcos 183
TEMA 4.3 OTRAS FORMAS DE RIEGO SUPERFICIAL EN LA REGIÓN ANDINA DEL PAÍS 187
4.3.1 Riego por desbordamiento 187
4.3.2 Riego por canterones 188
4.3.3 Riego por surcos abastecido por una tubería 188
4.3.4 Aspersión 189
4.3.5 Terminología 193
4.3.6 Componentes de un sistema de riego por aspersión 198
4.3.7 Tipos de infraestructura en relación con la presión 202
4.3.8 Instrumentos físicos - administrativos para regular y/o medir caudales y zonas de riego en comunidades andinas 204
4.3.9 Uniformidad de distribución de agua 206
4.3.10 Organización familiar para el riego andino a presión 212
4.3.11 Ejecución, operación y mantenimiento de un sistema de riego andino 213
BIBLIOGRAFIA 219

LISTA DE FIGURAS 225

# INTRODUCCIÓN

La sierra andina ecuatoriana es una importante área de producción de alimentos, a pesar de las limitaciones de los recursos naturales y la baja productividad, genera hoy más del 40% de los alimentos para el consumo interno principalmente, por lo que constituye una zona estratégica del desarrollo rural y la seguridad alimentaria del país.

Estacionalmente registra periodos de déficit de precipitación, por lo que el éxito en la producción agropecuaria, está condicionado a la dotación oportuna de agua de riego.

Se estima que en el Ecuador, existen alrededor de 710.870 ha. bajo riego, de las cuales 135.526 ha. (19.1%) se benefician del riego estatal, que ha sido diseñado, construído, operado y administrado por el sector público; mientras que, 575.347 ha. (80.9%) son regadas mediante sistemas de riego particular.

Las estimaciones señalan que existen en la Sierra más de 2.000 acequias que conforman una red de pequeños sistemas de riego de complejo funcionamiento y con una baja eficiencia del riego por la aplicación de cantidades excesivas de agua, con grandes pérdidas en unos sectores y deficiencias en otros, lo que genera importantes desperdicios de este recurso y deslizamientos en masa en las laderas regadas, debido a filtraciones internas del agua de riego, lo que ha significado la destrucción de viviendas y pérdida de áreas de cultivo, con la concomitante reubicación de la gente.

Para enfrentar tan delicado problema, es necesario que el Asesor en Riego Andino (ARA), este capacitado, técnica, social, cultural y ambientalmente. Para tal efecto el Módulo 5. "Manejo del agua en la cuenca y en la parcela" lo conforman cuatro unidades, secuencialmente relacionadas.

En la Unidad 1. "La Cuenca Hidrográfica y el Riego Andino", se aborda la relación del hombre con los recursos naturales renovables, considerando la cuenca hidrográfica, como unidad geográfica de planificación del desarrollo, dándose especial énfasis a los factores naturales y sociales que intervienen en el ciclo hidrológico.

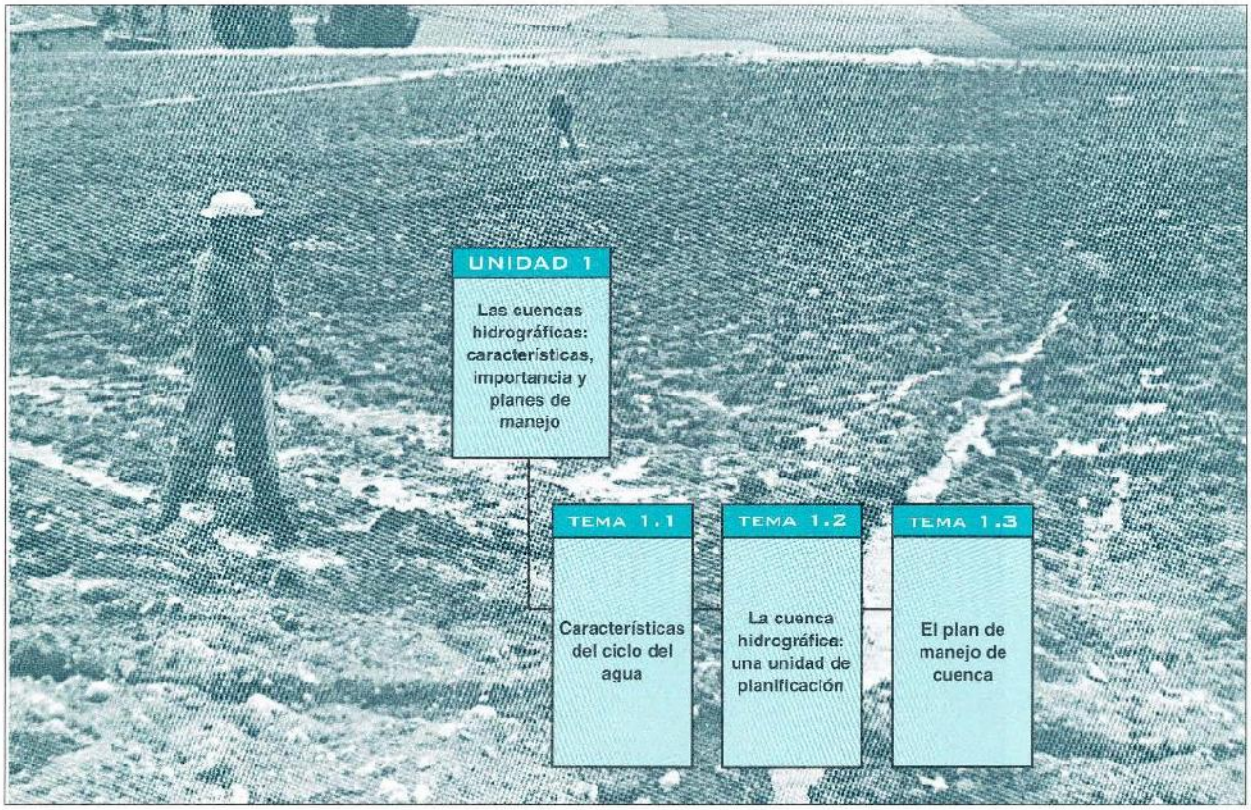
En la Unidad 2. "Interacción agua-suelos-planta", se expone las relaciones de las características físicas-químicas de los suelos con los requerimientos del crecimiento de las plantas y el contenido y movimiento del agua en el suelo. También, se analizan los criterios de aptitud de los suelos para riego, así como, los diferentes procesos de degradación y recuperación de los suelos de las áreas bajo riego.

En la Unidad 3. "Necesidades de agua de los cultivos", en primer lugar, se aborda el proceso de evapotranspiración y los factores climáticos que determinan el mismo. Posteriormente, se presenta el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, para finalmente establecer las necesidades de agua de riego.

En la Unidad 4. "Riego Parcelario", se trata en primer lugar, los diferentes métodos de riego parcelario. Seguidamente, se analiza el riego por surcos y los factores que lo condicionan. Finalmente, se aborda el riego por presión, con sus principales ventajas y desventajas, así como, los requisitos técnicos mínimos, para un diseño de riego comunitario en los andes.

# Las cuencas hidrográficas: características, importancia y planes de manejo

1 UNIDAD




## Resumen

La presencia en cantidad y la calidad del agua en una cuenca hidrográfica, dependen en gran medida del manejo que el ser humano le dé al conjunto de los recursos naturales.

Los Planes de Manejo de Cuenca se constituyen actualmente en una alternativa válida para salvaguardar el recurso agua, y en puntal del desarrollo sustentable. Los Planes de Manejo de Cuenca requieren de responsabilidades compartidas a todo nivel de la sociedad, a fin de concretarse en alternativas factibles.

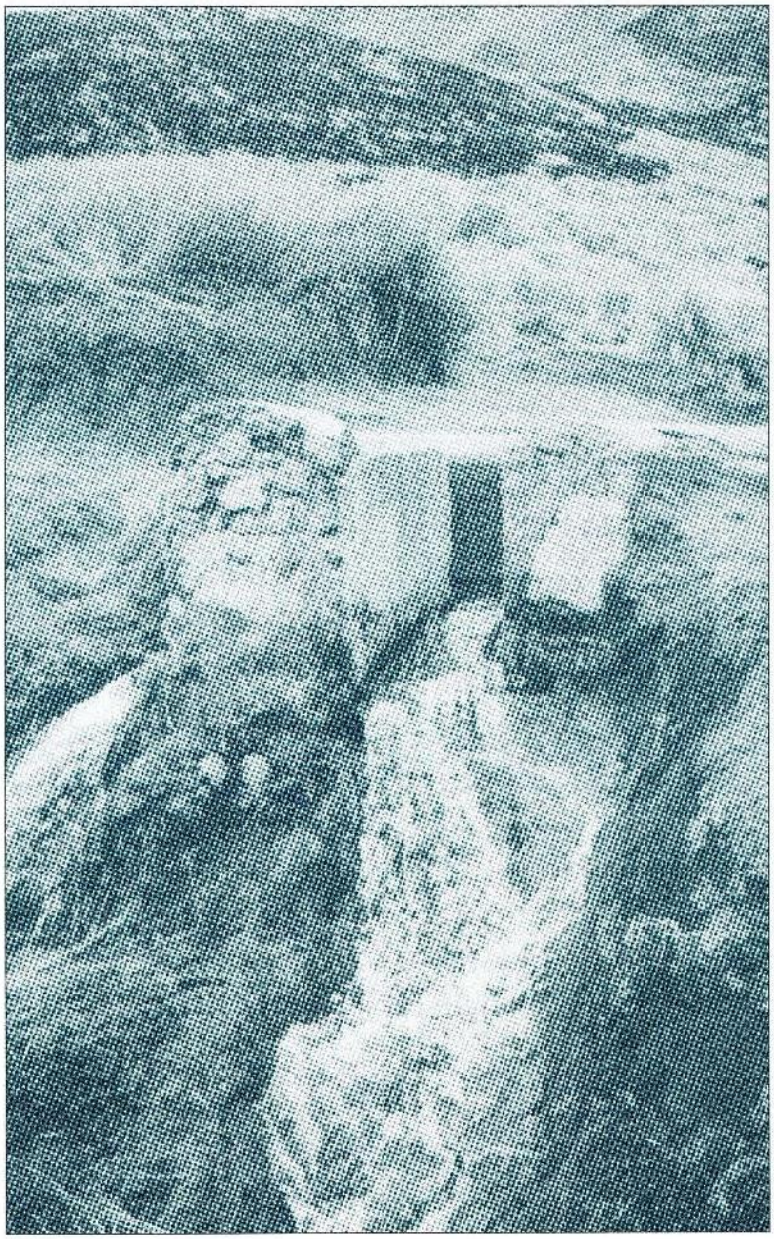
## Objetivo pedagógico

Al finalizar esta unidad, el lector estará en capacidad de

- Comprender los factores que intervienen en la reproducción del ciclo del agua al interior de una cuenca hidrográfica, así como, la responsabilidad del ser humano en el equilibrio

del medio ambiente y la importancia de los consensos en la construcción de Planes de Manejo de Cuencas.

- Identificar los principales objetivos, estrategias y componentes de un Plan de Manejo de Cuencas, así como, consultar y utilizar la bibliografía especializada para implementar un Plan de Manejo.



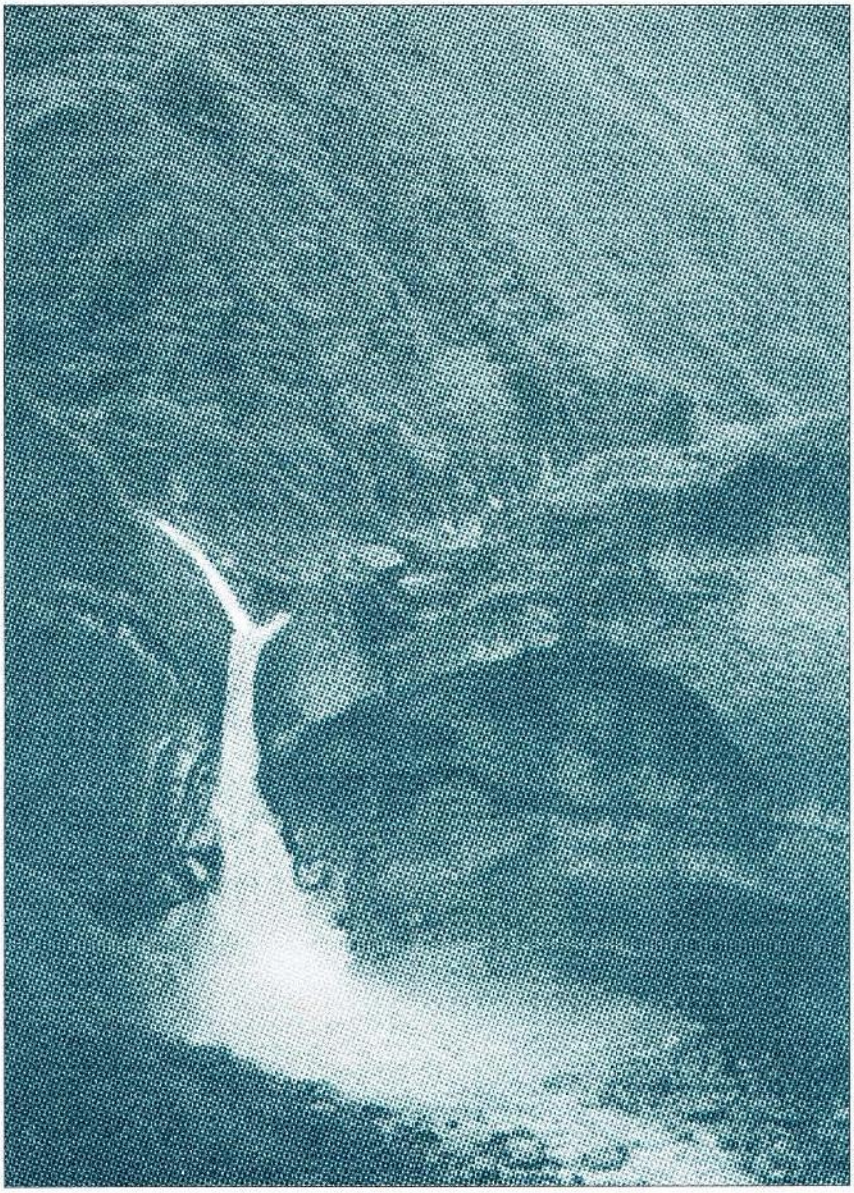
# INTRODUCCIÓN

Nuestro objetivo en esta Unidad será incidir en el lector, quien suponemos se halla vinculado a la gestión del riego, para que (si es del caso) modifique y amplíe su comprensión de los factores que inciden en la existencia y permanencia del agua de riego en las vertientes, en la captación y en el canal principal de un sistema de riego.

Precisando un poco, pretendemos:

- Demostrar que no es seguro que el agua esté siempre en la vertiente, y que ello depende de muchos factores, por lo cual, es necesario comprender el funcionamiento de una cuenca hidrográfica.
- Convencer al lector de que el ser humano es quien debe manejar adecuadamente los recursos naturales para garantizar el mantenimiento, e inclusive el incremento, de los caudales.
- Reconocer la existencia de una multitud de actores involucrados, entre los cuales es imprescindible generar alianzas estratégicas para la cooperación, coordinación y sostenibilidad.
- Destacar la importancia que tiene el diseño y ejecución de Planes de Manejo de Cuenca, como una alternativa para el desarrollo sustentable.
- Explicar qué elementos comporta un Plan de Manejo de Cuencas y microcuencas, y señalar estrategias para elaborarlo.

# TEMA 1.1. CARACTERÍSTICAS DEL CICLO DEL AGUA



### 1.1.1 ¿El agua estuvo, está y estará alli siempre?

O también, otra forma de iniciar el tema podría ser la pregunta ¿por qué sí hay agua en algunas partes y por qué no hay agua en otras? la intención principal es dejar en claro qué es lo que hace la diferencia entre que exista y no exista agua en un lugar determinado.

Los seres humanos tenemos una corta existencia en el planeta, de aproximadamente veinte mil años. El planeta tiene una historia de más de 4500 millones de años. El género humano ha estado muy poco tiempo sobre el planeta como para atestiguar si siempre una zona ha sido seca o si ha tenido abundantes fuentes de agua. Por ejemplo, todos sabemos que las famosas pirámides, en Egipto, se encuentran en medio de un gran desierto el cual asumimos que ha sido siempre así; sin embargo, actualmente hay pruebas muy confiables de que hace más de 10000 años ese era un valle muy fértil, con una gran producción agrícola y que contaba con lluvias torrenciales. ¿Qué fue lo que pasó? nadie lo sabe con certeza. ¿Cómo podemos saber si zonas desérticas de nuestro país como Palmira, o partes de la provincia de Loja, tuvieron antes una vegetación exuberante? Únicamente algunos especialistas podrán descubrir indicios que nos den una pista.

El género humano ha estado muy poco tiempo sobre el planeta como para atestiguar si siempre una zona ha sido seca o si ha tenido abundantes fuentes de agua.

Retomando el tema, creemos que este ejemplo nos ayuda a explicar la posibilidad real que existe de que, donde hoy existe agua, mañana ya no la haya, así como de lograr que exista agua en zonas que no la tienen. Buena parte depende de lo que las personas hagan o dejen de hacer. En realidad, todos los conocimientos con que cuenta la humanidad permiten aseverar que está en nuestras manos construir un mañana próspero con abundantes recursos naturales, o si destruiremos nuestro futuro arrasando los recursos naturales.

## 1.1.2 El ciclo del agua

"Las repercusiones más importantes del cambio climático serán sus efectos en el ciclo hidrológico y los sistemas de gestión del agua y, por conducto de éstos, en los sistemas socioeconómicos. Se estima que los países de América Latina y el Caribe pueden ser relativamente más vulnerables a las variaciones globales del clima, debido a que un porcentaje mayor de su economía depende de actividades que son sensibles al clima y se relacionan con los recursos hídricos ... Se espera que el impacto de la variación climática sería mayor en las zonas donde hay escasez de agua, gran contaminación o condiciones meteorológicas extremas peligrosas. Se recalcó que la capacidad de los países de la región de controlar y regular sus recursos hídricos está muy limitada en comparación con otras regiones del mundo." (Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Carta circular 1,* 1.994)

Debemos explicar por qué decimos que el agua tiene un ciclo. Empecemos precisando que cuando hablamos de un ciclo, estamos hablando de un proceso que se repite permanentemente, mientras ciertas condiciones se cumplen. Por ejemplo: El funcionamiento del motor de un automóvil a gasolina es un ciclo que se repite constantemente mientras se oprime el acelerador: pasa combustible al carburador, se mezcla con el aire y se convierte en gas, el que pasa al motor, donde entra en contacto con la chispa eléctrica que emiten las bujías conectadas al alternador, generando pequeñas explosiones que empujan a los pistones una y otra vez, los cuales mueven las llantas y permiten que el auto ruede.

Este es un buen ejemplo de qué es un ciclo. Mientras se cumplan ciertas condiciones, el ciclo se repetirá sucesiva y simultáneamente innumerables veces. En el caso del motor, las condiciones para que el proceso se repita son las siguientes:

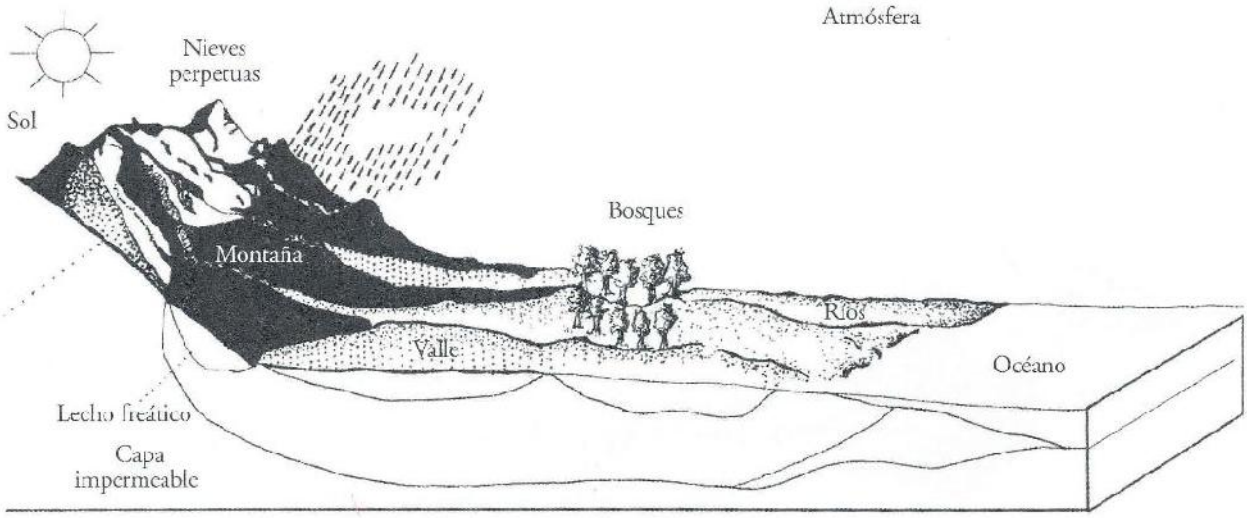
- que permanentemente ingrese gasolina al motor
- que entre aire al carburador
- que el alternador envíe las descargas eléctricas necesarias y oportunas a las bujías
- que el motor se mantenga a bajas temperaturas
- y, por supuesto, que el conductor no se choque, permitiendo que todas las partes del motor se mantengan en su lugar y cumpliendo las funciones que les corresponde.

Con seguridad, un ingeniero o un mecánico, que son quienes en verdad conocen del tema, se reirán de nuestra explicación y, de seguro, argumentarán muchas razones que

cuestionarían nuestro ejemplo, sin embargo, esta explicación es bastante útil para nuestros fines, pues nos permite referir lo que es un ciclo, y que su perdurabilidad depende de factores internos y externos.

A continuación analizaremos los factores que posibilitan el ciclo del agua, resaltaremos su importancia y el papel del ser humano en su conservación.

Los gráficos que siguen facilitarán la comprensión de cómo surge el agua, adónde se va y cómo regresa; y, también en ese proceso, cómo se pierde el agua, se la recupera, e inclusive se la puede incrementar.




Estos son los principales componentes de la naturaleza que influyen en el comportamiento del agua en nuestro planeta. Esto sucede en cualquier lugar del mundo sin excepción. Cabe explicar algunos términos que pueden generar confusión:

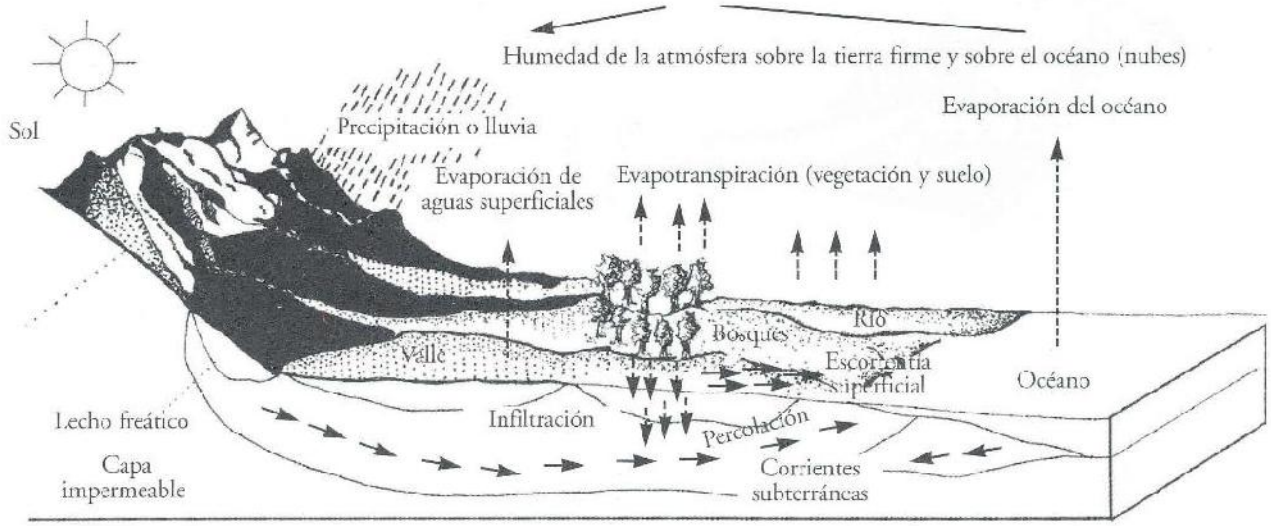
- Lecho freático: debajo de la superficie de la tierra, usualmente se encuentran capas de agua. El lugar en el que se asientan estas capas de agua son llamadas técnicamente *lechos freáticos* o, también, *nivel freático*. Éstas aguas subterráneas pueden estar ubicadas a pocos metros de la superficie, como también a cientos de metros de la misma.
- Capa impermeable: el suelo está compuesto por un sinnúmero de capas, una de ellas tiene como característica ser impermeable, es decir, que no permite el paso del agua hacia el interior del planeta.
- Atmósfera: es la capa de aire que rodea el planeta. El sector de la atmósfera que hace contacto con la tierra permite nuestra respiración y la supervivencia de las diferentes especies.

En este marco, el agua desarrolla un ciclo marcado por la incidencia de dos tipos de factores: naturales y antrópicos (producidos por el ser humano).

### 1.1.2.1 Los factores naturales del ciclo del agua

La naturaleza crea las condiciones para que el agua realice un ciclo permanente y constante, principalmente por la incidencia de elementos como el sol, la atmósfera, la vegetación y el suelo.

A continuación veremos cuál es el comportamiento del agua en este contexto natural, y cada fase del proceso del ciclo del agua.




Este gráfico nos permite visualizar claramente de dónde viene al agua que cae mediante la lluvia, y lo que pasa con esa agua: cómo una parte de ella es absorbida por el suelo y la vegetación, cómo otra parte regresa al mar; y, otra se evapora y retorna a las nubes en la atmósfera. Vale la pena aclarar algunos términos que pueden provocar confusión:

2. Escorrentía superficial: cuando llueve en forma abundante, y según el tipo de suelo, toda el agua que llega al suelo no ingresa en él, sino que forma pequeños cauces, fluye sobre la superficie del terreno, va hacia las quebradas, y de las quebradas hacia los ríos, y de los ríos al mar.
3. Infiltración: es la cantidad de agua que llega al suelo por la lluvia, y que sí ingresa al suelo, humedeciéndolo.

4. Percolación: es una parte del agua que se infiltra en el suelo, pero no se queda en él, debido a factores como tipo de suelo y la cantidad de lluvia, y se sigue filtrando hacia su interior, hasta llegar al lecho freático e incrementar el caudal de las aguas subterráneas.

6. Evapotranspiración (vegetación y suelo): no solo el agua que está pura se evapora ante el sol, sino también, el agua que está en las plantas, y la que se ha infiltrado en el suelo. Ese proceso se llama evapotranspiración.

9. Corrientes subterráneas: las aguas subterráneas que se forman en el lecho freático encima de las capas impermeables del suelo se encaminan hacia el mar formando verdaderas corrientes de agua, como las que movilizan el agua en el océano.

Los conceptos de precipitación, *escorrentía superficial, infiltración, percolación, evaporación de aguas superficiales y evapotranspiración*, serán analizados en detalle durante la Unidad 2 del presente módulo.

Detengámonos un momento a analizar las interrelaciones que posibilitan el ciclo del agua y, los condicionantes que afectan su reproducción permanente.

El caso de los páramos de El Hato, cantón Cayambe, provincia de Pichincha:

"Puesto que El Hato recibe 1000 milímetros de agua por lluvias por año (en realidad serán entre 1000 y 1100 mm por año). Esto corresponde a un 1000 litros por metro cuadrado y año, es decir, una tonelada por m2 y año.

Fijamos la superficie de los páramos de "EL HATO" que es de 3700 has. Resultan 37 millones de m3 por año, lo que equivale a 37 millones de toneladas, solo tomando en cuenta las lluvias, que caen sobre los páramos, no incluyendo las aguas que bajan del Nevado Cayambe." (*Plan de manejo para los páramos de El Hato, 1.995. IEDECA*)

Según datos obtenidos (UNESCO, 1985) anualmente de los océanos se evaporan alrededor de 505000 Km3 de agua, lo que es una cantidad inmensa de líquido, el cual solventaría todas las necesidades de agua de la humanidad; sin embargo, casi toda esa agua, aproximadamente 458000 Km3 regresan directamente al mar mediante la lluvia. De ese inmenso caudal, únicamente 47000 Km3 se convierten en lluvia que cae sobre los continentes.

Por otro lado, tenemos el agua que se evapora de los suelos, la vegetación y las aguas superficiales (Gráfico # 2), los cuales proveen la **mayor cantidad de agua de lluvia** que cae sobre los continentes y, por tanto, la que es utilizable por la naturaleza y el hombre para su supervivencia. Concretamente, cada año caen en los continentes 72000 Km3 de agua de lluvia, que se originaron gracias a la evapotranspiración de suelos y plantas, así como a la evaporación de las aguas superficiales como ríos y lagos.

¿Qué conclusiones podemos sacar de estos datos? la principal conclusión es que casi los dos tercios del agua que es utilizable por el hombre provienen del manejo que se da a los recursos naturales en los continentes, mediante el mejoramiento de sus suelos, la forestación y conservación de bosques y páramos, protegiendo las fuentes y vertientes que alimentan lagos y ríos.

También podemos concluir que el ciclo del agua es un proceso natural, que se repite constantemente en la naturaleza sin la intervención del ser humano y que, en condiciones normales, no habría ninguna razón para prever que este ciclo se viese afectado, o peor aún, que se interrumpiera.

### 1.1.2.2 Los factores antrópicos

Recientemente, frente a este inmemorial proceso natural, se encuentra incidiendo el ser humano. A diferencia de los factores naturales que inciden en el ciclo del agua, el ser humano es un actor consciente y racional, que responde a necesidades e intereses propios, mientras que los factores naturales responden a procesos físicos y químicos irreversibles en nuestro planeta.

A diferencia de los factores naturales que inciden en el ciclo del agua, el ser humano es un actor consciente y racional, que responde a necesidades e intereses propios, mientras que los factores naturales responden a procesos físicos y químicos irreversibles en nuestro planeta.

No solamente que el hombre incide en el manejo de los recursos naturales, sino que, ha desarrollado un complejo proceso civilizatorio según el cual tiene la potestad del uso de los recursos naturales para solventar sus necesidades de todo orden, tanto básicas como suntuarias. Los recursos de la naturaleza posibilitan la alimentación, el abrigo, la generación de energía eléctrica, la construcción de muebles y viviendas, la producción de medicamentos, etc.

En ello hay que agregar un componente importante: la civilización que compartimos es fruto de un proceso histórico de largo aliento, y actualmente dispone de sofisticada tecnología y amplio conocimiento científico que manipula muchas formas de energía inmensas. Esta capacidad constituye un potencial enorme, que puede derivar en procesos que garanticen la reproducción del ciclo natural del agua o, en su defecto, pueden reducir severamente las reservas naturales del planeta y determinar la minimización progresiva del ciclo del agua y por tanto la reducción constante de caudales en los sistemas de riego y consumo humano, principalmente.

"Parece que se estima a los páramos como LA FUENTE y LA CUENCA inagotable, que puede servir a todos los usuarios y para siempre, pero que el mismo lo necesite no se piensa. Y en realidad, parecería que hay agua en abundancia en los páramos, en ríos, riachuelos, regates y arroyos, en los pantanos y en un sinfín de lagunas, y además en forma impresionante en sus glaciares colindantes del Cerro Cayambe. Sin embargo, las primeras señales de que no es así vienen desde antes; por ejemplo el 7 de julio de 1995 apareció en un periódico suizo un artículo que decía lo siguiente: 'En la sierra ecuatoriana la población sufre más y más bajo una escasez de agua. La presión a los sitios agrícolas en las partes bajas del valle interandino obliga a los campesinos a subir a las laderas y faldas de las Cordilleras. *La deforestación y la destrucción de los páramos, que funcionan como esponja, agravan la situación del agua – sobre todo para los minifundistas de la sierra. Consecuentemente deben ser medidas adecuados la protección del suelo y del agua así como también la reforestación' "Neue Züricher Zeitung del 17 de julio de 1995.*

Ya es así que la protección de las cuencas hidrográficas se considera como una de las tareas más importantes y prioritarias dentro del revenir ecológico en el país que está vinculada estrechamente con la conservación de suelos y forestación." *(Plan de manejo para los páramos de El Hato, 1.995. IEDECA)*

Otro potencial conflicto en esta situación se deriva de que la forma en la que están organizadas las sociedades no es la más favorable para acceder a un manejo integral de los recursos naturales y la preservación del recurso agua. En el caso de nuestro país, la división político administrativa en provincias, cantones y parroquias, refleja procesos históricos muy diversos, que han determinado formas particulares de distribución del territorio, al igual que sucede con los países y sus límites. Sin embargo, el momento de enfrentar la organización necesaria para utilizar en forma sustentable los recursos naturales, se torna muy complejo el escenario de intervención.

El ejemplo que sigue solo refleja el conflicto entre actores en lo que se refiere al agua para consumo humano, la realidad es mucho más compleja:

Para la creación de una entidad de cuenca "el desafío mayor no está en la complejidad técnica de los sistemas hídricos, sino en la gobernabilidad y articulación que debe existir entre los múltiples actores que intervienen en la gestión del agua de cuencas que abastecen a grandes centros urbanos y que evacuan el agua de éstas. La situación actual en muchos centros urbanos, por falta de agua, contaminación de la existente, sobreexplotación de agua subterránea, y, mal uso de cauces naturales y evacuación de aguas servidas sin

tratamiento es gravísima. La falta de acción de muchos gobiernos ha originado que surjan iniciativas espontáneas para mejorar la situación de articulación de acciones entre actores. Lamentablemente, muchas de estas iniciativas carecen de guías y estrategias para hacerlo adecuadamente por lo que; en general; la creación de entidades de gestión de aguas en cuencas urbanas no ha pasado de las buenas intenciones". (Ordenamiento Político – Institucional para la gestión del agua" CEPAL, enero 1.998)

### 1.1.2.3 Importancia de los páramos en Los Andes

Existe un elemento adicional en el que confluyen varios de los factores que permiten el ciclo del agua, y que tiene un papel trascendental para las cuencas hidrográficas andinas: el páramo.

En el contexto andino, a todos los factores naturales y antrópicos que inciden en el ciclo del agua se incorpora el páramo como un factor de especial importancia en la regulación de los flujos de agua para la cuenca. El páramo posee características muy particulares, las cuales lo identifican como un ecosistema frágil que debe ser manejado adecuadamente para mantener su sofisticado funcionamiento.

Las principales incidencias del páramo andino en el ciclo del agua giran en torno a la captación de agua de la atmósfera, almacenamiento y dosificación permanente de caudales. Para describir este funcionamiento, recurrimos como al documento de CAMAREN *Nociones generales sobre ecosistemas de altura y la producción agropecuaria campesina*, del cual extraemos las siguientes ideas principales:

La función del páramo andino de captación de agua de la atmósfera, proviene fundamentalmente de los aportes de humedad que, siguiendo el ciclo del agua antes analizado, provienen del Océano Pacífico al occidente y la selva amazónica al oriente. En estos sitios se forma gran cantidad de nubes que son llevadas por vientos hacia la cordillera de Los Andes, donde chocan con ella y provocan la acumulación de grandes cantidades de nubes. La razón de la humedad en los bosques andinos y los páramos es precisamente esta gran cantidad de agua en estado gaseoso que viene en las nubes. Al llegar éstas a la cordillera se precipitan en forma de lluvia o, en forma de neblina, el agua es captada mediante condensación directamente por las plantas y el suelo.

En cuanto a su función de almacenamiento del recurso agua, el texto mencionado señala:

"Se puede considerar el páramo como el ecosistema más sofisticado para el **almacenamiento de agua** debido principalmente a la gran acumulación de materia orgánica (que aumenta la capacidad de almacenamiento de agua) y a las características de las plantas de páramo (que actúan como una verdadera "esponja") Sin embargo, es necesario aclarar que los páramos no son "fábricas de agua", como comúnmente se cree, sino que retienen y regulan los volúmenes de precipitación que reciben y que se caracterizan por **no ser abundantes sino constantes a lo largo del año.**

La capacidad del suelo del páramo de retener gran cantidad de agua se debe a su alto contenido de materia orgánica. Esto viene de una lenta descomposición de la materia orgánica resultado de las bajas temperaturas. Así, el suelo paramero se convierte en la "esponja" de la que hablábamos. El agua retenida empieza a correr formando corrientes de agua más y más caudalosas que riegan las tierras bajas. Eventualmente, el agua que cayó sobre el páramo regresa a la Amazonía y al océano, con lo que se cierra el ciclo hidrológico."

El páramo cumple la función de dosificación o de regulación de caudales a lo largo del año especialmente en los períodos de estiaje, ya que la cubierta vegetal húmeda que presenta, favorece e incrementa su capacidad de retención de agua. Es decir que, su capacidad de almacenamiento de agua inclusive en períodos secos, convierte al páramo en la única fuente de agua para la mayoría de las poblaciones localizadas en las partes inferiores de Los Andes. Pero ello está en dependencia directa con la presencia o ausencia de capa vegetal en el páramo, de allí que "la función reguladora de la escorrentía y de provisión de agua constante de los páramos hacia tierras bajas se ve amenazada por la alteración de su cubierta vegetal. Esto es precisamente lo que sucede cuando se altera la vegetación paramera por medio de prácticas agrícolas, ganaderas y forestales inadecuadas."

"Una consecuencia directamente relacionada con la pérdida de la cubierta vegetal es la degradación y pérdida de los suelos. En el momento en que la lluvia golpea el suelo descubierto en los páramos alterados, el poder regulador de los caudales que tiene el páramo se pierde y la escorrentía baja llevándose el suelo fértil, con lo que se produce erosión en el propio páramo, se dañan la cantidad y la calidad del agua que llega a las tierras bajas y se potencia la posibilidad de aludes, inundaciones y sedimentación. Asimismo, la pérdida de a capacidad de esponja del páramo conlleva en último término la posibilidad de sequías. Por ejemplo, muchos de los problemas de la represa de Paute, como la falta de lluvias y la excesiva sedimentación, pueden deberse en buena parte a este tipo de problemas en las tierras altas." (CAMAREN, Op. Cit.)

Paradójicamente, la vegetación que actualmente puebla los páramos el Ecuador no es la originaria: los pajonales que encontramos en los páramos son el producto de la intervención del ser humano, pues aún se puede encontrar en sitios de difícil acceso la vegetación original del páramo, que se caracteriza por ser boscosa, densa, con la presencia de árboles y arbustos, mucho más cercana a las características del bosque andino. Las actividades agrícolas y especialmente pecuarias que se han realizado progresivamente durante siglos en los páramos, han modificado sustancialmente su vegetación, incidiendo ello directamente por las causas mencionadas, en los caudales que se acumulan en las vertientes que son captadas para riego y consumo humano.

### 1.1.2.4 Algunas conclusiones iniciales

"Con el aumento de la población y de las actividades económicas, muchos países están llegando con rapidez a una situación en que el agua escasea o en que su desarrollo económico se ve obstaculizado. Una ordenación global del agua dulce en cuanto recurso limitado y vulnerable, y la integración de planes y programas hídricos sectoriales dentro del marco de la política económica y social nacional son medidas que revisten la máxima importancia entre las que se adopten en el decenio de 1990 y con posterioridad." (Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Carta circular 6*, 1.997)

La información anterior evidencia que la existencia y reproducción del ciclo del agua, actualmente está determinada por la capacidad del hombre para manejar los recursos naturales que lo rodean. Esto nos lleva a mencionar diferentes acciones que realizan diferentes actores de la sociedad, las cuales afectan directa e indirectamente al ciclo del agua y al manejo adecuado de los recursos naturales en una cuenca:

- La reducción de los bosques y páramos por la elevación de la frontera agrícola reduce los caudales disponibles, tanto para riego, como para consumo humano. Un ejemplo de ello es la quema que usualmente se realiza en el páramo para el pastoreo.
- En los suelos que han perdido su cubierta vegetal por un mal manejo agrícola, la lluvia y el riego aplicado en forma inadecuada provocan erosión, es decir la pérdida de capas fértiles de suelo que se desplazan de las montañas hacia los valles, produciendo pérdida de fertilidad.
- La ausencia de acuerdos entre quienes residen en una misma cuenca hidrográfica y, más aún, entre quienes residen en una misma microcuenca que alimenta un sistema de riego, provoca un uso inadecuado de los recursos que incide negativamente en la duración de los sistemas de uso del agua, ya sean para riego o para consumo humano.
- La contaminación de las aguas por el uso descontrolado de químicos en la agricultura, la industria y la minería; y, la contaminación bacteriológica provocada por el vertimiento de desechos de los centros urbanos.
- La expansión de los centros poblados e industriales, afectando a la flora y fauna.
- La extracción de materia prima de la naturaleza, como: madera, leña, arena, piedra, petróleos, minerales, etc.

En el siguiente ejemplo se verifica la diversidad de intereses que se concentran contradictoriamente en torno al manejo de los recursos naturales de una cuenca, y de

allí, la dificultad de facilitar alternativas consensuadas para el manejo de sus recursos naturales.

## PROBLEMAS DEL PÁRAMO DE CAYAMBE

( Talleres de identificación de amenazas al páramo, INEFAN, 1.997)

| PROBLEMAS DEL PÁRAMO DE CAYAMBE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Subida de la agricultura** | **Quema** | **Pastoreo desordenado** | **Extracción de agua mal planificada** |
| ¿Quiénes se benefician? | • Comunidades (autoconsumo y parcialmente venta)<br>• Haciendas (para la venta) i.e. Hda. Anchola | • Comunidades: manejo de ganado, utilización del caballo, captura de conejos | • Comunidades: animales nativos (cóndor , lobo)<br>• Mujeres: ovejas, chanchos | • Pueblos y ciudades |
| ¿Por qué lo hacen? | • Presión demográfica<br>• Suelos bajos son cada vez menos productivos<br>• Satisfacción de necesidades<br>• Haciendas: por defender sus tierras de las comunidades | • Por facilitar el rodeo<br>• Captura de conejos | • Alimentación, transporte, rodeo de ganado<br>• Disposición de activos para canje por dinero:<br>• Crianza de chanchos, ovejas.<br>• Trabajo como trilla, arados.<br>• Abono: ovejas | • Prioritario. Solución más barata<br>• Falta de organización<br>• Evasión o desconocimiento de las leyes |
| ¿Quiénes se ven afectados si se los controla? | • Comunidades (autoconsumo y parcialmente venta)<br>• Haciendas (para la venta) i.e. Hda. Anchola | • Comunidades: pueblos y floricultura: agua<br>• El ganado de comunidades se beneficia | • Animales nativos | • Compañías ejecutoras |

*( Talleres de identificación de amenazas al páramo, INEFAN, 1.997)*

Frecuentemente se ha asumido al espacio del páramo como espacio eminentemente masculino, sin embargo, un análisis a través de enfoque de género nos puede dar cuenta de que en torno al páramo existen roles diferentes: varios estudios de caso demuestran que el acceso al páramo para traer el agua por canales principales puede ser un rol masculino, pero el cuidado colectivo de ganado en páramos comunales registra frecuentemente la presencia de mujeres, así como, el conocimiento y acceso como fuente de abastecimiento de medicinas (valeriana, tipo, chuquirahua, etc.) y uso de productos para la economía doméstica. Esto para muchos autores significa la existencia de una fuerte alianza entre los intereses de las mujeres, las comunidades y la conservación de la naturaleza, pero también, el uso o deterioro de recursos como el páramo inciden en la división sexual del trabajo.

El manejo del páramo tampoco está exento de conflictos de género: si partimos de algunos hechos históricos podemos ubicar que las comunidades accedieron de forma legal al páramo vía conformación de las comunas (desde finales de la década del 30), y también vía los procesos de Reforma Agraria. El acceso colectivo a los páramos garantizaba también el acceso de las mujeres al uso del páramo, pero, la creciente ampliación de la frontera agrícola ha incidido en una individualización de las tierras de páramo, y en estos procesos no se evidencia garantía para el acceso legal de las mujeres, pues, frecuentemente se siguen los patrones que individualizan la tierra a favor del jefe de la familia.

Un plan de manejo del páramo necesariamente debe considerar a hombres y mujeres, bajo la consideración de que el acceso, uso, manejo y control de los recursos, así como, la distribución por parte de hombres y mujeres tiene particularidades y diferencias.

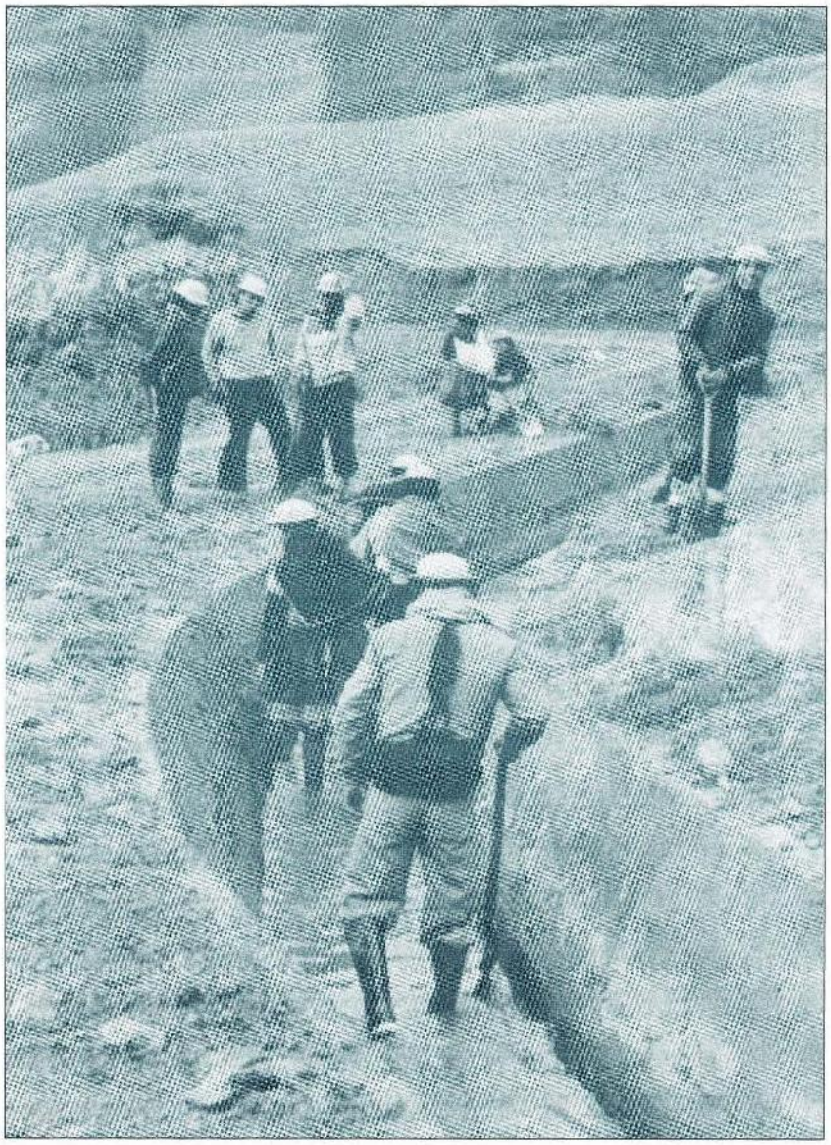
Debemos coincidir en que algo tan frágil como el ciclo del agua, requiere que **todos** los elementos involucrados sean tomados en cuenta por el único actor racional participante: el ser humano. En este punto, para quienes gustan y requieren de conceptos, proponemos un concepto de agua, que es muy atractivo en este campo de la integralidad y fragilidad del recurso:

"el agua no es más que uno de los recursos naturales, cuya existencia depende de la manera en que sean manejados los demás recursos naturales" (Varney, Valente & Castro, 1981).

Creemos que esa es la conceptualización más adecuada para comprender el recurso agua en el contexto del manejo integral y complejo que se requiere para posibilitar la preservación de este recurso. Ni más ni menos, esta es la idea que queremos reflejar en el lector sobre lo que significa la preservación del agua, para facilitar la comprensión de la necesidad de arribar a propuesta de manejo de las cuencas hidrográficas cuando se habla del manejo y preservación del recurso agua. Es decir, justificar la comprensión de que únicamente un manejo integral de todos los recursos naturales que se hallan en una cuenca hidrográfica, coordinado y ejecutado por los

hombres y mujeres, que conforman las sociedades que residen en una cuenca, y que, por tanto, dependen en gran medida de ella redundará en beneficio tanto de los seres humanos como de la conservación de la naturaleza y la continuidad del ciclo del agua.

No existen muchas experiencias de un desarrollo efectivo de planes de manejo de cuencas hidrográficas en Latinoamérica ni en los demás países en vías de desarrollo; sin embargo, durante la última década se han desarrollado importantes esfuerzos para mejorar el desempeño que se ha logrado a nivel del manejo de cuencas. A continuación explicaremos el concepto de una cuenca hidrográfica, y más adelante, nos adentraremos en los componentes principales de un Plan de Manejo de Cuencas y algunas experiencias, principalmente latinoamericanas.



# TEMA 1.2 LA CUENCA HIDROGRÁFICA: UNA UNIDAD DE PLANIFICACIÓN

## 1.2.1 La cuenca hidrográfica: características generales

Las políticas para utilizar el territorio de una cuenca hidrográfica como base para la gestión del uso múltiple del agua han tenido diferentes enfoques y una desigual evolución en los países de América Latina y el Caribe. El tema ha vuelto a recobrar vigencia desde la década de los noventa en el momento en que los países de la región buscan lograr metas de desarrollo sustentable conciliando crecimiento económico, equidad y sustentabilidad ambiental. La cuenca hidrográfica, y en especial el agua, juega un rol muy importante para permitir la participación y compatibilización de los objetivos de los actores involucrados en la ejecución de acciones tendientes al desarrollo sustentable. (Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Carta circular 5*, 1.997)

### 1.2.1.1 Algunas definiciones

Anteriormente hemos reseñado el ciclo del agua y los factores que lo hacen posible, así como aquellos que atentan contra él, de allí derivamos en la noción de cuencas hidrográficas y la necesidad de elaborar Planes de Manejo de Cuencas. Ahora vamos a detallar lo que concierne a una cuenca hidrográfica.

Dependiendo del punto de vista, existen diversas propuestas de lo que es una cuenca hidrográfica. Citaremos algunas:

Criterio geográfico:

"La cuenca hidrográfica es una unidad territorial de drenaje en la cual escurren las aguas a arroyos y ríos, que en conjunto forman un solo sistema con un último colector principal que desagua en los océanos, mares o lagos. Sus límites son las líneas de cumbre de los sectores montañosos desde donde las aguas fluyen en sentidos opuestos (divortium aquarum). Este espacio tiene también una dimensión vertical comprendida entre la atmósfera y el subsuelo, donde se encuentran las aguas subterráneas." (Carrera, De la Torre y Vallejo, 1.987)

Criterio técnico - jurídico:

"Es el territorio en el cual caen, se depositan y discurren las aguas en forma subterránea o superficial, confluyen a un mismo lugar para llegar, según el caso, al mar, cauce natural o lago (Propuesta de "Ley del sector agropecuario" al H. Congreso Nacional del Ecuador, mayo 1.999).

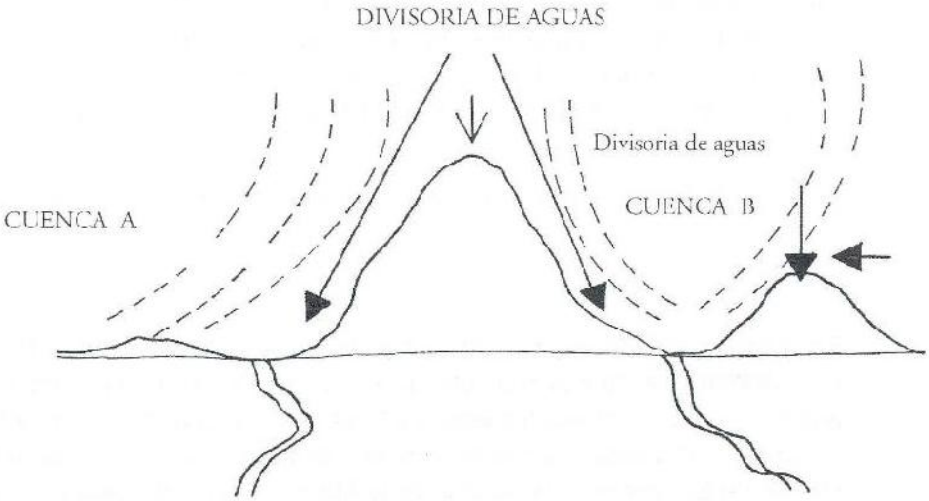
Criterio integral:

"La cuenca se la puede definir como una unidad territorial y ambiental delimitada por una línea divisoria de aguas que tributa a una red natural de drenaje; que tiene una salida única. En su interior están contenidos los recursos naturales como agua, suelos, vegetación y fauna. Todos estos recursos están continuamente interactuando y dependen entre sí. Esta interdependencia debe considerarse para poder tratarlos y así alcanzar el desarrollo sostenible en las actividades humanas." (Principios básicos del manejo integral de las cuencas hidrográficas". CAMAREN, 1.999)

Criterio operativo:

"Las cuencas son unidades naturales que constituyen el marco práctico y objetivo para la planificación, conservación y desarrollo sostenido de los recursos naturales, ya que permiten integrar la dimensión social, con la productiva y ambiental" (Primer Congreso Latinoamericano de Cuencas Hidrográficas, citado por Chang y Gallardo, 1.994)

Y podríamos citar más conceptos de lo que es una cuenca hidrográfica. Sin duda, cuando se trata de algo muy complejo, en lo que intervienen muchos elementos naturales, y, además el ser humano, las posibilidades de interpretación son muy variadas. Sin embargo, para iniciar el tema, debemos partir de las ideas principales que comparten los conceptos mencionados, a fin de que nos sirvan de orientación. Es así como podemos caracterizar a una cuenca hidrográfica porque constituye un espacio físico con límites definidos, es decir, una unidad territorial: las aguas que se depositan en su suelo confluyen en un mismo punto; la supervivencia de cada uno de los elementos que la conforman, incluido el ser humano, dependen directa o indirectamente de lo que suceda con los demás, y constituye una unidad idónea para que el hombre y la mujer planifiquen el manejo sustentable de los recursos naturales y así aseguren el futuro de las generaciones venideras.



### 1.2.1.2 La cuenca: una realidad compleja

**TRABAJO CONJUNTO ENTRE INSTITUCIONES PARA SELECCIÓN DE LA MICROCUENCA JOYAPA**

Mario Añazco

Durante una visita que realizamos a UMACPA (Unidad de manejo de la cuenca del Paute) nació la idea de realizar un trabajo en alguna microcuenca, para lo cual solicitamos apoyo a FAO y a UMACPA.

Recorrimos las microcuencas que trabajan, tanto CARE - Promusta como DFC, llegando a seleccionar la de Joyapa ya que además que no se encontraban sus recursos deteriorados se encontraba cercana a San José, de Ramanga, área de trabajo del proyecto Promusta. Posteriormente, y con apoyo de Guillermo Nuñez realizamos un taller para unificar criterios redefinir conceptos e intercambiar experiencias en lo técnico y metodológico donde participaron los equipos zonales del DFC y CARE PROMUSTA.

Posteriormente se llegaron a establecer acuerdos donde se resolvió que el DFC lideraría las actividades agroforestales y CARE las agrícolas y pecuarias a través de la coordinación en el campo los extensionistas de cada proyecto.

(CAMAREN, *Compendio de Fichas de Capitalización I*, 1998.)

Como analizamos anteriormente, el ciclo del agua es el resultado de muchos factores naturales y antrópicos, los cuales posibilitan su permanencia. Una cuenca hidrográfica determinada es un espacio geográfico en el que se encuentran todos los árboles, plantas, vegetación, animales y hombres que, hacen posible directamente que un río, y todas sus vertientes y afluentes, tengan agua. Todos los factores involucrados se interrelacionan permanente y directamente, posibilitando que el ciclo del agua se renueve constantemente, dando vida a todos las seres que dependen de ella. Todo lo que suceda en esa UNIDAD TERRITORIAL, determinará que en ella siga o no existiendo agua.

Citaremos algunos ejemplos que permitan comprender mejor esta idea:

En la zona del Antisana, la introducción de ovejas desde los años '60, provocó que los páramos se convirtieran en arenales, debido a la forma de la pezuña del animal, su peso y, principalmente, su forma de comer hasta la raíz. Ello ha incidido en cambios climáticos, lo que ha provocado que los humedales se sequen, "en los 60s el terreno previo a la laguna de la Mica era un verdadero pantano, ahora se llega en carro...".

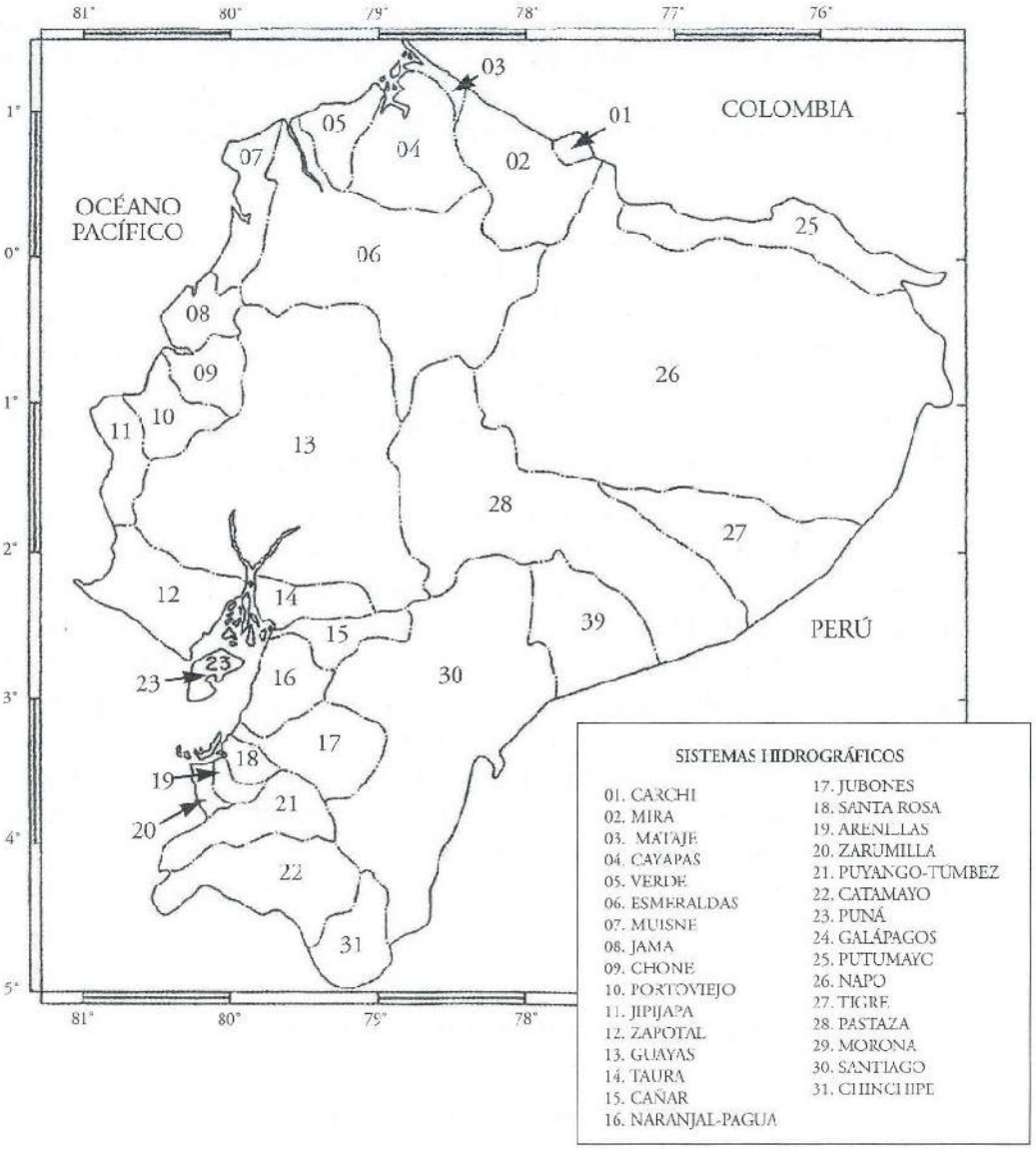
Existe conciencia en las comunidades de El Tambo y El Tablón sobre el peligro que acarrea la quema del páramo, por la reducción de caudales que han provocado en la segunda las invasiones provocadas por la construcción del Proyecto de agua potable "Papallacta", en los altos del río Turniguina. *(Cfr. Talleres de identificación de amenazas al páramo, INEFAN, 1.997)*

En este caso la introducción de especies animales exóticas, con intereses económicos de un hacendado, produjeron un deterioro lento y continuo de las fuentes de agua. Simultáneamente, ingresan equipos a la zona para la construcción de un considerable sistema de agua potable, los cuales promueven formas de subsistencia de sectores sociales marginales que recurren a la apropiación de tierras para su subsistencia. La presencia de mayor población de las invasiones, provoca el incremento de la quema del páramo, y ello concluye, también, en incidir en la reducción de caudales.

Como vemos, en este proceso están involucrados millones de pobladores de una ciudad, un hacendado, los campesinos originarios de las comunidades, gente pobre intentando sobrevivir, las empresas constructoras, y las autoridades locales y nacionales que impulsan las obras. Cada uno persigue objetivos particulares, individuales, y, simultáneamente, todos afectan sus posibilidades de vida a futuro. Sin duda, el manejo de cuencas es un proceso necesario para garantizar la vida a las futuras generaciones, pero a la vez es complejo e innovador; todavía tiene por delante el reto de convertirse en una propuesta factible y operativamente viable, que brinde respuestas concretas al manejo sustentable de los recursos naturales en nuestro país. Las citas que se presentan a lo largo de esta unidad, son parte de esos esfuerzos iniciales por diseñar y ejecutar propuestas de manejo integral de los recursos naturales en nuestro país.

### 1.2.1.3 Las cuencas hidrográficas en el Ecuador

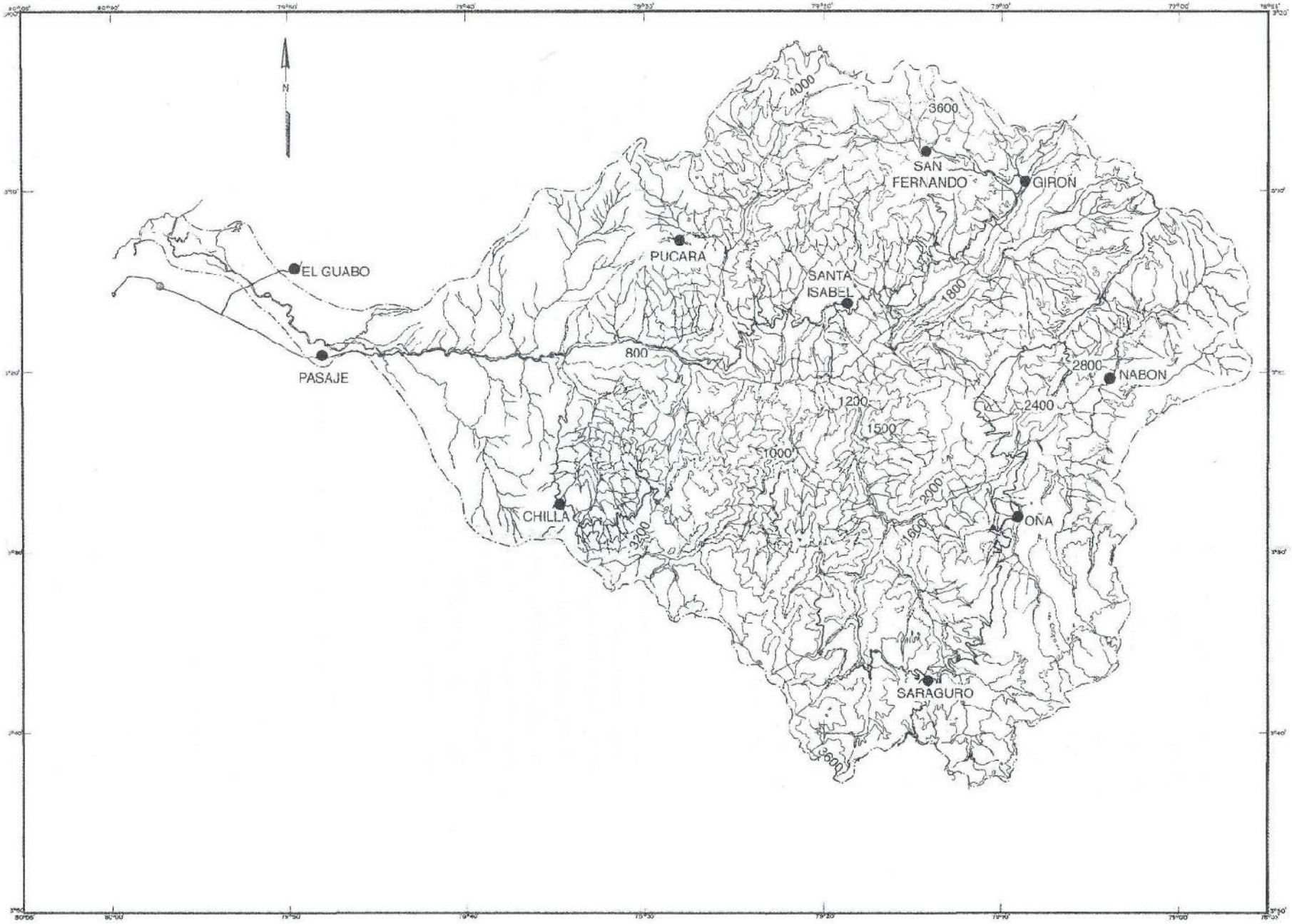
El mapa que sigue indica la ubicación de las cuencas hidrográficas en el territorio del Ecuador.




*Fuente: CNRH*

Como vemos, el territorio nacional está subdividido en 31 cuencas hidrográficas, las mismas que ocupan diversos pisos altitudinales con sus particularidades en flora y fauna, de igual forma, se asientan sobre diversos cantones, provincias, características geográficas, poblaciones, etnias y culturas.

Para ejemplificar lo que decimos, vamos a analizar la cuenca del río Jubones, la cual es representativa en cuanto a la diversidad que incorporan las cuencas. A saber:


N
4000
3600
SAN
FERNANDO
GIRON
PUCARA
EL GUABO
SANTA
ISABEL
1800
800
PASAJE
2800
NABON
2400
1200
1500
1000
2000
CHILLA
3200
1600
OÑA
SARAGURO
3600

De esta cuenca, podemos mencionar las siguientes características generales:

Altitud: de 0 a 4.000 msnm.

Provincias: 3 (Azuay, El Oro y Loja)

Cantones: 9 (Girón, Nabón, Pucará, San Fernando, Santa Isabel, Oña, Chilla, Pasaje y Saraguro).

Grupos étnicos: 2 (Quichua y mestizo)

Población estimada: 150.000 personas (aproximadamente)

Áreas protegidas propuestas: 5 (Cordillera Yacuambi, Saraguro - Zaruma, Guanazán, Mollepungo y Casacay)

Bosques protectores: 1 (Bosque protector Casacay)

Otros datos importantes para tomar en cuenta en el área de la cuenca son: el número de parroquias urbanas y rurales (dado que el uso de los recursos naturales en general, y en particular del agua, son diferentes), el número de organizaciones campesinas de primero y segundo grado, las entidades públicas, las organizaciones públicas y privadas (nacionales e internacionales) de desarrollo, entre otras.

La creación de entidades de gestión del agua a nivel de cuenca es compleja. La simple coordinación de las actividades del sector público en materia hídrica es una tarea difícil. Por ejemplo, en la cuenca del río Bío-Bío en Chile, se identificaron a 16 instituciones públicas de 9 ministerios del gobierno central - además de las de los gobiernos regionales y municipales - que realizaban acciones que afectaban diversos aspectos de la gestión de los recursos hídricos en la cuenca. (Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Carta circular 5*, 1.997)

### 1.2.1.4 Los actores involucrados y las fuentes de conflicto

El perfil de los actores involucrados en la planificación del manejo de los recursos naturales de una cuenca es diverso. Entre otros, podemos mencionar a nivel local:

- Consejeros provinciales
- Prefectos
- Alcaldes
- Dirigentes de organizaciones indígenas y campesinas
- Directores de entidades públicas
- Directores de organismos públicos y privados de conservación y desarrollo
- Pobladores

Como analizamos anteriormente, cada actor tiene sus propios intereses y prioridades, por lo cual el logro de acuerdos, consensos y negociaciones, usualmente es complicado; a pesar de ello, es necesario alcanzar dichos acuerdos para garantizar la gestión sustentable de los recursos de la cuenca.

Como menciona Anamaría Varea en el documento *Manejo de conflictos socioambientales* (UPSQ, 1998) "los conflictos surgen porque no todos pensamos igual, no todos perseguimos los mismos objetivos y no todos tenemos los mismos intereses. Existe una variedad y diversidad de sujetos, individuos, clases, grupos, actores, etnias, estratos y personas, cada cual tiene una manera específica de percibir y entender la realidad. Una manera de recrearla y presentarla. Una concepción sobre el mundo, sobre la naturaleza, sobre el papel de hombres y mujeres, que tienen que ver con la forma cómo en las sociedades se relacionan, se organizan y también se conflictúan".

Y este foco de contradicción se vuelve más evidente si contextualizamos a esos sujetos en el interior de un proceso histórico que ha determinado relaciones de poder atravesadas por una fuerte matriz étnica y cultural, así como, también por una distribución concentradora de la riqueza nacional, que también excluye a grandes segmentos sociales, especialmente campesinos.

Pero la diversidad de actores en sí misma no basta para explicarse como una fuente de conflicto, pues recordemos que la diversidad es riqueza, incrementa las oportunidades y puede convertirse en una sumatoria de fortalezas, incrementando así las posibilidades de desarrollo. Es decir, no todos tienen que ser iguales, o poseer similares habilidades para encaminar un proceso positivo. Tal vez un buen ejemplo sea lo que sucede en el campo en diferentes zonas del país, como Quisapincha, Provincia de Tungurahua. Allí existe una floreciente industria manufacturera del cuero, se producen zapatos, chompas, cinturones, bolsos, etc.

Pensemos por un momento la gran diversidad de actores que se involucran en este proceso: el campesino que compra la res, las mujeres y niños que la cuidan, ordeñan y se aseguran de su alimentación, el veterinario, el comerciante, el transportista, el carnicero del camal, el curtidor, y finalmente el artesano que elabora los productos finales, los cuales son adquiridos por el comprador final. Seguramente este proceso involucra a muchos más actores, pero en esta revisión simple, vemos cómo participan alrededor de diez actores, cada uno con su especificidad, con su destreza y su aporte a que el proceso concluya generando beneficio para todos.

**SIEMBRA DE FORESTALES**

Víctor León S.

Al no poder avanzar con el plan trazado, se buscó alternativas para lograrlo. Primero, averiguar qué plantas forestales les interesa más a la gente y luego

algunas estrategias, como plantear en las escuelas la forestación conjunta: alumnos, padres de familia y profesores; coordinar la forestación con el municipio y la iglesia; donar las plantas y, por intermedio de la escuela, dar oportunidad a que todos los miembros de la comunidad puedan acceder a las plantas. De parte del Municipio se acogió el planteamiento y convocó a una reunión a todos los directivos de las escuelas para tratar el tema y fue aceptado. Se organizaron reuniones en cada escuela con padres de familia, profesores y técnicos FEPP. Se acordaba dónde, cómo sembrarlas, las fechas para entrega y siembra de plantas.

Cuando llegamos a las fechas acordadas para la entrega y siembra de plantas, las plantas disponibles no satisfacían las necesidades de los miembros de las comunidades. A más de hacer viajes extras de plantas, en alguna comunidad, se tuvo que planificar nuevas fechas para entregas y siembras. Como clientes improvisados de las plantas asomaron los más pequeños, los cuales llevando de 1 a 10 plantas, nos hicieron faltar por miles. La presencia de gente mayor, especialmente mujeres, animaron a los niños y jóvenes a que siembren para el futuro.

(CAMAREN, *Compendio de Fichas de Capitalización II*, 1998)

Contar con diferentes perfiles, usualmente es positivo, y existen muchas experiencias positivas al respecto. El conflicto surge cuando, a más de la diversidad de actores e intereses y las relaciones de poder imperantes, existe escasez de un recurso natural. Y en estos casos el que más comúnmente escasea, suele ser el agua. A continuación retomamos nuevamente las *Fichas de capitalización* de CAMAREN, para ejemplificarlo

## EL AGUA PARA TODOS EN EL PROYECTO IMANTAG

Agustín Lalama H.

Hernán Quijia

En 1983, después de varios años de lucha, las comunidades de El Morlán, Colimbuela e Imantag junto con la de Peribuela consiguieron que la Agencia de Aguas de Ibarra, les adjudique las aguas de las fuentes del río Huarmiyacu y la vertiente Sachapotrero.

Habían dado un gran paso pero el desafío era mayor, conseguir el apoyo para hacer realidad la infraestructura de riego para regar sus tierras y poder mejorar su nivel de vida. Consiguieron que el ex INERHI realice los estudios técnicos y, recién en 1993, el Consejo Provincial de Imbabura les facilitó un tractor para la construcción de 5 km. de plataforma y con el esfuerzo propio mediante un aporte de 25.000 jornales, realizaron la excavación del canal en ese tramo. Con la firme idea de tener algún día el agua y bajo su lema "Todos por el Agua- Yacumanta Tucuilla' persistieron en la búsqueda de apoyo. En 1995 consiguieron, que CESA se interese en el proyecto. Se hacen los estudios y después de una evaluación extensa ordenada por Agro Acción Alemana se aprobó y se inició el Proyecto en los primeros meses de 1996.

Por fin la esperanza se iba a convertir en realidad. Las acciones comenzaron, las obras se contrataron pero no se pudo iniciar. Otros inconvenientes aparecieron, estaban escondidos, no eran visibles ni para los campesinos, ni para los promotores. Peribuela había estado aprovechando durante estos años todo el caudal, lo de ellos y lo que pertenecía a las otras tres comunidades; permitió el paso por sus tierras para que se construya la plataforma y la excavación del canal; estaban convencidos que los esfuerzos que hacían las comunidades eran en vano y que nadie les iba apoyar para llevar el agua a sus tierras, es que las obras que se necesitaban eran complejas y costosas.

El Proyecto se paralizó cuatro meses. Se llevaron a cabo intensas negociaciones entre campesinos y la Agencia de Aguas de Ibarra. CESA, y otras Autoridades mediaron en el conflicto; finalmente el 3 de Septiembre de 1996, se firma un acuerdo mediante el cual se repartieron las aguas en forma equitativa, criterios técnicos y sociales apoyaron tal decisión. Se había ganado otra batalla, el Proyecto de Riego era una realidad y Peribuela, conformada por indígenas y por blanco - mestizos (citadinos), se integraba también a las acciones del Proyecto.

La bocatoma y desarenador, los acueductos de cuatro importantes quebradas, badenes, revestimiento, alcantarillas, dos reservorios y las obras de protección biofísica, se habían ejecutado. La esperanza del agua estaba cada vez más cercana. Sin embargo, otra batalla empezaba. Parece que el camino para los pobres siempre esta lleno de obstáculos y pruebas. La hacienda La María de propiedad de un ex Ministro de Finanzas de dos gobiernos recientes y prominente empresario del país, no permite la construcción de dos importantes obras

programadas dentro de sus predios para poder pasar el agua a la comunidad de Colimbuela. Exigía que se le entregue el caudal que le correspondía pero en forma permanente, sin querer aceptar que en la fuente de agua ya no existía los caudales concesionados (la fuente se está secando), y que además en el trayecto se pierde el agua por infiltraciones. El acuerdo firmado entre las comunidades y la hacienda el 25 de agosto de 1995 que contemplaba el respeto mutuo a la distribución del agua concesionada, no se había cumplido.

Fue un año de intensas negociaciones; miedos, recelos, intereses y otros factores se superaron. Finalmente vino el premio a la constancia, el deseo a la razón, llegó y la comprensión del hacendado, permitió recién en marzo de 1998 el inicio de la construcción del reservorio y la derivación Colimbuela, y sobre todo la reiteración del respeto y el apoyo mutuo entre las comunidades y la hacienda. Ahora ya es una realidad "Yacumanta Tucuilla - Agua para Todos".

(CAMAREN, *Compendio de Fichas de Capitalización II*, 1998)

Allí vemos cómo se desenvuelven los conflictos por los recursos naturales en nuestro medio. Por lo general, las relaciones de poder logran imponerse a los intereses de la mayoría campesina. A fin de encaminar procesos concertados, que garanticen el acceso democrático y equitativo a los recursos naturales de un área determinada, es necesario diseñar planes de manejo en forma concertada. La elaboración de planes de manejo permite identificar necesidades, participar, dialogar, concertar, aportar y recibir colectivamente, a fin de mejorar las condiciones de vida de los pobladores.

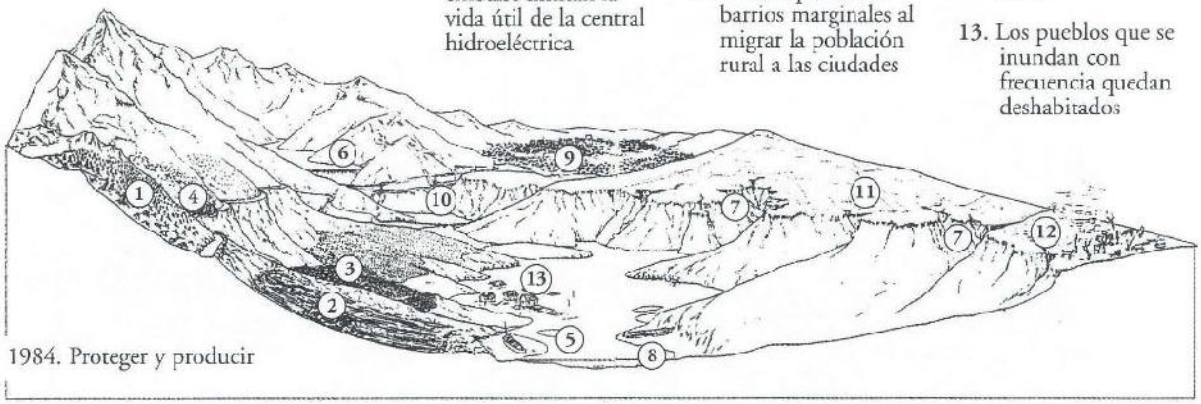
Ejemplos concretos del logro de amplios consensos entre diversos y numerosos actores, en el Ecuador hay varios. Para citar dos que consideramos representativos, debemos considerar la creación de la Fundación Pastaza, que se ocupa de la cuenca alta del río Pastaza, de la que son parte 3 Consejos Provinciales, 7 Municipios, 2 Centros Agrícolas, INECEL, Diócesis de Latacunga, 2 Organizaciones de Segundo Grado y 2 comunidades campesinas. A más estas instituciones miembros de la Fundación Pastaza, en su accionar participan El Ministerio de Agricultura y Ganadería, la Corporación de Desarrollo Regional de Chimborazo y de la Sierra Centro (CORDERECH y CORSICEN), la OEA y el Gobierno de Suecia, entre otras instituciones nacionales e internacionales. (Metodología utilizada para el manejo de la cuenca alta del río Pastaza, Valencia, 1.999)

El otro ejemplo es el de CODELSPA, la Corporación para la Defensa del Lago San Pablo", en la cual confluyen con diferentes niveles de participación 1 Consejo Provincial, 1 Municipio, 1 Subsecretaría, 3 Agencias Internacionales Gubernamentales de Desarrollo, 3 Organismos No Gubernamentales nacionales, 4 Juntas Parroquiales, 8 Organizaciones Campesinas e Indígenas de Segundo Grado y 37 Comunidades. *(Corporación para la defensa del Lago San Pablo (Imbacocha)*, Otavalo, 1.999).

El logro de consensos es una posibilidad real, y la ejecución de planes de manejo de cuenca, pueden derivar en situaciones tan diferentes como las que se grafican en las siguientes ilustraciones de FAO:

## Una cuenca tradicional, sin un plan de manejo:

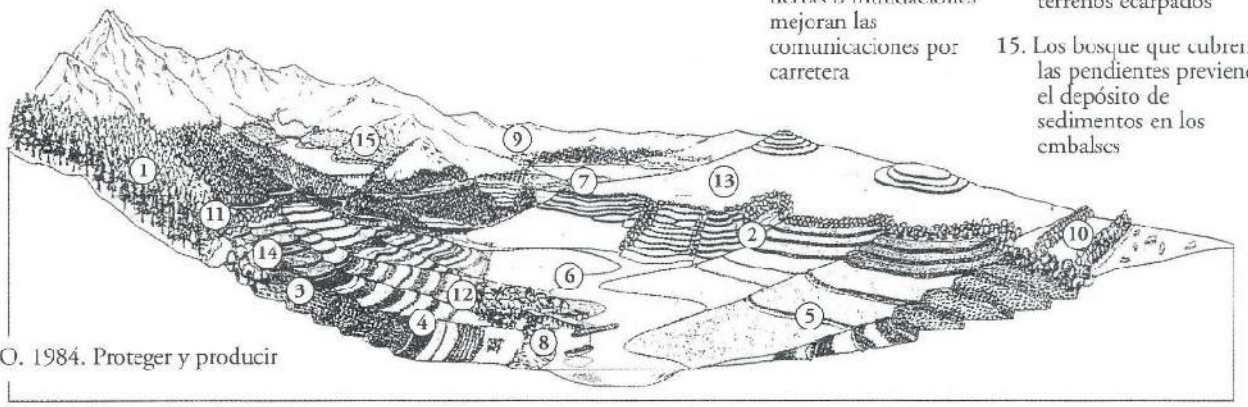
1. Terreno deforestado
2. Terreno escarpado, cultivado siguiendo la pendiente
3. Vastas zonas dedicadas al monocultivo
4. Camino bloqueado por un desprendimiento
5. En aguas poco profundas la pesca es menor
6. Los sedimentos acumulados en el embalse limitan la vida útil de la central hidroeléctrica
7. La erosión en cárcavas invade las tierras cultivables
8. Los bancos de fango reducen la navegabilidad de los ríos
9. Se multiplican los barrios marginales al migrar la población rural a las ciudades
10. Puente destruído por las innundaciones
11. Cultivos en campos sin protección
12. Tierras de pastoreo mal aprovechadas, a merced de la erosión cólica
13. Los pueblos que se inundan con frecuencia quedan deshabitados



FAO. 1984. Proteger y producir

## Una cuenca con un plan de manejo:

1. Terreno reforestado
2. Erosión en cárcavas detenida por presas de contención, con árboles plantados en los bordes de las cárcavas
3. Bancales en terrenos ecarpados
4. Cultivo adaptado a las curvas de nivel, en tierras más bajas
5. Terrapletes para interceptar la escorrentia superficial
6. Al detenerse la erosión, se reducen las innundaciones
7. Nuevo embalse para suministrar energía
8. La navegabilidad de los ríos mejora y aumenta la pesca
9. Los servicios urbanos mejoran al detenerse las migraciones demográficas
10. Las cortinas cortavientos reducen la erosión eólica y mejoran los pastos
11. Al no producirse desprendimientos de tierras o inundaciones mejoran las comunicaciones por carretera
12. Los servicios rurales mejoran a medida que los poblados se extienden
13. Rotación de cultivos en en faras siguiendo las curvas de nivel
14. Cultivos frutícolas en terrazas sobre terrenos ecarpados
15. Los bosque que cubren las pendientes previenen el depósito de sedimentos en los embalses



FAO. 1984. Proteger y producir

# TEMA 1.3. EL PLAN DE MANEJO DE CUENCA

## 1.3.1 Visión general de los planes de manejo de cuenca: origen e implicaciones.

Lo analizado hasta el momento nos brinda algunas pautas acerca de la necesidad de elaborar planes de manejo de cuenca:

- La calidad y cantidad de agua no está garantizada.
- Los caudales de agua dependen de muchos factores que no están controlados.
- El recurso agua es escaso y hay muchos actores interesados en él.
- Existen marcados procesos de deforestación y erosión del suelo en el Ecuador.
- La distribución y uso del recurso agua es inequitativa e ineficiente.

A estos elementos es necesario añadir otros, determinados por el contexto social e institucional actual, que favorecen la planificación a nivel de cuencas hidrográficas y microcuencas. A continuación haremos un recuento histórico reciente del surgimiento de este enfoque, y las implicaciones sociales que arroja.

### 1.3.1.1 Historia reciente del manejo de cuencas

Es importante conocer cómo se ha dado el proceso de gestión del agua, dentro de una perspectiva de cuenca hidrográfica. Esta propuesta es aún innovadora en nuestros países, supone una serie de condicionantes para su aplicación, así como una nueva definición de roles entre los actores involucrados, especialmente entre el Estado central, las entidades públicas regionales, los gobiernos locales y los usuarios del agua.

Para introducirnos en el tema, brevemente reseñaremos la evolución en Latinoamérica de las propuestas para la gestión integrada de cuencas, en base a la *Carta Circular 6* de la Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe, y de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 1997.

En un primer momento se define una coordinación limitada de actividades a nivel de cuencas, en la que se hacían trabajos para resolver problemas puntuales y demandas específicas en torno al agua, básicamente abastecimiento de agua para riego y consumo humano, control de inundaciones y construcción de plantas hidroeléctricas. El siguiente paso consistió en operar y mantener las obras construidas sin prestar mayor interés ni por el uso múltiple del agua, ni por "manejar la cuenca", es decir, los recursos naturales de la cuenca. Así, en la región se implementaron una serie de sistemas de gestión del agua por cuencas, gran parte de los cuales sólo se preocuparon exclusivamente del uso del agua.

En la región se implementaron una serie de sistemas de gestión del agua por cuencas, gran parte de los cuales sólo se preocuparon exclusivamente del uso del agua.

Para los años cuarenta se identifican las primeras corporaciones para el desarrollo integral de cuencas, sustentadas en la construcción de obras hidráulicas para abarcar extensos territorios bajo su jurisdicción y realizar inversiones en múltiples sectores. Pero es recién para los años setenta que aparece la temática de "manejo de cuencas", principalmente con el fin de controlar los procesos de sedimentación en los embalses construidos, así como, para controlar deslizamientos e inundaciones. Son pocos los casos en que se manejan todos los recursos naturales de la cuenca, en ello los proyectos agro-silvo-pastoriles ayudaron a mejorar este aspecto, pero sin suplir la necesidad de un sistema de coordinación para el manejo de los recursos naturales por cuencas.

La temática del manejo ambiental surge en América Latina sólo a fines de los setenta, con la realización de estudios de impacto ambiental y luego de análisis ambientales. En gran medida, la gestión ambiental a nivel de cuencas no ha pasado de los estudios y de proponer organizaciones. En general, esas son las líneas gruesas que marcan la evolución de la temática de gestión a nivel de cuencas en los países de la región,

aunque la misma no ha sido ni uniforme ni estable. Incluso algunos esquemas de gestión han involucionado en la práctica, ejecutando manejos de cuenca menos integrales que los que se alcanzó anteriormente en la gestión sectorial del recurso agua.

El orden cronológico que se ha seguido en América Latina en la coordinación de acciones a nivel de cuencas es el siguiente:

- Primero se enfrentó el tema del control y aprovechamiento del agua por cuencas con la construcción de obras hidráulicas.
- En segundo lugar se enfrentó el tema de la administración del agua por cuencas.
- En tercer lugar se pasó directamente al desarrollo regional a nivel de cuencas.
- En cuarto lugar se pasó a considerar el tema del manejo de las cuencas de captación, sobre todo con fines de controlar la erosión que afectaba los embalses construidos así como controlar deslizamientos y torrentes.
- En quinto lugar se pasó directamente a tratar la temática de la gestión ambiental a nivel de cuenca

Lo más importante que se puede destacar en esta evolución es el hecho de que se ha pasado abruptamente a coordinar, por lo menos en el papel, la gestión ambiental a nivel de cuencas o regiones sin haber coordinado todavía plenamente las acciones de desarrollo y gestión del conjunto de recursos naturales en una cuenca. Se trata de un proceso acelerado, que no respeta los otros procesos internos y locales necesarios, a fin de consolidar propuestas efectivamente participativas y representativas de los intereses generales.

La CEPAL también recomienda que "debe recordarse sin embargo que si no se manejan los recursos naturales en forma coordinada, ni siquiera el agua, será imposible hacer "gestión ambiental". Hay que comenzar por lo menos a manejar el agua en forma integral y, luego, los demás recursos naturales asociados a ésta."

En el contexto ecuatoriano no hay grandes avances en esta temática, se reconoce el deterioro de sistemas hidrográficos por deforestación, destrucción de la cubierta vegetal, erosión intensa, elevada contaminación del agua y suelo, entre otros efectos provocados por la sobreexplotación de los recursos naturales. Lo que llegado a conseguir en este campo el Ecuador es una deficiente administración de los recursos hídricos y a la elaboración de proyectos para planificar el uso del suelo, conservación de las fuentes de agua. A pesar de ello, existe un Decreto Ejecutivo de agosto de 1.982, que crea la Comisión Nacional Permanente para la Protección y Manejo de las Cuencas Hidrográficas CONAPCHID. (CNRH, abril de 1.999)

Actualmente, entre otros proyectos, podemos enunciar las siguientes propuestas de manejo integral de cuencas que se adelantan en nuestro país:

- Proyecto "Conservación de recursos naturales y riego campesino en la cuenca alta del río Ambato".
- Proyecto "Riego y desarrollo rural Guarguallá – Licto".
- Proyecto "Manejo y conservación de la cuenca alta del río Pastaza".

- Proyecto "Manejo integral de la cuenca Imbacucha".
- Proyecto "Manejo del uso sostenible de tierras andinas".
- Proyecto "Desarrollo forestal campesino en Los Andes del Ecuador".
- Proyecto "Manejo colaborativo y uso apropiado de recursos naturales en la cuenca del río El Ángel".
- Proyecto "Plan de manejo para los páramos El Hato"
- Proyecto "Manejo de la cuenca del río Paute".
- Proyecto "Desarrollo de área Cochapamba en el ordenamiento y manejo de la subcuenca".
- Proyecto "Plan de ordenamiento y manejo de las cuencas de los ríos San Miguel y Putumayo".

### 1.3.1.2 Situación actual

En el Ecuador, como en muchos otros países en vías de desarrollo, se impone un modelo internacional que establece una modificación sustancial del papel que tradicionalmente venía desempeñando el Estado en nuestros países, el cual estuvo durante muchos años orientado hacia el impulso de procesos que mejoren las condiciones de equidad en la distribución de la riqueza entre la población, recurriendo para ello a políticas arancelarias para la protección de la producción local, a la creación de subsidios para los sectores menos favorecidos, brindando educación y salud gratuita o con costos simbólicos, y ejecutando proyectos para la dotación de servicios básicos a la población: agua potable, riego, letrinización, energía eléctrica, teléfonos, vías de comunicación, etc.

Internacionalmente esas funciones del Estado han sido cuestionadas profundamente, declarando abiertamente la comunidad internacional la eliminación de apoyos económicos a gobiernos que mantengan esta línea de acción. Mientras tanto, al interior de cada país, el elevado costo de estos servicios, la asunción ineficiente de su papel de ejecutor y la corrupción en el aparato estatal, provocan la escasez de recursos económicos para mantener el mismo papel en la sociedad. En el caso de nuestro país, el Ecuador, adquirió más del 10% de su deuda externa se contrajo para la realización de obras de infraestructura hidráulica.

Esta reconsideración del papel del Estado en la gestión de los recursos hídricos es un fenómeno general y marca un cambio importante en las políticas de gestión del agua que han estado vigentes durante más de 50 años. Estos cambios allanaron el camino para la descentralización y la participación del sector privado. Con ello, se ha creado también la necesidad de adoptar mecanismos institucionales basados en el concepto de la gestión integrada de los recursos hídricos a nivel de cuenca con el fin de regular y coordinar las acciones de los varios usuarios así como el manejo de la oferta de recursos hídricos. Existen varios anteproyectos de ley en estudio así como otras ya aprobadas que respaldan la creación de entidades de cuenca. (Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Carta circular 6*. 1.997)

La tendencia internacional es que los estados modifiquen su papel de ejecutor al de controlador, en el caso del agua ello implica pasar de la responsabilidad de ejecución de obras para garantizar el acceso de la población al agua, al señalamiento de las normas, reglas y procedimientos mediante los cuales las organizaciones de usuarios deben proceder para la contratación a la empresa privada para que ella ejecute las obras de infraestructura. Ello, con los siguientes objetivos:

- Eliminar los subsidios y el pago de los usuarios de precios reales por los servicios básicos a las empresas privadas que los prestan.
- Financiar los costos directos e indirectos de la ejecución de proyectos de riego y agua potable por parte de los usuarios del agua.
- Entregar al campo privado la prestación de servicios y la ejecución de sus obras.
- Preservar de mejor manera los recursos naturales para el mundo.
- Incrementar la capacidad estatal de pago de la deuda externa
- Reducir y financiar al aparato burocrático del Estado relacionado con la administración, planificación y monitoreo del recurso hídrico.

Al decir de la CEPAL sobre este tema: "Tanto el auge de los años setenta como la recesión de los años ochenta desviaron el interés en la situación del sector público, lo que se reflejó en la falta de innovaciones en materia de gestión del agua. Sin embargo, indirectamente, ambos períodos han tenido repercusiones en la administración de los recursos hídricos. El auge alcanzado al final de los años setenta marcó el punto culminante de la expansión de las actividades económicas del sector público, en tanto que la expansión de dicho sector dio marcha atrás durante la recesión ... En la mayoría de los países de la región se puede observar claramente los resultados de la revisión del papel que desempeña el Estado en la economía. Una de las consecuencias de esta política fue dejar a las administraciones públicas del gobierno central la responsabilidad de regular y supervisar las actividades de terceros, pero no la

explotación directa de las actividades productivas relacionadas con el agua." (Op. Cit., CEPAL 1.997)

Este proceso, que empezó en los años ochenta en América Latina y el Caribe, tardó en incluir la temática agua. Se priorizó la privatización de servicios públicos que ofrecían una rentabilidad inmediata y significativa, como es el caso de la energía eléctrica, transporte, telefonía, vías, etc. Entrar en un esquema de privatización de los servicios de agua es más complicado, además de que se enfrenta a una cultura regional de no reconocer el valor real del agua, y por tanto, acostumbrada a pagos simbólicos por ella: "generalmente no se aprecia la medida en que el aprovechamiento de los recursos hídricos contribuye a la productividad económica y el bienestar social, aunque todas las actividades sociales y económicas descansan en grado sumo sobre el suministro y la calidad del agua potable." (Op. Cit. CEPAL, 1.997)

Por ello, recién a mediados de los años noventa se desarrolla un proceso sostenido de apoyo a la implementación regional de Planes de Manejo de Cuenca, con amplia participación de los usuarios, tanto en su organización como en el financiamiento de su funcionamiento.

Debemos reconocer que este es un proceso irreversible a nivel internacional. Inclusive las propuestas de Ley de Aguas, que se encuentran en discusión en el Ecuador desde hace más de dos años, contemplan la creación de "Consejos de Cuencas" como la principal estructura organizativa en torno a la cual se administrarán todos los servicios ligados al agua; en el mismo sentido, en el documento Gestión integral de los recursos hídricos: políticas y estrategias recomendadas del Consejo Nacional de Recursos Hídricos CNRH (máxima instancia de planificación técnica del agua en el Ecuador), se detalla la "Estrategia para la gestión de los recursos hídricos del Ecuador. Cuencas hidrográficas abril de 1999", en la misma que se señalan las acciones a corto, mediano y largo plazo para la consolidación de organismos que posibiliten la gestión a nivel de cuencas.

"Debe tenerse presente que dentro de poco se crearán definitivamente muchas entidades de cuencas en los países de la región ... Hoy los gobiernos deben prepararse frente a la tarea que significará asesorar simultáneamente un enorme número de entidades de aguas de cuencas para que se equipen, inclusive bajo sistemas privados, con personal, sistemas de comunicación y sistemas de operación y control." (Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Carta circular 7*, 1.998)

### 1.3.1.3 Implicaciones principales

Realizar un proyecto de desarrollo basado en una visión que contemple la elaboración de un Plan de Manejo de Cuencas es una propuesta ideal para posibilitar un manejo concertado y participativo, así como un acceso equitativo y sustentable de los recursos naturales, y dentro de ellos especialmente el agua. Sin dudarlo, vale la pena hacer todos los esfuerzos necesarios para acceder a los consensos entre todos los actores involucrados, a fin de desarrollar un Plan de Manejo de Cuencas.

Las ventajas anejas a ello son innumerables, y se aproximan a lo que se conoce como la *sustentabilidad*, término que ha recibido muchas conceptualizaciones, de entre las cuales consideramos propicia la elaborada por La COMISIÓN MUNDIAL SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y EL DESARROLLO (CMMAD), que considera los tres ejes principales del desarrollo al aumento de la producción, a la distribución apropiada de los recursos y al mantenimiento del ecosistema. En su informe denominado *Nuestro Futuro Común*, definió a la **sustentabilidad** como "**la posibilidad de satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de que las futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades**" (Comisión Brundtland, 1.987)

Pensamos que un manejo acertado y participativo, de acuerdo a un Plan de Manejo de Cuencas, puede constituirse en un instrumento válido para acceder a la sustentabilidad en los términos arriba planteados. Sin embargo, esa posibilidad está regida por un marco jurídico nacional, que se expresa en la Ley de Aguas, la cual debe señalar claramente el papel del Estado en el cumplimiento de los preceptos básicos invariables del derecho internacional sobre el agua: el agua es un bien nacional de uso público, que cumple una función social y que es inalienable e imprescriptible.

Consideramos que para cumplir con estos principios, y para acceder al cumplimiento efectivo de un Plan de Manejo de Cuencas, es necesario asignar roles y funciones factibles de aplicarse en la práctica. El marco legal en el que se desarrollen los Planes de Manejo de Cuencas en el país deben considerar las posibilidades reales de los usuarios y potenciales usuarios, para invertir en el acceso al agua. No se puede dejar de lado las condiciones de marginamiento y exclusión social en que subsiste gran parte de la población campesina nacional, por lo que, es deber del Estado crear las condiciones para que toda la población acceda al agua, como lo señalan las normativas legales internacionales: como un bien público, con función social e imprescriptible. Ello implica que para planificar, diseñar y ejecutar un Plan de Manejo de Cuencas, consideramos que tanto el Estado como los usuarios deben mantener los siguientes roles principales, entre otros:

Por parte del Estado:

- Regular, normar, concesionar, sancionar, y arbitrar en la administración y uso del recurso agua.
- Posibilitar el acceso de toda la población al agua.
- Mantener un papel protagónico en la inversión inicial de obras de infraestructura.

- Mantener las redes hidrométricas y climatológicas básicas para el monitoreo del recurso, así como, para el control de la contaminación del agua.
- Crear las condiciones y capacidades necesarias en los usuarios para garantizar una administración eficiente de los sistemas de agua a largo plazo.
- Cobrar a los usuarios la obra física construida, en porcentajes acordes a la capacidad de pago de los mismos, y mediante fórmulas a largo plazo.

Por parte de los usuarios:

- Sujetarse obligatoriamente a las normas, regulaciones, sanciones y demás resoluciones que dictaren las autoridades estatales respectivas.
- Asumir directamente, o bajo contrato, la operación y mantenimiento de los sistemas diseñados para el abastecimiento del agua.
- Dar al agua el uso para el cual le fue concesionado el recurso.
- Comprometerse a cumplir con el pago de la inversión estatal en los sistemas de agua, acordando formas de pago en montos y plazos posibles.

Estamos seguros de que habrá otros criterios acerca de este tema, así como sobre otros aspectos que se consideren trascendentes y que quizás no estén mencionados; sin embargo, queremos dar una pauta de la normatividad que debe promoverse en el Ecuador, para que los Planes de Manejo de Cuencas y sus instancias organizativas cumplan los objetivos esperados. Si, al plantear las obligaciones de los usuarios, omitimos las pauperizadas condiciones de vida de la población, corremos el riesgo de establecer deberes que no está en condiciones reales de cumplir, lo cual llevaría al marginamiento del recurso para grandes segmentos de ecuatorianos. De allí que, en este contexto, el Estado deba mantener un rol importante en garantizar el acceso al agua de la población, aunque ello sea diferente al estilo de funcionamiento de los Planes de Manejo de Cuencas imperante en países europeos.

**LA PARTICIPACIÓN NECESARIA: ESTADO - USUARIO**

Rodrigo Quezada R.

Es entonces que la organización reclama su participación para exigir que este sistema (Santa Isabel) se haga realidad, aunque sin la aceptación del INERHI, la organización estaba allí, y se entrometió para bien, de modo que en 1992 las obras ya se veían avanzar y el agua llegó a Santa Isabel.

Entonces se formó la Junta General de Regantes (JGR) y ésta, con más derechos, exigió su espacio. No aceptaba el paternalismo que el Estado ofrecía, porque el Estado demoraba mucho. Era necesario la participación activa en la gestión y administración. Ya el CREA, a cargo del sistema, aceptó este acuerdo y se dio tareas a cada uno: el CREA participaría por el Estado con los técnicos y el financiamiento para el sistema, JGR aportaría con la mano de obra no calificada y algunos recursos, el PRONADER (MBS) participaría con importantes aportes económicos y técnicos y se convertiría en el mejor padrino del sistema.

El acuerdo maduró más, por lo que en 1997 el CREA compartió sus oficinas con la JGR y se le dio una sala para sesiones, una oficina el PRONADER aportó con los equipos. De esta manera ha comprendido la organización que la presencia del Estado es importante sin necesidad de ser paternalista, porque el sistema necesita del Estado para las cosas grandes como las técnicas y las financieras. También la organización ha comprendido que ella tiene que participar en la administración, operación y mantenimiento de su sistema. Esto sería el inicio del proceso de la transferencia pero sin un abandono total por parte del Estado.

(CAMAREN, *Compendio de Fichas de Capitalización II*, 1998)

Por supuesto que, en el desarrollo de los Planes de Manejo de Cuencas, el Estado y los usuarios no son los únicos actores; como ya señalamos existen muchos otros, cuyos roles y presencia variará de acuerdo al nivel de organización y capacidad de gestión propias. Además, todos los demás actores que se integren al manejo de cuencas, girarán en torno a los roles y funciones que el marco legal les asigne, no solo a ellos, sino y por sobretodo, a los actores indispensables de este proceso: el Estado y los usuarios.

La ordenación integrada de los recursos hídricos se basa en la percepción de que el agua es parte integrante del ecosistema, un recurso natural y un bien social y bien eco-nómico cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su utilización ... En el aprovechamiento y el uso de los recursos hídricos ha de darse prioridad a la satisfac-ción de las necesidades básicas y a la protec-ción de los ecosistemas. Sin embargo, una vez satisfechas esas necesidades **los usuarios del agua tienen que pagar unas tarifas ade-cuadas**. (Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Carta circular 1*, 1.994)

### 1.3.2 El plan de manejo de cuencas: una vía para el desarrollo sustentable

Parcialmente hemos reseñado cuáles son los objetivos de un Plan de Manejo de Cuencas: hemos analizado un concepto evolucionado e integral de sustentabilidad, hemos hecho énfasis en la fragilidad de los recursos naturales vinculados con la reproducción del ciclo del agua, y acerca de cómo un Plan de Manejo de Cuencas puede fomentar su manejo integral.

Siendo estos elementos parte sustancial de los objetivos de un Plan de Manejo de Cuencas, queda pendiente el análisis del impacto de los planes de manejo en los factores sostenibilidad y desarrollo. Para ello, identificaremos las diferencias entre sustentabilidad y sostenibilidad, y la forma en la que los planes de manejo pueden incidir en ellas.

La noción de sustentabilidad se desarrolló originalmente en un marco biológico – físico como una respuesta ante la toma de conciencia de la finitud de los recursos naturales. En los años setenta comienzan los cuestionamientos, los debates y los estudios provenientes de diferentes organizaciones que, como lo concluyó el Club de Roma, sostuvieron que el capital natural ya escaseaba, no era inagotable, y que incluso el desarrollo industrial podría deteriorar "sin retorno" los recursos ambientales existentes. Es así como la necesidad de sustentabilidad, limitada al sistema natural, comienza a incorporarse en el pensamiento y la planificación de muchos países, pero con mayor preponderancia, en un primer momento, en los industrializados. (Cfr. Nieves Rico. María, en *Género, Medio Ambiente y Sustentabilidad del Desarrollo*, CEPAL, 1.997.)

La noción de sustentabilidad se desarrolló originalmente en un marco biológico y físico como una respuesta ante la toma de conciencia de la finitud de los recursos naturales.

Esta es una propuesta concentrada en la preocupación objetiva que surge de la comprobación de la "insustentabilidad" del modelo económico que se promueve actualmente. Esto significa que la visión actual del desarrollo, vinculada a los parámetros de "crecimiento económico", no son sustentables, es decir, que no existen suficientes recursos naturales en la TIERRA para satisfacer los índices de bienestar de la población mundial promovidos por este enfoque, como señala Roefie Hueting, al mencionar que lo que menos necesitamos es un incremento en el ingreso nacional, que es imposible plantear un crecimiento sostenible así como imposible es construir una máquina de movimiento perpetuo, y también es imposible que la economía del mundo crezca liberándose de la pobreza y de la degradación ambiental (CAMAREN, Juan Martínez, 1.999).

Es imposible que la economía del mundo crezca liberándose de la pobreza y de la degradación ambiental.

Desde esta preocupación inicial por el conflicto existente entre el modelo de desarrollo y la existencia de los recursos naturales, paulatinamente el concepto de sustentabilidad se ha tornado más integral, incorporando nociones como las de equidad y productividad, lo cual se refleja en el concepto de sustentabilidad propuesto en este documento páginas atrás.

Paralelamente, las propuestas de desarrollo social venían tejiendo y utilizando el concepto de lo *sostenible*, que al juntarse con la palabra desarrollo, se constituyó en un adjetivo cualificante para aquel desarrollo que promovía su permanencia a largo plazo, posterior a los procesos de intervención de los proyectos, partiendo de la potenciación de las capacidades y fortalezas propias de los beneficiarios.

En este sentido, el concepto de desarrollo sostenible, alcanzó conceptualizaciones específicas, como la que enuncia la *Plataforma Alianza para el Desarrollo Sostenible de Centroamérica* firmada por los gobiernos de Centroamérica en 1994, que reza: "**El desarrollo sostenible es un proceso de cambio progresivo en la calidad de vida del ser humano, lo coloca como centro y sujeto primordial del desarrollo, por medio del crecimiento económico con equidad social y transformación de los métodos de producción y de los patrones de consumo y que se sustenta en el equilibrio ecológico y el soporte vital de una región. Este proceso implica el respeto a la diversidad étnica y cultural regional, nacional y local; así como, el fortalecimiento y la plena participación ciudadana en convivencia pacífica y armonía con la naturaleza, sin comprometer y garantizar la calidad de vida de las generaciones futuras**".

Comparando ambos conceptos, está claro que el concepto de sustentabilidad nace ligado a la noción de conservación y uso racional de los recursos naturales, mientras que el concepto de sostenibilidad propone visiones de desarrollo que se centren en el ser humano y su desarrollo equitativo, y autónomo, además de respetuoso de sus particularidades étnicas y culturales. Sin embargo, ambas propuestas lejos de resultar

antagónicas, y ni siquiera contradictorias, resultan más bien complementarias. Es así como actualmente, para designar a ambos procesos integrados en una visión superior que unifica a la comunidad de sus objetivos, hablamos de: *el desarrollo sustentable.*

El concepto de sustentabilidad nace ligado a la noción de conservación y uso racional de los recursos naturales, mientras que el concepto de sostenibilidad propone visiones de desarrollo que se centren en el ser humano y su desarrollo equitativo, y autónomo.

Una de las propuestas conceptuales más idóneas en este sentido surge del informe *Nuestra Propia Agenda,* elaborado por la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de América Latina y el Caribe (1990), la cual enfatizó los vínculos entre pobreza, riqueza, población y medio ambiente, e intentó sentar las bases para iniciar un proceso de desarrollo sustentable en la región. De forma paralela, la CEPAL determinó la necesidad de armonizar los desafíos de tornar las economías latinoamericanas más competitivas, promover mayor equidad y permitir la preservación de la calidad ambiental y el patrimonio natural de los países; a la vez que consideró la relación entre desarrollo y medio ambiente como de carácter sistémico. De este proceso derivó el siguiente concepto *de desarrollo sustentable*:

"La sustentabilidad del desarrollo requiere un equilibrio dinámico entre todas las formas de capital o acervos que participan en el esfuerzo del desarrollo económico y social de los países, de tal modo que la tasa de uso resultante de cada forma de capital no exceda su propia tasa de reproducción (...) Entre las formas de capital más importantes cabe destacar al capital humano (en el que las personas también representan el sujeto del desarrollo), el capital natural, el acervo institucional (los sistemas de decisiones) y el acervo cultural. El capital físico (infraestructura, maquinarias y equipos) y el financiero" (CEPAL, 1991)

Los principales ámbitos de la sustentabilidad, señalados por Roberto Guimarães (1998), son:

- Sustentabilidad ecológica: se relaciona con la adecuada administración de la base física del proceso de crecimiento, intentando racionalizar la mantención del stock de recursos naturales incorporados a las actividades productivas.
- Sustentabilidad ambiental: guarda relación con la capacidad de sustento de los ecosistemas, es decir la capacidad de la naturaleza para absorber y recomponerse de agresiones humanas (antrópicas).
- Sustentabilidad social: tiene por objeto el mejoramiento de la calidad de vida de la población. El concepto de calidad de vida, aunque puede ser abstracto, guarda relación con la capacidad de que todos los integrantes de las diversas familias de una comunidad puedan satisfacer sus necesidades biológicas, bio-sicológicas, psicológicas y sociales

- Sustentabilidad política: supone el proceso de construcción de la ciudadanía, a nivel micro para la democratización de la sociedad, y a nivel macro para la democratización del Estado.

El manejo integrado de cuencas, mediante Planes de Manejo, posee ventajas comparativas incomparables para acceder a combinar en forma efectiva estos cuatro ámbitos de la sustentabilidad, dada la diversidad de componentes que lo integran. En el resto de la presente Unidad, señalaremos los principales componentes de un Plan de Manejo de Cuencas, así como algunas estrategias y metodologías que apuntan al cumplimiento de este objetivo.

"El Desarrollo Agrícola Sostenible (en agricultura, ganadería, forestería y piscicultura) debe ser *ecológicamente correcto* (conserva el suelo, el agua y la biodiversidad; se minimiza la pérdida de nutrientes y biomasa y energía), *económicamente viable* (produce suficiente para satisfacer las necesidades básicas, y genera ingresos suficientes para cubrir los gastos y la remuneración de los trabajadores), socialmente justo (asegura que las necesidades básicas de todos los miembros sean atendidas, que se respeten sus derechos y los valores humanos básicos) y *enraizado en la cultura local* (respeta la identidad sociocultural y cosmovisión, hace uso óptimo de los conocimientos locales). (*Sistematización de los estudios sobre Agricultura Sostenible* Henk de Zeeuw, ALOP – ICCO, 1.998

### 1.3.2.1 Enfoques y estrategias vigentes en los Planes de Manejo de Cuencas

Las estrategias con las que se aborda una tarea, cualquiera que ésta sea, tienen que ver con la necesidad de establecer cómo se va a proceder para cumplir un objetivo determinado.

Por ejemplo, un profesor tiene por objetivo fundamental el poner al alcance de sus alumnos los conocimientos necesarios para hacer de ellos personas útiles para la sociedad. Ahora bien, dicho maestro tiene, simplificando la realidad, dos estrategias para lograr el mismo objetivo: la primera es asumir toda la acción, pensar que los alumnos no tienen nada importante en la cabeza, sentarlos quietos en un pupitre y empezar a llenarles la cabeza de conocimientos una, y otra, y otra vez. La otra estrategia es que el maestro reconozca que sus alumnos tienen capacidades, destrezas y conocimientos útiles, que es necesario partir desde ese saber y de la realidad y capacidad de sus alumnos, que tiene que enseñarle cosas útiles que le sirvan para la vida, y que no va a transmitir conocimientos, sino que va a guiar procesos en los que los educandos son el centro de la acción, y que son sus propias experiencias las que recrean sus conocimientos.

Mediante ambas estrategias el maestro ha cumplido formalmente con el objetivo señalado: el poner al alcance de sus alumnos los conocimientos necesarios para hacer de ellos personas útiles para la sociedad. En el plano formal, cualquiera de las dos permiten que el maestro informe el número de horas dictadas, los temas tratados y cobre su salario, sin embargo el resultado será muy diferente.

La primera estrategia conducirá a que se destaquen los alumnos con buena memoria, constancia y disciplina para repetir procesos. La segunda estrategia desarrollará personas creativas e innovadoras, capaces de resolver problemas nuevos y de enfrentarse a realidades diferentes.

No podemos señalar que alguno de los dos sea negativo para la sociedad en que vive, pues los dos son capaces de aportar. Sin embargo, los alumnos de la primera estrategia regularmente no estarán en capacidad de cambiar y mejorar la sociedad en que viven; mientras que aquellos que siguieron la segunda estrategia serán los líderes que sean capaces de construir una sociedad mejor que aquella en la que se criaron.

El ejemplo anterior no es una sentencia absoluta, pero es lo que afirman diferentes corrientes pedagógicas. Ahora bien, con este ejemplo hemos querido reflexionar sobre la importancia fundamental que tiene el cómo se hacen las cosas y que, en el caso de los proyectos de riego, es muchas veces el cómo se hacen las cosas lo que determina si lo ejecutado logra realmente beneficiar a los usuarios o no.

No es difícil citar un sinnúmero de proyectos, no solamente de riego sino de desarrollo en general, que muestran impecables informes de cumplimiento de actividades, de talleres de capacitación, de construcción incuestionable de obras físicas, entre muchas otras acciones. Sin embargo, una vez que se retira el proyecto de la zona, todo regresa a la situación anterior sin que haya cambiado prácticamente nada, y de esta forma siguen manteniéndose las condiciones de pobreza y marginamiento de los usuarios. Cuando eso sucede, entre otras razones, suele existir un error de fondo en la elección de las estrategias por seguir por quienes dirigen y ejecutan el proyecto.

por la falta de efectividad de los proyectos, se han incorporado cada vez con más fuerza *ejes transversales* en las estrategias de desarrollo, por ejemplo: género, medio ambiente, sostenibilidad, participación, gobiernos locales, valoración de los conocimientos tradicionales, entre otros.

Esta es una introducción necesaria para valorizar la importancia de las estrategias en el desarrollo de Planes de Manejo de Cuencas, porque en las actuales propuestas podemos distinguir claramente dos tendencias: la una nace como una necesidad local, mientras que la otra es una prioridad regional, persiguiendo ambas el mismo objetivo, pero enfatizando estrategias diferentes para lograr su finalidad.

A continuación caracterizaremos ambas propuestas para la implementación de un Plan de Manejo de Cuencas.

### 1.3.2.2.1 Enfoque regional para la implementación de Planes de Manejo de Cuenca.

"La mayoría de los países de la región carecen aun de la necesaria estabilidad y cobertura institucional para la gestión del uso múltiple del agua a nivel de cuencas, aun cuando las recientes leyes de aguas tratan de institucionalizar este aspecto. A pesar de lo anterior, hay ejemplos de instituciones que han funcionado con éxito en diferentes aspectos de gestión del agua a nivel de cuencas con participación de los usuarios, el Estado y otros actores representados en comités de cuenca. Muchas de estas entidades no han logrado aún importantes avances en términos de la gestión integral del agua por no haber contado con recursos financieros, coordinación y base legal adecuados, o por haber tenido una compleja dependencia tanto administrativa como financiera." (Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Carta circular 5, 1.997)

#### 1.3.2.2.1.1 Caracterización y principales componentes

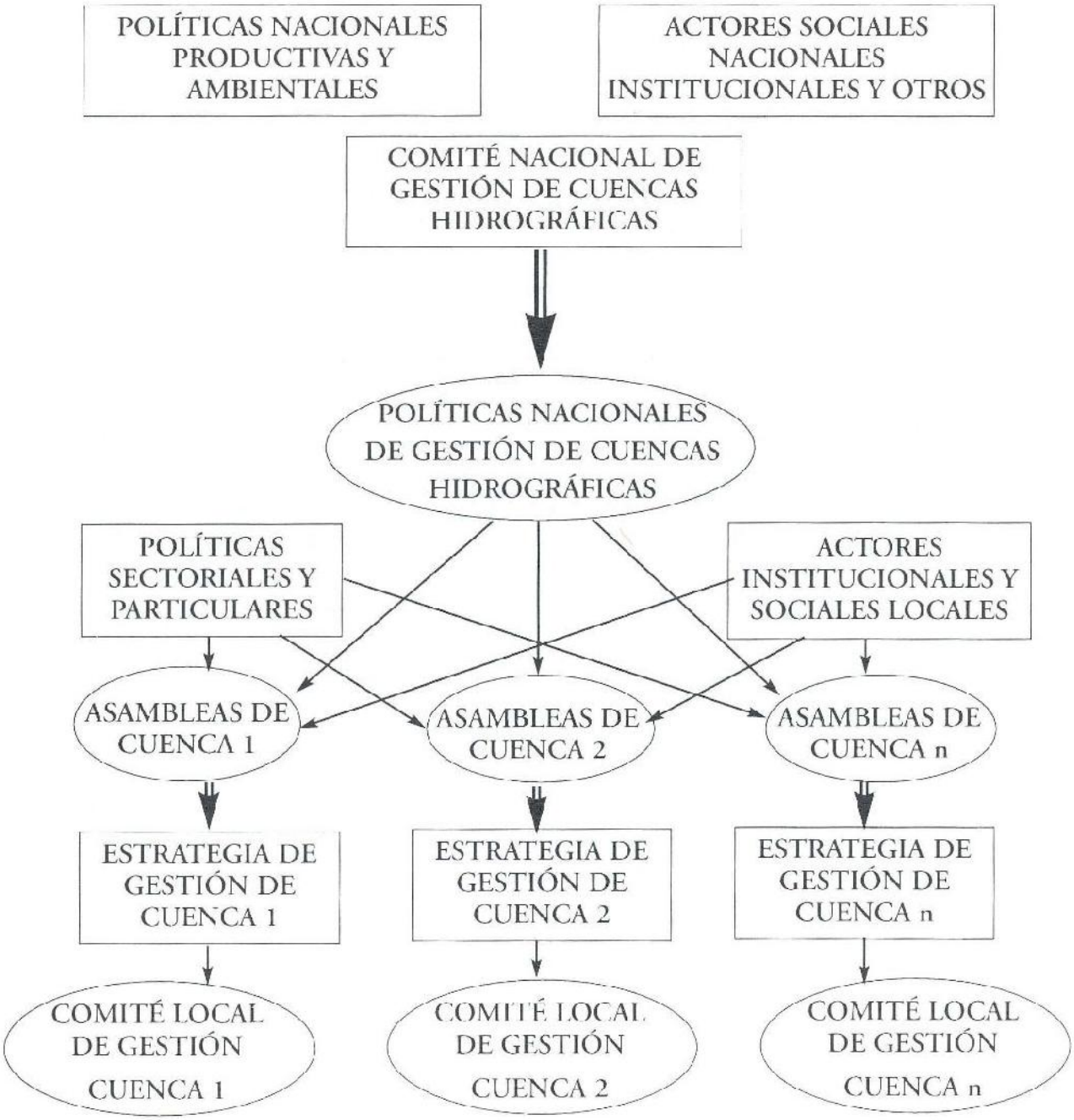
El *enfoque regional* para el manejo de cuencas se caracteriza por aportar en la definición del marco general que debe orientar la planificación, diseño, y gestión de los Planes de Manejo de Cuencas. Es decir, basándose en experiencias internacionales, recomienda una serie de elementos que deben ser considerados al momento de definir políticas, leyes, financiamiento y estructura institucional que deben regir en la gestión y administración de las cuencas hidrográficas.

Desde el punto de vista del *enfoque regional*, la clave para la correcta administración y manejo de los recursos a nivel de cuenca hidrográfica, se asienta primordialmente en la definición de parámetros nacionales esenciales para fortalecer la acción a nivel de cuencas hidrográficas. De allí que se ocupa de sugerir, formular y asesorar en:

- El diseño de políticas nacionales a corto, mediano y largo plazo para el uso productivo y ambiental de los recursos naturales.
- La creación y/o modificación de los marcos legales (Leyes de Aguas) que norman el uso de este recurso.
- La creación de entidades nacionales que regulen el funcionamiento de los comités locales de cuencas.
- La definición de estrategias de financiamiento de las instituciones encargadas del manejo de cuencas.

- El establecimiento de los niveles y roles de participación de los diferentes actores involucrados.
- El señalamiento de los componentes técnicos para la conservación de los recursos naturales.

## PROPUESTA DE ORGANIZACIÓN PARA LA GESTIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS



A nivel regional latinoamericano quienes impulsan este enfoque son instituciones de carácter gubernamental, tanto de cobertura nacional como internacional. A nivel internacional se encuentran la CEPAL (Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe), el BID (Banco Interamericano de Desarrollo), entre otras entidades gubernamentales que apoyan el desarrollo en los países de la subregión. Sus interlocutores directos son los gobiernos nacionales de los países de Latinoamérica y el Caribe, en el caso ecuatoriano es el Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, el Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y Vida Silvestre ( ex – INEFAN), entre los más notorios.

En breves rasgos, estas son las orientaciones que dichas instancias promueven en cada uno de las temáticas mencionadas:

*a) Político:*

Promueve la redefinición del rol del Estado, orientándolo a lo estrictamente normativo y regulador, asumiendo un papel caracterizado por la promulgación de políticas nacionales y de las estrategias nacionales que permitan el funcionamiento de los órganos de gestión de cuencas; también la coordinación de actividades con el poder político, resguardando los intereses nacionales. (Cfr. *Propuesta preliminar para la gestión integral de las cuencas hidrográficas.* Marzo/99)

**OBJETIVOS DE LA ORIENTACIÓN POLÍTICA:**

- "Propender al autofinanciamiento de los servicios: la manifiesta crisis que atraviesan todos los servicios obliga a que se establezca una política clara de recuperación de costos de inversión y operación y mantenimiento.

- Establecer una moratoria de inversiones en riego: en razón de las altas inversiones realizadas en el subsector riego, y de la gran cantidad de proyectos no concluidos, se debe establecer una moratoria de inversiones para la construcción de nuevos sistemas."

(Gestión integral de los recursos hídricos: políticas y estrategias recomendadas. . CNRH, abril/99)

*b) Legal:*

Promueve la creación de un marco legal que haga compatibles las diferentes leyes sobre el manejo de los recursos naturales, a fin de contribuir a la planificación, administración y gestión a nivel de cuencas.

"Art. 78.- Para mejorar la coordinación y participación de las entidades estatales y de los usuarios, se establecerán **Consejos de Cuenca Hidrográficas** en cada una de las áreas de competencia de las Corporaciones Regionales de Desarrollo..." (Propuesta de *Ley del sector agropecuario* presentada al H. Congreso Nacional, mayo/99).

*c) Institucional:*

Promueve la creación de una institucionalidad sólida a nivel nacional, la cual haga viable el nuevo esquema de gestión, administración y financiamiento de las cuencas hidrográficas, consideradas estas últimas como la unidad de gestión del recurso hídrico.

En el Ecuador las propuestas de ley de aguas oficiales, actualmente en debate, se orientan a establecer la siguiente estructura institucional que posibilite el manejo de cuencas hidrográficas: a la cabeza el Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), las Agencias de Aguas, el Consejo Resolutivo de Aguas, Las Corporaciones Regionales de Desarrollo y, finalmente, los Consejos de cuencas hidrográficas.

*d) Participación:*

La participación en la estructura institucional mencionada se concentra en los representantes de las diferentes entidades estatales relacionadas con el manejo de los recursos naturales, como: Ministros de Estado, Subsecretarios, Representantes de la Presidencia de la República, personal técnico del Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), Directores Ejecutivos de las Corporaciones Regionales de Desarrollo, representantes de instituciones estatales y gobiernos seccionales. Finalmente, los usuarios del recurso hídrico se ven representados únicamente a nivel de los Consejos de cuencas hidrográficas. (Propuesta de *Ley del sector agropecuario* presentada al H. Congreso Nacional, mayo/99).

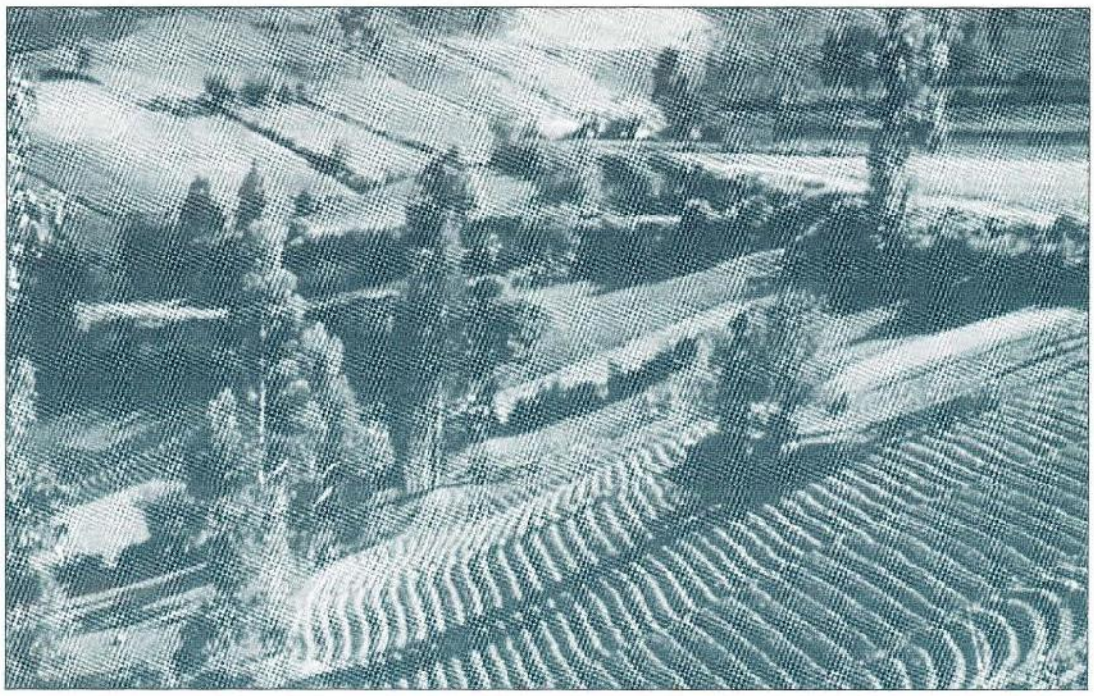
*e) Técnico:*

El *enfoque regional* para el manejo de cuencas hidrográficas incorpora un sólido componente técnico, el cual evidencia la problemática del manejo de los diversos recursos naturales: agua, suelo y vegetación. Con gran detalle se analizan los impactos producidos por métodos productivos inadecuados, la contaminación, la deforestación, el monocultivo, entre otros. De igual forma, algunos documentos analizan los diferentes usos del agua y sus coberturas deficitarias, ya sea en riego, saneamiento, agua potable, navegación, recreación, control de inundaciones o generación hidroeléctrica.

En *el enfoque regional*, las propuestas técnicas giran en torno la conservación y manejo sustentable de los recursos naturales, siendo ese su eje principal. Pocos dan algunas pautas de la población que reside y que es usuaria del agua en las cuencas hidrográficas.

## 1.3.2.2.1.2 Estrategias, experiencias y bibliografía

Las principales estrategias, mediante las cuales estas instituciones promueven el *enfoque regional* son: asesoría técnica especializada, financiamiento de macro proyectos de cobertura sectorial y nacional, eventos nacionales e internacionales, capacitación, difusión y promoción. Manteniendo siempre como interlocutores prioritarios a los personeros de los niveles técnicos y ejecutivos de las instituciones estatales y paraestatales, gobiernos seccionales y municipales.



Los principales modelos que promociona este enfoque, así como los mayores avances que ha conseguido en Latinoamérica se han registrado en el Manejo de Cuencas que se adelanta en:

- La experiencia de Inglaterra y Gales con la privatización de los servicios de agua potable y alcantarillado en el Reino Unido.
- La experiencia de Chile con la participación del sector privado y el mercado de agua a nivel nacional.
- La experiencia de Venezuela con la privatización en el sector de agua potable y alcantarillado.
- La experiencia de Argentina con la transferencia de los sistemas de riego a los usuarios en la provincia de San Juan y en Tucumán
- La experiencia conjunta de Canadá y los Estados Unidos con la participación del sector privado en los Grandes Lagos y, de los Estados Unidos en Florida.

(Cfr. *Taller sobre la privatización de empresas de servicios públicos relacionadas con el agua en las Américas*, Santiago de Chile, 1995.)

"Los nuevos ejemplos de instancias locales de gestión del uso múltiple del agua incluyen la creación de consorcios entre municipalidades para administrar cuencas, tales como los existentes en el estado de São Paulo e instituciones similares en otros estados de Brasil. Uno de los más adelantados es el Consorcio Intermunicipal de las Cuencas de los ríos Piracicaba y Capivari. El Consorcio tiene como objetivos principales: (i) representar al conjunto de municipios en asuntos de interés común; (ii) planear y ejecutar proyectos y medidas en conjunto destinadas a controlar y promover el uso adecuado de las aguas de esas cuencas, principalmente con respecto al tratamiento de aguas servidas urbanas; y (iii) promover formas articuladas de planificación del desarrollo regional, creando mecanismos en conjunto para estudios, consultas, fiscalización y control de las actividades que interfieran con la calidad del agua.

También, se ve un interés renovado en las autoridades de cuenca en México en la aplicación de la ley de aguas nacionales de 1992. En Perú, las municipalidades de la cuenca del río Rímac están discutiendo la elaboración de una estrategia concertada para el diseño e implementación de un Plan de Gestión Ambiental en la Cuenca del Río Rímac". (Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), *Carta circular 5*, 1.997)

El *enfoque regional* trabaja con un perfil bajo temáticas como metodología de intervención, técnicas e instrumentos para la gestión, metodologías participativas, entre otros recursos necesarios para el trabajo que se realiza directamente con los usuarios de los servicios de agua. Para quienes deseen profundizar más en este enfoque, sus conceptos, propuestas y estrategias, recomendamos la siguiente literatura:

A nivel nacional:

- Análisis económico sobre el Manejo Integral de Cuencas: consideraciones metodológicas. Ecuador, abril/99.
- Gestión integral de los recursos hídricos: políticas y estrategias recomendadas. (Documento para discusión) Ecuador, abril/99.
- Política institucional sobre el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección forestal. Ecuador, abril/99.
- Plan de ordenamiento y manejo de las cuencas de los ríos San Miguel y Putumayo. Gobiernos de Ecuador y Colombia. Mayo/94.
- "Propuesta preliminar para la gestión integral de las cuencas hidrográficas", documento de trabajo. Marzo/99.
- Propuesta de *Ley del Sector Agropecuario* del Ejecutivo al H. Congreso Nacional. Mayo/99.

- Política ambiental del sector agropecuario. Resumen Ejecutivo. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Programa Sectorial Agropecuario. Quito, julio/98.
- Taller de sistematización de experiencias: ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas. Consejo Nacional de Recursos Hídricos. Abril/99.

A nivel regional:

- Informe del II Taller de gerentes de organismos de cuenca en América Latina y el Caribe. CEPAL, Santiago de Chile, diciembre/97.
- Ordenamiento político – institucional para la gestión del agua. CEPAL, Santiago de Chile, diciembre/98.
- Cuarto curso internacional sobre manejo forestal en cuencas hidrográficas Gobierno del Estado de Sao Paulo, Secretaría de Estado de Medio Ambiente, Instituto Forestal de Sao Paulo, 1.999
- Guía para orientar procesos de gestión para el desarrollo en cuencas y microrregiones de alta montaña. Axel Dourojeanni, 1989 ILPES.
- La gestión del agua y las cuencas en América Latina". Axel Dourojeanni, 1994.
- Guía para la creación de entidades de cuenca. Marco de referencia para su elaboración. Naciones Unidas, 1999.
- Conceptos básicos en políticas de agua basadas en el mercado. Renato Gazmuri, 1994.
- El mercado del agua y el caso de Chile. Fernando Peralta, 1995.

### 1.3.2.2.2 Enfoque local del Manejo de Cuenca

**PLANIFICAR PARA CONSERVAR SUS RECURSOS NATURALES**

Pedro Encalada

La comunidad sentía la necesidad de conservar o proteger la reserva de agua, suelo y plantas, ya que la ausencia de árboles es cada día más desesperante, la erosión de los suelos aumenta debido a que la zona cuenta con pendientes demasiado pronunciadas, y porque el agua, la poca que existe, solo contribuye a que la erosión se acelere. Son estas razones que facilitan al proyecto DFC cuando motiva al promocionar la propuesta forestal y esto hace que los comuneros respondan muy bien y se genere una masiva participación.

Lo interesante de esta experiencia es que fue liderada por el presidente de la UNOCJ con el apoyo del técnico extensionista y además promotores comunales de otras comunidades como San Vicente Chinahuina y Moya, a este evento asisten hombres, mujeres, niños, niñas, ancianos y ancianas. El trabajo conjunto

y en la práctica iba demostrando el gran aporte de los participantes y esto generaba mayor confianza en los promotores y técnicos extensionistas. En fin el siguiente día luego del análisis: como era, como es y como queremos nuestra comunidad. Concluimos con el plan forestal comunal.

Se planificó para el año producir 10.000 plantas, una terraza de banco con un ex comunero, eventos de capacitación y gira de observación entre otras actividades. La participación y motivación fue grande que en dos mingas se estableció el vivero pero con una capacidad de 15.000 plantas.

Posteriormente se estableció un vivero y se realizó una plantación de plantas en linderos (plantación agroforestal), lombricultura y aproximadamente 40 terrazas de banco. Luego, los campesinos dijeron "ahora compañero ya casi todo lo que planificamos para hacer en el año hemos terminado qué hacemos. Acaso producimos más plantas en viveros o hacemos más terrazas de bancos, tenemos que hacer algo mas grande y rápido porque nosotros queremos ver cambiada a nuestra comunidad, mientras mas pronto mejor, queremos ver como es en Ambato que vine viendo cuando me llevaron."

(CAMAREN, *Compendio de Fichas de Capitalización I*, 1998.)

Constituye el otro lado de una misma medalla. Ya que hemos analizado la propuesta para la elaboración de Planes de Manejo de Cuencas que maneja el enfoque regional, avanzamos ahora a una comprensión del manejo de cuencas y microcuencas que parte desde las características, prioridades y necesidades de una población determinada.

Es decir que, a diferencia del anterior, el *enfoque local* prioriza lo particular por sobre lo general: mientras el *enfoque regional* se concentra en los marcos jurídicos, legales, organizativos y de financiamiento, que deben orientar a los gobiernos centrales en Latinoamérica y el Caribe, el *enfoque local* parte de encontrar las soluciones políticas, estratégicas, metodológicas, operativas e instrumentales concretas, precisas, que permitan resolver los conflictos sociales de distribución y uso de los recursos naturales, así como desarrollar estrategias sostenibles que posibiliten a los pobladores de una cuenca o microcuenca, planificar y administrar los recursos naturales de su cuenca a favor de las generaciones futuras.

Para introducir el *enfoque local* cabe realizar otras precisiones que lo diferencian del enfoque regional. En el enfoque regional los principales actores del proceso son instituciones internacionales de corte gubernamental, especializadas en macroplanificación, en financiamiento y economía internacional, que delegan personal técnico altamente especializado a nuestros países, para que asesoren a los gobiernos nacionales de cada país y sus entidades de desarrollo, apoyados con grandes financiamientos y ejecutando macroproyectos de amplia cobertura.

Mientras tanto, los actores involucrados en el *enfoque local* para el diseño de planes de manejo de cuencas y microcuencas, son principalmente los pobladores de la

cuenca, apoyados por técnicos locales y nacionales, quienes son el aporte de organismos no gubernamentales (ONG) vinculadas al desarrollo y al manejo y conservación de los recursos naturales. Su estilo de trabajo se resume en el proyecto, entendido como un apoyo integral ofrecido temporalmente a pobladores de una cuenca o microcuenca para potenciar sus capacidades propias para el manejo integral, equitativo y adecuado de los recursos naturales que comparten. El financiamiento de estas actividades proviene principalmente de instituciones de desarrollo gubernamentales y no gubernamentales, principalmente europeas. Por lo general, aportes menores son comprometidas por el Estado ecuatoriano para incentivar el aporte externo; eventualmente, el aporte internacional a los proyectos incorpora también la participación en la ejecución directa de técnicos y voluntarios de sus propios países.

"Se puede definir que como objetivos generales del proyecto fueron el iniciar el manejo y conservación de los recursos naturales renovables de la cuenca del río Paute mediante el establecimiento de sistemas productivos y de protección apropiados, mejorando de alguna manera el nivel de vida de la población rural de la zona que vive en niveles de pobreza ... y expandir actividades similares para el resto de la cuenca y otras áreas del país y desarrollar una estructura institucional y legal que permita la utilización de los recursos renovables en forma racional". (*Sistematización de experiencias de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas,* Cuenca del Río Paute. Pons, 1.999)

De esta manera, *el enfoque local* del Manejo de cuencas y microcuencas, genera un aporte sustantivo a los proyectos de desarrollo y a la conservación de los recursos naturales, proponiendo alternativas y estrategias viables en contextos socioeconómicos concretos, para alcanzar los resultados que promueve el desarrollo sustentable.

### 1.3.2.2.2.1 Caracterización y principales componentes

Como es de suponer, debido a la diversidad de situaciones y realidades que confronta la ejecución de planes de manejo de cuenca a nivel local y, a diferencia del *enfoque regional* que posee una misma matriz, diferentes niveles de aplicación y un mismo paradigma para el manejo de cuencas, los componentes y estrategias principales para la ejecución de los planes de manejo son diversas, de acuerdo a las prioridades identificadas en cada población; sin embargo, poseen objetivos, estrategias y componentes comunes, los cuales merecen ser destacados.

Como veremos más adelante, de una u otra manera los Planes de Manejo de Cuenca consideran cuatro elementos: lo humano, lo natural, lo social y lo económico. Al

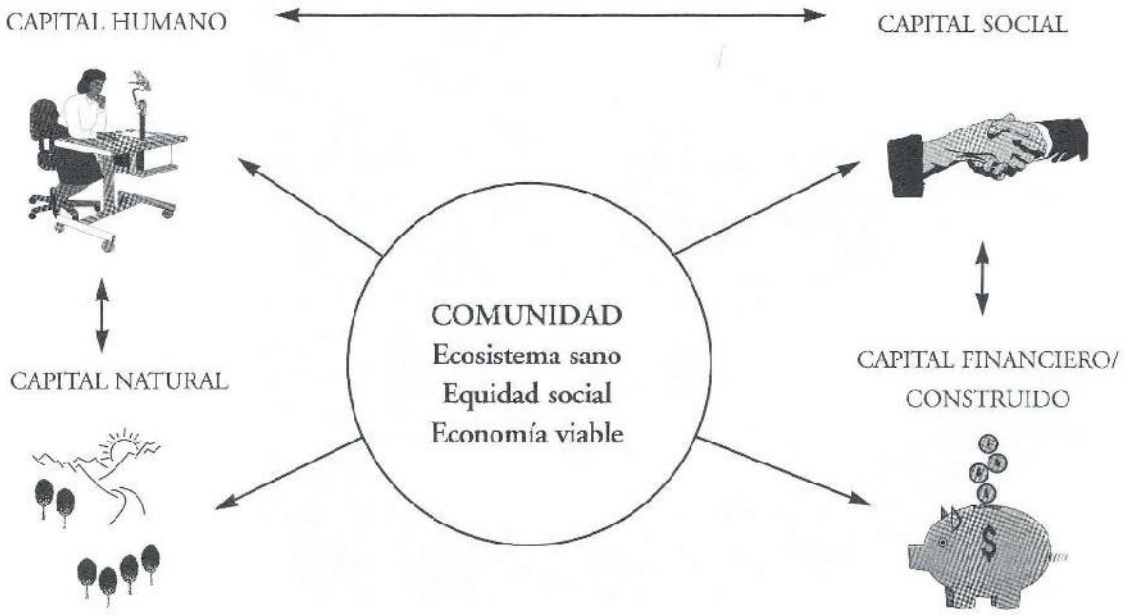
respecto, *el Programa de Apoyo a la investigación participativa en el manejo de los recursos naturales y la agricultura sustentable (Sustainable Agriculture and Natural Resource Management Collaborative Research Support Program, SANREM – PRSC), con sede en la Universidad de Georgia, presenta el documento Creación de Incentivos Sociales para la Conservación de la Biodiversidad (Flora, C. 1.999)*, el cual realiza un planteamiento que consideramos es un importante aporte al momento de planificar y diseñar un Plan de Manejo de Cuenca.

El principal avance que logra esta propuesta es partir de los recursos y potenciales que tiene una comunidad, a diferencia del estilo tradicional de los proyectos, que parten de las necesidades existentes. Este enfoque parte del presupuesto de que "los recursos brindan a la gente la capacidad de negociar, mientras que las necesidades la condenan a ser receptora de caridad, quitándole control. Partir del reconocimiento de recursos es una forma de empoderar a la gente, por el contrario partir de las necesidades convierte a la gente en víctimas. Los recursos permiten construir un futuro común. Las necesidades dejan vacíos por llenar". (Op. Cit.)

Para encaminar esta visión de la problemática del desarrollo sustentable, se plantea que los recursos de una comunidad, región o cuenca, se expresa en cuatro formas de capital:

- Capital humano
- Capital social
- Capital natural; y,
- Capital financiero/construido

La comprensión de estos componentes como *capital*, obedece a que la intención no es *consumir* esos recursos, sino *invertir* en ellos. De esa forma, un recurso se convierte en capital: creando las condiciones para que ese recurso se multiplique, generando diversos recursos nuevos



Está formado por los conocimientos, destrezas y experticias que posee un individuo. Este capital se regula de acuerdo a diferentes variables como la educación, la salud, los valores y creencias, la nutrición y el liderazgo, entre muchos otros. Esta forma de capital se caracteriza por ser altamente móvil, con gran potencial de desplazamiento de un lugar a otro. Sin embargo, mientras el *capital humano* no se encuentra adecuadamente relacionado una o más de las demás formas de capital, es únicamente potencial, porque no llega a expresar su capacidad en algo concreto, o porque las particularidades del entorno no favorecen o no valoran su capacidad.

Un ejemplo válido podría ser un ser humano que aplica un conocimiento destructivo para el medio ambiente, o, a la inversa, una cultura (capital social) que no valora los saberes tradicionales de un migrante. Es decir, solo cuando las diferentes formas de capital interactúan adecuadamente, *el capital humano* se realiza a favor de la sustentabilidad.

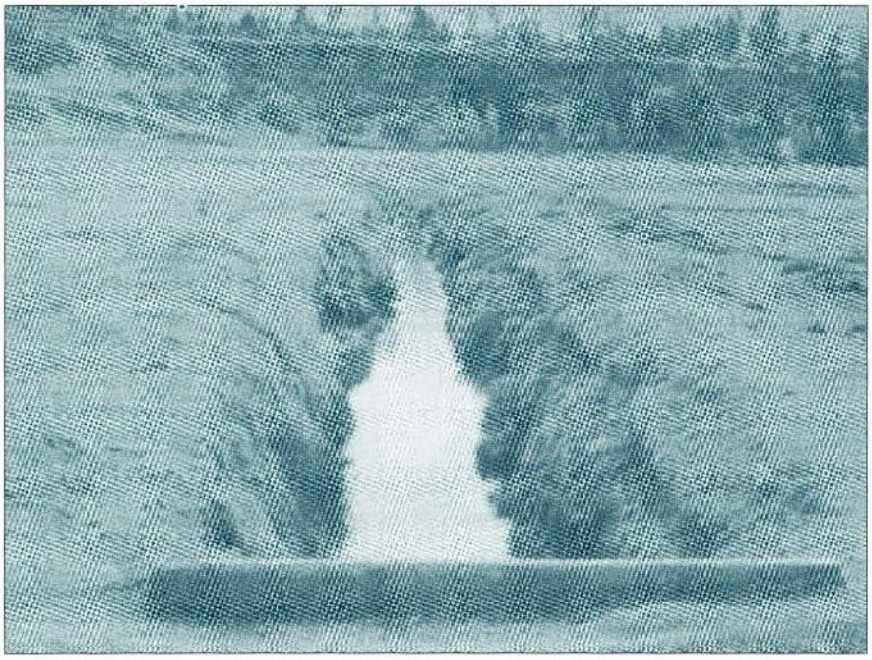
## CAPITAL SOCIAL:

A diferencia del capital humano, que es individual y altamente desplazable, el capital social es colectivo y de muy limitada movilidad. El *capital social* se conforma de aquellos elementos que surgen en una comunidad de personas que comparten símbolos, una cosmovisión, que poseen una identidad colectiva y un sentido de gestación compartida de un futuro, en ello es muy trascendente indicadores muy claros, como la confianza mutua y la presencia de redes de reciprocidad.

Como se desprende de lo anterior, podemos aseverar que en nuestro país existe un *capital social* mucho mayor en las comunidades indígenas, que en cualquier otro espacio de organización social; y paralelamente podemos señalar que también va de más a menos a medida que se pasa de lo rural a lo urbano. Es clara la falta de elementos que brinden una identidad colectiva especialmente al mestizo urbano, teniendo éste como antítesis, al indígena campesino que vive en comunidad, quien posee múltiples elementos que caracterizan al *capital social.*

En nuestro país existe un *capital social* mucho mayor en las comunidades indígenas, que en cualquier otro espacio de organización social.

Para el diseño de Planes de Manejo de Cuenca al interior del capital social merecen especial consideración factores como la capacidad de asociación y la vigencia del sentido de reciprocidad al interior de sus pobladores. Debemos señalar que, comúnmente, estos factores no son ni siquiera tomados en cuenta al momento ya sea de diseñar un proyecto, o de analizar su factibilidad.



## CAPITAL NATURAL:

Esta es una forma de capital que es altamente estudiada y analizada al momento de diseñar Planes de Manejo de Cuenca. *El capital natural* parte de la calidad y cantidad de los recursos naturales presentes en la cuenca hidrográfica. Contempla elementos como los suelos, aire, agua, la biodiversidad de fauna, flora y microorganismos, así como el paisaje. Todo ello evaluado en parámetros de cantidad y calidad.

Es una forma de capital prácticamente inamovible, y muy frágil, por lo que requiere de que las demás formas de capital lo tomen en cuenta y consideren la importancia de sus contribuciones en términos de salud al *capital humano* y en términos simbólicos para el *capital social.*

Si recordamos, por ejemplo, la importancia del páramo en la administración y dosificación del agua, y la forma en que día a día se ve reducido, vemos una situación en la que la acción del ser humano atenta contra el *capital natural.*

## CAPITAL FINANCIERO/ CONSTRUIDO:

Como todos conocemos, el *capital financiero* es altamente movible, el dinero circula de un lugar a otro del mundo en forma electrónica, sin necesidad de papeles, por lo cual no importan las distancias, y en microsegundos se autorizan desembolsos de un extremo a otro del planeta, sin importar tampoco sus montos.

El *capital financiero*, como los demás, es muy importante en su especialidad. Su potencial está en la posibilidad adquirir bienes e insumos que aporten al desarrollo del *capital humano* y a la conservación del *capital natural*. Como ha sucedido, y sucede muchas veces, este capital se orienta con fines que atentan contra la equidad entre los hombres y contra la existencia de la biodiversidad. Sin ir muy lejos, la destrucción de los manglares y su ecosistema por parte de las empresas camaroneras que se asientan legal e ilegalmente en la costa, es un ejemplo claro.

Parte de esta forma de capital son las obras ya existentes en una cuenca: las infraestructuras sanitaria, educativa, de prestación de servicios básicos; vías de comunicación, sistemas de riego, abastos de agua potable, etc.

"Es útil pensar en cuatro formas de capital, que en su conjunto hacen una comunidad, cuenca, o región sustentable: un ecosistema sano, la equidad social, y una economía viable. Un ecosistema sano cuenta con un alto nivel de biodiversidad, agua y aire limpios, y un suelo productivo. La equidad social implica que todos los ciudadanos tienen acceso a los recursos del área, tanto educación, medios productivos, comida y agua, así como el respeto de la comunidad." (*Creación de Incentivos Sociales para la Conservación de la Biodiversidad. SANREM*, 1999)

La utilización de esta propuesta, conlleva situar estos cuatro capitales, en un contexto mayor, el cual se constituye principalmente por la incidencia de un *mercado* caracterizado por la globalización e industrialización, por un *Estado* en proceso de redefinición de su papel y descentralización; y, por una *sociedad civil* con nuevas responsabilidades determinadas por los cambios que viven tanto el *Estado*, como el *mercado*.

*a) Principales objetivos de un Plan de Manejo de Cuenca*

Una característica muy importante de un Plan de Manejo de Cuenca es su integralidad, ya que supera visiones parceladas de la realidad, que procuran alcanzar grandes objetivos, pero desde acciones parcializadas, que hacen énfasis en uno u otro aspecto de manera excluyente. La realidad ha demostrado que la complejidad del desarrollo sustentable, implica la incorporación de gran variedad de acciones con suficiente énfasis para alcanzarlo. Los Planes de Manejo de Cuenca procuran conservar esta integralidad de aspectos, por lo cual sus objetivos generales son muy ambiciosos, y la magnitud de sus objetivos específicos son tan amplios como los de un proyecto convencional.

Como ya vimos anteriormente, el objetivo general de un Plan de Manejo de Cuenca se orienta al logro del *desarrollo sustentable*, comprendido desde la integralidad de lo humano, social, natural y económico. Sin embargo, los diferentes Planes de Manejo de Cuenca hacen un mayor énfasis en uno u otro elemento del Plan de Manejo. Generalmente, esto se debe a dos razones, las cuales pueden presentarse simultánea o independientemente:

La primera causa para que un Plan de Manejo concentre su labor en uno de los componentes del Plan de Manejo, más que en los demás, es la agudeza con la que se presenta una problemática en la región. Por ejemplo, cuando el principal problema que motiva un Plan de Manejo es la excesiva sedimentación de un río que desemboca en una central hidroeléctrica, ese Plan de Manejo centrará sus esfuerzos en el manejo adecuado del suelo y su cobertura vegetal, a fin de reducir la erosión.

La segunda razón común por la cual un Plan de Manejo de Cuenca se centra en un componente sobre los demás, tiene que ver con que el origen se halla en un proyecto anterior, ya sea éste de conservación biológica, forestación o desarrollo rural. Esa experiencia anterior registra la necesidad de un enfoque integral para mejorar su impacto, por lo cual deviene en Plan de Manejo de Cuenca. De este proceso, sin dudas positivo, existen más de una experiencia reciente, por lo que no amerita mayor explicación. Son comunes los proyectos que se convirtieron en Planes de Manejo de Cuenca, cuando la intervención original se orientó hacia la conservación de áreas protegidas, o al manejo adecuado del páramo, o también, a la ejecución de proyectos de riego.

Sin duda, en este proceso innovador de diseñar proyectos en el marco del Manejo de Cuenca tiene un peso específico importante la experiencia de la institución que asume la coordinación del proyecto. Es así como, en diferentes Planes de Manejo de Cuenca en nuestro país, varias instituciones hacen énfasis en aquel componente en el que tienen mayor experiencia, y que constituye una fortaleza institucional, ya sea éste la forestación, el suelo, el ser humano o el agua.

A continuación reseñamos algunos objetivos de planes vigentes de manejo de cuenca, y sus respectivos énfasis:

- **Proyecto "Desarrollo forestal campesino en Los Andes del Ecuador". Objetivo general:** "contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida de los campesinos de Los Andes, a través de la incorporación del árbol en sus sistemas productivos agropecuarios y, en general, del manejo de los recursos naturales renovables, de tal manera de conseguir beneficios sociales, económicos y ambientales, en particular, para las mujeres campesinas".
- **Proyecto "Plan de ordenamiento y manejo de las cuencas de los ríos San Miguel (Ecuador) y Putumayo (Colombia)". Objetivo general:** "Impulsar el manejo ambiental de la región para detener los procesos de deterioro de los ecosistemas e incentivar su desarrollo sostenible, utilizando correctamente las potencialidades y respetando las limitaciones que presentan sus recursos naturales".
- **Proyecto "Manejo colaborativo y uso apropiado de recursos naturales en la cuenca del río El Ángel". Objetivo general:** "Potenciar la sostenibilidad del área de influencia del futuro canal de riego El Artesón, en la cuenca del río El Ángel, a través de la rentabilidad con equidad y un adecuado manejo de los recursos naturales".
- **Proyecto "Manejo del uso sostenible de tierras andinas". Objetivo general:** "fomentar la autogestión del campesino minifundista en la sierra ecuatoriana, a través de la adopción y adaptación de prácticas de uso sostenible de la tierra, con el fortalecimiento de la capacidad autogestionaria y conocimientos en el área del uso sostenible de recursos naturales, las comunidades indígenas se vuelven más capaces de enfrentar los problemas relacionados con la baja productividad del suelo. El proyecto busca como consecuencia mejorar el nivel de vida de los campesinos, mejorando la productividad, conservando y regenerando los suelos a corto y largo plazo."
- **Proyecto "Manejo integral de la cuenca Imbacucha". Objetivo general:** "Coadyuvar al desarrollo social y económico de los habitantes de la Cuenca del Lago San Pablo, mediante la coordinación, planificación, ejecución y evaluación de las acciones realizadas por todos los organismos involucrados, dentro del Manejo racional de sus Recursos Naturales.

  (*Cfr. Taller Sistematización de experiencias en el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas.* MAG, 1999)
- **Programa Nacional de Microcuencas Hidrográficas y Programa Estatal de Microcuencas Hidrográficas.** Objetivo general: "Considerar las microcuencas hidrográficas como unidades básicas de ocupación del espacio rural, a fin de promover su desarrollo integrado, el aumento sustentable de la producción y de las actividades agropecuarias, elevando los niveles de y mejorando las condiciones de vida de la población brasileña." ( Cuarto Curso Internacional sobre Manejo Forestal de Cuencas Hidrográficas. Gobierno del estado de Sao Paulo, Secretaría de Estado de Medio Ambiente e Instituto Forestal de Sao Paulo. Sao Paulo, Brasil, 1999)

Como vemos, al diseñar un Plan de Manejo de Cuencas o microcuencas, las posibilidades son variadas, por lo que permiten poner nuestro énfasis en uno o dos ejes del manejo integral del área. En esta breve muestra podemos ver desde proyectos binacionales de integración fronteriza, hasta proyectos centrados en el árbol o la superación del nivel de vida de la población. No por ello, dejan de ser considerados proyectos que contemplan el desarrollo integral de cuencas y microcuencas, sino más bien, son analizados como el proceso evolutivo correcto en el que se deben encaminar los proyectos de desarrollo rural.

*b) Principales Estrategias de un Plan de Manejo de Cuenca*

Las estrategias generales de un Plan de Manejo de Cuenca constituyen la forma cómo se planea cumplir los objetivos previstos. Si recordamos el ejemplo citado algunas páginas atrás sobre el maestro y las estrategias alternativas que tiene para poner al alcance de sus alumnos los conocimientos necesarios para hacer de ellos personas útiles para la sociedad, vemos que sí es posible llegar a un objetivo de diferentes maneras, pero que esas maneras (que son las estrategias), determinan en mucho la calidad con que se alcanza el objetivo previsto.

Procurando alcanzar los objetivos generales y específicos previstos con la mayor calidad y efectividad posibles, los Planes de Manejo de Cuenca incorporan estrategias que, basándose en obstáculos hallados anteriormente por otras experiencias, procuran tomar en cuenta todos aquellos factores que pueden incidir en la sustentabilidad del proyecto. Entonces las estrategias generales dan cuenta de cómo se van a ejecutar las acciones previstas en un Plan de Manejo de Cuenca, a fin de asegurar sustentabilidad al proyecto.

En las experiencias nacionales y en algunas internacionales, encontramos presentes lassiguientes estrategias generales, o enfoques transversales de intervención:

- Fortalecimiento de las organizaciones locales.
- Participación desde la investigación y planificación.
- Género.
- Capacitación.
- Autogestión.
- Producción agroecológica.
- Negociación.
- Respeto al saber local.

Estas estrategias generales cubren como un paraguas a las actividades y acciones que se realizan en todos los componentes de un Plan de Manejo de Cuenca. Por ejemplo, en el caso de la estrategia de género, su incorporación implica que debemos preocuparnos por verificar que en todos los componentes nuestra intervención se propicien roles equitativos de género, tanto en el aporte en trabajo invertido para el cumplimiento de las actividades previstas, cuanto en niveles de decisión al respecto, así como en el uso, administración y control beneficio de los recursos generados. De igual forma, debe suceder con la participación y las demás estrategias mencionadas.

Consideramos que todas las estrategias generales señaladas son importantes, y existe abundante bibliografía de alta calidad al respecto, parte de la cual se la encuentra en una serie de publicaciones CAMAREN, por lo cual, no entraremos a detallar la forma de aplicación de estas estrategias, sin embargo, al final de este módulo presentamos alguna bibliografía que enriquecerá el diseño de estrategias para el diseño de Planes de Manejo de Cuenca:


- Aguilar. Carlos, *El Rol de la Gestión de los Recursos Hídricos en el Manejo de Cuencas Hidrográficas*, Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- ALOP – ICCO, *Un Sistema de Relacionamiento para la Agricultura Sostenible de América latina y el Caribe. Una Propuesta Conjunta de ICCO y ALOP, 1998.*
- Butler Flora. Cornelia, *Creación de Incentivos Sociales para la Conservación de Biodiversidad*, SANREM, 1999.
- CESA, *Estrategias Institucionales de Intervención para el Desarrollo Rural 1996/2000*, CESA, 1996.
- De Zeeuw. Henk, *Sistematización de los Estudios sobre Agricultura Sostenible*, ALOP – ICCO, 1998.
- Encalada. Oswaldo y Martínez Pablo, *Principios Básicos del Manejo Integral de las Microcuencas Hidrográficas*, CAMAREN, 1998.
- Martínez Alier. Joan, *Agricultura Sustentable, CAMAREN, 1998.*
- Martínez. Juan, *Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental*, CAMAREN, 1999.
- NEDA, *Sustainable Irrigated Agriculture*, Ministry of Foreign Affairs, 1998.


*c) Principales componentes de un Plan de Manejo de Cuenca*

Algo que es diferencia substantivamente a un Plan de Manejo de Cuenca de otro tipo de proyectos, es la complejidad de su estructura, la variedad de componentes que lo conforman y la diversidad de interlocutores que requiere.

Aunque algunos de los proyectos no planifican sus acciones necesariamente en torno a *Componentes*, sino en base a resultados esperados o a zonas de intervención, los campos de acción son básicamente los mismos. En los Planes de Manejo de Cuenca que actualmente se ejecutan en nuestro país, se presentan generalmente los siguientes componentes:

- Forestación
- Sistemas de riego
- Sistemas de producción
- Agroforestería
- Ganadería
- Manejo forestal productivo
- Fortalecimiento socio – organizativo
- Obras físicas e infraestructura

- Extensión y capacitación
- Difusión y promoción
- Educación ambiental
- Estudios e investigaciones
- Seguimiento y evaluación
- Aspectos administrativos

Esta estructura de temáticas que debe contemplar un Plan de Manejo de Cuenca puede parecer excesivo a algunos e incompleto a otros. Excesivo a quienes pretenden mirar en un Plan de Manejo de Cuenca nada más que un proyecto de desarrollo más; e incompleto, a quienes, como la CEPAL, consideran que a más de estos elementos deben integrarse a los Planes de Manejo de Cuenca componentes como:

- Conformación de entidades de cuenca.
- Agua para consumo humano.
- Redes y sistemas de medición climatológica e hidrológica.
- Control de la contaminación del agua.
- Salud.

Sin duda estos componentes son importantes y se orientan a dar sostenibilidad a los Planes de Manejo de Cuenca. Sin embargo, pensamos que la estructura mencionada es bastante apropiada si consideramos que la planificación a nivel de cuenca y microcuenca es joven y tiene mucho camino por recorrer en nuestro país y por lo tanto, para perfeccionarse en base a la experiencia.

Vamos a detenernos ligeramente en la manera en que los Planes de Manejo de Cuenca tratan estos componentes: en primer lugar, un Plan de Manejo de Cuenca incorpora una alta rigurosidad en el diagnóstico técnico del estado de los recursos naturales, deteniéndose ampliamente en cada uno de ellos, realizando un diagnóstico sumamente especializado de agua, suelos y vegetación; algunos estudios más profundos se adentran incluso en temas como la geomorfología y la biodiversidad. Es muy importante, desde los estudios de diagnóstico, que en ellos se involucre activamente la población, siguiendo técnicas participativas de diagnóstico de la situación de los recursos naturales en la cuenca. Existen varias metodologías para ello, cuyo análisis requiere un tratamiento aparte, por lo cual más adelante añadimos bibliografía al respecto.

El Instituto Forestal de Sao Paulo (Op. Cit., 1999) recomienda, previo a la elaboración de Planes de Manejo, se realicen diversos análisis de la situación de los recursos naturales en la cuenca, entre ellos:

- Datos generales:

Se detalla la información sobre localización geográfica de la cuenca en coordenadas, formaciones geológicas y división político - administrativa del país. Se verifican las clasificaciones generales para el área en cuanto a clima, precipitación, suelo y vegetación.

- Vegetación:

*Composición florística:* su resultado es la lista de especies y verificación de la diferencia funcional de cada una al interior del ecosistema ( dominante, subordinada dependiente y subordinada tolerante).

*Fisonomía:* arroja las formas de vida existentes en la vegetación de la cuenca y su estructura y adaptación al medio. Se sugiere la aplicación de la clasificación de Raunkiaer de las formas de vida, la cual se basa en la posición de las yemas de las plantas con respecto al suelo.

*Estructura de la comunidad vegetal:* aporta con la estratificación, la distribución espacial y la abundancia específica de las especies. Esta información se expresa en los parámetros fitosociológicos básicos, los cuales comportan una amplia serie de indicadores.

*Zonificación de la vegetación:* da cuenta de la distribución natural que ha tomado la vegetación en una cuenca, determinado por el clima, el suelo, el relieve, los animales y el hombre. Se expresa en mapas de vegetación que revelan relaciones entre los medios biótico y abiótico.

- Suelos:

*Clasificación de suelos:* permite establecer las características de los suelos que se hallan en la cuenca y, de acuerdo a ello, establecer su uso más apropiado. Se establecen patrones de drenaje de los sistemas hidrográficos y con ello se establecen parámetros cuantitativos y cualitativos del suelo, con sus respectivos indicadores.

*Perfil de suelos:* reseña cual es el proceso que dio origen a la formación de los diferentes tipos de suelos existentes en la cuenca. En base a esta información se determina dónde se deben tomar muestras para la realización de los estudios edafológicos respectivos. *Morfología de suelos:* da cuenta de las propiedades físicas, químicas mineralógicas, biológicas y morfológicas de los diferentes tipos de suelos muestreados. Las características más útiles a nuestros fines son el color, la textura, porosidad, cerosidad, consistencia, endurecimientos y estructura del suelo.

*Clases de texturas:* se clasifican los tipos de suelos existentes utilizando una de las clasificaciones de suelos existentes. Con esta información se clasifican a los suelos de la cuencas según su orden, sub-orden, grupo, familia y serie.

*Clasificación en unidades de zonificación:* se trata de la clasificación geográfica de suelos según las características analizadas, en el terreno de la cuenca. En este proceso se toman en cuenta las características pedológicas del suelo y también las del medio ambiente en que se encuentran, lo cual permite interpretar el potencial agrícola o no de un área determinada de una cuenca.

*Análisis de laboratorio:* en estos se calcula la densidad aparente, la porosidad, la conductividad eléctrica, su mineralogía, pH, la presencia de aluminio, sodio, fósforo, carbono orgánico, nitrógeno, entre otros.

- Geomorfología:

Es útil principalmente en grandes cuencas hidrográficas, usualmente no es trascendente a nivel de microcuenca. Contempla los siguientes estudios:

*Amplitud altimétrica:* es la clasificación del territorio de la cuenca según rangos de altitud, la cual se expresa en porcentajes sobre el total del área de la cuenca. Además, se puntualizan las principales elevaciones, así como el origen geológico de cada uno de los pisos altitudinales, su origen y evolución.

*Balance morfogenético:* analiza las acciones de las fuerzas pedogenética y morfogenéticas en el estado de las vertientes.

Identificación de áreas críticas: se trata de una clasificación de las áreas que conforman la cuenca, según su declive, grado de erosión, deforestación, manejo productivo, entre los principales.

*Carta geomorfológica:* aporta con un nivel general de información sobre clasificación topográfica y de las formas de relieve de la cuenca; a un segundo nivel se obtienen datos sobre la estructura superficial y paisajística; y, en un tercer nivel, se aporta con una fisiología del paisaje determinado por los procesos morfoclimáticos y la acción antrópica. Finalmente, esta información se cruza con los objetivos del Plan de Manejo de Cuenca, para la interpretación conjunta de los datos.

- Hidrología:

*Relación precipitación – escorrentía total:* se establecen las diferencias entre la precipitación en el área de la cuenca y la escorrentía final que se evacua de la misma.

*Escorrentía superficial:* en parcelas experimentales se analiza la escorrentía superficial existente en diferentes tipos de suelos de la cuenca.

*Test de laboratorio:* en laboratorio se analiza la turbidez, conductividad eléctrica, el pH, y el oxígeno disuelto en el agua.

*Balance hídrico:* se completa la información anterior con datos sobre evapotranspiración, infiltración y evaporación del suelo, y se calcula el balance hidrológico de la cuenca.

*Calidad del agua:* se establecen las concentraciones de potasio, calcio, cloruros, carbonatos, boro, magnesio, sodio y nitrógeno. Esos resultados determinan la calidad del agua y el tratamiento que debe recibir, tanto si es para riego, como para consumo humano.

*Caudales:* se aforan caudales en diferentes puntos de las vertientes o ríos, y se establecen los factores de , y se cuantifica el efecto de las diferentes causas para la reducción del mismo.

*Información adicional:* se realiza un análisis detallado de la evapotranspiración en la cuenca y los factores que inciden en ella; también, se estudia al detalle la infiltración, el comportamiento de los caudales, el impacto de las prácticas forestales y agrícolas en la calidad del agua, la dinámica del agua en los suelos; y, la relación entre el manejo forestal y la producción de agua en la cuenca.

Los Planes de Manejo de Cuenca en el Ecuador acceden excepcionalmente a este nivel de estudio y precisión. Sin embargo, muchos de los componentes técnicos citados son indispensables al diseñar un Plan de Manejo de Cuenca, y sí son incorporados como parte de los estudios básicos que justifican el proyecto de manejo de cuenca.

A estos estudios técnicos, se agregan los estudios sociales del área de cobertura de la cuenca hidrográfica. En ellos se incorpora la información tradicional para la elaboración de un Proyecto, como es: población, centros poblacionales, organizaciones, educación, salud, cultura, pertenencia étnica, instituciones públicas y privadas en el área, dotación de servicios básicos, infraestructura comunitaria, nivel socioeconómico, estructura de tenencia de la tierra, mercados, vías de comunicación, transporte, etc.

Estos estudios específicos, tanto de los recursos naturales como de la población, se complementan con al análisis de la relación tradicional que tienen el hombre y la mujer con cada uno de los recursos naturales. En la zona andina tiene alta importancia el análisis de cómo los pobladores se relacionan con el páramo, dada su importancia en el ciclo hidrológico. Se establecen los contextos jurídicos y políticos que rodean el uso y el derecho de los recursos naturales, el impacto positivo y negativo que ciertos animales traen al ecosistema de la cuenca, las formas de explotación de los recursos naturales y sus impactos, etc.

## ELABORACIÓN DEL PAC (PLANIFICACION ANDINA COMUNITARIA) CON ENFOQUE DE MICROCUENCA

Guillermo Agualsaca

Ramiro Armas

La Asociación de Trabajadores Agrícolas de Pasguazo inicia la relación con el proyecto DFC, realizando su autodiagnóstico y el plan forestal comunal, en el cual se definen los compromisos tanto de la comunidad como el acompañamiento del proyecto. Este tipo de planificación a nivel comunal de pronto tuvo un giro: era necesario contar con una planificación que permita que todas las actividades tengan un enfoque de microcuenca, en la cual están involucradas a más de la Asociación, otras comunidades.

Previo a cualquier actividad se mantuvieron reuniones para motivar y dar a conocer lo importante de manejar los recursos con orientación de microcuenca, además que era necesario hacer un diagnóstico y planificar adecuadamente conjugando las necesidades de cada uno de los propietarios y el propósito siempre de conservar los recursos disponibles (agua, suelo, vegetación).

Para motivarlos se realizaron: intercambios de experiencias por medio de giras a otras experiencias similares y además el hecho de haber ejecutado prácticas de conservación de suelos y plantaciones agroforestales anteriormente pero con orientación comunal y no con esta nueva visión de microcuencas.

Se realizaron mapas del proceso, es decir como era antes, hoy y en el futuro de la microcuenca, trabajados por grupos mixtos. También se logró obtener dibujos de parcelas individuales de los campesinos incluyendo los cambios que ellos quieren tener en su chacra (parte alta, media y baja).

De este proceso se concluye que la comunidad sí está consciente del daño de sus recursos pero no sabe como evitar esto técnicamente. Es allí donde esta el rol del extensionista. La concepción natural de la gente, los cuales han desarrollado habilidades y destrezas, para tratar de iniciar cambios de su entorno. Con una metodología de diagnóstico y planificación sencilla los socios llegaron a profundizar la reflexión sobre su situación actual en cuanto a los recursos naturales y que esperan lograr a futuro.

(CAMAREN, *Compendio de Fichas de Capitalización I*, 1998)

A continuación reseñamos alguna bibliografía que contiene información detallada de las técnicas y metodologías para la realización de estudios técnicos y sociales, muy útiles para la ejecución de estudios básicos y diseño de Planes de Manejo de Cuenca, a saber:

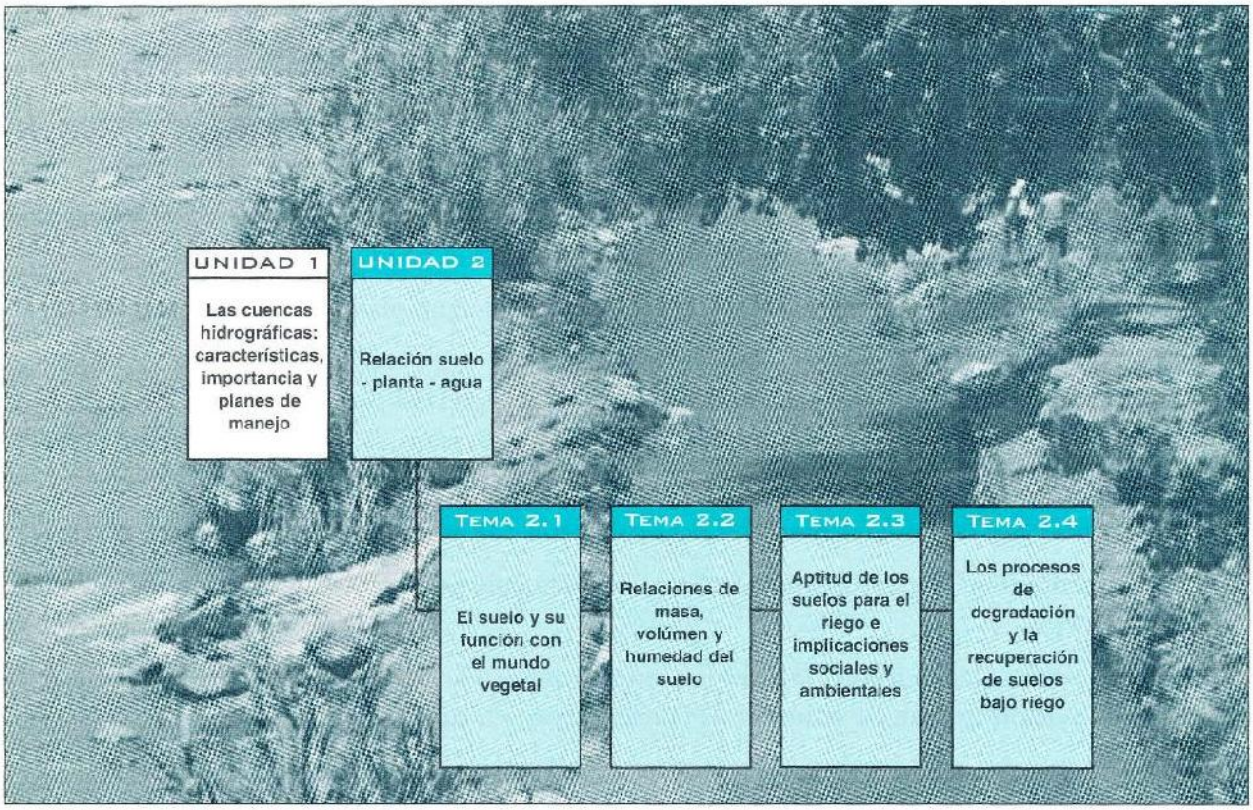

- Encalada. Oswaldo y Martínez Pablo, *Principios Básicos del Manejo Integral de las Microcuencas Hidrográficas,* CAMAREN, 1998.
- IEDECA, *Plan de Manejo para los Páramos de El Hato, 1995.*
- INEFAN, *Talleres de Identificación de Amenazas al Páramo – Documento Borrador* -, 1997
- Instituto Forestal de Sao Paulo, *Cuarto Curso Internacional Sobre Manejo de Cuencas Hidrográficas,* Secretaría de Estado de Medio Ambiente e Instituto Forestal de Sao Paulo, 1999.
- PRICA, *El Agua: de la cuenca a la Parcela,* CAMAREN, 1999.
- Proaño. Mauricio y otros, *Manejo Colaborativo y Uso Apropiado de Recursos Naturales en la Ecorregión de la Cuenca del Río El Angel,* Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- Ramón. Galo, *Manual de Planeamiento Comunitario. El PAC en la Región Andina,* COMUNIDEC, 1995.
- Ríos. Rusvel, *Proyecto Manejo del Uso Sostenible de Tierras Andinas – PROMUSTA*; Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- Valencia. Fabián, *Metodología Utilizada para el Manejo de la Cuenca Alta del Río Pastaza,* Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- Varea. Anamaría, *Manejo de Conflictos Socioambientales,* UPSQ – PRODEPINE – DINEIB, 1998.
- Zury. Willam, *Sistematización del Proyecto Desarrollo Forestal Campesino en los Andes del Ecuador – DFC,* Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.

## CONCLUSIONES DE LA UNIDAD:

- El ciclo del agua y el balance hidrológico se pueden ver afectados seriamente por la intervención inadecuada del ser humano en el ecosistema.
- La planificación del desarrollo, considerando a la cuenca hidrográfica como una unidad territorial, es una propuesta ideal que posibilita un manejo integral y efectivo que combina el manejo racional de los recursos naturales con el desarrollo social.
- La sostenibilidad de las entidades que tienen la responsabilidad de la ejecución de los Planes de Manejo de Cuenca está atravesada fundamentalmente por la asunción de los roles y responsabilidades que le competen tanto al Estado como a los usuarios.
- La ejecución de Planes de Manejo de Cuenca requiere de altos niveles de coordinación interinstitucional, y la conjugación de intereses muy diversos de los actores presentes.
- El diseño de Planes de Manejo de Cuenca exige un elevado nivel de tecnicismo y conocimiento de técnicas participativas de intervención.
- La planificación a nivel de cuencas es complicada, y no tiene recetas para su aplicación.

# RELACIÓN SUELO - PLANTA - AGUA

UNIDAD 2




## RESUMEN

La presente unidad se ha estructurado en cuatro temáticas:

En la primera se aborda la caracterización elemental del suelo como medio para el crecimiento de las plantas, y por ende para la producción de alimentos, fibras, y madera.

La segunda temática corresponde al estudio de la relación suelo-agua-planta.

La tercera temática comprende el estudio de la aptitud de los suelos para el riego y las implicaciones sociales y ambientales.

En la cuarta temática se estudian los procesos de degradación y recuperación de suelos bajo riego.

## OBJETIVO DE APRENDIZAJE

La presente unidad pretende que el o la participante esté en capacidad de:

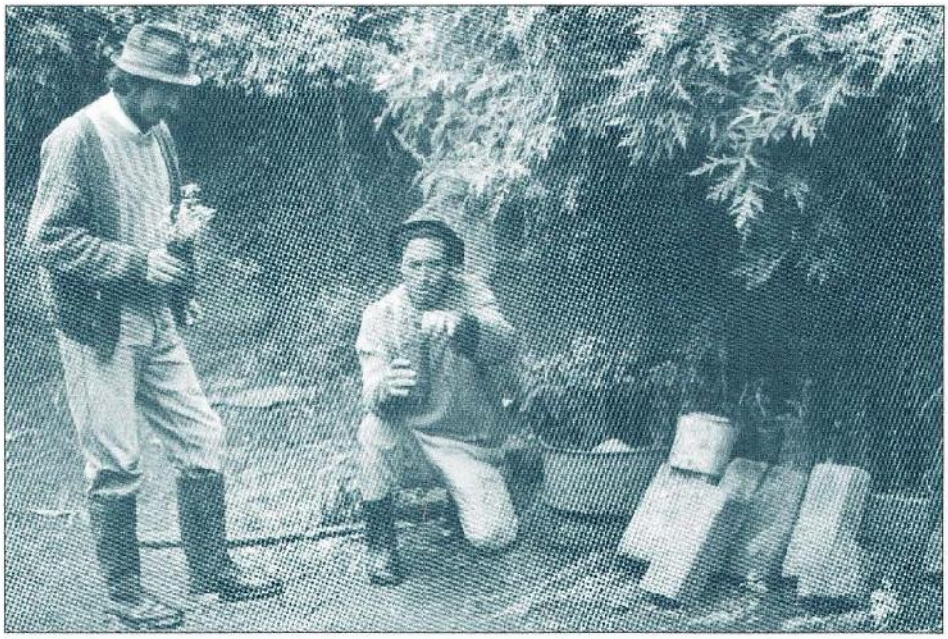
- Apreciar el suelo como uno de los recursos naturales más importantes para la sobrevivencia del hombre y por ende para el éxito del riego en la sierra andina.
- Relacionar las características físico-químicas de los suelos con los requerimientos del crecimiento de las plantas.
- Lograr dominio en la caracterización de la textura del suelo al tacto y relacionar la misma con otras propiedades del suelo de importancia para el riego.
- Aplicar las bases elementales de la relación suelo-agua-planta, en la gestión del riego andino.
- Lograr destreza en la estimación del contenido del agua del suelo por medio del tacto y de la apreciación visual, y relacionar la misma con la decisión de cuándo regar y con el grado de uniformidad del riego en el interior del suelo.
- Contar con las bases elementales para caracterizar la aptitud de los suelos para el riego.
- Contribuir en la identificación de áreas con presencia de carbonatos y yeso en los proyectos de riego.
- Apoyar en la identificación de procesos erosivos en las áreas de riego y dinamizar la promoción del uso de prácticas de conservación y recuperación de suelos.

# TEMA 2.1 EL SUELO Y SU FUNCIÓN CON EL MUNDO VEGETAL

El suelo es un cuerpo natural tridimensional (ancho, largo y profundo) de la superficie terrestre, cuyas propiedades resultan del efecto integrado de la acción del clima y los seres vivos (plantas y animales), que actúan sobre el material parental de acuerdo a las condiciones de relieve en un cierto período de tiempo.

La meteorización o alteración de las rocas produce residuos no consolidados que sirven como el material parental para la evolución del perfil del suelo, el cual refleja el efecto integrado del clima, los seres vivos, el relieve y el tiempo.

En la mayoría de los casos, el suelo se forma a un ritmo de sólo 1 cm cada 100-400 años, y se requieren de 3.000 a 12.000 años para que el suelo sea suficiente para constituir tierras productivas.



El suelo es el medio para el crecimiento de las plantas continentales, dotando a las raíces de anclaje, agua, aire, nutrientes y de un ambiente favorable para su funcionamiento.

### 2.1.1 Soporte

Una de las funciones más evidentes del suelo es la de proveer soporte mecánico para las plantas. El suelo debe ser suelto, suave y friable para permitir la germinación y el desarrollo de la raíz sin obstrucción mecánica. El volumen de suelo que pueden explorar las raíces en busca de agua y nutrientes y a la vez anclar la planta, está en función de la *profundidad efectiva*, la misma que puede estar limitada por la presencia de una tabla de agua cercana a la superficie, horizontes compactados e impermeables, capas de grava, roca, etc.

### 2.1.2 Nutrientes esenciales

Se considera que dieciséis elementos son esenciales para el crecimiento de las plantas. El carbón (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H), que se combinan en las reacciones fotosintéticas para formar primeramente carbohidratos, se obtienen del aire y del agua y constituyen más del 90 % de la materia seca. Los 13 nutrientes restantes las plantas los obtienen del suelo. El nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), son requeridos por las plantas en cantidades relativamente grandes y por consiguiente se los llama *"macroelementos" o "elementos mayores"*. Los elementos: manganeso (Mn), hierro (Fe), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y cloro (Cl), las plantas los requieren en cantidades considerablemente pequeñas y son llamados *"micronutrientes" o "elementos traza"*.

Es muy raro encontrar un suelo que sea capaz de suplir, durante un largo período de tiempo, todos los elementos esenciales para las plantas en las cantidades necesarias para obtener altos rendimientos de los cultivos.

### 2.1.3 Agua

Se requiere alrededor de 500 litros de agua para producir un kilogramo de materia seca, cerca de 1 % de esta cantidad de agua forma parte integral de la planta; la cantidad restante se pierde a través de las hojas durante el proceso de *evapotranspiración* (ver unidad 3 del módulo 5).

La capacidad del suelo para almacenar y proveer agua aprovechable es de importancia decisiva para el éxito en la producción agrícola.

## 2.1.4 Oxígeno

Las raíces tienen aberturas llamadas lenticelas, a través de las cuales se realiza el intercambio gaseoso del proceso de respiración. El oxígeno se difunde hacia el interior de las células de las raíces, mientras que el dióxido de carbono ($CO_2$) se expulsa de las raíces hacia la atmósfera.

La mayoría de las plantas cultivadas (excepto el arroz) requieren la provisión de oxígeno por parte del suelo para la respiración de las raíces, de lo contrario mueren.

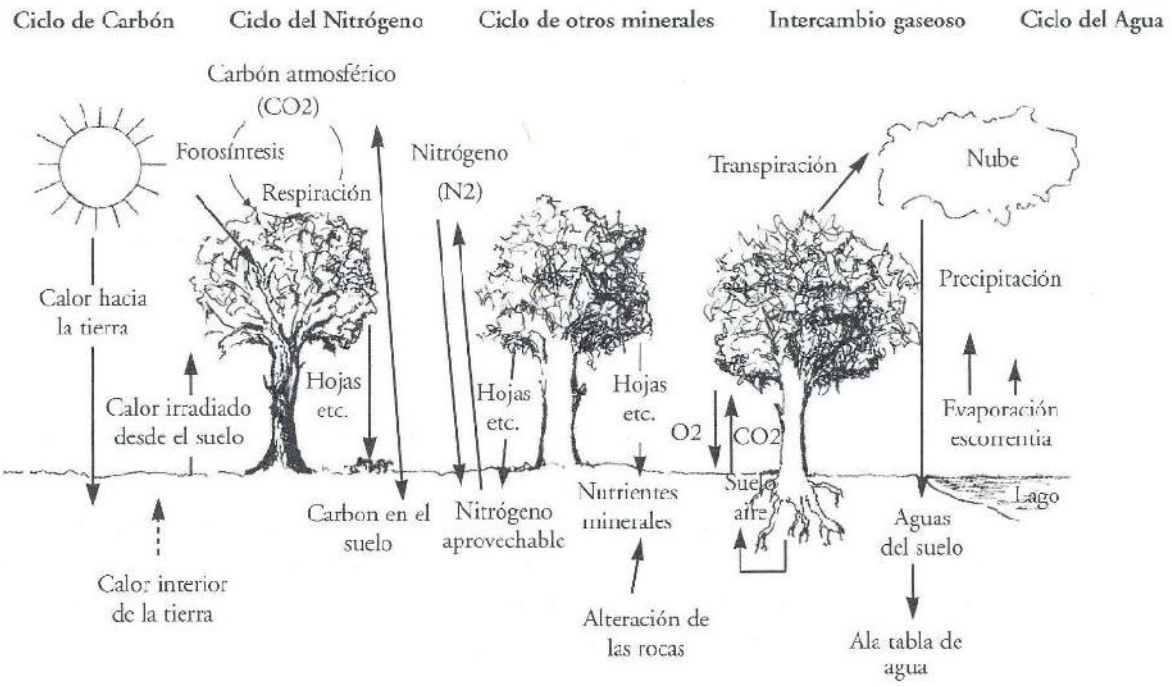
## 2.1.5 Medio ambiente favorable

Para constituir un ambiente adecuado para el crecimiento de las plantas, el suelo debe estar libre de factores tales como acidez o alcalinidad extremas, substancias tóxicas, y exceso de sales y sodio. Para evitar la acumulación de sales y sodio en las áreas bajo riego, o para eliminar estas sustancias de las áreas ya afectadas, es indispensable disponer de un adecuado sistema de drenaje.

Entre las sustancias tóxicas se debe tener cuidado del boro, especialmente en las zonas con volcanes y en el agua de riego por cuanto, a pesar de ser un elemento esencial para las plantas, en concentraciones altas es tóxico. El rango entre la deficiencia y la toxicidad de este elemento es muy estrecho.

En la figura 1 se representan los ciclos del agua, del intercambio de $O_2$ y $CO_2$, del C, N, y otros nutrientes en la biosfera.

**FIG. 1. Las interacciones del suelo en la biosfera**



## 2.1.6 TEXTURA

La textura del suelo hace referencia a la distribución del tamaño de partículas.

La textura es la característica más permanente del suelo e influye decisivamente sobre otras propiedades, tales como estructura, consistencia, retención de humedad, permeabilidad, infiltración, escurrimiento superficial, erodabilidad, trabajabilidad, penetración de raíces, y fertilidad.

Las clases texturales están definidas por la proporción relativa de los tres grupos mayores de tamaños de las partículas: *arena (0,05 - 2,0 mm), limo (0,002 - 0,05 mm) y arcilla (<0,002 mm),* presentes en la *tierra fina* que se obtiene al pasar el suelo a través de un tamiz de 2 mm.

En la figura dos se presenta el triángulo de las clases texturales, agrupadas en livianos, medios y pesados.

**FIG. 2. Triángulo de las clases texturales**

Los suelos de textura gruesa contienen muchas partículas de arena, son generalmente fáciles de arar y cultivar y no forman terrones cuando se secan.

Los suelos de textura media contienen partículas gruesas, medias y finas en cantidades casi iguales. Estos suelos forman terrones cuando se secan, que sin embargo pueden romperse fácilmente con un azadón, pala, disco, o cualquier otro equipo de preparación de tierras.

Los suelos de textura fina, contienen importantes cantidades de partículas de arcilla, son difíciles de arar y cuando están secos forman terrones muy duros y la superficie del suelo se agrieta a medida que ésta se seca.

Una prueba manual simple para la textura que se usa en el campo se muestra en la figura 3.

## EXPLICACIÓN

- Una bolita de aproximadamente 5 cm de diámetro se forma a partir de aproximadamente una cucharada de tierra fina.
- Se agrega lentamente agua hasta alcanzar el punto de adherencia, o sea el punto al cual el suelo comienza a adherirse a la mano.
- El grado en el que el suelo húmedo puede ser moldeado por la mano es indicativo de su textura, así:

**Arenoso.** El suelo permanece suelto y en granos simples y solamente puede ser amontonado formando una pirámide.

**Arenoso franco.** El suelo contiene suficiente limo y arcilla para hacerse algo cohesivo y puede ser moldeado en una bola que fácilmente se desmorona.

**Franco limoso.** Al igual que el suelo franco arenoso pero el material al enrollarlo puede ser moldeado en cilindros cortos o gruesos.

**Franco.** Debido a su contenido aproximadamente igual de arena, limo y arcilla, el suelo puede enrollarse en un cilindro de 15 cm de longitud que se agrieta cuando se encorva. No forma cinta al frotar la muestra entre el pulgar y los demás dedos.

**Franco-arcilloso.** Como los francos aunque el cilindro del suelo pueda encorvarse formando una U, pero no más sin ser agrietado. Forma cinta pero se rompe fácilmente.

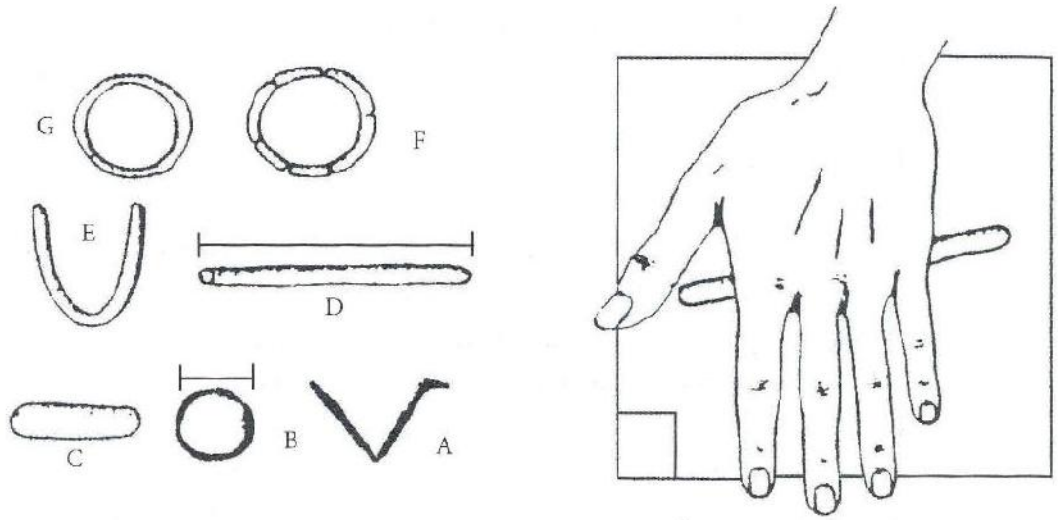
**Arcilloso ligero.** El cilindro del suelo puede ser encorvado hasta formar un círculo que muestra grietas. Forma cinta.

**Arcilloso pesado.** El cilindro del suelo puede ser encorvado hasta formar un círculo sin mostrar grietas. Forma cinta y se mantiene sin dificultad.

Además se puede notar que cuando está seco, el suelo franco o limoso desprende un fino polvo al ser raspado superficialmente y soplado, lo que no sucede en un suelo arcilloso. El suelo limoso es extremadamente polvoriento (harinoso) cuando está seco y apenas plástico cuando húmedo, debido a su bajo contenido de arcilla.

Un suelo franco, cuando húmedo tiene aspecto jabonoso y más o menos plástico; si se frota entre los dedos hasta que se seca, deja polvo sobre la piel. El suelo arcilloso no produce estas señales. Cuando se barrena un suelo arcilloso en condiciones de baja humedad presenta caras brillantes, no sucede así con un suelo franco.

FIG. 3. Prueba manual para estimar la clase textural




## 2.1.7 Estructura

La estructura del suelo se refiere a la agregación natural de las partículas primarias en componentes más o menos porosos o *agregados*. De este arreglo espacial de las partículas resulta la porosidad.

La estructura del suelo ejerce una influencia dominante: en la aereación y régimen hídrico, en la permeabilidad, y consecuentemente, en el crecimiento de las raíces y la actividad microbiológica.

## 2.1.8 Color

Los cambios de color a través de los horizontes del perfil del suelo son el reflejo de otras características importantes, dando una amplia información acerca del suelo.

Las propiedades del suelo relacionadas con el color son: el contenido de materia orgánica, las condiciones de drenaje y aereación, y el tipo de material.

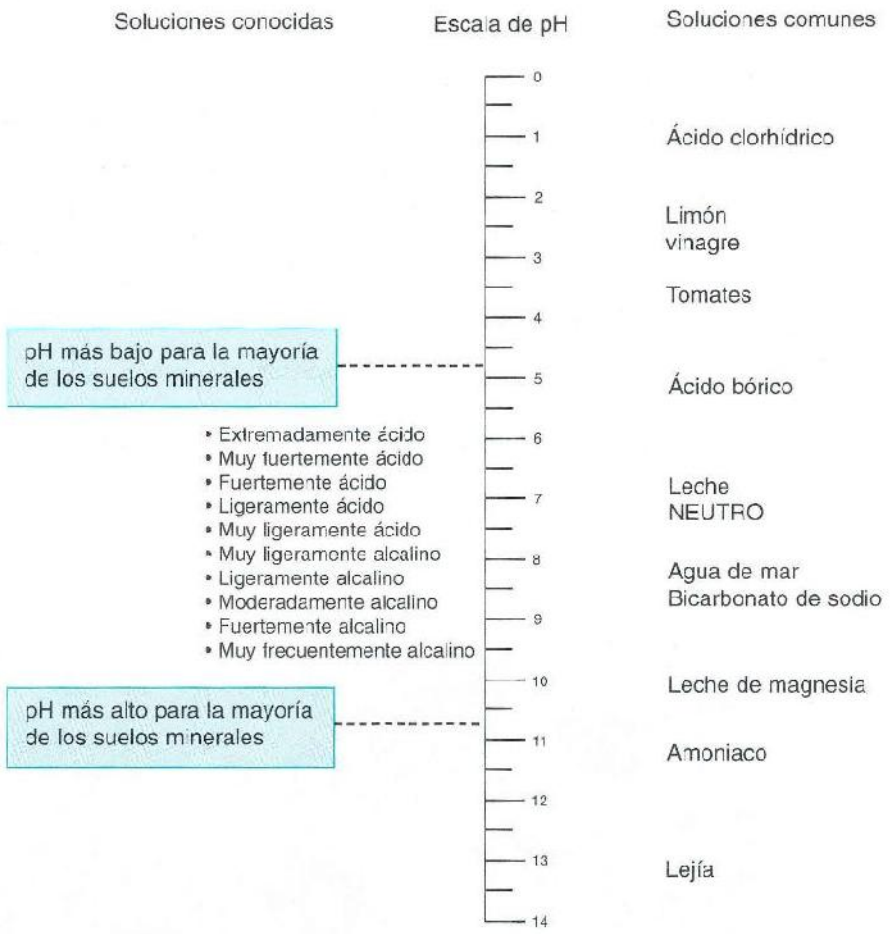
Los colores obscuros (gris, gris obscuro, pardo obscuro) están relacionados con elevados contenidos de materia orgánica transformada *(humus)*. Por esta razón, en general el horizonte superficial presenta los colores más obscuros.

Los suelos pobremente drenados acumulan importantes cantidades de materia orgánica en el horizonte superficial, los horizontes inferiores presentan color gris claro. Los suelos estacionalmente mal drenados presentan los horizontes inferiores de color gris con manchas amarillas herrumbrosas en la zona de fluctuación estacional. Los suelos bien drenados fluctúan de color amarillo a rojizo.

## 2.1.9 Reacción

El término reacción del suelo se usa para denotar el grado de "acidez" o "alcalinidad" de un suelo húmedo; lo que se expresa por el pH.

**FIG. 4. Rangos de pH del suelo y de algunas sustancias comunes**




La reacción del suelo afecta la aprovechabilidad de varios elementos nutritivos para las plantas. Valores extremos de pH pueden ocasionar concentraciones tóxicas de ciertos componentes químicos.

## 2.1.10 Fertilidad del suelo

La fertilidad se define como la cualidad que le permite al suelo proveer de los nutrientes apropiados, en las cantidades adecuadas y bajo un correcto balance, para

el crecimiento de un cultivo específico cuando los demás factores son favorables. Se distinguen dos tipos: fertilidad potencial y fertilidad actual.

La **fertilidad potencial** se refiere a la capacidad del suelo para suplir elementos nutritivos desde sus reservas inorgánicas y orgánicas a través de los procesos de **meteorización** y **mineralización** microbiana, respectivamente. La fertilidad potencial depende en gran medida del tipo de material parental del suelo. Así, en el sistema de riego Tablón de Oña, los suelos que se han desarrollado a partir de Riolita son de muy baja fertilidad, en comparación con aquellos que se provienen de Andesita.

La *fertilidad actual* hace referencia a la tasa a la cual los elementos nutritivos se convierten en aprovechables para los cultivos.

La fertilidad actual y potencial se determinan o calculan por métodos arbitrarios, por ejemplo con la ayuda de varios tipos de soluciones extractoras en el laboratorio.

Debe enfatizarse que las técnicas de extracción dan solamente una indicación muy grosera. No hay una técnica de extracción universalmente válida y apta para todos los tipos de suelo. Todo laboratorio que reporta resultados de análisis de fertilidad del suelo debe precisar el método de determinación usado y la escala de evaluación respectiva, basada en la respuesta de los cultivos.

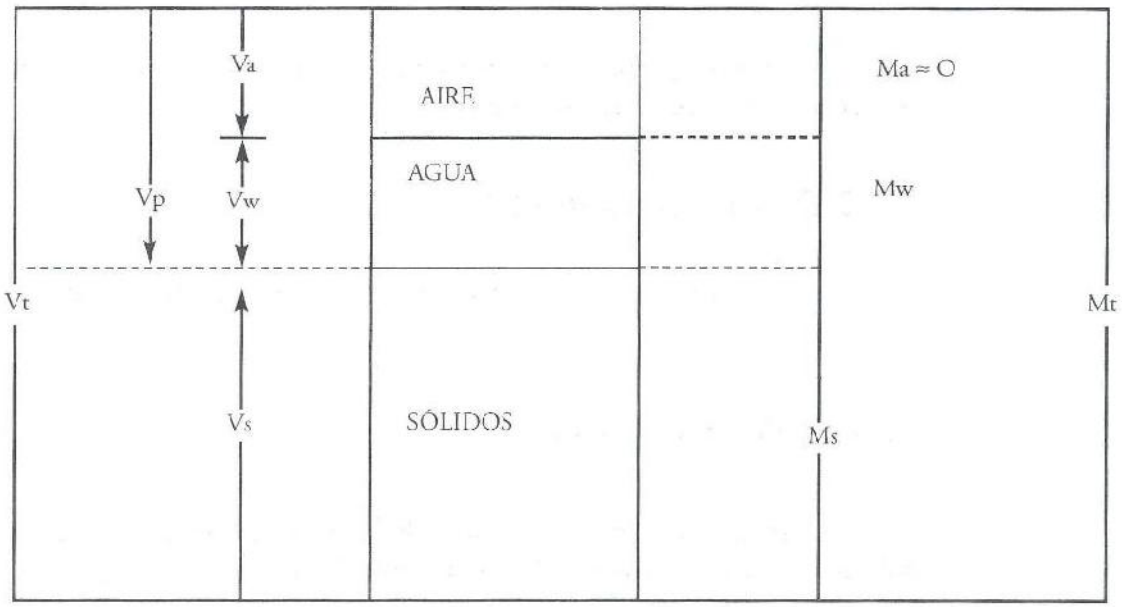
Para el análisis de fertilidad, las muestras de suelo deben ser tomadas a una profundidad determinada de acuerdo al cultivo por implantar. Convencionalmente, una profundidad de 25 cm se considera como capa arable.

# TEMA 2.2 RELACIONES DE MASA, VOLUMEN Y HUMEDAD DEL SUELO

Para caracterizar las condiciones físicas del suelo es útil considerar las relaciones de masa y volumen entre las tres fases: sólida, líquida y gaseosa (aire del suelo).

La figura 5 contiene una representación esquemática de un suelo hipotético y muestra los volúmenes y masas de las tres fases en una muestra representativa. Las masas de las fases se indican en el lado derecho: la masa de aire **Ma** la cual es negligible . 0, en comparación con las masas de los sólidos y el agua, la masa de agua **Mw**, la masa de sólidos **Ms** y la Masa total **Mt.**

**FIG. 5. Diagrama esquemático del suelo como un sistema en tres fases**




Estas masas también se pueden representar en términos de peso (el producto de la masa por la aceleración de la gravedad).

Los volúmenes de los mismos componentes se indican en el lado izquierdo del diagrama:

volumen de aire, **Va**,

volumen de agua **Vw**,

volumen de poros **Vp=Va+Vw**,

volumen de sólidos **Vs**, y

el volumen total del suelo **Vt**.

A base del diagrama se pueden definir los términos que se usan generalmente para expresar las relaciones cuantitativas de los tres constituyentes primarios del suelo.

### 2.2.1 Densidad real

Se expresa por el cociente resultante de dividir la masa de sólidos (Ms) para el volumen de sólidos (Vs).

$Dr = Ms/Vs$

En la mayoría de los suelos minerales, la densidad media de las partículas está entre

2,6 y 2,7 g/cm

La densidad de las partículas de cualquier suelo es una constante, puesto que no varía con el volumen entre las partículas.

### 2.2.2 Densidad Aparente

Es la relación entre la masa del suelo seco y su volumen total (conjuntamente sólidos y poros).

$Da = Ms/Vt = Ms/(Vs + Va + Vw)$

Obviamente la Da es menor a la densidad real. Si los poros constituyen la mitad del volumen total del suelo, el valor de Da estará entre 1,3 y 1,35 g/cm

En los suelos arenosos la Da puede llegar a 1,6 g/cm_, mientras que en suelos francos y arcillosos puede ser de 1,1 g/cm

La densidad aparente es afectada por la estructura, así como por los fenómenos de expansión y contracción del suelo. Los valores decrecen al incrementarse el espacio poroso y se incrementan para altos contenidos de grava.

Las densidades mayores a 1,75 g/cm causan problemas en la penetración de raíces y también dan lugar a una muy baja permeabilidad.

Para la determinación de la densidad aparente se deben tomar muestras inalteradas del suelo, con cilindros de acero de volumen conocido.

## 2.2.3. POROSIDAD

La porosidad es un índice del volumen relativo de poros, corresponde a la relación entre el espacio poroso y el volumen total de una muestra no disturbada, su valor generalmente fluctúa entre 30 y 60 %.

$$n = Vp/Vt = (Va + Vw)/(Vs + Va + Vw)$$

Los suelos de textura gruesa tienden en general a ser menos porosos que los suelos de textura fina. Aunque el tamaño medio de los poros es mayor en los primeros que en los segundos. En los suelos arcillosos la porosidad es altamente variable debido a que estos alternativamente se expanden y contraen, se agregan y dispersan.

Los poros deben ser de tal volumen y distribución de tamaños, para permitir el ingreso del agua de lluvia o de riego, almacenar una cantidad suficiente de agua aprovechable para el cultivo y permitir el libre drenaje del exceso de agua; simultáneamente, debe permitir el continuo intercambio de oxígeno y anhídrido carbónico entre la atmósfera y las raíces.

El máximo contenido de agua del suelo corresponde a la saturación, que es aquella condición en la cual todos los poros están llenos de agua. El mínimo contenido de agua (humedad), corresponde a la condición variable de "seco al aire", habiéndose introducido, por consiguiente, el término de "suelo seco a la estufa" (105°C por 24 horas).

El crecimiento de las plantas es dependiente del contenido de agua del suelo; de igual forma, varias propiedades del suelo están directamente relacionadas al contenido de agua: consistencia, plasticidad, expansión, contracción, compactabilidad, adherencia, y trabajabilidad.

El contenido de agua también es determinante para el contenido de aire y para el intercambio gaseoso en el suelo, lo cual tiene directa relación con la respiración de las raíces y la actividad de los microorganismos.

## 2.2.4 FORMAS DE EXPRESAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad del suelo se puede expresar en tres formas: por unidad de peso, por unidad de volumen y en unidades lineales o de lámina.

## CONTENIDO DE HUMEDAD EN UNIDADES DE PESO -(QP)

Corresponde a la relación entre el peso del agua (Pa) y el peso de sólidos (Ps).

$\theta p = Pa/Ps$

De acuerdo a esta fórmula, los valores resultan en fracción de unidad. Para obtener el valor en términos porcentuales, es necesario multiplicar por 100:

$\%\theta p = (Pa/Ps)100$

El contenido de humedad en términos de peso puede ser mayor a 100 % en los casos de suelos altamente orgánicos que retienen importantes cantidades de agua.

## CONTENIDO DE HUMEDAD EN UNIDADES DE VOLUMEN (QV)

Corresponde a la relación entre el volumen de agua (Vw) y el volumen total (Vt).

$\theta v = Vw/Vt$

De igual forma, los valores resultan en fracción de unidad. Para obtener en términos porcentuales, es necesario multiplicar por 100:

$\%\theta v = (Vw/Vt)100$

Para transformar el contenido de humedad en términos de peso a términos de volumen, se requiere disponer del valor de la densidad aparente (Da).

$\theta v = \theta p.Da$

El contenido de humedad en términos de volumen jamás puede ser mayor a 100 %.

**Ejemplo:**

Si la densidad aparente del suelo del ejemplo anterior es de 1,2 g/cm el contenido de humedad en términos de volumen será:

**%θv = 25 x 1,2 = 30 %**

## Contenido de humedad en unidades lineales (La)

Para muchas aplicaciones de riego y drenaje, es conveniente expresar el contenido de humedad en términos de lámina, al igual que la precipitación y la evaporación.

La lámina es equivalente a la altura de la lámina de agua que se formaría, si se extraería toda el agua del suelo desde una profundidad especificada y se la estancaría sobre la superficie.

Para expresar el contenido de humedad como lámina se tiene las siguientes relaciones:

**Lamm = qv.d**

donde:

**d = profundidad en mm.**

también:

**%qv = Lamm/dm** (dm = decímetro)

**1 % de volumen de humedad = 1 mm en una capa de suelo de 10 cm de espesor.**

**Ejemplo:**

Si para el suelo del ejemplo anterior se considera una profundidad de 50 cm, el contenido de humedad expresado como lámina será:

Lamm = 0,3 x 500 mm = 150 mm = 1.500

m3/ha = 150 l/m_

finalmente:

**1 mm = 10 m3/ha = 1l/m_**

## 2.2.5 ALMACENAMIENTO Y DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO

El suelo es un lugar de almacenamiento de agua, la cual puede ser extraída por las plantas para su crecimiento. Es muy importante saber como funciona este reservorio.

Los espacios existentes entre las partículas adyacentes de suelo sirven de pasaje al agua que penetra en el suelo. Estos espacios porosos se encuentran interconectados y el tamaño de los mismos depende del tamaño de las partículas del suelo; así como también, de la proximidad entre las mismas.

Cuando el suelo se riega con grandes cantidades de agua, se llenan todos los espacios porosos y este alcanza su *saturación.* Sin embargo, parte de esta agua drena por debajo de la zona de las raíces a través de poros interconectados de mayor tamaño. Parte de esta agua está disponible para su uso por las plantas.

La cantidad de agua que el suelo retiene luego de que los espacios porosos han drenado, se denomina *capacidad de campo (CC).*

Los suelos arenosos pueden drenar desde saturación hasta capacidad de campo en un corto período de tiempo; algunas veces en un día o menos.

Los suelos arcillosos drenan muy lentamente, pudiendo tomar tres o hasta cuatro días, para que un suelo arcilloso drene hasta capacidad de campo.

Parte del agua que el suelo retiene a capacidad de campo está disponible para uso por las plantas; siempre y cuando, esté en la zona de las raíces y al alcance de éstas.

A medida que las plantas extraen agua del suelo, éste se va secando progresivamente y retiene el agua con mayor fuerza. Puesto que el agua es retenida con mayor fuerza, las plantas tienen que hacer un esfuerzo cada vez mayor para extraer el agua del perfil del suelo.

Si la cantidad del agua en el suelo decrece tanto que las plantas no pueden extraerla fácilmente, éstas se marchitan y cesa el crecimiento. Si la cantidad de agua almacenada en el suelo llega a un nivel tan bajo que las plantas se marchitan severamente y no pueden recuperarse, el suelo ha alcanzado el *punto de marchitez permanente (PMP).* Las plantas no podrán recuperarse aún si se les aplica riego.

La cantidad de agua que el suelo puede retener entre *capacidad de campo y punto de marchitez permanente, se conoce como la capacidad de retención de agua disponible del suelo o agua aprovechable (AA).*

La capacidad de retención de agua disponible depende de la textura del suelo, así:

Los suelos arenosos o de textura gruesa, tienen poros de tamaño grande que pueden drenar fácilmente. Las partículas de suelo en si mismas no retienen grandes

cantidades de agua, por lo que estos suelos tienen baja capacidad de retención de agua disponible.

Los suelos de textura media contienen partículas pequeñas, medianas y grandes. Estos suelos tienen muchos poros medianos y pequeños, los cuales pueden almacenar mayores cantidades de agua que los de textura arenosa. Las mismas partículas de suelo pueden también retener más agua sobre su superficie, que las partículas de suelo de textura gruesa. Estos suelos retienen cantidades de agua, entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente, significativamente mayores que las retenidas por los suelos arenosos.

Los suelos de textura fina o arcillosos, tienen muchas partículas de pequeño tamaño. Estos suelos tienen grandes cantidades de poros pequeños y retienen gran parte de su agua disponible alrededor de las partículas. La capacidad de retención de agua de estos suelos es elevada.

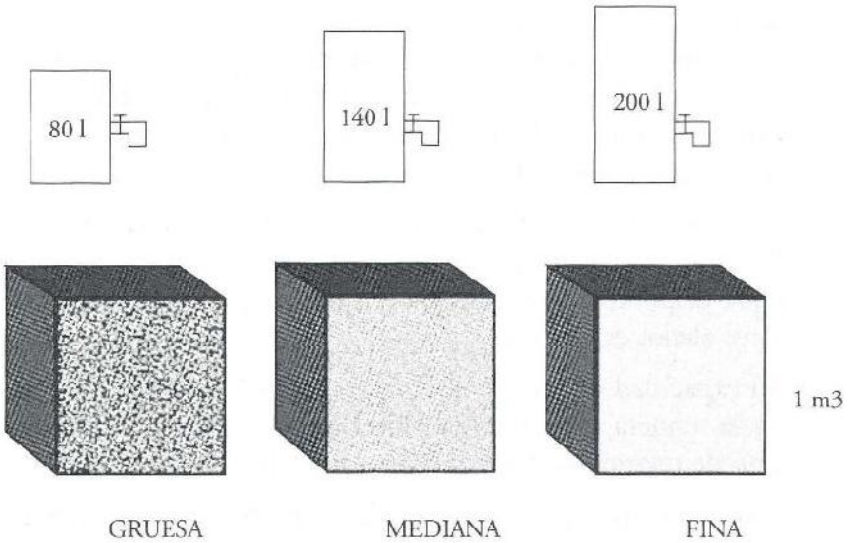
La capacidad de retención de agua en suelos de diferente textura puede compararse de la manera siguiente: consideremos tres suelos diferentes (uno de textura gruesa, uno de textura media y uno de textura fina).

Los suelos que se muestran en la figura 6, se encuentran en el punto de marchitez hasta la profundidad de 1 m. Si aplicamos una lámina de agua de 80 mm sobre la superficie del suelo de textura gruesa, lo cubrimos y lo dejamos así durante un día, el suelo llegará a la capacidad de campo hasta una profundidad cercana a 1 m. Una aplicación de 140 mm de agua sobre el suelo de textura media, proporcionará a éste un nivel de humedad próximo a la capacidad de campo.

Un suelo de textura fina requerirá una lámina de agua de cerca de 200 mm para alcanzar la capacidad de campo hasta 1 m de profundidad.

En otras palabras, 1 m_ de suelo arenoso necesitará 80 litros de agua para llegar a capacidad de campo. El mismo volumen de suelo de textura media alcanzará la capacidad de campo con 140 litros de agua; en tanto que, se requerirán 200 litros de agua para el caso del suelo arcilloso (figura 6).

**FIG. 6. Volumen de agua para llevar a capacidad de campo suelos de tres texturas**




Desde un punto de vista práctico, esto significa que si un cultivo de maíz, por ejemplo, se desarrolla en un suelo de textura gruesa, que no puede retener tanta cantidad de agua como un suelo de textura fina, deberá regarse con mucha mayor frecuencia. Por otra parte, una menor cantidad de agua se aplicará en cada riego, dada la baja capacidad de retención del suelo arenoso.

El estiércol animal, las raíces de las plantas y otras formas de materia orgánica descompuesta, al ser incorporadas al suelo ayudan a retener humedad. La materia orgánica mejora la estructura del suelo y es importante porque incrementa la capacidad de retención de humedad, especialmente en suelos de textura gruesa.

El volumen de poros que resulta de la diferencia entre el contenido de agua a saturación y contenido de agua a capacidad de campo, corresponde a la *capacidad de aereación* del suelo.

Debemos recordar también que la cantidad de agua disponible para la planta es aquella que se encuentra al alcance del sistema de raíces. En esta forma, si las raíces de un cultivo se extienden hasta 50 cm de profundidad, tendrán disponible la mitad del almacenamiento del agua que puede tener un cultivo cuyas raíces alcancen hasta 1 m de profundidad.

La cantidad de agua retenida en la zona de las raíces es uno de los factores que determina la frecuencia y la cantidad de agua a aplicarse en cada riego. El conocimiento de la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo y la profundidad a la que se extienden las raíces, le ayudará al agricultor a determinar la frecuencia y la cantidad de agua a aplicar; esto a su vez, colaborará a incrementar la calidad y el rendimiento del cultivo.

A cultivos cuyas raíces son de poca profundidad no se les debe permitir usar más que 1/3 del agua disponible en la zona de las raíces. A cultivos con raíces profundas se les puede permitir usar la mitad de la humedad disponible en la zona de las raíces, sin causar marchitez.

**Ejemplo:**

El contenido de humedad (volumen) de un suelo a capacidad de campo es de 30 %, y al punto de marchitez permanente 12 %. Encontrar el agua aprovechable, el agua rápidamente aprovechable, la lámina equivalente hasta una profundidad de 50 cm y el volumen que representa en m3/ha.

**AA = 30 - 12 = 18 %**

**Consumo permisible = 50 % de AA**

**ARA = 0,5 x AA = 0,5 x 18 = 9 %**

**Lamm = 500 mm x 0,09 = 45 mm = 450 m3/ha**

En general, para mantener la disponibilidad adecuada, no debe permitirse consumir más allá de 40 y 60 % del agua aprovechable en la zona radicular, valor que corresponde al **agua rápidamente aprovechable** (ARA).

En la tabla 1 se presentan los valores de algunas propiedades físicas para suelos de diferente textura, en cuanto a: la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, la densidad aparente y la velocidad de infiltración; esta última se tratará más adelante.

Tabla 1. Valores promedio de las propiedades físicas de los suelos, según la textura

| Textura | Capacidad de campo % | Marchitez permanente % | Agua aprovechable mm/dm cm/m | Capacidad de aireación % | Densidad aparente | Velocidad de infiltración básica cm/h |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Arenoso | 9 (6 - 12) | 4 (2 - 6) | 8 (6-10) | 23 | 1,65 (1,55-1,80) | 5,0 (2,5-25) |
| Franco arenoso | 14 (10 -18) | 6 (4 - 8)6 | 12 (9-15) | 22 | 1,50 (1,40-1,60) | 2,5 (1,3-7,6) |
| Franco | 22 (18 - 26 | 10 (8 - 12) | 17 (14-20) | 16 | 1,4 (1,35-1,50) | 1,3 (0,8-2,0) |
| Franco arcilloso | 27 (23 - 31) | 13 (11 - 15) | 19 (16-22) | 13 | 1,35 (1,30,1,40) | 0,8 (0,25-1,5) |
| Arcillo arenoso | 31 (27 - 35) | 15 (13 - 17) | 21 (18-23) | 11 | 1,3 (1,25-1,35) | 0,25 (0,03-0,5) |
| Arcilloso | 35 (31 - 39) | 17 (15 - 19) | 23 (20-25 | 9 | 1,25 (1,20-1,30) | 0,5 (0,1-0,9) |

* Los valores entre paréntesis pueden tomarse como el rango frecuente. Adaptado de Israelsen-Hansen: Principios y aplicaciones

## 2.2.6 Métodos para medir la humedad del suelo y decidir cuando regar

Es esencial medir la humedad del suelo para una óptima administración del agua de riego y se utiliza para determinar cómo y cuando regar.

Existen muchos métodos para medir la cantidad de agua en el suelo, cada cual tiene ventajas y desventajas. Entre los métodos más comunes se tiene: 1) el gravimétrico; 2) por medio de tensiómetros; 3) el visual y de tacto.

### Método gravimétrico

El método básico para determinar la cantidad de agua en el suelo es el método gravimétrico. Consiste en tomar una muestra del suelo del campo en particular y colocarla en un recipiente hermético. Seguidamente, se la lleva al laboratorio, donde debe ser cuidadosamente pesada (recipiente + suelo húmedo). A continuación se procede a secarla en una estufa por 24 horas a 105 C. Esta muestra secada es

nuevamente pesada (recipiente + suelo seco). La diferencia en peso entre la muestra húmeda y la muestra seca es el peso del agua en la muestra.

El cálculo se realiza así:

$$\%\theta p = 100 \times \frac{(PR + SH) - (PR + SS)}{(PR + SS) - (PR)}$$

Donde:

(PR + SH) = Peso del recipiente + suelo húmedo

(PR + SS) = Peso del recipiente + suelo seco

(PR) = Peso del recipiente

Si el método gravimétrico se aplica correctamente, los resultados son bastante precisos. Otros métodos son usualmente calibrados en comparación a este método.

La mayor desventaja consiste en que el proceso consume un tiempo considerable, requiriendo un buen número de determinaciones para obtener un valor representativo del campo.

## Método del Tensiómetro

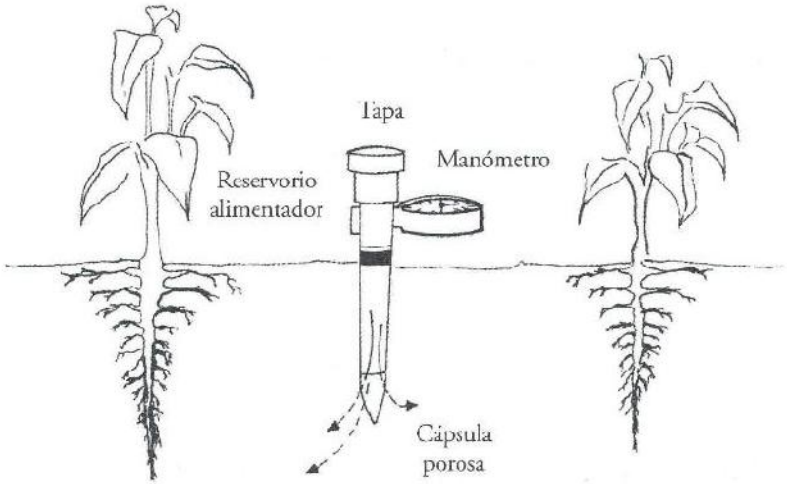
Los tensiómetros son instrumentos simples y confiables, útiles para determinaciones indirectas de la humedad del suelo.

Un tensiómetro consiste en una cápsula de porcelana porosa, conectada a un manómetro de vacío mediante un tubo lleno de agua. La tensión o el vacío de la humedad del suelo, es directamente relacionada con la cantidad de agua en el suelo.

En realidad el tensiómetro mide la energía del agua del suelo en términos de atmósferas, centibares o milímetros de mercurio. Una atmósfera es igual a 100 centibares. Cada suelo tiene su propia relación entre el contenido de agua y la tensión (existen tablas con valores indicativos para cada tipo de suelo).

Para la mayoría de los cultivos se debe regar cuando la lectura del tensiómetro es de 0,5 bar. Existen en el comercio aparatos sencillos para fines prácticos (moisturemeter).

FIG. 7. **Tensiómetro instalado en la zona de las raíces**




## MÉTODO VISUAL Y DEL TACTO

El método visual y del tacto para estimar el contenido de humedad en el suelo, consiste en tomar en la mano una muestra de suelo, friccionarla entre los dedos y hacer una estimación de la humedad del suelo en base al tacto y la apariencia.

Un suelo de textura media, con aproximadamente 50% de agua disponible, formará una bola al ser retorcido en la mano; sin embargo, se desmenuzará bajo presión.

El método de tacto es rápido y efectivo para estimar la humedad del suelo cuando es usado por una persona con experiencia. Para aprender a usar este método es conveniente que el tacto se calibre con respecto a otro método (gravimétrico). La precisión mejorará con la experiencia.

Los sitios de obtención de las muestras deben estar en aquellos lugares donde la densidad del cultivo y el crecimiento del mismo sean representativos, en suelos de textura significativamente diferentes; y, en áreas donde varía la penetración del agua.

El método visual y del tacto puede usarse para determinar si es tiempo de regar, con la simple observación del suelo y el uso del tacto.

Para ello, se extraen muestras de suelo a incrementos de 15 cm de profundidad, hasta llegar por lo menos a la mitad de la zona de las raíces. En esta parte superior de la zona de las raíces es donde se lleva a cabo la mayor cantidad de extracción de humedad.

El suelo de cada capa se retuerce en la mano. La mano se abre y se examina la muestra de suelo. En la mayoría de los casos el riego debe aplicarse cuando se haya extraído la mitad del agua disponible.

La siguiente guía puede ser utilizada para determinar cuando el cultivo ha utilizado cerca de la mitad del agua disponible:

Si un suelo de textura gruesa se desmenuza cuando se abre la mano, es tiempo de regar. En este punto el suelo se muestra y se siente seco.

Si un suelo de textura media al abrir la mano conserva aún la forma dada por la compresión de la misma, y su apariencia es algo plástica, pero se desmenuza cuando se presiona con un dedo, entonces debe procederse a regar.

Los suelos de textura fina deben ser regados cuando la bola retiene aún la forma de la mano y no se desmenuza cuando se presiona con un dedo. El suelo es aún bastante moldeable, pero no puede darse la forma de un rollo delgado.

La inspección periódica de la humedad de la mitad de la profundidad total de las raíces indicará si cada aplicación de riego es adecuada.

Debe observarse la humedad del suelo un día después de regar los suelos de textura gruesa, dos días después de regar suelos de textura media, y tres días después para el caso de suelos de textura fina.

La presencia de capas secas hacia la parte baja de la zona de las raíces, significa que se debe aplicar más agua en el próximo riego; si no, se debe irrigar más frecuentemente.

Un suelo que está siempre húmedo en la parte más baja de la zona de las raíces, puede significar que se puede disminuir la cantidad de agua aplicada en cada riego. Puede necesitarse de ajustes para incrementar o disminuir las cantidades de agua a aplicar.

La observación del contenido de humedad del suelo debe hacerse en áreas representativas del campo, con buen desarrollo del cultivo. No debe hacerse en los bordes o sitios aislados altos o bajos, o en otras áreas no representativas. Las muestras de suelo a diferentes profundidades se obtienen fácilmente con un barreno.

En la tabla 2, contiene una guía para apreciar al tacto y visualmente el contenido de humedad en suelos de diferente textura.

Tabla 2. Guía para la estimación al tacto del contenido de humedad en suelos de diferente textura

| % de humedad del suelo aprovechable por las plantas | Consistencia y apariencia del suelo al presionar un puñado entre la mano, según su textura | | |
|---|---|---|---|
| | Gruesa | Media | Fina |
| 0 % | Seca, suelta, se escurre a través de los dedos. | Pulverulenta, seca, a veces ligeramente encostrada, siendo fácilmente desmenuzable. | Dura, compacta, agrietada, algunas veces presenta terrones en su superficie. |
| 50 % o menos | Todavía se presenta seca; no forma bolas al presionarla. | Algo desmenuzable, pero se une al presionarla. | Algo blanda; formará bolas al presionarla. |
| 50 hasta 75% | Tiende a formar bola al presionarla, pero rara vez mantiene su forma. | Forma una bola, algo plástica; algunas veces se resbala al presionarla. | Forma una bola y produce una cinta al presionarla entre el dedo pulgar y el índice. |
| 75% hasta la capacidad de campo | Forma una bola débil, se rompe fácilmente, no resbala entre el índice y el pulgar. | Forma una bola y es muy dúctil, resbala fácilmente si tiene mucha arcilla. | Fácilmente forma una cinta entre los dedos; produce una sensación resbalosa. |
| A la capacidad de campo | Al presionarla, el agua liberada no se hace evidente en el suelo, pero queda una huella de la bola en la mano. | Lo mismo que para textura gruesa. | Lo mismo que para textura gruesa. |
| Sobre la capacidad de campo | Libera agua al ser amasada. | Liberará aguaalcomprimirla en la mano. | Se enfanga y el agua aparece en la superficie. |

## 2.2.7 Infiltración

La entrada del agua en el suelo a través de la superficie se conoce como *infiltración*. Este es un proceso de gran importancia en el diseño y manejo de sistemas de riego.

Los sistemas de riego se diseñan y manejan en forma tal que se infiltre una cantidad adecuada de agua durante el riego. Esta cantidad de agua de riego debe ser suficiente para proveer evapotranspiración potencial y los requerimientos de lixiviación, sin que hayan excesos que se percolen a través de la zona de las raíces y lleguen hasta el agua subterránea, ocasionando un desperdicio de agua y nutrientes, y el desarrollo de problemas de drenaje subterráneo.

La infiltración es una medida de la rapidez con la que el agua penetra al suelo en cualquier instante. A veces la velocidad de infiltración se denomina velocidad de entrada de agua en el suelo, para expresar la rapidez con la que el suelo toma agua.

El agua que no se infiltra genera problemas en la superficie del terreno, anegándolo si es plano, o fluyendo sobre la superficie como escorrentía si es inclinado; esto último, a más de la pérdida del agua, promueve el desprendimiento y transporte de las partículas del suelo.

En el riego por superficie, el diseño de la longitud y el ancho de los surcos y canterones, así como, el tamaño de los caudales usados en ellos, son determinados en gran parte por las características de infiltración del suelo.

La duración del riego requerida, o sea el tiempo que se aplica agua al suelo, depende de la velocidad de infiltración.

Al iniciarse la aplicación del agua a la superficie del suelo durante un riego, el suelo toma el agua rápidamente; sin embargo, a medida que pasa el tiempo, la velocidad de infiltración va decreciendo, hasta que se hace aproximadamente constante. Esta velocidad aproximadamente constante se denomina velocidad de *infiltración básica,* (L/T: cm/h ó mm/h).

La lámina total de agua que se infiltra en el suelo, desde el momento de aplicación inicial de agua hasta finalizar el riego, es conocida como infiltración acumulada.

La velocidad de infiltración depende principalmente de:

1. la textura;
2. la estructura;
3. el contenido inicial de agua del suelo;
4. las velocidades de aplicación de agua;
5. el sellado del suelo y la formación de costras en su superficie;
6. la estratificación del suelo; y,
7. la formación de cámaras de aire en el suelo.

Los suelos de textura gruesa tienen poros de gran tamaño y velocidades altas de infiltración; por consiguiente, éstos suelos usualmente permiten una penetración más rápida de agua en el suelo, que la permitida por los suelos de textura fina.

En suelos de textura gruesa, la velocidad de infiltración básica es de 3 o más cm/h; en cambio, los suelos de textura fina pueden tener velocidades de infiltración básica de menos de 3 mm/h (ver tabla 1).

En ocasiones, las diferencias en la estructura del suelo y otras condiciones, tales como el agrietamiento del suelo, pueden hacer que los suelos de textura fina presenten velocidades de infiltración mayores que los suelos de textura gruesa.

Generalmente, una buena estructura del suelo incrementa la infiltración del mismo, que es esencial en los suelos de textura fina para mantener velocidades adecuadas de infiltración. Los poros grandes interconectados, formados entre los agregados de un suelo bien estructurado, permiten que el agua se infiltre más rápidamente que entre las partículas individuales de suelo.

Una estructura deficiente del suelo, tal como la que presentan los suelos compactados, con un contenido bajo de materia orgánica, puede hacer que los suelos de textura fina sean casi impermeables; y, por consiguiente, puede hacer muy difícil que la infiltración alcance niveles aceptables en un buen manejo del riego.

La velocidad de infiltración y la infiltración acumulada, en riego por superficie, depende de las condiciones del suelo y el tiempo que el agua ha permanecido empozada en la superficie.

En riego por aspersión, la velocidad de infiltración depende de la rapidez con la que el agua alcanza la superficie del suelo. Mientras que la velocidad de aplicación de riego por aspersión sea más baja que la infiltración de agua por el suelo, la velocidad de infiltración será igual a la velocidad de aplicación. Si el agua se empoza en la superficie, la infiltración será limitada por la inhabilidad del suelo para tomar agua.

El sellado y la formación de costras en la superficie pueden cambiar la habilidad del suelo para tomar agua durante el riego. Por ejemplo, el agua de riego o las gotas de lluvia constantemente mueven las partículas del suelo y las vuelven a acomodar en la superficie. Este movimiento, es una de las razones principales por las cuales la infiltración generalmente decrece de riego a riego durante el período de cultivo.

Un suelo con buena estructura superficial, puede tener una infiltración alta al comienzo del ciclo del cultivo; sin embargo, ya que el movimiento del agua sobre la superficie destruye esta estructura, las velocidades de infiltración pueden llegar a ser muy bajas en las etapas posteriores del período de cultivo.

La adición de materia orgánica al suelo ayuda generalmente a incrementar la velocidad de infiltración al mejorar la estructura del suelo.

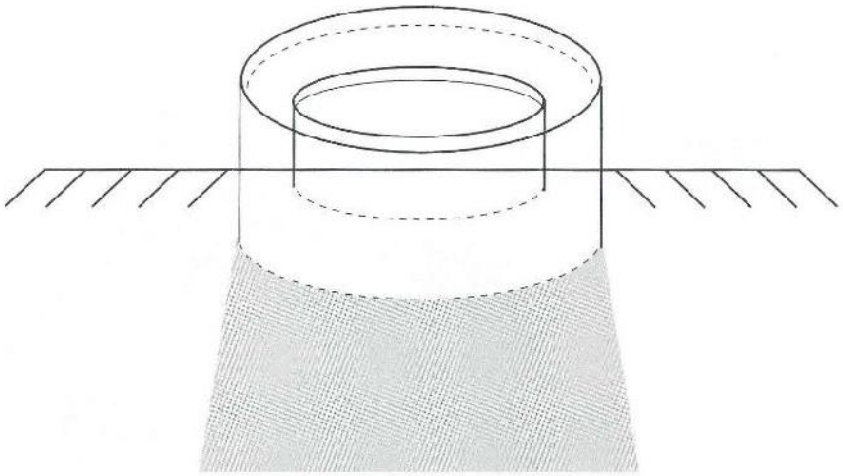
Al dejar residuos vegetales sobre la superficie del suelo; es decir, al proporcionar un recubrimiento parcial del suelo, se puede prevenir el sellado del suelo y la formación de costras en la superficie, evitando así una reducción en las velocidades de infiltración.

La labranza y el subsolado profundo para romper las estratificaciones y las capas endurecidas interiores, pueden ser efectivos en el mejoramiento de la infiltración.

El minimizar la compactación al limitar el número de pases sobre el campo con los equipos de labranza, puede también disminuir el daño de la estructura del suelo.

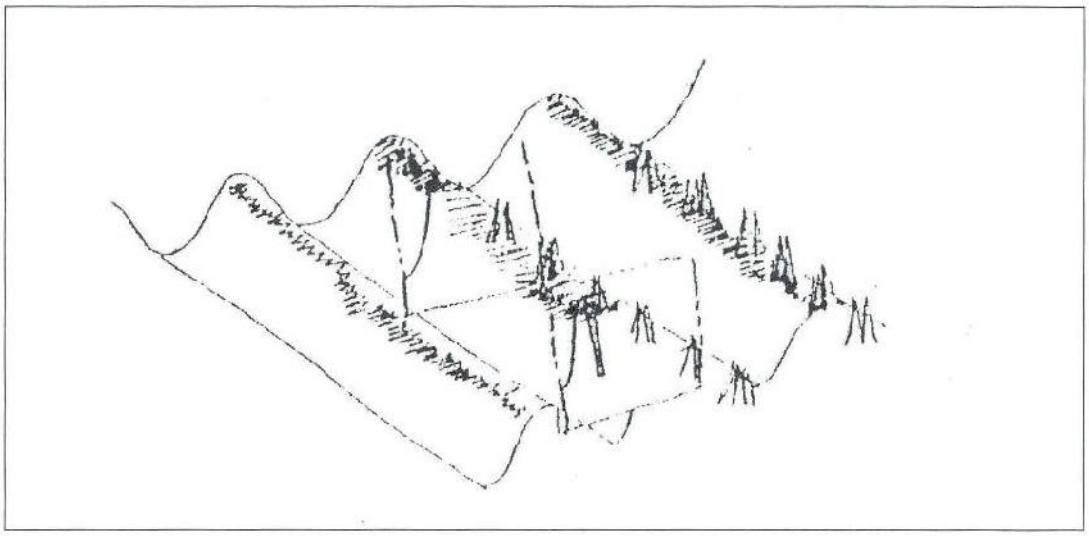
La determinación de la velocidad infiltración básica se la realiza comúnmente por medio del método del infiltrómetro de doble anillo. Consiste en enterrar dos anillos concéntricos (de 15 y 30 cm de diámetro) hasta aproximadamente 10 cm, en un sitio seleccionado del terreno, aplicar agua en los dos anillos y medir, en el anillo interior la lámina infiltrada en intervalos de tiempo, hasta que la tasa de infiltración sea casi constante (figura 8).

FIG. 8. Infiltrómetro instalado en el campo



También la infiltración básica se puede determinar por el método de surcos, que consiste en seleccionar tres surcos en el terreno y medir el ingreso de agua al suelo en el surco central, como se ilustra en la figura 9.

FIG. 9. Determinación de la velocidad de infiltración por surcos



# TEMA 2.3 APTITUD DE LOS SUELOS PARA EL RIEGO E IMPLICACIONES SOCIALES Y AMBIENTALES

El conocer la aptitud de los suelos para riego en un área dada es importante para definir el método de riego, las dosis y frecuencias de riego, los cultivos más apropiados, las prácticas de manejo y las medidas de conservación del suelo.

Las características principales que se consideran para establecer la aptitud de los suelos para el riego son:

- **Grado de pendiente del terreno:** Los terrenos planos, ondulados y ligeramente inclinados son fáciles de regar. A medida que se incrementa la inclinación del terreno, disminuye la aptitud del suelo para el riego, por cuanto crecen las dificultades para la aplicación del agua y el riesgo de erosión.

Para los métodos de riego por superficie, en la Ley de Aguas se establece el 20 % de pendiente del terreno como límite de la tierra regable; posteriormente, la Sección Edafología del ex – INERHI modificó ese valor, asumiendo el 30% de pendiente como límite entre las tierras regables y no regables, con las siguientes clases de pendiente.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0 | - | 4% | Plano a casi plano (pl) |
| 4 | - | 8% | suavemente inclinada (si) |
| 8 | - | 16% | inclinada (i) |
| 16 | - | 30% | moderadamente escarpada (me) |
| > | | 30% | Escarpada (e) |

En la provincia de Loja, en suelos derivados de Andesita se ha evidenciado casos en los que se los riega por surcos en terrenos de ladera de hasta 35 % de pendiente, sin mayores problemas de manejo del agua y de erosión; en cambio, en los suelos derivados de Granodioritas se observan severos deslizamientos.

Así, en Manú, los cultivos limpios en las laderas (cebolla, maíz, fréjol, papa, etc.) se riegan con surcos en contorno (casi paralelos a las curvas de nivel, con una ligera inclinación para que fluya el agua), que son trazados con la yunta, con gran habilidad y destreza por "yunteros especializados", el flujo del agua que se aplica es controlado manualmente con lampa en cada "guacho" (surco), labor que está principalmente a cargo de las mujeres y los niños.

En el sistema de riego Toronche (Loja), se riegan por aspersión, microaspersión y goteo, terrenos de hasta 60 % de pendiente, pero con medidas complementarias de conservación de suelos.

Dada la escasez de tierras planas en la sierra andina ecuatoriana - especialmente en aquellas áreas en posesión de las comunidades campesinas- para definir el límite superior de pendiente de manera de establecer la separación entre tierra regable y no regable en cada proyecto, se debe analizar con los campesinos las dificultades de manejo del agua en la ladera, el tipo de suelo y su erodabilidad, las pérdidas de agua, los procesos erosivos y los deslizamientos en masa; todo ello en relación también al método de riego a utilizarse.

Si por la escasez de terrenos planos y ondulados en un sistema de riego, no hay otra opción que utilizar terrenos inclinados para la producción de cultivos limpios, es indispensable y obligatorio introducir medidas de conservación de suelos; y, de ser posible regar por aspersión o microaspersión.

- **Profundidad efectiva:** En un suelo profundo las raíces dispondrán de una mayor cantidad de agua que en un suelo superficial. A medida que el suelo tiene menor profundidad efectiva el rango posible de cultivos será menor; así, en los suelos superficiales, una de las pocas alternativas son los pastos.

El ex – INERHI ha definido los siguientes rangos de profundidad:

> 120 cm profundo

90 – 120 cm moderadamente profundo

50 – 90 cm moderadamente superficial

20 – 50 cm superficial

< 20 cm muy superficial (no regable)

- **Textura:** En la definición de la aptitud a nivel elemental se deberán agrupar los suelos en: ligeros, medianos y pesados. La textura de las diferentes capas del suelo, se la puede estimar por el método del tacto.

Los suelos de todas las clases texturales se pueden regar exitosamente, con la posible excepción de los arenosos muy gruesos, si se selecciona adecuadamente el método de riego.

A lo largo de la sierra andina ecuatoriana, desde la provincia del Carchi hasta el nudo del Azuay, los suelos son de origen volcánico reciente, derivados de cenizas volcánicas, con gran capacidad para retener agua, por lo que son frecuentes los deslizamientos en masa; sin embargo, también se encuentran estratos endurecidos como la cangahua.

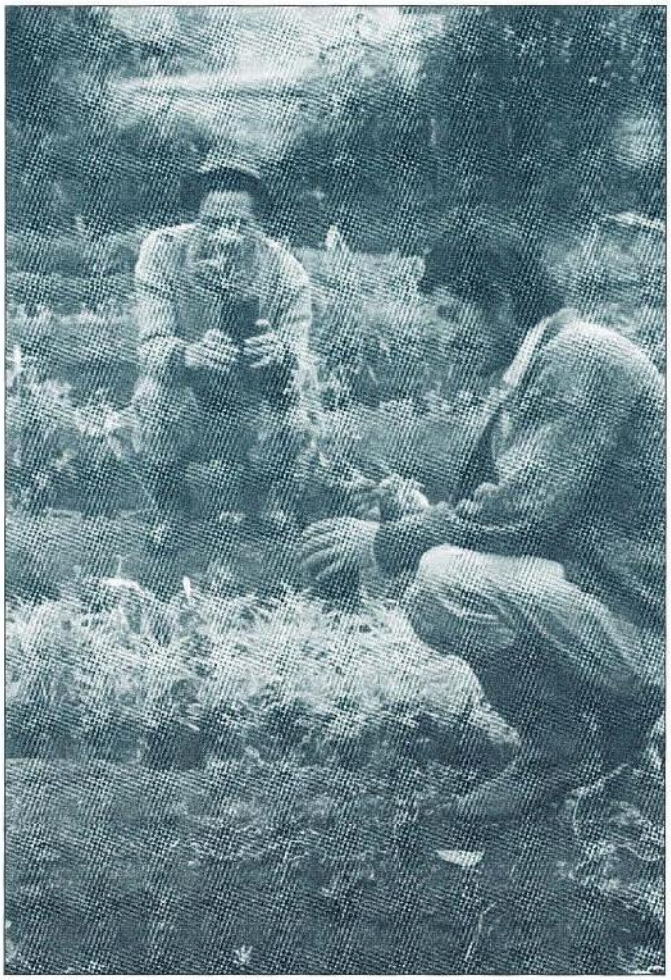
- **Pedregosidad interna y externa:** A medida que el suelo presenta un mayor contenido de material grueso - grava, piedra, pedregón - es menor la aptitud del mismo para el riego, por cuanto las piedras interfieren con la labranza y disminuyen la capacidad del suelo para almacenar agua y nutrientes.
- **Yeso y Carbonatos de Calcio y Magnesio:** El agua de riego puede disolver progresivamente estas substancias produciendo grandes cárcavas, asentamientos y deslizamientos del terreno. Son varios los sitios de la sierra andina ecuatoriana en los que se evidencian estos fenómenos: Proyecto Tablón de Oña, sector San José - Loja; Proyecto Guarguallá - Licto, sitio Lluishi - Chimborazo, que tienen problemas muy graves de pérdida de agua, asentamientos y deslizamientos con el riego superficial (gravitacional).

La caliza o lo que es lo mismo, el carbonato de calcio ($CaCO3$), es fácilmente identificable en el campo; para ello se puede aplicar unas gotas de jugo de limón en un pequeño terrón, si se observa efervescencia es por que existen carbonatos, (a mayor grado de efervescencia mayor será el contenido de carbonatos). El yeso, es el sulfato de calcio ($CaSO4$), que muchas veces se presenta en los suelos de las áreas bajas con deficiencia de humedad de la zona andina, generalmente asociado con la caliza.

A partir de la identificación de las características indicadas en el campo los diferentes suelos se agrupan en clases de aptitud para riego. Normalmente se utilizan seis clases; las cuatro primeras (1-4) se consideran tierras regables con crecientes limitaciones de pendiente y de suelo, la clase seis representa los suelos no regables; en tanto que, en la clase cinco se ubican temporalmente los suelos que demandan investigaciones más minuciosas antes de decidir si son o no regables.

En el caso del riego andino, para delimitar adecuadamente las diferentes clases de suelos, es indispensable analizar con los campesinos las características que se van a considerar para el mapeo de los mismos; por cuanto ellos son excelentes conocedores de sus terrenos, de los problemas del manejo y facilitan enormemente la preparación de un buen mapa.

Con una elevada intensidad de observaciones los estudios de aptitud del suelo para el riego a nivel de factibilidad del proyecto se realizan a una elevada intensidad, fluctuando la escala de publicación de 1:25.000 a 1:5.000.



# TEMA 2.4. LOS PROCESOS DE DEGRADACIÓN Y LA RECUPERACIÓN DE SUELOS BAJO RIEGO

## 2.4.1 La degradación del suelo

Un suelo se puede considerar fértil cuando de él las plantas obtienen equilibradamente el soporte mecánico para sus raíces, el agua, el aire y los nutrientes necesarios para su normal desarrollo. La armonía de este equilibrio puede alterarse por diferentes causas, ocasionando la reducción progresiva de la capacidad del suelo para sustentar las plantas.

Entre los principales procesos de degradación del suelo se puede mencionar: la salinización y sodificación, la acidez extrema, la pérdida de la fertilidad; y, la erosión cuyo resultado final es la desertificación.

## 2.4.2 Salinización y sodificación

La salinización y la sodificación o alcalinización comprenden la acumulación de sales y/o de sodio en la capa arable del suelo, disminuyendo así su productividad. Esto sucede cuando en las zonas áridas o semiáridas se riegan tierras mal drenadas. El sol evapora el agua superficial dejando depositadas las sales. Al mismo tiempo, debido a un drenaje insuficiente, aumenta el nivel de la capa freática y el agua salada entra en contacto con las raíces de las plantas. La solución radica en disponer de un buen sistema de drenaje y el uso de correctores a base de calcio para expulsar el sodio, lavando el suelo con el agua de riego en la época de relativa abundancia de agua.

## 2.4.3 Acidificación

La acidez extrema disminuye el rango de cultivos que se pueden establecer y los rendimientos de los mismos. Su corrección se realiza a base de sustancias de reacción alcalina; la más utilizada es la cal agrícola también conocida como caliza molida.

## 2.4.4 Pérdida de nutrientes

La pérdida de la fertilidad, corresponde a la exportación de los nutrientes de las plantas tanto en el producto cosechado, como en el agua de percolación y escorrentía, y la falta de reposición de los mismos, mediante la aplicación de abonos y fertilizantes. El resultado es una disminución creciente y progresiva de los rendimientos.

En la sierra andina ecuatoriana, los campesinos han generado por su propia iniciativa una serie de soluciones para restituir la fertilidad de los suelos; así, en el sistema de riego Tablón de Oña (provincia de Loja), para lograr una cierta recuperación de la fertilidad como parte integrante de los sistemas de producción agropecuaria, se han identificado: el manejo del ganado menor en rústicos cerramientos para posteriormente recolectar los excrementos; el manejo al sogueo del ganado bovino en las áreas de pastos; el abonamiento a las parcelas de cultivos que incluye la aplicación de guano, cenizas y basura en descomposición, la utilización de corrales móviles en las parcelas en descanso que a futuro serán sembradas con cultivos, en los cuales se encierra por las noches las ovejas y cabras, para que abonen progresivamente estos terrenos

## 2.4.5 La erosión

La erosión es el proceso más grave de deterioro de los suelos en la sierra andina ecuatoriana. Viene a ser el desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas del suelo por acción del agua (erosión hídrica) y el viento (erosión eólica).

La erosión hídrica es la forma más común de erosión, que causa severos daños en los terrenos de ladera. Se produce cuando se cultivan tierras escarpadas sin tomar las debidas precauciones o se dejan expuestas a la acción de lluvias intensas tierras con pendientes suaves o fuertes, o también por el manejo inapropiado del agua de riego, y la falta de obras de conservación y evacuación de excedentes temporales de agua.

En la agricultura bajo riego en la sierra andina, los factores físicos y técnicos más importantes que afectan la erosión del suelo por el agua son: el clima, el suelo, la vegetación, la topografía y el manejo del agua de riego. Adicionalmente los factores socioeconómicos corresponden a la tenencia de la tierra, el tamaño de las fincas, los precios de los productos agropecuarios a nivel de finca y los mecanismos de comercialización, las debilidades de la organización de usuarios del agua de riego, la falta de capacitación sobre el manejo del agua y el suelo, etc.

Por ejemplo, en las pequeñas fincas o minifundios dominados por terrenos de ladera, en donde se dispone por derecho de un mismo caudal por familia, es más difícil regar y más factible de generar pérdidas de agua y suelo. Igual sucede con el arrendamiento de la tierra, que se orienta a obtener una la producción agropecuaria con los más bajos costos y sin ninguna acción de manejo y conservación de los recursos suelo y agua. Finalmente, una débil organización de usuarios origina conflictos sobre los derechos de agua y la forma de distribución de la misma, llegándose a regar como sea, cuando sea y con la cantidad que sea, con la concomitante pérdida de agua y erosión.

El factor principal que afecta la erosión a nivel parcelario es la cantidad de precipitación y su intensidad. Las gotas de lluvia intensa aflojan la superficie del

suelo al impactar contra éste, ocasionando el movimiento de agua sobre la superficie, o sea, escurrimiento.

El flujo del agua sobre el suelo, transporta las partículas sueltas de suelo hasta que la velocidad del agua se reduce y esas partículas son depositadas.

Los factores topográficos que afectan la erosión del suelo son: la longitud de la pendiente, el grado de la pendiente y el tamaño y forma de las laderas.

En terrenos con pendientes pronunciadas, la velocidad del agua puede causar una erosión severa. Aún los caudales pequeños utilizados en el riego por surcos pueden alcanzar velocidades tan altas que causarían una erosión severa en pendientes fuertes. El riego por presión permite que se rieguen terrenos de pendiente pronunciada; sin embargo, se debe considerar que en la sierra andina, en los periodos de lluvias intensas, es muy peligroso que se produzcan procesos severos de erosión en las áreas desprotegidas de vegetación.

A medida que la pendiente aumenta, la velocidad del movimiento de agua también aumenta, dando como resultado más erosión.

Las propiedades primordiales del suelo que influyen en la pérdida de suelo causada por la lluvia o el riego son: la estructura, la textura, el contenido de materia orgánica, el contenido de humedad y el grado de compactación del suelo. Todas estas propiedades afectan la tasa de infiltración y consecuentemente el escurrimiento. También influyen la facilidad con la que un suelo puede ser aflojado y transportado.

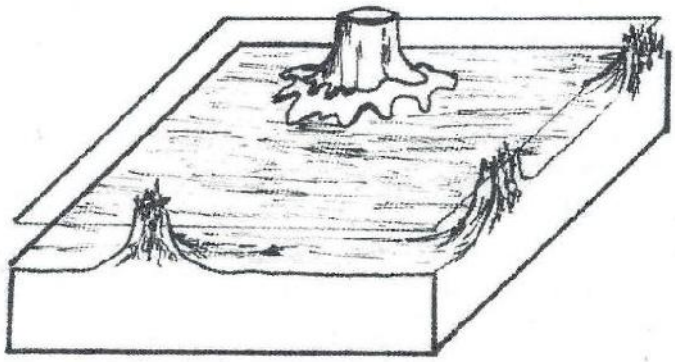


**FIG. 10. Erosión laminar**

La forma de erosión hídrica más insidiosa es la erosión laminar que se produce cuando la totalidad de la superficie del terreno se erosiona gradualmente, de manera más o menos uniforme. Este proceso es insidioso dado que la pérdida de la tierra no se advierte inmediatamente. El único indicio aparente de la erosión laminar son la parte inferior de los postes y las cercas, y las raíces de los árboles y cultivos que van quedando cada vez más al descubierto. Cuando el agricultor advierte esos indicios es probable que ya haya perdido decenas de toneladas de tierra por hectárea. En un terreno corriente, un agricultor que pierde 1,5 cm de capa arable - apenas lo suficiente como para ser advertido - habrá perdido ya alrededor de 200 toneladas de suelo por hectárea.

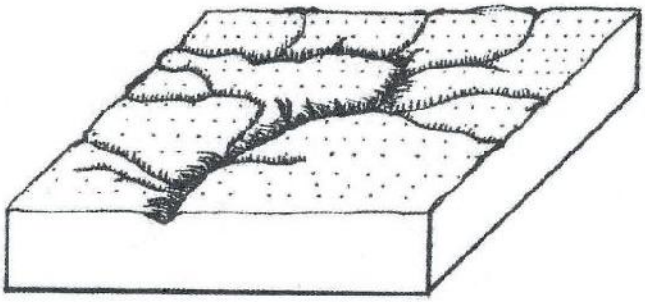


**FIG. 11. Erosión en surcos**

La erosión en surcos puede producirse en terrenos escarpados o con pendientes más suaves. Como en un terreno siempre hay irregularidades, el agua encuentra depresiones donde depositarse y hendiduras por donde correr. Al ser arrastrado el suelo de estas hendiduras se forman pequeños surcos cuya presencia no siempre es evidente, por que el arado los cubre de nuevo. Los surcos pueden convertirse en cárcavas, pero aun sin eso, las pérdidas de suelo que causan son importantes.

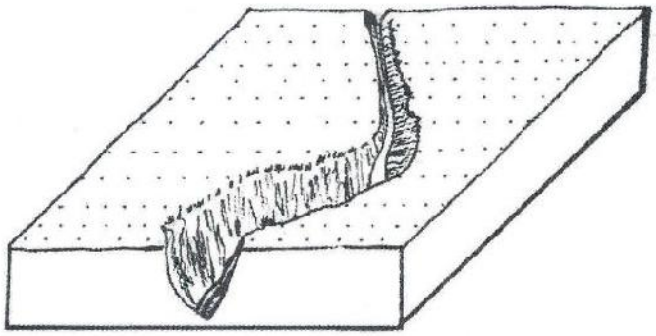


**FIG. 12. Erosión en cárcavas**

En terrenos escarpados existe a menudo el peligro de formación de cárcavas. El agua que corre por la pendiente abre una hendidura profunda en el suelo; cuando la pendiente es empinada, en el extremo inferior se forma un escalón, que gradualmente va avanzando cuesta arriba y ahonda y ensancha la cicatriz abierta por la cárcava en la ladera. Lo que comenzó siendo un hilo de agua que discurría por un sendero utilizado por hombres o animales, puede convertirse en una grieta de decenas de metros de profundidad y cientos de metros de ancho.

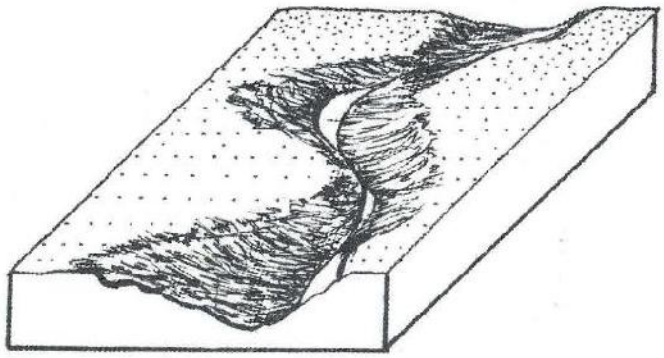


**FIG. 13. Erosión en riberas**

Convierte a los arroyos rápidos y profundos en cursos de agua que serpentean entre bancos de fango. Puede provocar importantes pérdidas de tierras labrantías.

## 2.4.6 Prevención y reconstitución

Es esencial controlar la erosión del suelo si se quiere mantener una productividad óptima de la tierra. Algunos de los factores que condicionan la erosión, pueden modificarse mediante prácticas convenientes y manejo adecuado.

El clima, como bien se sabe, no puede ser controlado y las propiedades del suelo pueden ser modificadas sólo hasta cierto punto. Sin embargo, la vegetación, las prácticas de cultivo y el agua de riego, pueden ser fácilmente controladas.

En algunas ocasiones, la topografía también a nivel de finca, puede ser modificada; un ejemplo de ello, es la producción de arroz en pozas, en terrazas construidas por la propia iniciativa de los agricultores en el sistema de riego Macará.

Para controlar la erosión causada por la lluvia o el riego en las laderas es adecuado cualquier método o combinación de métodos que sea(n) efectivo(s) en: amortiguar el impacto de las gotas de lluvia, disminuir la velocidad del flujo del agua sobre la superficie, mantener las partículas de suelo en su lugar, asegurar que la mayor cantidad de agua que cae sobre el terreno sea absorbida por el suelo; y, evacuar toda el agua que no puede ser absorbida por el suelo a una velocidad que sea lo suficientemente baja para que no produzca daño.

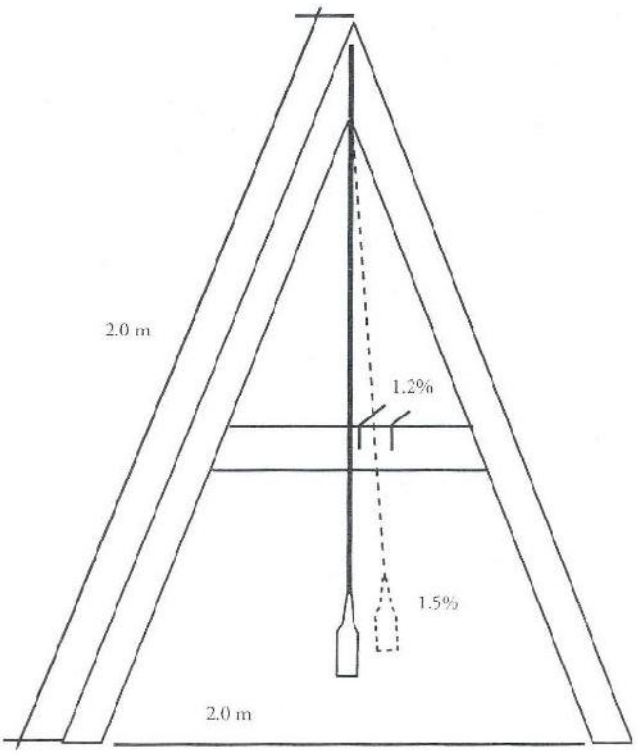
Los métodos que reducen la longitud y grado de la pendiente, por ejemplo, acequias de ladera, pueden dar paso a velocidades de flujo reducidas y un transporte menor de partículas de suelo.

Generalmente, los suelos con mejores estructuras presentan menos erosión, debido a que sus tasas altas de infiltración reducen el escurrimiento superficial, y las partículas son más adherentes y menos móviles.

Muchos métodos de conservación de suelos se han utilizado efectivamente para reducir la erosión del suelo causada por el riego o por la lluvia. Todas las labores de cultivo y toda acción de conservación de suelos en los terrenos de ladera - barreras vivas, barreras de piedra, zanjas de intercepción, terrazas, etc. - demandan trabajar siguiendo las curvas de nivel. La curva de nivel corresponde a la línea que une los puntos que se encuentran a la misma altura.

Existen varios métodos sencillos para que el campesino trace en el campo las curvas de nivel; entre otros: nivel en A, caballete, nivel de manguera. En la figura 9 se presenta el nivel en A.

FIG. 14. Nivel Tipo A




Cada surco que sigue la curva de nivel constituye un obstáculo para el agua de escorrentía, disminuye el movimiento de ésta sobre el suelo, aumenta la infiltración y atrapa las partículas de suelo en suspensión. En la sierra ecuatoriana es recomendable trazar los surcos con una pendiente entre 1 y 1,5%, esto quiere decir un desnivel de 10 a 15 cm en 10 m de distancia. Pendientes mayores hacen más probable la erosión.

La labranza en curvas de nivel se debe llevar a cabo muy cuidadosamente para proporcionar una pendiente cero o una ligera inclinación uniforme a los camellones, especialmente en condiciones de lluvias intensas.

En pendientes pronunciadas, la labranza en curvas de nivel puede aumentar el peligro de erosión severa si no se lleva a cabo en forma apropiada. La ruptura de un camellón o de un surco, puede causar erosión severa a medida que el agua se acumula y sucesivamente rompe otros camellones y otros surcos.

Al cultivar en franjas, siguiendo las curvas de nivel y utilizando tipos de cultivos adecuados y drenes cubiertos con vegetación de tipo bajo, se puede reducir el riesgo de daño en el cultivo sobre curvas a nivel.

La labranza con cobertura es una práctica de conservación que deja una gran parte de los residuos vegetales, tales como hojas, raíces y tallos, sobre o cerca de la superficie del terreno.

La labranza mínima es una práctica de conservación en la cual tan solo se disturba la cama de semilla en un mínimo, de un ciclo de cultivo al siguiente. Por ejemplo, las semillas pueden ser sembradas directamente en el rastrojo de los cultivos anteriores. En general, al minimizar la labranza se preserva la estructura del suelo y se ayuda a disminuir la erosión del mismo.

Los cultivos densos (trigo, cebada, avena) y permanentes, proporcionan el máximo de protección contra la erosión. Mientras más denso sea el cultivo, mayor será la protección.

Los pastos establecidos pueden regarse con seguridad con un manejo muy cuidadoso del agua y con una rotación apropiada del ganado de un potrero a otro, de manera que se pueda mantener siempre una buena cobertura herbácea para el suelo.

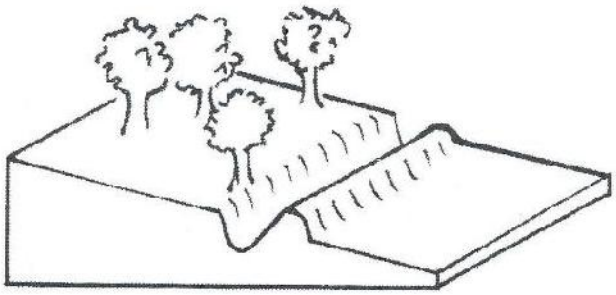
El establecimiento de vegetación permanente en los canales de riego y drenaje superficiales, o el revestimiento de ésros con materiales resistentes a la erosión, pueden proporcionar una protección significativa contra la erosión.

El uso de pendientes no erosivas en la construcción de canales de riego y drenaje; así como, la construcción de estructuras de caída u otro tipo de aparatos para el control del agua y la reducción de la velocidad del flujo, también pueden ser necesarios.

El control apropiado del agua de riego es crítico al minimizar la erosión del suelo a nivel parcelario. En surcos y canterones, se deben utilizar caudales no erosivos. Las pendientes más pronunciadas requieren caudales más pequeños para evitar la erosión (ver unidad 4, módulo 5).

Las figuras siguientes ilustran las principales prácticas mecánicas de conservación.

FIG. 15. Canales de desviación



Estos canales en contorno se utilizan para evacuar el agua de escorrentía de las terrenos más altos, que de otro modo causaría una importante erosión en las tierras cultivables más bajas relativamente desprotegidas.

En el caso de los terrenos laderosos en los sistemas de riego de la sierra andina ecuatoriana, a medida que se aumenta la inclinación de la ladera, es indispensable la introducción de una combinación de prácticas de conservación de suelos; a ello, debe sumarse la aplicación cuidadosa del agua de riego para evitar el arrastre del suelo o los deslizamientos en masa.

*De permitirlo las condiciones sociales, económicas y ambientales, en lo posible en las laderas se deberá reemplazar el riego gravitacional por el riego a presión aprovechando la diferencia de nivel. Un importante ejemplo en este sentido es el proyecto Toronche, en la zona del Vilcabamba, del cantón Loja, en el cual se riega una combinación de semibosques (huerta de café y frutales) en terrenos hasta de 60% de pendiente, con riego por microaspersión y goteo...*

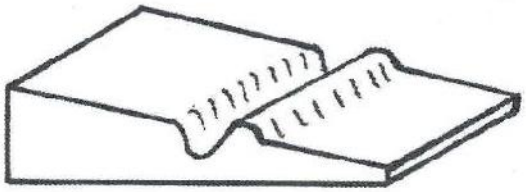


**FIG. 16. Zanjas de absorción o infiltración**

Siguen las curvas de nivel y sirven para interceptar el flujo descendente del agua dentro de las parcelas de cultivo, permiten una mejor infiltración del agua al suelo.

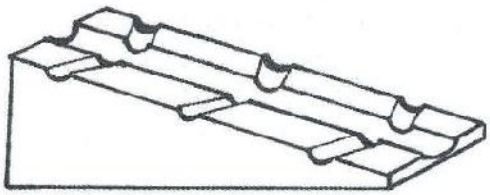


**FIG. 17. Vías de agua protegidas o encespadas**

Se construyen siguiendo la pendiente para evacuar el agua procedente de los canales de desviación. Deben estar cubiertos de vegetación espesa y resistente y ser suficientemente profundos y anchos para poder eliminar el agua incluso en casos de fuertes aguaceros.

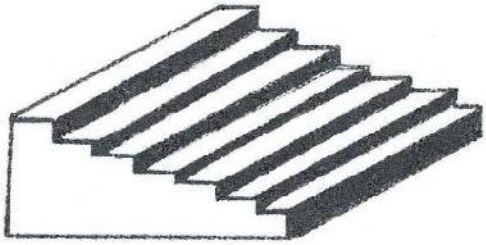


FIG. 18. Terrazas o Bancales

Constituyen las prácticas mecánicas más antiguas de protección contra la erosión, utilizadas en la sierra andina desde hace siglos. Su construcción requiere de un trabajo prodigioso, puesto que la ladera se transforma en una serie de escalones anchos con taludes protegidos con piedra o vegetación.

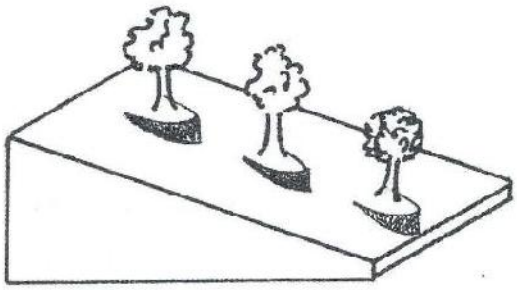


FIG. 19. Terrazas individuales o banquetas

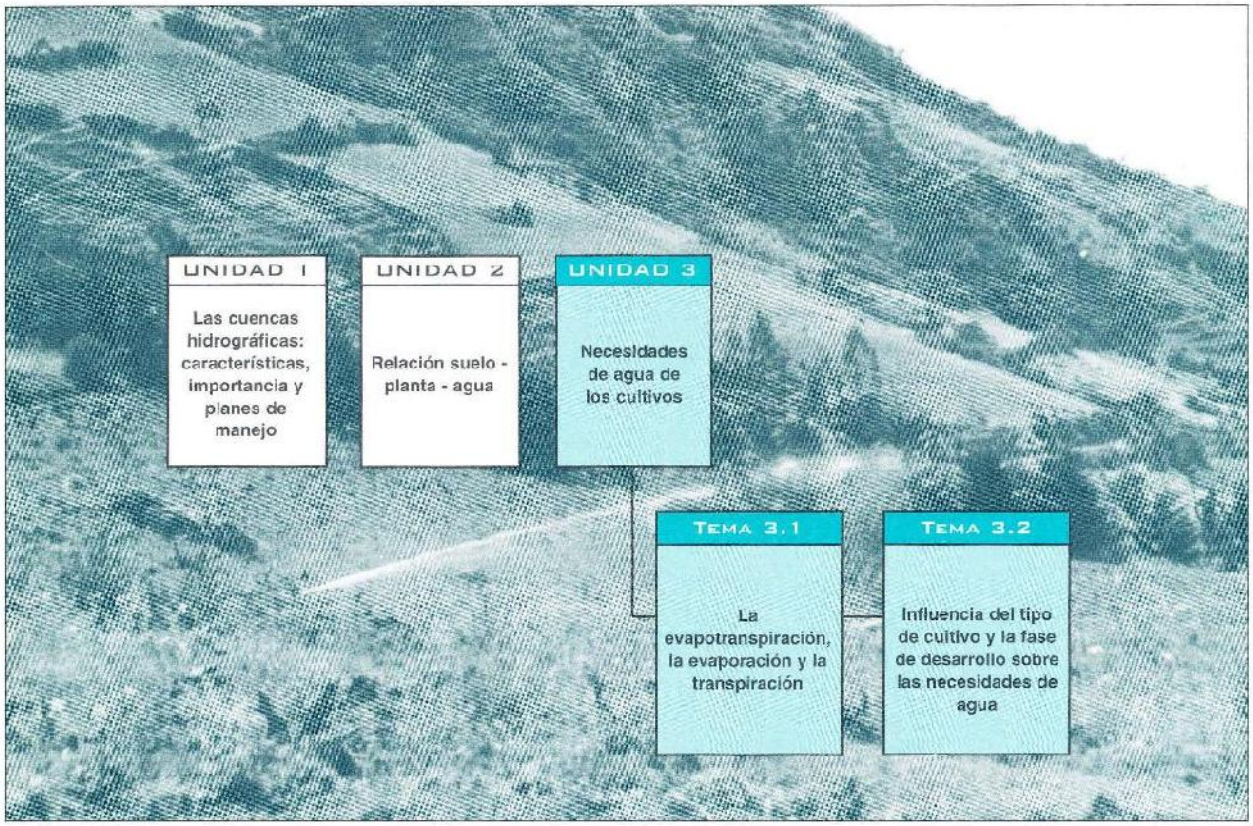
Son terrazas pequeñas para árboles individuales. Constituyen pequeñas plataformas construidas en la ladera, para dar cabida a un solo árbol. Se construyen a lo largo de las curvas de nivel, y los intervalos que las separan deben cubrirse de vegetación.

*Debido al mal manejo de los suelos, varias zonas de las Sierra ecuatoriana, con el paso de los años han visto desaparecer sus suelos cultivables y con ello la disminución drástica de la producción.*

*En la zona centro-norte, al perderse la capa cultivable superficial, por el mal manejo de los suelos, ha aparecido una capa endurecida llamada cangahua. Mediante un proceso de recuperación que comprende primero una labor mecánica de roturación; y luego, la aplicación de abonos orgánicos y fertilizantes, esta capa cementada se viene transformando progresivamente en tierra cultivable. Con este gran esfuerzo se han recuperado 800 ha en el sistema de riego Licto (CESA, 1999).*

# NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS

3 UNIDAD




## RESUMEN

Esta unidad aborda tres temas: el proceso de evapotranspiración y los factores climáticos que determinan el mismo, los aspectos concernientes a la evapotranspiración de referencia y a las diferentes formas para su determinación.

A continuación, se tratan específicamente los elementos sobre el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos, particularizando el estudio de la influencia del tipo de cultivo y las fases de desarrollo sobre las necesidades hídricas. Se complementa con una serie de ejemplos sencillos.

La tercera temática se refiere a las necesidades de agua de riego, para lo cual se definen: la precipitación efectiva y las necesidades netas y brutas de agua de riego, las diferentes eficiencias de riego a nivel de conducción, distribución y aplicación. Se concluye con el cálculo de la dotación de riego o el caudal continuo.

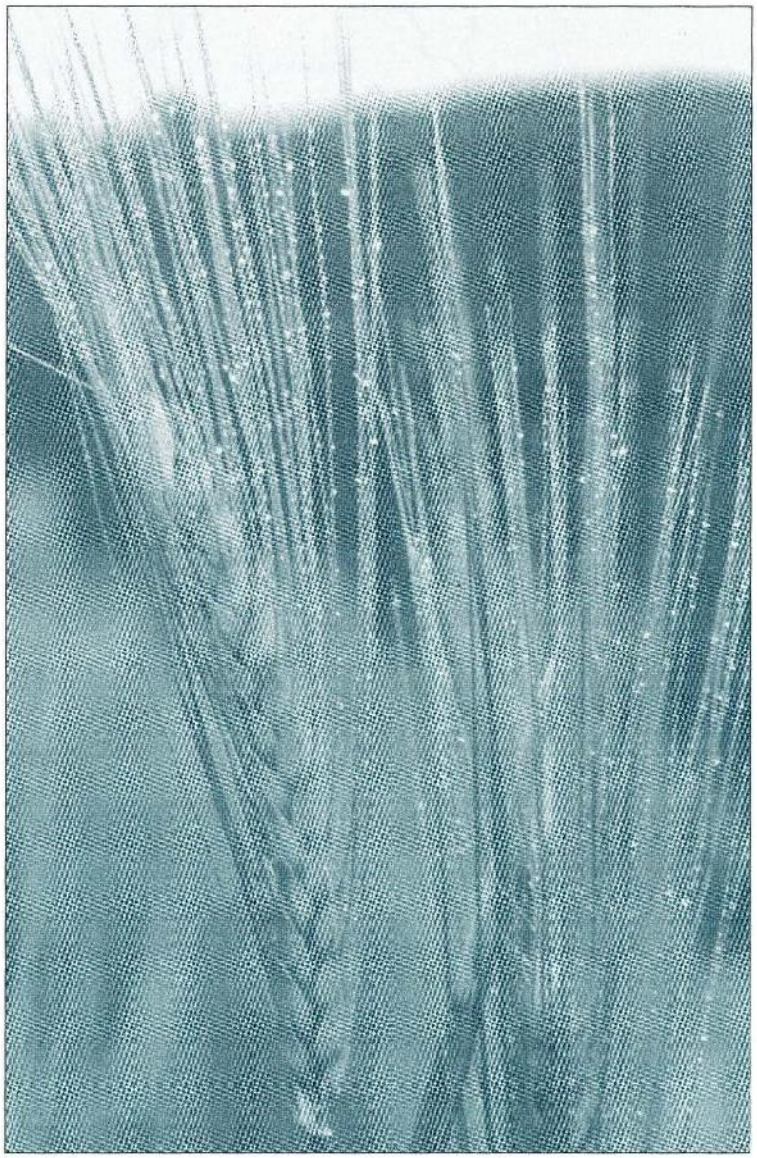
Al final de la unidad se presenta una serie de ejemplos con la descripción detallada de los pasos que se deben seguir para cada problema.

## Objetivo de aprendizaje

La presente unidad pretende que el participante esté en capacidad de:

- Apreciar el conjunto de factores que determinan los requerimientos hídricos de los cultivos y las necesidades de agua en los sistemas de riego.
- Aplicar las bases elementales sobre: evapotranspiración, necesidades de agua de los cultivos, necesidades de riego netas y brutas del cultivo y del sistema de riego, en la gestión del riego andino.

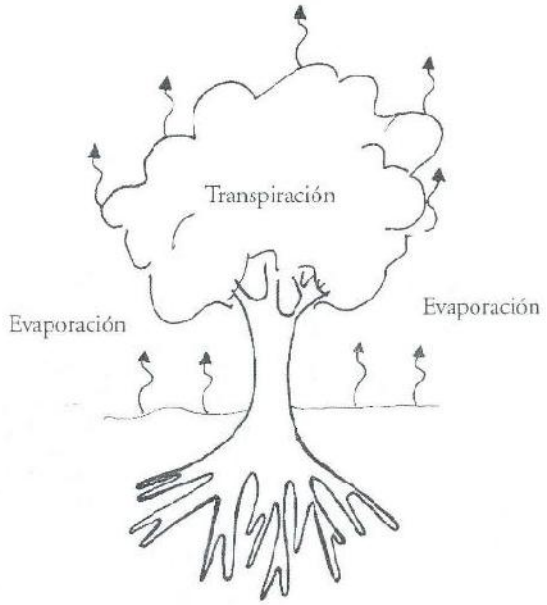
# TEMA 3.1 LA EVAPOTRANSPIRACIÓN, LA EVAPORACIÓN Y LA TRANSPIRACIÓN



Los cultivos necesitan agua para diferentes procesos. El proceso por el cual el vapor de agua se desprende desde el interior de las plantas a través de las hojas y del tallo, y pasa a la atmósfera se le llama **transpiración**.

Otro proceso, la transferencia de agua hacia el aire desde el terreno adyacente, la superficie del agua o de las hojas mojadas de las plantas, se le llama **evaporación**, como lo ilustra la figura 1.

**FIG. 1. Evapotranspiración**




La evaporación más transpiración se denomina "evapotranspiración". Esta tiene lugar fundamentalmente durante el día. Se expresa usualmente en unidades de lámina por tiempo; es decir en mm, sea por día, mes o estación.

La lámina de 1 mm de agua, se la traduce a volumen por superficie; de la manera siguiente:

$1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$

Un valor de 3 mm/día, por ejemplo, corresponde a un consumo de una lámina de 3 mm de agua cada día; entonces en 1 hectárea se consumirá 30 $m^3$ o 30.000 litros diarios.

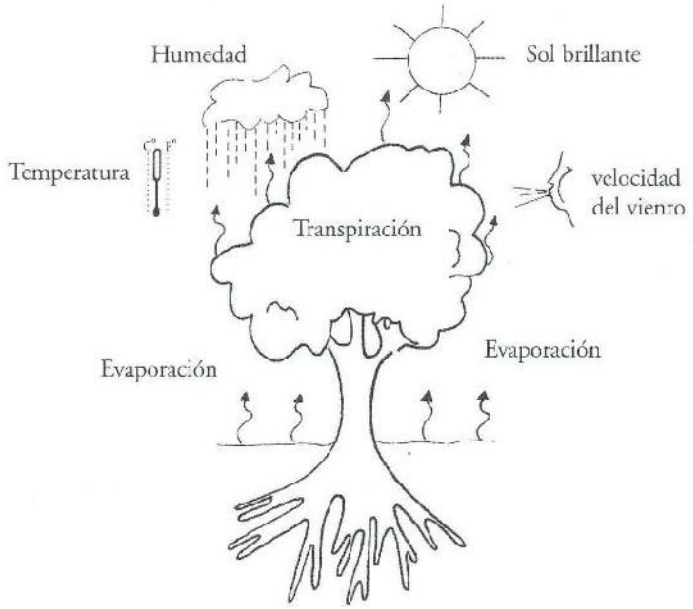
Las necesidades de agua de los cultivos dependen principalmente de:

- Clima: en días calurosos y despejados, los cultivos necesitan más agua que en días nublados y fríos. El clima tiene influencia sobre la duración del ciclo del cultivo así como sobre la de sus diferentes fases de desarrollo. En un clima frío, un determinado cultivo crecerá más lentamente que en un clima cálido.
- Cultivo: ciertos tipos de cultivos requieren de más agua que otros, por ejemplo el cultivo de papa necesita más agua que el chocho.
- Fase de desarrollo: los cultivos ya crecidos necesitan más agua que justo recién plantados.

Un determinado cultivo que crece en un clima cálido y donde predominan los cielos despejados, necesitará más agua por día que el mismo cultivo en una localidad cuyo clima es más frío y donde predominan los cielos nubosos.

Aparte de la luz solar y la temperatura hay otros factores climáticos que también influyen en las necesidades de agua. Dichos factores son la humedad del aire y la velocidad del viento, como lo ilustra la figura 2.

**FIG. 2. Principales factores climáticos que influyen en las necesidades de agua de los cultivos**




En días secos, las necesidades de agua serán mayores que en días húmedos. Análogamente, en días ventosos, dichas necesidades serán mayores que en días de calma, como se observa en el cuadro 1. (Brouwer, 1987)

**Cuadro 1. Efecto de los principales factores de clima sobre las necesidades de agua de los cultivos**

| Factor climático | Necesidades de agua | |
|---|---|---|
| | Altas | Baja |
| Luz Solar | Despejado(sin nubes) | Nublado |
| Temperatura | Cálido | Frío |
| Humedad | Baja(seco) | Alta(húmedo) |
| Velocidad Viento | Ventoso | Viento Suave |

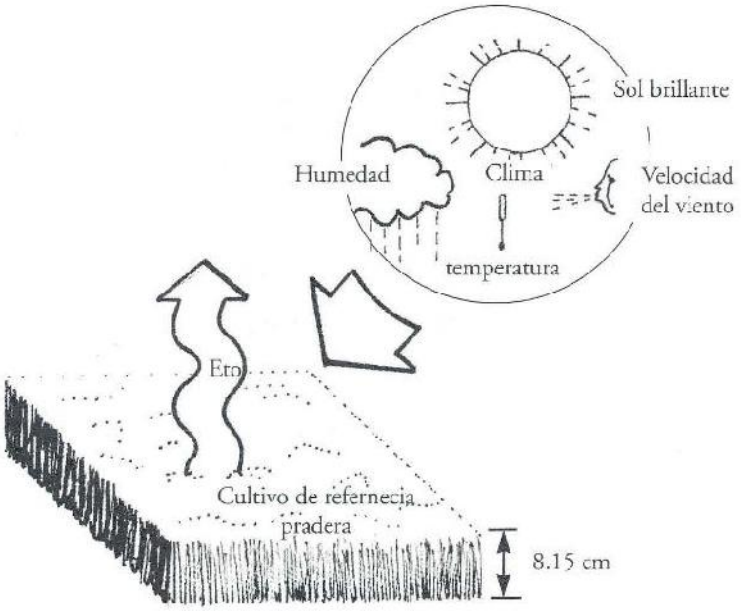
### 3.1.1 Evapotranspiración de referencia (ETo)

Para explicar la influencia del clima sobre las necesidades hídricas de los cultivos es útil considerar un cultivo que reúna condiciones estándar o normalizadas (necesidades de agua diarias en las diferentes regiones climáticas). Normalmente se toma una pradera de gramíneas como "**cultivo de referencia**".

El consumo diario de agua de la pradera estándar o normalizada coincide precisamente con la denominada "**evapotranspiración del cultivo de referencia**". Bajo estas condiciones, se asume que la ETo solamente depende del clima, como se ilustra en la figura 3.

La Evapotranspiración del Referencia (ETo), se la define como "La tasa de evapotranspiración de una superficie extensa cubierta por una pradera de gramíneas, de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, con suministro abundante de agua y que sombree totalmente el suelo".

**FIG. 3. Evapotranspiración del cultivo de referencia**



### 3.1.1.1 Formas para determinar la ETo

Varios procedimientos se han desarrollado para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo), los mismos que se clasifican en: experimentales, evaporímetros y empíricas

#### A. Experimentales

Como su nombre lo indica son aquellos que se llevan a cabo en las estaciones agrícolas experimentales, y se clasifican a su vez en:

- **Parcelas de Ensayo:** consiste en preparar parcelas de terreno, de forma perfectamente cerrada o delimitada (tal vez son preferibles las formas cuadrada o rectangular por la facilidad que presentan para su delimitación), en cuyo interior se establece una cubierta vegetal, en la que se registra todos los aportes de humedad, tales como: precipitación, riegos, nivel freático etc.
- **Lisímetros o evapotranspirómetros:** son instrumentos constituidos por tanques calibrados, generalmente de buena capacidad volumétrica, dentro de los cuales se han introducido un volumen igual de suelo no disturbado. Pesando el tanque se determina el cambio del peso que se puede relacionar con cambios del contenido de humedad.

#### B. Evaporímetros de Cubeta

Los evaporímetros, permiten medir los efectos integrados de la radiación, viento, temperatura, humedad etc. en función de la evaporación de una superficie libre de agua.

#### C. Fórmulas empíricas

Con la finalidad de estimar correctamente la Evapotranspiración de Referencia, se debería utilizar en lo posible un método que tome en consideración el mayor número de parámetros meteorológicos que inciden en el flujo de agua, en forma de vapor desde un área cultivada hacia la atmósfera.

A continuación se presentan cuatro métodos, con sus requerimientos mínimos, indicando los datos medidos necesarios y los conocimientos metereológicos generales para cada método.

| Método | Temperatura | Hum. | Vient | Insol. | Radiación | Evap. | Condiciones |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Locales | | | | | | | |
| Blaney-Criddle | * | | o | o | o | | o |
| Radiación | * | | o | o | o (*) | | o |
| Penman | * | * | * | * | (*) | o | |
| Cubeta clase A | | | o | o | * | * | |

* = datos medidos

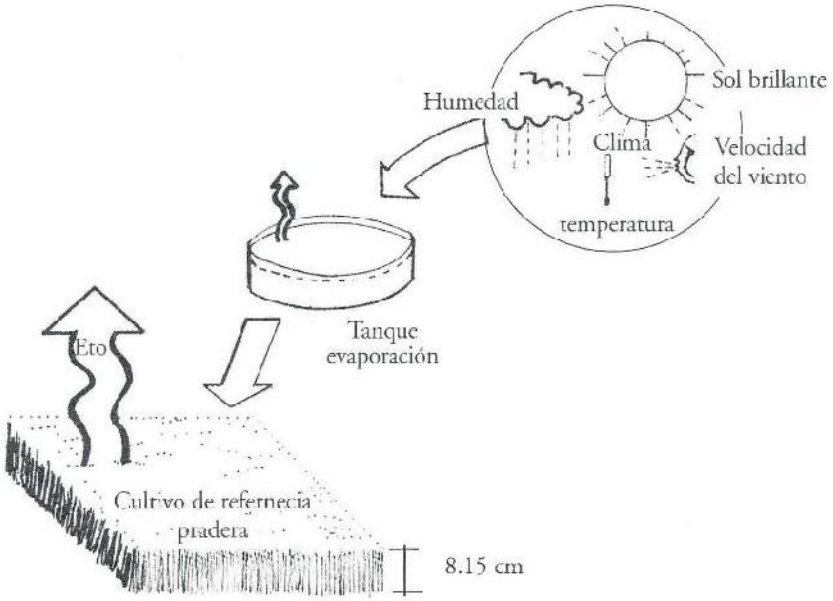
o – datos estimados

(*) = cuando se puede disponer de ellos, pero no son indispensables.

El método de Penman ajustado, es el que mejores resultados se obtiene, por el gran número de datos y el cálculo complejo que se realiza usando programas computacionales que permite el cálculo, como es el caso del programa CROPWAT de la FAO.

En atención del nivel de capacitación del "Asesor Comunitario en Riego Andino" del CAMAREN, a continuación se aborda el método del evaporímetro (Tanque clase A) [figura 4], y se presenta un cuadro con valores de la Evapotranspiración de referencia de todas las provincias de la Sierra Ecuatoriana.

**FIG. 4. Método para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia**

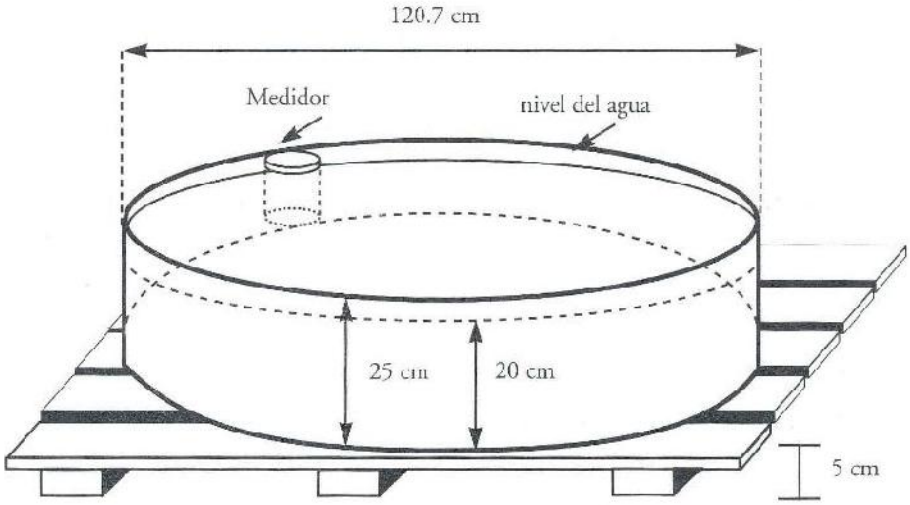


a) Método del Tanque Evaporímetro

Los tanques evaporímetros proporcionan una medida del efecto combinado de la temperatura, humedad, velocidad del viento y luz solar sobre la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).

Se han usado diferentes tipos de tanques evaporímetros. El más conocido es el tanque evaporímetro clase A (tanque circular), el mismo que tiene un diámetro de 121 cm y una profundidad de 25,5 cm, es de hierro galvanizado (calibre 22) o de metal Monel (0,8 mm). Todos los años se debe pintar el tanque con pintura color aluminio. Se debe instalar perfectamente nivelado, a 15 cm sobre el suelo. El tanque se llena de agua 5 cm del borde y debe cuidarse que el nivel del agua no descienda de 7.5 cm con respecto al borde, como lo ilustra la figura 5.

**FIG. 5. Tanque evaporímetro clase A**




El método consiste en lo siguiente: (Brouwer, 1977.)

- Se instala el tanque en el campo.
- Se llena el tanque con una cantidad conocida de agua (la superficie libre del agua tiene unas dimensiones conocidas y se mide la profundidad del agua).

- Se deja que el agua se evapore durante un cierto período de tiempo (usualmente 24 horas). Por ejemplo, cada mañana a las 7 en punto se realiza una medición. El agua de lluvia caída, si es que hubiese llovido se mide simultáneamente.
- Después de 24 horas se mide la cantidad de agua que queda en el tanque. En definitiva lo que se mide es la profundidad del agua en el recipiente.
- Se calcula la lámina de agua evaporada en la unidad de tiempo (la diferencia entre las dos medidas consecutivas, al principio y al final del período); esta será la evaporación del tanque: Ep (en mm/24 horas).
- La Ep, se multiplica por un coeficiente de tanque, Kp para obtener ETo.

**Fórmula: ETo = Kp x Ep**

En donde:

- ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia.
- Kp = Coeficiente de tanque.
- Ep = evaporación del tanque.

Cuando el nivel del agua en el tanque desciende por debajo de una determinada cota - debido a ausencia de precipitaciones -, es preciso añadir agua, siempre midiendo la profundidad del agua antes y después de añadirla. Si, debido a la lluvia, el nivel del agua sube demasiado, será preciso extraer agua del tanque, midiendo la profundidad antes y después de la extracción.

Cuando se usa el tanque evaporímetro para estimar la ETo, en realidad lo que se hace es una comparación entre la evaporación desde la superficie libre del agua en el tanque con la evapotranspiración de la pradera normalizada. Por supuesto, el agua en el tanque y en la pradera no reaccionan exactamente igual frente a las variaciones climáticas; por lo tanto, es preciso introducir un **coeficiente (Kp)** para relacionar la una con la otra.

El coeficiente del tanque Kp, depende de:

- El tipo de tanque usado.
- El entorno del tanque: el tanque puede estar colocado en medio de un barbecho o bien en una superficie vegetada.
- El clima: la humedad y la velocidad del viento.

Para el tanque evaporímetro clase A, el Kp varía entre 0,35 y 0,85, con un valor medio de 0,70. (Brouwer, 1987)

**Ejemplos:**

FIG. 6a. Midiendo la altura de agua en el día 1

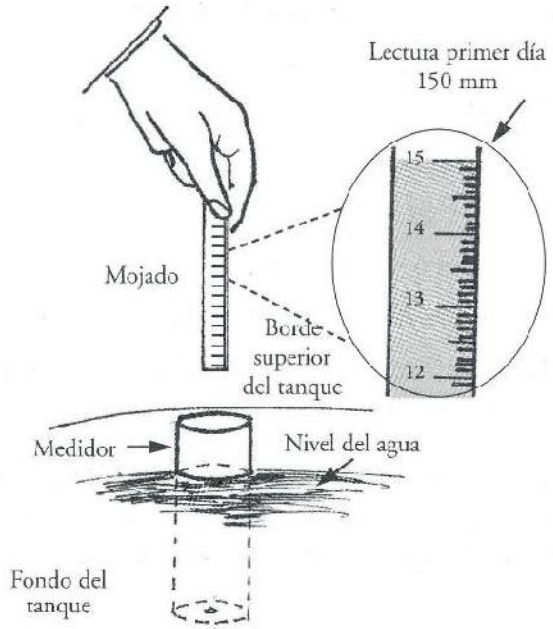
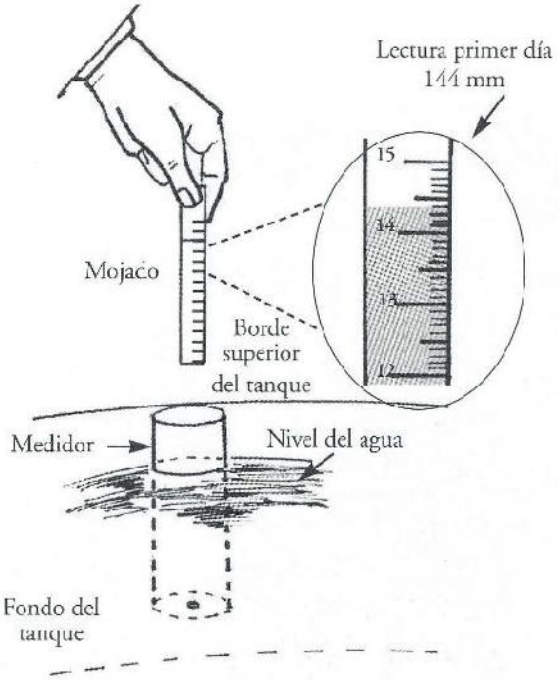



FIG. 6b. Midiendo la altura de agua en el día 2



Tipo de Tanque: Tanque evaporímetro Clase A.

- Profundidad del agua en el tanque el día 1 = 150 mm.
- Profundidad del agua en el tanque el día 2 = 144 mm (después de 24 horas)
- Lluvia recogida (durante las 24 horas) = 0 mm.
- Kp = 0,75
- ETo = Kp x Ep

Ep = 150 - 144 = 6 mm/día

ETo = 0,70 x 6 = 4,2 mm/día

b) Valores de la Evapotranspiración de Referencia en la región Andina del País

En el cuadro 2 se presentan los valores de la Evapotranspiración de Referencia de cada una de las provincias de la sierra ecuatoriana. Los autores (INAMHI) para tal efecto, consideraron indispensable establecer una relación empírica entre los resultados obtenidos por métodos simples (Turc, Hargreaves, etc.) y un integral como el de Penman. Dicha relación permitió establecer un factor de ajuste para transformar valores de Evapotranspiración de referencia de métodos simples a valores de ETo de Penman.

En el caso de que en los proyectos de trabajo de los cursantes no haya estación meteorológica, es importante contrastar aspectos de: altitud, zona climática (temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, nubosidad etc.), tipo de vegetación natural y el régimen pluviométrico, con el sitio en donde existe valores de la ETc (Cuadro 2), con la finalidad de tener un dato referencial.

## Cuadro 2. Evapotranspiración de Referencia de la Sierra Ecuatoriana

| Provincia: | Carchi | Imbabura | Pichincha | Cotopaxi | Tungurahua | Chimborazo | Cañar | Bolívar | Azuay | Loja |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Estación: | San Gabriel | Atuntaqui | Izobamba | Cotopaxi | Ambato | Riobamba | Cañar | Chillanes | Paute | Argelia |
| Latitud: | 00° 36' N | 00°20' N | 00° 22' N | 00° 38' S | 01° 15' S | 01° 39' S | 02° 33' S | 01° 59' S | 02° 47' S | 04° 02' S |
| Longitud: | 77° 57' W | 78° 13' W | 78° 33' W | 78° 34' W | 78° 37' W | 78° 39' W | 78° 56' W | 79° 04' W | 78° 44' W | 79° 12' W |
| Altitud: | 3055 msnm | 2200 msnm | 3058 msnm | 3560 msnm | 2680 msnm | 2760 msnm | 3083 msnm | 2330 msnm | 2289 msnm | 2160 msnm |
| Método: | Harg-Penm | Harg-Penm | Tanque A | Harg-Penm | Harg-Penm | Harg-Penm | Penman | Harg-Penm | Harg-Penm | Penman |
| MES | | | | | | | | | | |
| ENE | 67 | 80 | 79 | 47 | 82 | 93 | 79 | 56 | 94 | 84 |
| FEB | 63 | 75 | 70 | 46 | 74 | 85 | 69 | 55 | 86 | 80 |
| MAR | 68 | 82 | 72 | 49 | 81 | 90 | 77 | 59 | 93 | 85 |
| ABR | 66 | 77 | 65 | 47 | 75 | 85 | 72 | 56 | 87 | 80 |
| MAY | 65 | 79 | 69 | 47 | 72 | 82 | 71 | 59 | 85 | 80 |
| JUN | 60 | 79 | 86 | 44 | 66 | 78 | 69 | 58 | 78 | 77 |
| JUL | 60 | 88 | 115 | 45 | 67 | 81 | 77 | 63 | 80 | 88 |
| AGO | 63 | 92 | 114 | 49 | 74 | 86 | 83 | 65 | 84 | 92 |
| SEP | 65 | 89 | 96 | 47 | 77 | 86 | 82 | 65 | 88 | 89 |
| OCT | 70 | 84 | 79 | 48 | 83 | 92 | 80 | 69 | 96 | 91 |
| NOV | 65 | 78 | 76 | 47 | 81 | 91 | 77 | 67 | 93 | 89 |
| DIC | 67 | 79 | 80 | 48 | 82 | 92 | 79 | 64 | 95 | 87 |

# TEMA 3.2 INFLUENCIA DEL TIPO DE CULTIVO Y LA FASE DE DESARROLLO SOBRE LAS NECESIDADES DE AGUA

Como ya sabemos, la relación del **clima con el cultivo de referencia se cuantifica con la evapotranspiración de referencia (ETo)**. Ahora veremos cómo influye el tipo de cultivo y su fase de desarrollo en las necesidades de agua de dicho cultivo. En otras palabras, trataremos la relación existente entre la evapotranspiración del cultivo de referencia y la del cultivo en el que realmente estamos interesados, la misma que se la expresa por medio del ***coeficiente de cultivo (Kc)***, en la forma siguiente:

**ETc = ETo x Kc.**

De donde:

ETc = Evapotranspiración o necesidad de agua del cultivo (mm/día)

Kc = Coeficiente de cultivo.

ETo = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

LA ETo MULTIPLICADA POR EL COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc) = EVAPOTRANSPIRACION O NECESIDAD DE AGUA DE UN CULTIVO. (ETC.).

El coeficiente de cultivo Kc, depende fundamentalmente de: el tipo de cultivo y de la fase de desarrollo del mismo

### 3.2.1 Kc y tipo de cultivo

La duración total del ciclo (en días) es el tiempo transcurrido desde la siembra o el trasplante hasta el día en que se recolecta. Dependerá fundamentalmente de:

- tipo de cultivo y la variedad,
- clima; y,
- fecha de siembra.

En el Cuadro 3. se presenta el ciclo de los cultivos más importantes de la región Andina del Ecuador en un rango altitudinal de 2200 a 3300 msnm.

Existen también, por supuesto, otros cultivos que tienen un carácter más permanente; son los cultivos perennes que, como por ejemplo los frutales, que permanecen en el terreno durante años. El requerimiento hídrico para todo su ciclo vegetativo es mayor en unos cultivos que en otros.

Los siguientes ejemplos generados en la Estación Experimental La Argelia - Loja (1), permitirán objetivizar lo manifestado.

El consumo de agua (ETR), determinado en la parcela experimental de papa, con cuatro niveles de fertilización, bajo riego por surcos, fue de 453 mm durante los 146 días del ciclo vegetativo (junio - octubre de 1984).

En tanto que, - entre septiembre de 1983 a enero de 1984, el consumo de agua en las parcelas experimentales de fréjol y arveja, bajo riego por surcos, fue- de 254 mm y 235 mm respectivamente.

**Cuadro 3. Valores orientativos de la duración del ciclo**

| CULTIVOS | DURACION DEL CICLO (días) | CULTIVOS | DURACION DEL CICLO (días) |
|---|---|---|---|
| Avena | 120 - 150 | Maíz (choclo) | 150 - 180 |
| Alfalfa | 35 - 45 | Maíz duro | 210 - 270 |
| Ajo | 150 - 180 | Melloco | 210 - 240 |
| Arveja | 120 - 150 | Oca | 210 - 240 |
| Cebada | 120 - 150 | Fréjol | 90 - 150 |
| Cebolla Paiteña | 150 - 180 | Papa | 150 - 180 |
| Cebolla blanca | 90 - 120 | Quinua | 270 - 300 |
| Col | 120 - 150 | Remolacha | 120 - 150 |
| Coliflor | 90 - 120 | Trigo | 120 - 150 |
| Chocho | 300 - 360 | Zanahoria | 120 - 150 |
| Haba | 180 - 210 | Jícama | 300 - 360 |

### 3.2.2 Kc y la fase de desarrollo del cultivo

Un cultivo de maíz que haya alcanzado su máximo porte, necesitará más agua que cuando se encuentra en sus primeros fases de desarrollo poco después de la siembra. Cuando las plantas son todavía pequeñas, la evaporación será comparativamente más importante que la transpiración. Cuando las plantas hayan alcanzado su máximo desarrollo ocurrirá lo contrario, la transpiración será mayor que la evaporación.
En consecuencia, los cultivos difieren en sus requerimientos de agua en condiciones de pleno desarrollo; por ejemplo, un cultivo de fréjol totalmente desarrollado, con su gran superficie foliar, será capaz de transpirar y, por tanto, necesitará más agua, en esa misma fase de desarrollo que la pradera tomada como cultivo de referencia, por lo que el Kc para el fréjol será mayor que 1. Un cultivo de pepino, también totalmente desarrollado, consumirá menos agua que el cultivo de referencia, en este caso el Kc será menor que 1. Finalmente, un cultivo determinado consumirá más agua cuando está totalmente desarrollado que en época de cosecha.

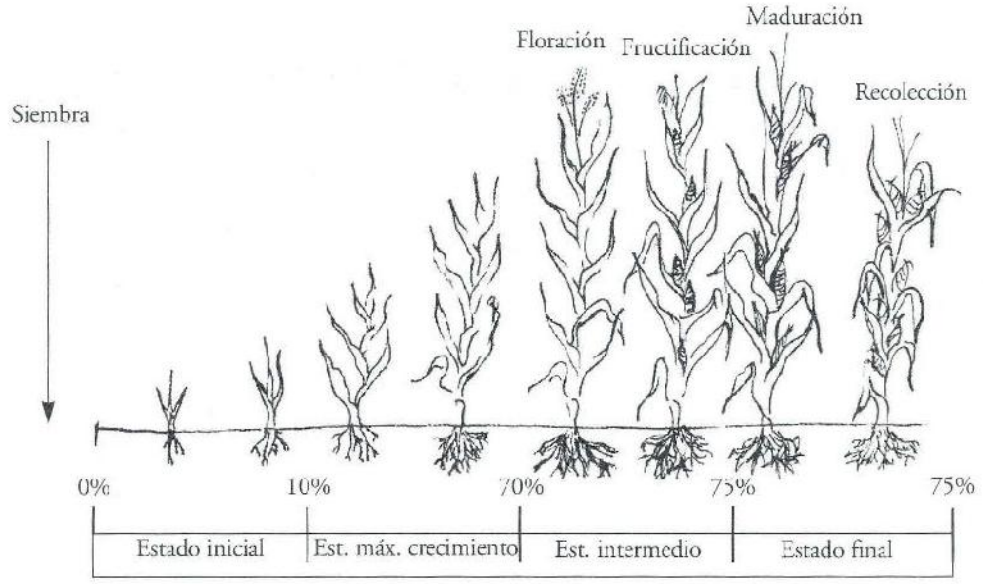
Por consiguiente, para determinar el coeficiente Kc, es necesario, para cada cultivo, conocer la longitud total de su ciclo así como las longitudes de sus diferentes fases de desarrollo.

La selección de los valores de Kc para las diferentes fases de desarrollo de los cultivos, se lleva a cabo mediante los siguientes pasos:

- Determinación del ciclo de cada cultivo.
- Determinación de las diferentes fases de desarrollo de cada cultivo.
- Determinación de los valores de Kc para cada una de las fases de desarrollo de los diferentes cultivos.

Una vez conocida la duración total del ciclo, hay que determinar la duración (en días) de las diferentes fases de desarrollo. La figura 7, muestra de manera esquemática las diferentes fases de desarrollo de un cultivo. En el módulo 2, página 71, se dio un alcance de las fases de desarrollo de los cultivos.

FIG. 7. Fases de desarrollo




- **Fase inicial:** comprende el intervalo desde la siembra o trasplante hasta que el cultivo cubra alrededor del 10 % del suelo.
- **Fase de máximo crecimiento:** comienza al final de la fase inicial y se prolonga hasta que se alcanza el 70-80 % de la cobertura del suelo; esto no quiere decir que en ese momento el cultivo haya alcanzado ya su máxima altura.
- **Fase intermedia:** que comienza al final del de máximo crecimiento y se prolonga hasta la madurez; incluye las fases de floración y de fructificación.
- **Fase final:** empieza al final de la fase intermedia y dura hasta el día de la recolección; incluye la madurez.

En relación con la fase final, que coincide con el período durante el cual el cultivo madura y es cosechado, es necesario distinguir entre dos grupos de cultivos:

- **Cultivos que se cosechan en verde:** tales como la lechuga, la col, etc., las necesidades de agua del cultivo durante la fase final continúan siendo aproximadamente las mismas que en la fase media, Los cultivos son cosechados en verde y por tanto será preciso suministrarles agua hasta el último momento.
- **Cultivos cosechados en seco:** tales como la arveja, maíz, fréjol, etc., se les deja secar durante la fase final llegando a veces incluso a morir. Por tanto, sus necesidades de agua durante la fase final son mínimas. Cuando realmente se les deja secar totalmente, las necesidades de agua son sólo del 25 % de las que se produce en la fase media o período punta. Estos cultivos no se riegan durante la fase final.

El cuadro 4 enseña la duración aproximada de las diferentes fases de desarrollo para los cultivos más importantes de la región andina del país.

## Cuadro 4. Duración aproximada de las fases de desarrollo para diferentes cultivos

| CULTIVOS | TOTAL | FASE INICIAL | FASE MAXIMO CRECIMIENTO | FASE INTERMEDIA | FASE FINAL |
|---|---|---|---|---|---|
| Avena | 120 | 15 | 25 | 50 | 30 |
| | 150 | 15 | 30 | 65 | 40 |
| Ajo | 150 | 15 | 35 | 60 | 40 |
| | 180 | 30 | 45 | 65 | 40 |
| Arveja | 120 | 20 | 35 | 45 | 20 |
| | 150 | 25 | 40 | 60 | 25 |
| Cebada | 120 | 15 | 25 | 50 | 30 |
| | 150 | 15 | 30 | 65 | 40 |
| Cebolla Paiteña | 150 | 20 | 35 | 65 | 30 |
| | 180 | 30 | 40 | 75 | 35 |
| Cebolla Blanca | 90 | 15 | 35 | 30 | 10 |
| | 120 | 15 | 30 | 55 | 20 |
| Col | 120 | 20 | 25 | 60 | 15 |
| | 150 | 25 | 35 | 75 | 15 |
| Coliflor | 90 | 15 | 35 | 30 | 10 |
| | 120 | 15 | 30 | 55 | 20 |
| Chocho | 300 | 45 | 75 | 125 | 55 |
| | 360 | 55 | 95 | 145 | 65 |
| Haba | 180 | 30 | 40 | 75 | 35 |
| | 210 | 30 | 40 | 110 | 30 |
| Jicama* | 300 | 40 | 75 | 120 | 65 |
| | 360 | 50 | 100 | 160 | 50 |
| Maíz(choclo) | 150 | 25 | 30 | 70 | 25 |
| | 180 | 30 | 50 | 65 | 35 |
| Maíz(duro) | 210 | 35 | 65 | 85 | 25 |
| | 270 | 45 | 70 | 95 | 60 |
| Melloco | 210 | 30 | 40 | 10 | 30 |
| | 240 | 45 | 65 | 100 | 30 |
| Oca* | 210 | 30 | 40 | 110 | 30 |
| | 240 | 40 | 65 | 100 | 35 |
| Fréjol | 90 | 15 | 25 | 35 | 15 |
| | 150 | 25 | 30 | 70 | 25 |
| Papa | 150 | 25 | 45 | 55 | 25 |
| | 180 | 30 | 50 | 65 | 35 |
| Quinua* | 270 | 45 | 70 | 95 | 60 |
| | 300 | 40 | 75 | 120 | 65 |
| Remolacha | 120 | 25 | 30 | 40 | 25 |
| | 150 | 25 | 35 | 70 | 20 |
| Trigo | 120 | 15 | 25 | 50 | 30 |
| | 150 | 15 | 30 | 65 | 40 |
| Zanahoria | 120 | 25 | 30 | 40 | 25 |
| | 150 | 25 | 35 | 70 | 20 |

* Cultivos producidos sobre los 3000 msnm

### 3.2.3 CÁLCULO DEL KC

Los valores de Kc para el presente curso, han sido seleccionados por el método propuesto por la FAO en la publicación No. 24 " Las necesidades de agua de los cultivos", el mismo que se describe a continuación:

El ejemplo está desarrollado para la zona de la hoya de Loja

- Altitud: 2160 msnm.
- Eto = 2.9 mm/día (promedio anual)
- HR mínima = 35 %
- Velocidad viento = 3.3 m/s(promedio anual)
- Frecuencia de riego: 7 días
- Cultivo: maíz (choclo)
- Ciclo de cultivo = 180 días
- Fecha de siembra: octubre
- Fecha de cosecha: marzo
- Duración de las fases:
  - fase inicial: 30
  - fase de máximo crecimiento: 50
  - fase intermedia: 65
  - fase final: 35

En la figura 8 se observa que el Kc. en la fase inicial para una ETo de 2.9 mm/día y una frecuencia de riego de 7 días, es de 0.58. Este valor se lo registra gráficamente en la figura 9.

Para las fases intermedia y final, en base a la humedad relativa mínima y a la velocidad media del viento del lugar, se selecciona el valor de Kc a partir del Cuadro 22 de la FAO 24.

- Kc fase intermedia: 1.15
- Fc fase final: 0.6

Para seleccionar el Kc de la fase de máximo crecimiento, se utiliza el método de interpolación. En la Figura 9 se traza una línea que una al último día de la fase inicial con el primer día de la fase intermedia (mediados de temporada). El Kc de la segunda fase es de 0.82

En el Cuadro 5 se presenta los valores de Kc, para cada uno de las cuatro fases de desarrollo de los cultivos más importantes de la Región Andina.

**Ejemplo:**

Determinar los coeficientes de cultivo (Kc).

Cultivo: maíz (choclo) Fecha de siembra: 1 octubre

Duración total del ciclo: 180 días

(de la experiencia local o Cuadro 3)

Duración estimada de las fases de desarrollo (Cuadro 4)

Fechas

| | |
|---|---|
| Fase Inicial: 30 días | 1 octubre - 1 noviembre |
| Fase de máximo crecimiento: 50 días | 2 noviembre - 21 diciembre |
| Fase intermedia: 65 días | 22 diciembre - 24 febrero |
| Fase final: 35 días | 25 febrero - 31 marzo |

Coeficientes de cultivo, Kc (Cuadro 5)

Fase inicial: 0,58

Fase de máximo crecimiento: 0,82

Fase intermedio: 1,15

Fase final: 0,60

Cuadro 5. Valores de los coeficientes de cultivo (Kc) para varios cultivos en sus diferentes fases de desarrollo

| CULTIVOS | FASE INICIAL | FASE MÁXIMO CRECIMIENTO | FASE INTERMEDIA | FASE FINAL |
|---|---|---|---|---|
| Avena | 0.35 | 0.75 | 1.15 | 0.45 |
| Ajo | 0.45 | 0.60 | 1.0 | 0.50 |
| Arveja | 0.30 | 0.70 | 1.10 | 0.30 |
| Cebada | 0.35 | 0.75 | 1.15 | 0.45 |
| Cebolla Paiteña | 0.50 | 0.70 | 1.00 | 0.80 |
| Cebolla Blanca | 0.50 | 0.70 | 1.00 | 1.00 |
| Col | 0.45 | 0.75 | 1.05 | 0.90 |
| Coliflor | 0.45 | 0.70 | 1.00 | 0.90 |
| Chocho | 0.35 | 0.65 | 0.80 | 0.40 |
| Haba | 0.50 | 0.70 | 0.90 | 0.60 |
| Jícama* | 0.45 | 0.75 | 0.90 | 0.50 |
| Maíz (choclo) | 0.58 | 0.82 | 1.15 | 0.60 |
| Maíz (duro) | 0.40 | 0.80 | 1.15 | 0.50 |
| Melloco | 0.60 | 0.75 | 1.15 | 0.75 |
| Oca* | 0.55 | 0.70 | 1.0 | 0.60 |
| Fréjol | 0.50 | 0.65 | 0.90 | 0.45 |
| Papa | 0.60 | 0.75 | 1.15 | 0.75 |
| Quinua* | 0.35 | 0.75 | 1.15 | 0.45 |
| Remolacha | 0.45 | 0.75 | 1.05 | 0.90 |
| Trigo | 0.35 | 0.75 | 1.15 | 0.45 |
| Zanahoria | 0.45 | 0.75 | 1.05 | 0.90 |

* Cultivos producidos sobre los 3000 msnm.

FIG. 8. Kc medio en la fase inicial, en función del nivel medio de la Eto (durante la fase inicial) y la frecuencia de riego o de unas lluvias apreciables

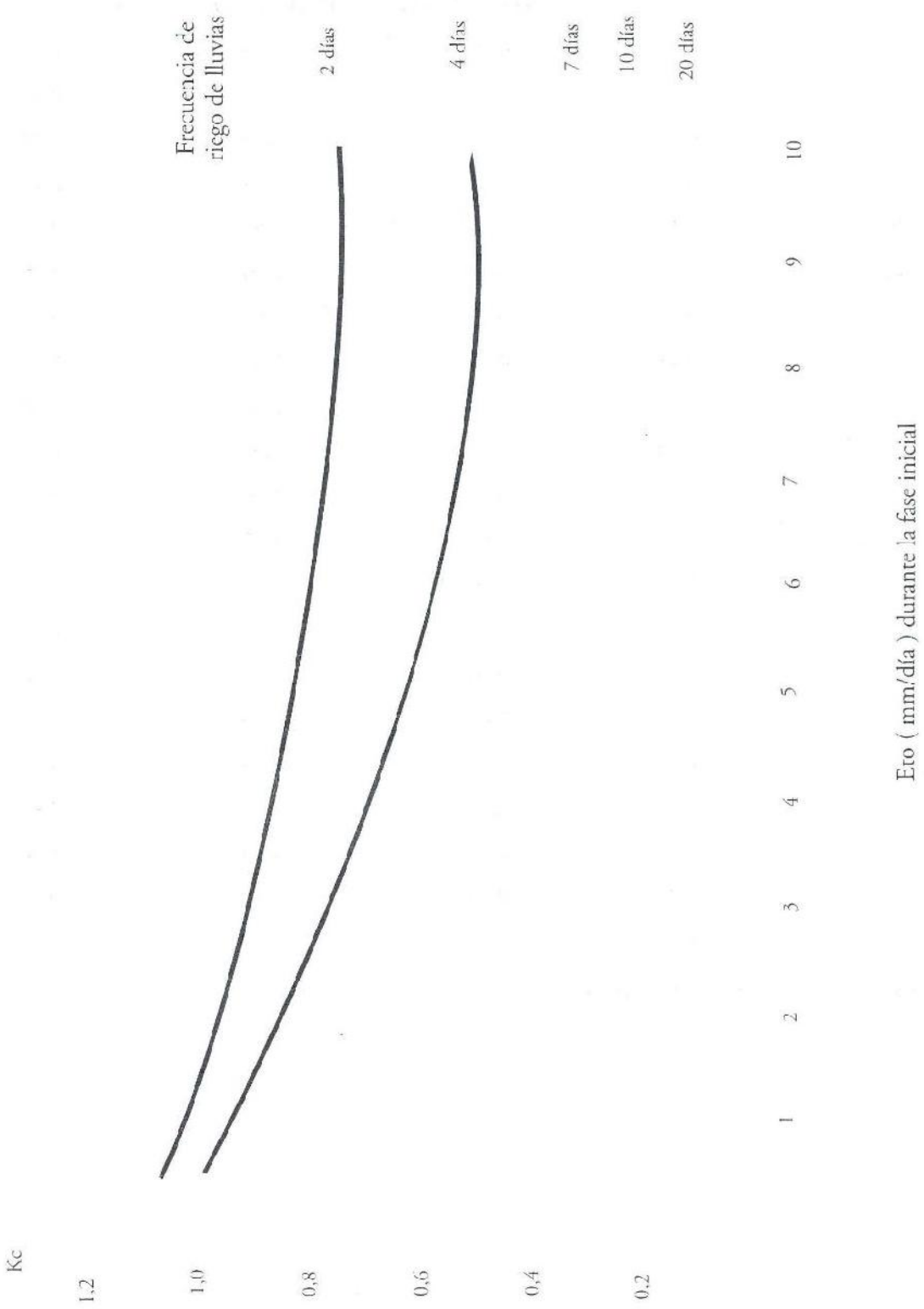
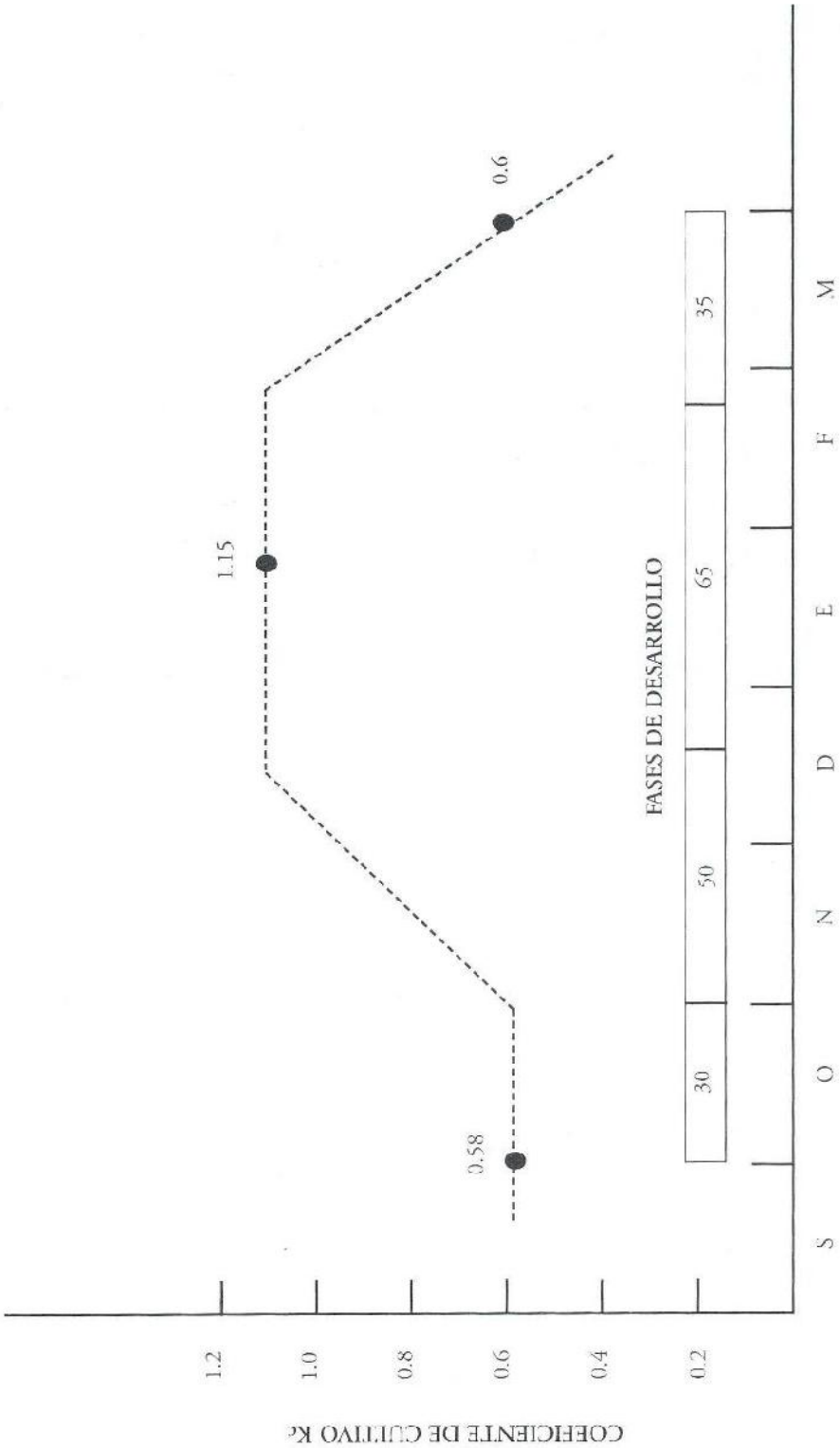


FIG. 9. Curva del coeficiente del cultivo



## 3.2.4 Cálculo de las necesidades de agua de los cultivos

El cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos es muy importante para la definición del diseño, construcción, manejo, operación y evaluación de los sistemas de riego.

Para el cálculo de las necesidades de agua de un cultivo (ETc). para períodos mensuales, se usa la fórmula ya conocida:
ETc = ETo x Kc

En donde:

- ETc = Evapotranspiración o necesidad de agua del cultivo (mm/día)
- Kc = Coeficiente de cultivo.
- ETo = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Ejemplo tipo, sobre las necesidades hídricas del cultivo de papa.

| MES | may. | jun. | jul. | ago. | sep. | oct. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.8 | 2.9 | 3.0 |
| ETo(mm/día) | | | | | | |
| Humedad media: (60 %) | | | | | | |
| Velocidad de Viento: media (3 m/s) | | | | | | |
| Duración de la fase (desde siembra): 180 días | | | | | | |
| Fecha de Siembra: 2 de mayo. | | | | | | |

Paso 1: Estimar la duración de cada una de las fases de desarrollo usando el Cuadro 4.

| Cultivo | Duración Ciclo(días) | Fase Inicial | Fase Máx. Crec. | Fase Interm. | Fase Final |
|---|---|---|---|---|---|
| Papa | 180 | 30 | 50 | 65 | 35 |

Paso 2: Indicar sobre una tabla, los valores de ETo y la duración de las fases de desarrollo.

Paso 2: Indicar sobre una tabla, los valores de ETo y la duración de las fases de desarrollo.

**CULTIVO: Papa** **FECHA DE SIEMBRA: 2 de mayo**

| MES | may. | jun. | jul. | ago. | sep. | oct. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.8 | 2.9 | 3.0 |
| ET o | | | | | | |
| (mm/día) | | | | | | |
| Fase | | | | | | |
| Desarrollo | | | | | | |
| Fecha de Siembra: 2 de mayo | | | | | | |
| Fase inicial, 30 días: 2 de mayo - 2 de junio | | | | | | |
| Fase Máximo crecimiento, 50 días: 3 de junio - 22 de julio | | | | | | |
| Fase intermedio, 65 días: 23 de julio - 25 de septiembre | | | | | | |
| Fase final, 35 días: 26 de septiembre - 31 de octubre | | | | | | |

Paso 3. Estimar los valores de Kc, para cada uno de las cuatro fases, usando el Cuadro 5.

Kc, fase inicial = 0,60

Kc, fase máximo crecimiento = 0,75

Kc, fase intermedio = 1,15

Kc, fase final = 0,75

Los valores de Kc pueden tabularse en la forma siguiente:

**CULTIVO: Papa** **FECHA DE SIEMBRA: 2 de mayo**

| MES | may. | jun. | jul. | ago. | sep. | oct. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.8 | 2.9 | 3.0 |
| ETo | | | | | | |
| (mm/día) | | | | | | |
| Fase | | | | | | |
| Desarrollo | | | | | | |
| Valores de Kc. | | | | | | |

Se puede observar en el cuadro precedente, que los meses y las fases de desarrollo no se corresponden. Por tanto, tampoco se corresponden los valores de Kc y ETo.

Así pues, la ETc = (ETo x Kc) tiene que ser determinada en base mensual. Esto obliga a calcular unos valores mensuales de Kc.

Kc (mayo) = 0,60

junio: 2 días: Kc = 0.60

28 días: Kc = 0,75

Kc (junio): Kc = 2 /30 x 0,60 + 28/30 x 0,75 = 0,04 + 0,70 = 0,74

julio: 22 días: Kc = 0,75

8 días: Kc = 1,15

Kc (julio): Kc = 22/30 x 0,75 + 8/30 x 1,15 = 0,55 + 0,31 = 0,86

agosto. Kc = 1,15

septiembre 25 días: Kc = 1,15

5 días: Kc = 0,75

Kc (septiembre): Kc = 25/30 x 1,15 + 5/30 x 0,75 = 0,96 + 0,12 = 1,1.

octubre. Kc: 0.75

**En resumen:**

**CULTIVO: Papa** **FECHA DE SIEMBRA: 2 de mayo**

| **MES** | **may.** | **jun.** | **jul.** | **ago.** | **sep.** | **oct.** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.8 | 2.9 | 3.0 |
| ETo | | | | | | |
| (mm/día) | | | | | | |
| Fase | | | | | | |
| Desarrollo | | | | | | |
| Valores de Kc. | | | | | | |
| Kc mensual | 0.60 | 0.74 | 0.86 | 1.15 | 1.1 | 0.75 |

Paso 4: Encontrar en base mensual, las necesidades de agua del cultivo, usando la fórmula:

**ETC = ETo x Kc.**

mayo: ETc = 2.6 x 0.60 = 1.56 mm/día

junio: ETc = 2.6 x 0.74 = 1.92 mm/día

julio: ETc = 2.6 x 1.43 = 3.72 mm/día

agosto: ETc = 2.8 x 1.15 = 3.22mm/día

septiembre: ETc = 2.9 x 1.1 = 3.2 mm/día

octubre: ETc = 3.0 x 0.75 = 2.25 mm/día

En resumen:

**CULTIVO: Papa** **FECHA DE SIEMBRA: 2 de mayo**

| MES | may. | jun. | jul. | ago. | sep. | oct. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.8 | 2.9 | 3.0 |
| ETo | | | | | | |
| (mm/día) | | | | | | |
| Fase | | | | | | |
| Desarrollo | | | | | | |
| Valores de Kc. | | | | | | |
| Kc mensual | 0.60 | 0.74 | 0.86 | 1.15 | 1.1 | 0.75 |
| ETc (mm/día) | 1.56 | 1.92 | 3.72 | 3.22 | 3.20 | 2.25 |

Paso 5. Calcular las necesidades de agua mensuales y estacionales.

NOTA: Los meses se contabilizan como de treinta días.

mayo: ETc = 30 x 1.6 = 48 mm/mes

junio: ETc = 30 x 1.9 = 57 mm/mes

julio: ETc = 30 x 3.7 = 111 mm/mes

agosto: ETc = 30 x 3.2 = 96 mm/mes

septiembre: ETc = 30 x 3.2 = 96 mm/mes

octubre: ETc = 30 x 2.3 = 69 mm/mes

Las necesidades globales de agua de este cultivo para el total de su ciclo es de 477 mm.

En resumen:

**CULTIVO: Papa** **FECHA DE SIEMBRA: 2 de mayo**

| MES | may. | jun. | jul. | ago. | sep. | oct. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.8 | 2.9 | 3.0 |
| ETo | | | | | | |
| (mm/día) | | | | | | |
| Fase | | | | | | |
| Desarrollo | | | | | | |
| Valores de Kc. | | | | | | |
| Kc mensual | 0.60 | 0.74 | 0.86 | 1.15 | 1.1 | 0.75 |
| ETc (mm/día) | 1.56 | 1.92 | 3.72 | 3.22 | 3.20 | 2.25 |
| ETc (mm/mes) | 48 | 57 | 111 | 96 | 96 | 69 |

## 3.2.5 La necesidad de regar

La agricultura es la mayor consumidora de agua en desarrollo y por consiguiente, el hombre enfrenta el reto de utilizarla en forma eficiente. El uso racional del agua de riego solo puede lograrse entre otras cosas, por medio de una planificación realmente eficaz del aprovechamiento de la misma en la producción agropecuaria.

El agua, necesaria para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, puede llegar a éstos de diferentes formas: lluvia, riego o por precipitación más el riego.

En la posibilidad de que toda el agua requerida para la producción de los cultivos venga por medio de la lluvia, el riego no será necesario, por lo tanto las necesidades de agua de riego (NR) serán igual a cero: NR = 0.

Por otro lado, cuando no existen precipitaciones para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, el agua requerida deberá ser suministrada por medio del riego. Aquí, **las necesidades de agua de los cultivos (ETc) son iguales a las necesidades de agua de riego (NR): NR = ETc.**

Finalmente, la tercera posibilidad y la más frecuente, es cuando se debe aplicar agua suplementaria a la aportada por las lluvias, **las necesidades de agua de riego (NR) resultan de la diferencia entre las necesidades de agua del cultivo (ETc) y la precipitación efectiva: NR = ETc - Pe.**

En resumen:

- Si la lluvia es suficiente: NR = 0
- Si hay ausencia total de lluvia : NR = ETc
- hay el aporte de las dos anteriores: NR = ETc - Pe.

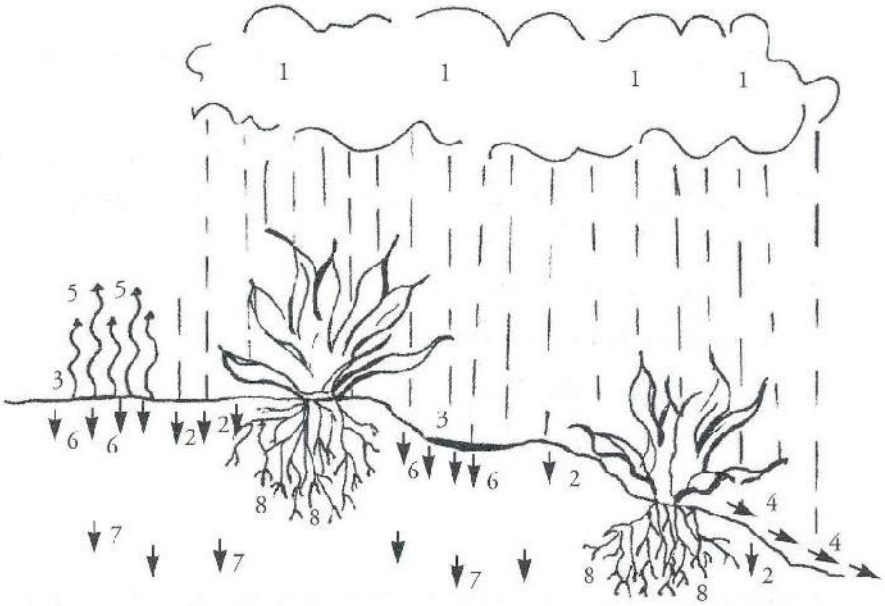
## 3.2.6 Determinación de la precipitación efectiva

En el momento de que el agua de lluvia llega al suelo, (1) en la figura 8, parte se infiltra (2), otra porción se estanca en la superficie (3) y el resto se convierte en escorrentía superficial (4).

Luego de la lluvia, parte del agua estancada en la superficie(3) se evapora (5), mientras que el resto se infiltra lentamente en el suelo (6).

Del total del agua infiltrada (2) y (6), parte percola por debajo de la zona radicular(7), mientras que el resto permanece almacenada en dicha zona (8).

FIG. 10. Precipitación Efectiva




Consecuentemente, la precipitación efectiva (8) será la lluvia total (1) menos la escorrentía superficial (4) menos la evaporación (5) y menos la percolación profunda (7); sólo el agua retenida en la zona enraizada (8) podrá ser usada por las plantas, y representa la llamada porción efectiva del total de agua lluvia.

Precipitación Efectiva (8) = (1) - (4) - (5) - (7)

Como precipitación efectiva, se entiende el agua de lluvia que estará realmente disponible para satisfacer al menos parte de las necesidades de agua de los cultivos.

En definitiva, la precipitación efectiva es mayor:

- en suelos planos Vs. suelos inclinados.
- en suelos secos Vs. suelos húmedos.
- proporcionalmente, cuando P es pequeño Vs. Grande.

Para estimar la precipitación efectiva, están en uso algunas fórmulas, ninguna de ellas calibradas para el Ecuador. Asumimos una de las fórmulas propuesta por la FAO en el programa CROPWAT, fórmula que también se la sugiere en el Módulo 3 (Metodologías, Análisis y Diagnósticos de Sistemas de riego Campesino) de la Unidad 5 [¿No será en la unidad cinco del módulo tres?] . denominada

"Introducción al análisis de los sistemas familiares de producción", Página 76. La fórmula en referencia es la siguiente:

Precipitación mensual efectiva = Precipitación mensual x 0.7

Sin embargo, esta fórmula solamente puede dar estimaciones razonables en pocos casos prácticos, pues es demasiado sencilla para ser correcta, debido a que ignora parámetros y variables tales como:

- inclinación del terreno
- capacidad de infiltración del terreno
- humedad inicial del suelo
- intensidad de precipitación.

**Ejercicio:**

Calcular la precipitación efectiva para los siguientes valores de precipitación mensual: P = 35, 90, 116, 5, 260, 75 mm.

**Respuestas:**

| P (mm/mes) | Pe (mm/mes) |
|---|---|
| 35 | 24.5 mm |
| 90 | 63.0 " |
| 116 | 81.2 " |
| 5 | 3.5 " |
| 260 | 182 " |
| 75 | 52.5 " |

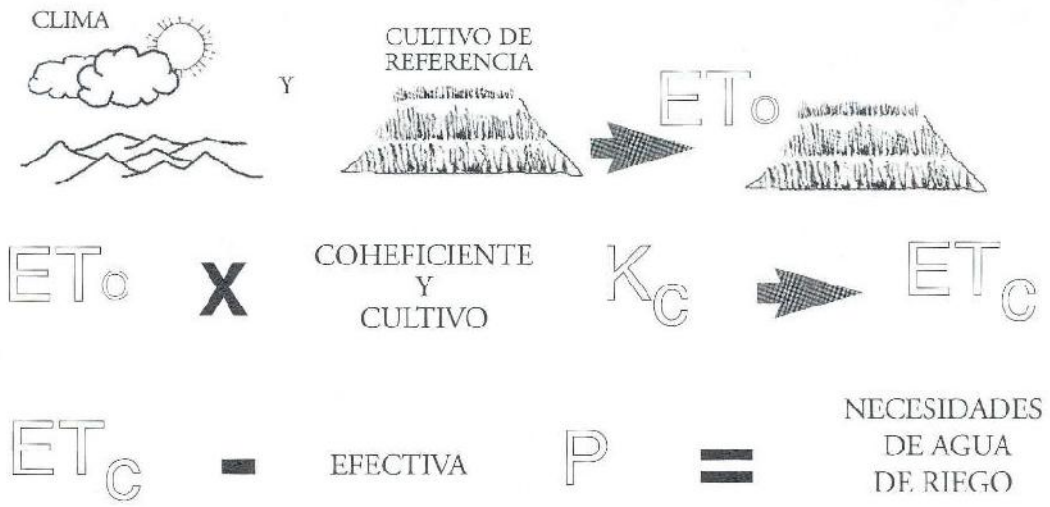
## 3.2.7 Cálculo de las necesidades netas de agua de riego

El siguiente ejemplo ilustra el procedimiento de cálculo de las necesidades de agua de riego:

| MES | feb. | marz | abr. | may. | jun. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| ETc (mm/mes) | 70 | 98 | 145 | 177 | 190 |
| P (mm/mes) | 80 | 57 | 40 | 33 | 20 |
| Pe (mm/mes) | 56 | 40 | 28 | 23 | 14 |
| NR (mm/mes) | 14 | 58 | 117 | 154 | 176 |
| NR (mm/día) | 0.50 | 1.9 | 3.8 | 5.0 | 5.9 |

En la figura 11 se presenta un esquema gráfico de la determinación de las necesidades de agua de riego.

**FIG. 11. Esquemas gráficos de la determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo), las necesidades de agua de un cultivo (ETc) y las necesidades de agua de riego**




## 3.2.8 Cálculo de las necesidades brutas de agua de riego

Para conocer cuál es la lámina real de riego que se deberá aplicar al suelo, es necesario previamente conocer la eficiencia del riego.

### Eficiencias de riego

Las eficiencias de riego comúnmente conocidas son las técnicas: captación, conducción y aplicación. En la región andina es necesario considerar otras eficiencias, tanto para entender sistemas existentes de riego, como para proyectar y diseñar nuevos sistemas. El Dr. Bruno Kervin en el Perú, ha desarrollado un nuevo concepto sobre las eficiencias en un sistema de riego, las mismos que son las siguientes:

- **Eficiencia técnica.** Se refiere hasta donde se minimiza las pérdidas de agua de captación, conducción y aplicación en la parcela.

- **Eficiencia social.** Hasta qué nivel se minimiza los costos de transacción del agua de uno a otro. Son costos sociales en el sentido de esfuerzos organizativos que hay que hacer entre individuos y a nivel de la organización comunal.
- **Eficiencia de flexibilidad.** Hasta qué nivel se facilita ágilmente el riego de cultivos con diferentes consumos de agua y de suelos con diferentes aspectos hidráulicos.
- **Eficiencia Técnica.** Para expresar el porcentaje de agua que se usa realmente y qué porcentaje se pierde, se utiliza el término eficiencia de riego.

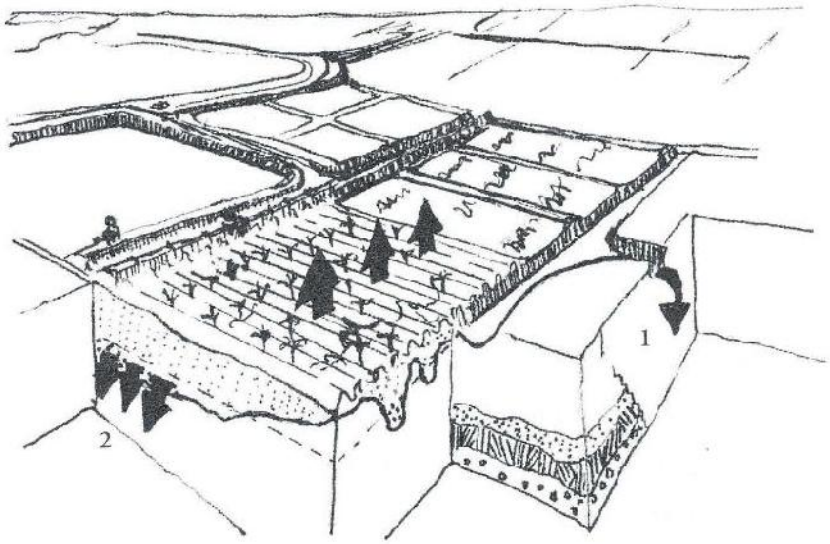
Se denomina eficiencia de riego del sistema (%) a aquella parte del agua que se deriva o bombea de una fuente y que es utilizada efectivamente por las plantas.

No toda el agua que se capta de una fuente (río, quebrada o pozo), llega a la zona radicular de las plantas. Las pérdidas de agua en el predio ocurren en la conducción y distribución, en la red de canales, eventualmente en reservorios y en la aplicación al suelo; así como en un embalse predial de regulación.

La Figura 12 muestra las pérdidas en los canales, éstas se deben a:

- Evaporación de la superficie del agua.
- Percolación profunda en el perfil del suelo debajo de los canales
- Pérdidas por filtraciones en los taludes de los canales.
- Rebases de los taludes de los canales.
- Roturas de los taludes.
- Descargas en los drenajes y desagües.
- Agujeros en los taludes realizados por roedores.

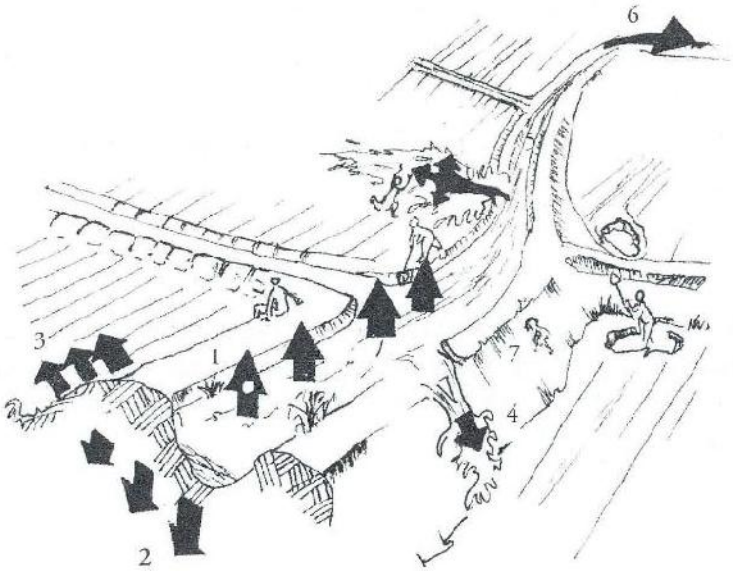
FIG.12. Pérdida de agua en los canales




En el riego por superficie, existen tres tipos de pérdidas:

- evaporación,
- percolación profunda; y,
- escurrimiento superficial.

FIG. 13. Pérdida de agua en los campos



Las pérdidas por evaporación normalmente son muy inferiores a las otras dos, y no se la toma en cuenta para el cálculo. La percolación profunda es el agua que se infiltra por debajo de la zona de las raíces. Su expresión matemática es una aproximación válida, únicamente cuando al final del surco se ha infiltrado la lamina neta, y es la siguiente:

$$Wper = 0,5(Icum - ln)w\ L$$

De donde:

Wper – Pérdida de percolación profunda en m_.

Icum = Lámina infiltrada en el inicio del surco en m.

ln = Lámina neta requerida en m.

w = Distancia entre surcos en m.

L = Longitud del surco en m.

La pérdida por escurrimiento superficial es el agua que sale al pie del surco. Se representa por la fórmula siguiente:

Wesc = QescTesc

Donde:

Qesc = Caudal medio de escurrimiento al del surco en m_/s.

Tesc = Tiempo en que se da el escurrimiento en s (segundos).

La eficiencia de riego del sistema se divide en:

- **Eficiencia de conducción (ec):** que representa la eficiencia del transporte del agua de riego a través de los canales, y;
- **Eficiencia de aplicación parcelaria** (ea): que representa la eficiencia de aplicación a nivel de campo.

La eficiencia de conducción (ec), depende básicamente de la longitud de los canales, del tipo de suelo o de la permeabilidad de los taludes y soleras de los canales y del estado de los mismos; y, de la operación y mantenimiento del sistema.

En el Cuadro 6. se muestran valores indicativos de la eficiencia de conducción (Ec), considerando la longitud de los canales y el tipo de suelo donde fueron construidos. El nivel de mantenimiento no es tomado en consideración y se puede admitir que una mala conservación hace bajar los valores de la tabla hasta en 50 %.

La eficiencia de aplicación parcelaria (ea) depende fundamentalmente del método de riego, topografía, tipo de suelo, nivel de conocimientos y disciplina del agricultor y del diseño y operación del riego.

**Cuadro 6. Valores indicativos de la eficiencia de conducción (ec)**

**Para canales conservados adecuadamente**

| Longitud de canales | Arena | Franco | Arcilla | C. Rev |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Largos (>2000 m) | 60% | 70% | 80% | 95% |
| Medianos (200 a 2000 m) | 70% | 75% | 85% | 95% |
| Cortos (< 200 m) | 80% | 85% | 90% | 95% |

Como se puede observar, en las dos clases de eficiencias (conducción y aplicación), está presente la parte sociorganizativa de la comunidad en las diferentes fases del proyecto. En el Cuadro 7. se dan algunos valores indicativos de la eficiencia de aplicación.

**Cuadro 7. Valores indicativos de la eficiencia de aplicación (ea)**

| Método de riego | Eficiencia de Aplicación | |
|---|---|---|
| | | |
| Riego, Superficial (surcos, melgas etc) | 20 % | 60 % |
| Riego por Aspersión | 75 % | |
| Riego por Goteo | 90 % | |

Una vez que se ha determinado la eficiencia de aplicación parcelaria, la eficiencia del esquema (E), puede ser calcula por medio de la fórmula siguiente:

$$E = \frac{ec \times ea}{100}$$

De donde:

E = Eficiencia de riego del sistema (%)

ec = Eficiencia de conducción (%)

ea = Eficiencia de aplicación (%) (Brouwer, 1987)

**Ejemplo:**

Estimar la eficiencia de un proyecto de riego, de un sistema de canales largos. Estos están construidos en arcilla y el método de riego utilizado es por surcos. El mantenimiento de los canales es el adecuado.

Para conocer la eficiencia de conducción, utilizamos el cuadro 6: ec = 80 %

Del cuadro 7, obtenemos la eficiencia de aplicación parcelaria: ea = 60 %

De lo anterior, la eficiencia del sistema de riego será:

E = (ec x ea)/100 = 80 x 60 /100 = 48 %

## Cálculo de las necesidades brutas(NB), volumen mensual requerido (VM) y de la dotación de riego (DR)

En base al ejemplo del cálculo de las necesidades netas de agua y tomando como referencia la misma eficiencia del sistema de riego (48 %), tenemos lo siguiente:

| MES | feb. | marz | abr. | may. | jun. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| ETc (mm/mes) | 70 | 98 | 145 | 177 | 190 |
| P (mm/mes) | 80 | 57 | 40 | 33 | 20 |
| Pe (mm/mes) | 56 | 40 | 28 | 23 | 14 |
| NR (mm/mes) | 14 | 58 | 117 | 154 | 176 |
| NR (mm/día) | 0.50 | 1.9 | 3.8 | 5.0 | 5.9 |
| NB *mm/mes) | 29 | 121 | 244 | 320 | 367 |
| VM (m3/ha/mes) | 290 | 1210 | 2440 | 3200 | 3670 |
| DR(l/s/ha) | 0.12 | 0.58 | 0.94 | 1.19 | 1.41 |

El mes de junio es el de máximo consumo, con un caudal continuo de 1,41 l/s/ha; el mismo que está en relación a la mayor evapotranspiración del cultivo y a la menor precipitación efectiva.

Si una finca, tiene una superficie de 25 ha y en la misma se implantan varios cultivos, a efecto del diseño del sistema de riego se deberá escoger por seguridad (independientemente de la zonificación del patrón de cultivos) la dotación de riego más alta, la misma que deberá con toda seguridad ubicarse en la época pico o de máxima demanda (en donde la evapotranspiración del cultivo sea mayor a la precipitación efectiva).

Supongamos que nuestro ejemplo haya resultado el de mayor dotación de riego (1,41 l/s/ha) frente al resto de cultivos; el caudal de diseño deberá ser de:

1,41 l/s/ha x 25 ha = 35,25 l/s

Para los cálculos hay que recordar: 1 mm = 10 m_/ha 1 m_ = 1000 litros

## 3.2.9 Determinar la ETo, por medio del método del tanque evaporímetro

Tipo de Tanque: Clase A.

cuadro

**Mes: Marzo**

| Día (mm) | Profundidad | Lluvia recogida (mm) | Ep (mm) | ETo (mm) | Día | Profundidad | Lluvia recogida (mm) | Ep (mm) | ETo (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 155,0 | - | 6,0 | 4,2 | 17 | 151,9 | 19,6 | 3,9 | 2,7 |
| 2 | 149,0 | 2,1 | 5,9 | 4,1 | 18 | 167,6 | 25,4 | 3,5 | 2,5 |
| 3 | 145,2 | 3,2 | 7,6 | 5,3 | 19 | 189,5 | 33,1 | 3,0 | 2,1 |
| 4 | 140,8 | - | 7,7 | 5,4 | 20 | 219,6/156,1** | 14,1 | 4,2 | 2,9 |
| 5 | 133,1 | - | 7,4 | 5,2 | 21 | 166,0 | - | 5,8 | 4,1 |
| 6 | 125,7 | - | 6,8 | 4,8 | 22 | 160,2 | - | 6,7 | 4,8 |
| 7 | 118,9 | - | 7,7 | 5,4 | 23 | 153,5 | - | 7,4 | 5,2 |
| 8 | 111,2 | - | 5,9 | 4,1 | 24 | 146,1 | - | 7,6 | 5,3 |
| 9 | 105,3 | - | 5,9 | 4,1 | 25 | 138,5 | - | 7,3 | 5,1 |
| 10 | 99,4/157,0* | 3,6 | 6,5 | 4,6 | 26 | 131,2 | - | 8,1 | 5,7 |
| 11 | 154,1 | - | 7,1 | 5,0 | 27 | 123,1 | - | 8,2 | 5,7 |
| 12 | 147,0 | - | 7,7 | 5,4 | 28 | 114,9 | - | 7,6 | 5,3 |
| 13 | 139,3 | - | 7,8 | 5,5 | 29 | 107,3 | - | 7,3 | 5,1 |
| 14 | 131,5 | - | 6,2 | 4,3 | 30 | 100,0 | 12,0 | 6,1 | 4,3 |
| 15 | 125,3 | 14,1 | 6,5 | 4,6 | 31 | 105,9 | - | 7,4 | 5,2 |
| 16 | 132,9 | 23,8 | 4,8 | 3,4 | | Siguiente mes | - | | |

Nota: La diferencia entre la profundidad del agua en los días 1 y 2, más la lluvia caída durante el día 1 es la Ep para el día 1.

* Se añadieron 57,6 mm de agua.
** Se añadieron 63,5 mm de agua.

## 3.2.10 Cálculo de la temperatura media mensual: Tmax Y Tmin

| Día | Tmáx. (°C) | Tmin. (°C) | Día | Tmáx. (°C) | Tmin. (°C) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 34,6 | 23,2 | 16 | 37,5 | 25,8 |
| 2 | 35,6 | 24,1 | 17 | 37,7 | 25,8 |
| 3 | 35,9 | 24,6 | 18 | 37,1 | 25,5 |
| 4 | 36,5 | 24,9 | 19 | 36,9 | 25,6 |
| 5 | 37,1 | 25,4 | 20 | 36,5 | 25,4 |
| 6 | 37,0 | 25,3 | 21 | 36,0 | 24,8 |
| 7 | 37,6 | 26,0 | 22 | 35,1 | 24,0 |
| 8 | 37,3 | 25,5 | 23 | 35,5 | 24,1 |
| 9 | 37,1 | 25,3 | 24 | 35,9 | 24,4 |
| 10 | 36,0 | 24,5 | 25 | 36,1 | 24,4 |
| 11 | 35,9 | 24,3 | 26 | 36,5 | 25,0 |
| 12 | 35,5 | 23,9 | 27 | 37,0 | 25,5 |
| 13 | 36,6 | 25,1 | 28 | 37,1 | 25,6 |
| 14 | 37,4 | 25,5 | 29 | 37,5 | 25,8 |
| 15 | 37,6 | 26,0 | 30 | 37,1 | 25,5 |
| | | | 31 | | |

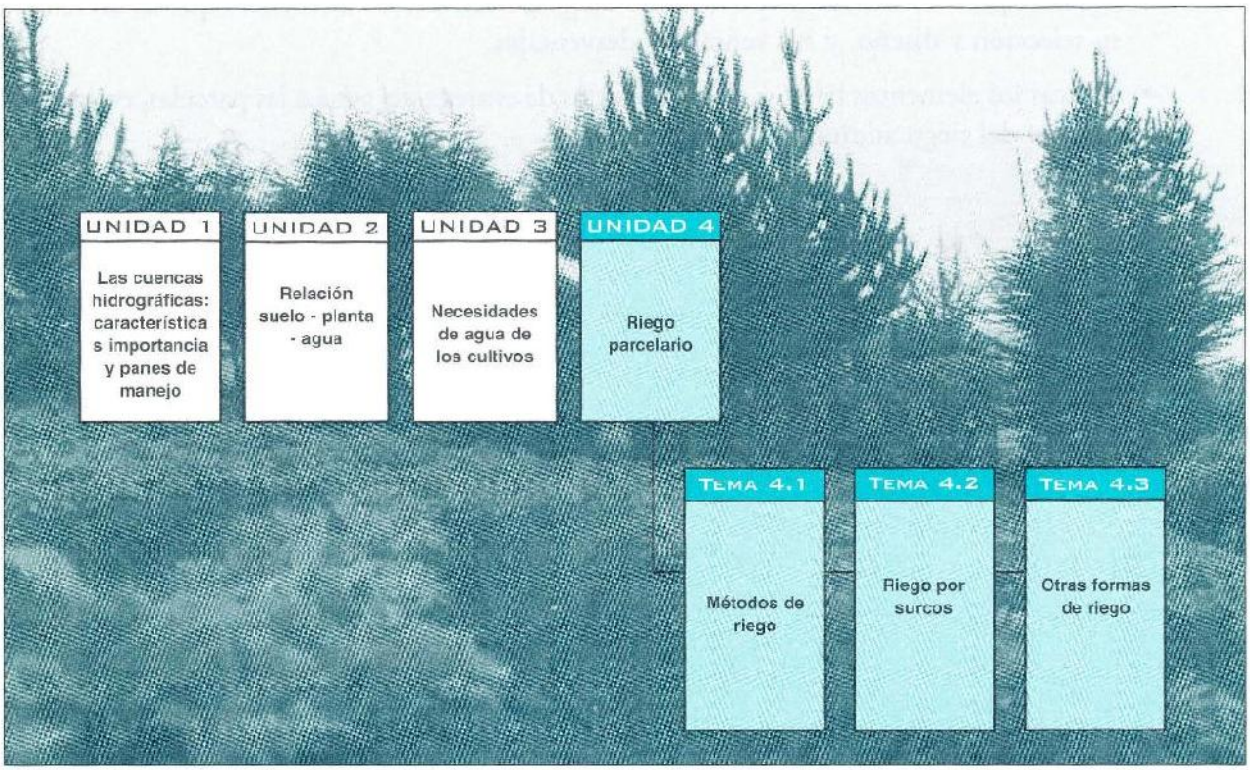
Calcular: Suma de Tmáx. = 1097,2

Suma de Tmin. = 750,8

$$\text{Tmáx. media} = \frac{\text{Suma de T máx.}}{\text{número de días del mes}} = \frac{1097{,}2}{30} = 36{,}6^{\circ}C$$

$$\text{Tmin media} = \frac{\text{Suma de T min.}}{\text{número de días del mes}} = \frac{750{,}8}{30} = 25{,}0\ \ 248^{\circ}C$$

# Riego parcelario




## Resumen

La presente unidad se ha estructurado en cuatro temas. El primero se refiere a las generalidades sobre los métodos de riego parcelario: por superficie, aspersión, goteo y riego subterráneo.

El segundo tema aborda el riego por surcos y los factores que lo condicionan: suelo, pendiente y tipo de cultivo; así como los elementos correspondientes a las características de los surcos: forma, espaciamiento, longitud y caudal. Se avanza la temática con las formas de humedecimiento, las fases de riego, la construcción de surcos, especialmente en terrenos inclinados y las técnicas de plantación. Finalmente se trata la evaluación de la eficiencia del riego por surcos.

En el tercer tema se estudian otros métodos de riego superficial de interés: melgas, inundación y desbordamiento.

El cuarto tema se refiere al riego por presión; en la primera parte se estudia la aspersión, las condiciones para su utilización, las ventajas y desventajas, los elementos básicos, tales como: presión, altura de agua, descarga, disposición del sistema, intensidad de precipitación, fuente de agua, fuente de energía, sistema de distribución de agua, aspersores y accesorios, tipos de sistemas de riego por aspersión, uniformidad de distribución, la evaluación de la eficiencia del riego por aspersión y las recomendaciones de operación y mantenimiento. En la segunda parte se concluye con las nociones del riego por goteo, sus ventajas y desventajas más importantes.

## Objetivo de aprendizaje

- Apreciar para los diferentes métodos de riego parcelario, los elementos que intervienen en su selección y diseño, y sus ventajas y desventajas.
- Aplicar los elementos básicos de los métodos de entrega de agua a las parcelas, en la gestión integral del riego andino.

# TEMA 4.1 MÉTODOS DE RIEGO

El riego consiste en dar agua a los cultivos en las épocas más críticas de su período vegetativo, por medio de un determinado método, para compensar el déficit creado en el suelo por la evapotranspiración.

El método de riego es la manera de aplicar el agua en las parcelas.

Existe en el mundo, una gran variedad de métodos de riego, cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas; por consiguiente, para seleccionar el método que mejor se adapte a las condiciones biofísicas, sociales, económicas, y ambientales, específicas de un área determinada, es necesario conocer sus particularidades.

Una clasificación general de los métodos de riego no puede darse en forma precisa; sin embargo, a continuación se presenta la siguiente clasificación práctica.

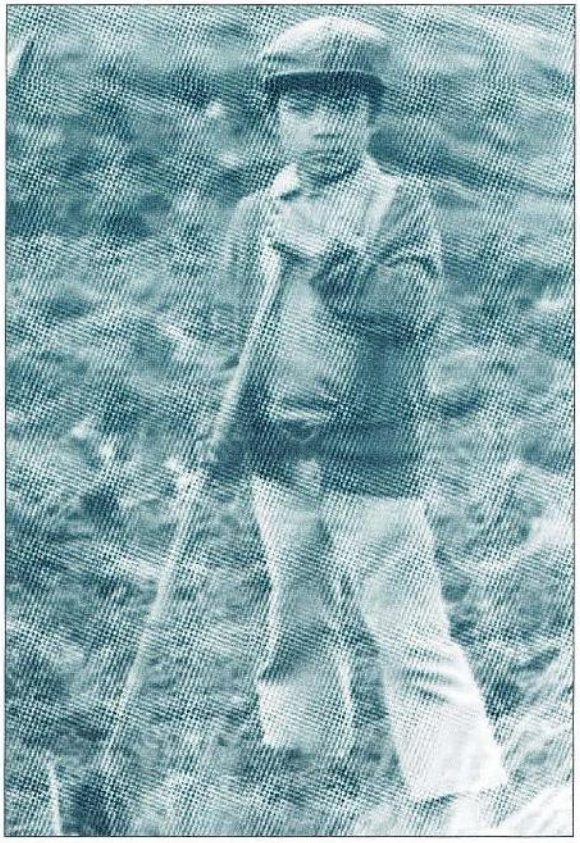
## 4.1.1 Riego por superficie

La forma tradicional de aplicar agua al suelo a fin de regar, lo constituye el riego por superficie, también llamado por gravedad.

## Tabla 1. Adaptación, limitaciones y ventajas de los métodos de riego por superficie

| | Adaptación | Limitación | Ventajas |
|---|---|---|---|
| **Surcos rectos** | 1. Todos los cultivos en hileras y frutales<br>2. Todos los suelos regados<br>3. Pendiente hasta el 3%, óptima 0.2% | 1. Requerimientos moderados de mano de obra para riego.<br>2. Algo de pérdidas por escurrimiento, generalmente se requiere para uniforme aplicación del agua.<br>3. Peligro de erosión pluvial con pendientes fuertes. | 1. Uniforme aplicación de agua.<br>2. Alta eficiencia de aplicación de agua.<br>3. Buen control sobre el agua de riego.<br>4. Equipos de control, como tubos, sifones y compuertas, disponibles a bajo costo. |
| **Surcos en contorno** | 1. Todos los cultivos en hileras y frutales.<br>2. Todos los suelos regados.<br>3. Pendiente entre 2% y 15%, mejor pendientes menores del 8%. | 1. Requerimientos elevados de mano de obra.<br>2. Ofrece peligro de erosión en terrenos muy pendientes.<br>3. No es conveniente en suelos que se agrietan al secarse o muy arenosos.<br>4. Dificultad para las labores culturales y de cosecha. | 1. No requiere más que un trabajo de emparejamiento del terreno.<br>2. Bajos costos de mantenimiento. |
| **Corrugación** | 1. Cultivos de siembra densa (pastos y cereales).<br>2. Todos los suelos irrigables.<br>3. Pendiente hasta el 10%. | 1. Requerimientos de mano de obra para el riego: mecianamente elevados.<br>2. Se requieren recorridos cortos en suelos de alta velocidad de infiltración.<br>3. Terreno desparejo: favorece deterioro de la maquinaria agrícola | 1. Aumento de eficiencia y uniformidad con relación al método por desbordamiento en terrenos ondulados.<br>2. Mejora la inundación de las melgas en tierras nuevas.<br>3. Se puede regar con caudales reducidos. |
| **Melgas rectangulares** | 1. Cultivos de siembra densa (pastos y cereales)<br>2. Todos los suelos irrigables.<br>3. Pendiente hasta el 1 1/2%, óptima 0.2%. | 1. Se requiere trabajos importantes de nivelación.<br>2. Se requieren relativamente grandes caudales.<br>3. Los suelos poco profundos no pueden ser nivelados económicamente. | 1. Alta eficiencia de aplicación con buen proyecto y operación, independiente del tipo de suelo.<br>2. Eficiente en el uso de la mano de obra durante el riego.<br>3. Bajos costos de mantenimiento.<br>4. Buen control sobre el agua de riego. |
| **Melgas en contorno** | 1. Especialmente para cultivos de arroz, pastos y cereales.<br>2. Suelos de textura de media a fina.<br>3. Pendiente inferior al 1%, preferiblemente menos del 0.5%. | 1. Se requieren grandes caudales.<br>2. No se puede utilizar en cultivos sensibles a la inundación.<br>3. Los camellones estorban las labores de cultivo y cosecha.<br>4. El agua debe ser de calidad buena a excelente para evitar acumulación de sales.<br>5. Baja eficiencia de aplicación de agua. | 1. No requiere más que un trabajo de emparejamiento del terreno.<br>2. Bajos costos de mantenimiento. |

| | Adaptación | Limitación | Ventajas |
|---|---|---|---|
| **Pozas** | 1. Huertos frutales y cultivos de siembra densa.<br>2. Todos los suelos irrigable, en especial con muy alta o muy baja velocidad de infiltración.<br>3. Pendientes hasta el 2 1/2% o más en bancales o terrazas, óptima 0.2%. | 1. Requiere a menudo importantes trabajos de nivelación.<br>2. Requiere grandes caudales.<br>3. Costo inicial relativamente alto.<br>4. Los camellones estorban las labores de cultivo y cosecha.<br>5. Puede afectar la producción en cultivos sensibles a la inundación. | 1. Buen control de agua de riego.<br>2. Alta eficiencia de aplicación de agua.<br>3. Uniforme aplicación de agua y lixiviación de sales.<br>4. Bajos costos de mantenimiento.<br>5. Buen control de la erosión por riego o por lluvia.<br>6. Puede construirse en terrazas para reducir el movimiento de tierra. |
| **Desborda-miento** | 1. Cultivos de siembra densa (pastos y cereales)<br>2. Todos los suelos regables.<br>3. Pendiente hasta el 10%<br>4. Terrenos ondulados y suelos poco profundos, donde la nivelación no es posible. | 1. Subdivide el campo.<br>2. Requerimientos elevados de mano de obra para el riego.<br>3. Baja eficiencia de aplicación de agua.<br>4. Desigual distribución del agua en el suelo.<br>5. Posible peligro de erosión. | 1. Bajo costo inicial.<br>2. Adaptable a una amplia gama de caudales.<br>3. Requiere pocas estructuras permanentes.<br>4. El caudal escurrido de áreas más altas puede ser colectado y vuelto a usar. |



Cuadro 1. Tipos de Riego superficial más usados en el Ecuador

| | Terreno a nivel | Terreno pendiente |
|---|---|---|
| ANEGAMIENTO TOTAL | Riego por melgas (por inundación) | Riego por desbordamiento |
| ANEGAMIENTO PARCIAL | Riego por surcos a nivel<br>Riego por canterones | Riego por surcos en pendiente<br>Riego por surcos a nivel en contorno<br>Riego por canterones en pendiente |

## 4.1.2 Riego por presión

Los métodos de riego a presión por aspersión, microaspersión, miniaspersión y goteo son relativamente nuevos; su desarrollo acelerado empezó después de la Segunda Guerra Mundial, cuando se abarató el aluminio, elemento constituyente del sistema de conducción de agua en ese entonces.

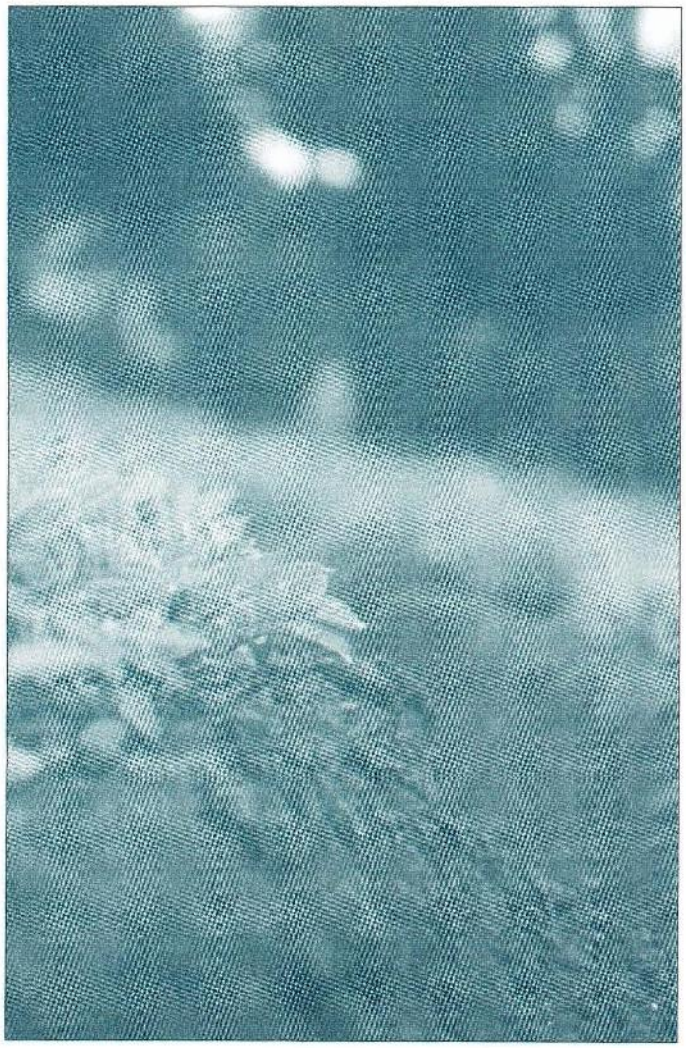
La **aspersión** se obtiene al impulsar agua a presión a través de pequeñas boquillas por medio de aspersores. La presión se obtiene por bombeo o por gravedad, si la fuente de abastecimiento del agua es suficientemente elevada, con relación al área regada, como ocurre frecuentemente en la sierra andina ecuatoriana.

El agua puede aplicarse uniformemente en base a una descarga (de los aspersores) calculada según la capacidad de absorción del suelo. Si se tiene cuidado en la elección del tamaño de las boquillas, de las alturas requeridas, de la presión necesaria y del espaciamiento de los aspersores, se puede obviar el escurrimiento y el daño resultante al terreno y a las plantas (Baudrez, 1996).

El riego por goteo se define como el sistema que, para conseguir mantener el agua en la zona radicular, en las condiciones de utilización más favorables para la planta, aplica el agua gota a gota. El agua es conducida por medio de conductos cerrados desde el punto de toma hasta la misma planta, a la que se aplica por medio de

dispositivos que se conocen como goteadores, goteros o emisores.

El riego por goteo supone una mejora tecnológica importante, que contribuirá, por tanto, a una mayor productividad. Comporta un cambio profundo dentro de los sistemas de aplicación de agua al suelo que incidirá también en las prácticas culturales a realizar, hasta el punto que puede considerarse como una nueva técnica de producción agrícola (Medina, 1988).



## 4.1.3 Riego subterráneo

El riego subterráneo es mucho menos importante que los métodos anteriores en cuanto a superficie regada. Existen algunas formas:

- **Camellones:** parcelas de pocos metros de ancho rodeadas por canales con agua, conocidos de las márgenes del Lago Titicaca. Se han encontrado vestigios en la provincia de Imbabura.
- **Cántaros:** recipientes de arcilla cocida que se entierran en el suelo, llenándolas de agua cuando las condiciones de la planta lo exigen. El agua filtra por la pared hacia el suelo adyacente.
- **Riego subsuperficial:** mangueras o tuberías con agujeros son enterrados en el suelo y el agua pasa de éstas a la rizósfera (Burgmeijer, 1996).

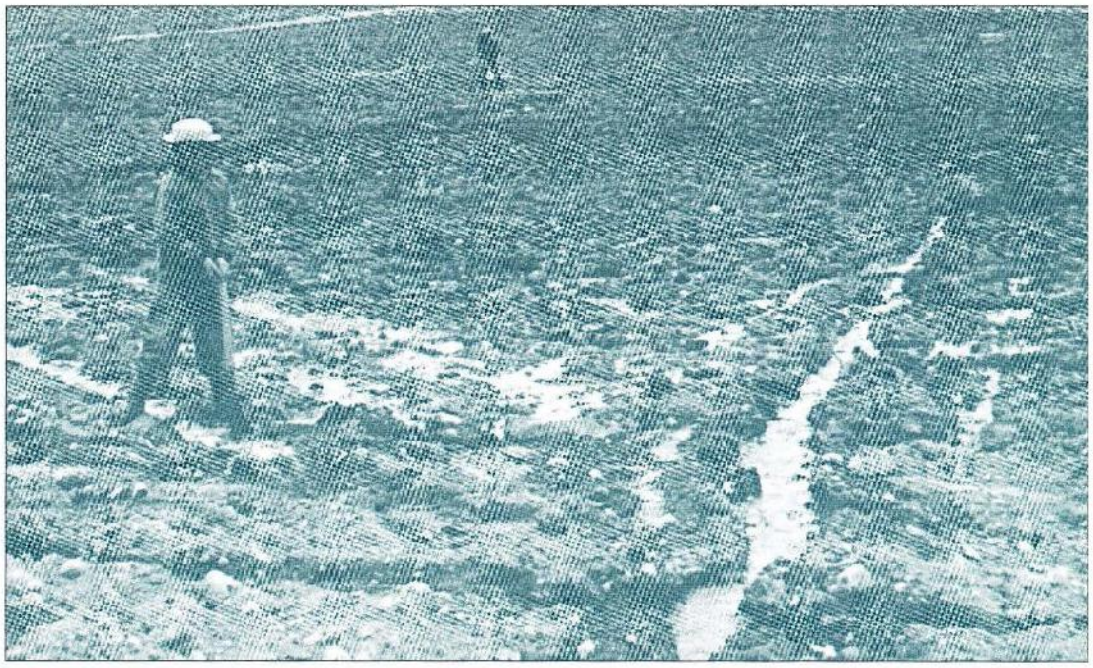
### 4.1.4 Eficiencias de los diferentes métodos

El riego por superficie conduce a una eficiencia de aplicación de agua menor que en la aspersión y goteo, como se indica en el cuadro 2.

Cuadro 2. Eficiencias de aplicación en los métodos de riego

| Método de riego | Eficiencia de aplicación en % |
|---|---|
| Riego superficial | 20 - 60 |
| Riego por aspersión | 70 - 90 |
| Riego por goteo | 90 |

# TEMA 4. 2 RIEGO POR SURCOS

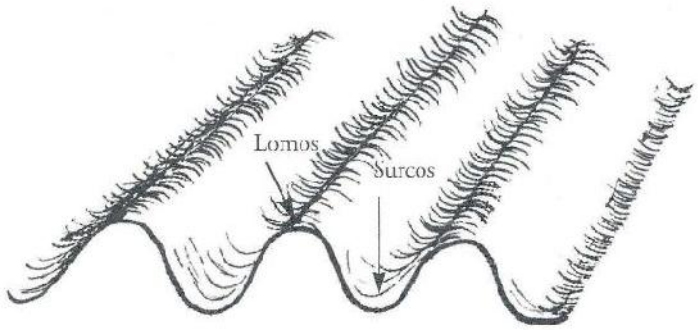


## 4.2.1 Conceptos

En el riego por surcos, el agua se aplica a la masa de suelo que exploran las raíces, a través de cauces pequeños surcos que por lo general representan un área de infiltración inferior al área bruta de riego. Los cultivos se suelen plantar en los lomos o caballones entre los surcos, tal como lo ilustra las figuras 1 y 2.

FIG. 1. Riego por surcos

FIG 2. Vista desde arriba y corte transversal de los surcos y los lomos




El riego por surcos se adapta especialmente a los cultivos en línea, ya que dicha disposición permite humedecer el volumen explorado por las raíces y acercar o retirar la humedad conforme al comportamiento y las exigencias del cultivo.

### 4.2.2 Condiciones para utilizar el riego por surcos

Este tipo de riego es adecuado para una amplia gama de tipos de cultivos, suelos y pendientes de terreno, como se indica a continuación.

#### Cultivos

Las plantas que resultan dañadas si el agua cubre su tallo o su copa, deben regarse por el sistema de surcos. Se puede regar con este método los siguientes cultivos:

- Cultivos en hilera como el maíz, el fréjol, la papa, hortalizas, legumbres, ajo, cebolla, etc.
- Árboles frutales como cítricos, aguacate, etc.

#### Suelos

Los surcos se pueden usar en la mayor parte de los tipos de suelos. No obstante, como con todos los métodos de riego de superficie, no son recomendables las arenas muy gruesas, ya que las pérdidas por percolación pueden ser elevadas. Los suelos que se apelmazan fácilmente son especialmente adecuados para el riego por surcos porque el agua no corre por encima del lomo, de tal modo que el suelo en el que crecen las plantas se mantiene desmenuzable.

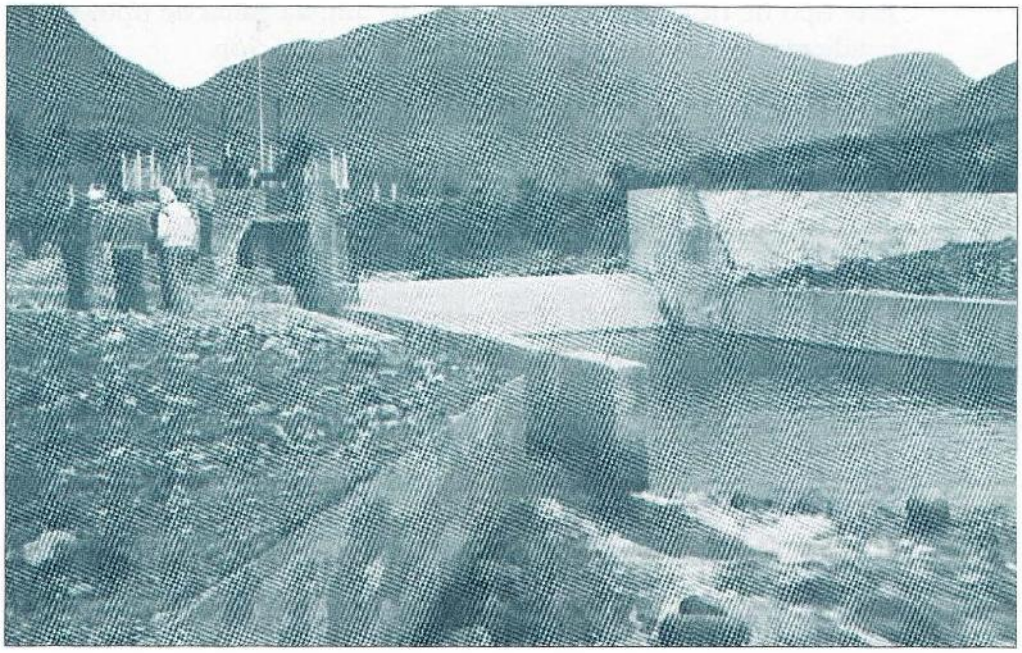
## PENDIENTE

Las variaciones de la pendiente de un suelo, obviamente determinan una mayor o menor velocidad de agua, dando mayor o menor tiempo al líquido para poderse infiltrar en el suelo.

La eficiencia de aplicación del agua en el riego por surcos, está directamente relacionado con la pendiente del surco. Así, por ejemplo, para suelos de textura media, según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA), se tiene:

| PENDIENTES % | EFICIENCIA % |
|---|---|
| 0,0 - 0,5 | 70 |
| 0,5 - 1,0 | 65 |
| 1,0 - 2,0 | 55 |

Menores pendientes estimulan una mayor eficiencia y viceversa, mayores pendientes disminuye la eficiencia de riego a la vez que estimula la erosión, no debiendo exceder del 2 % (Olearte, 1987).



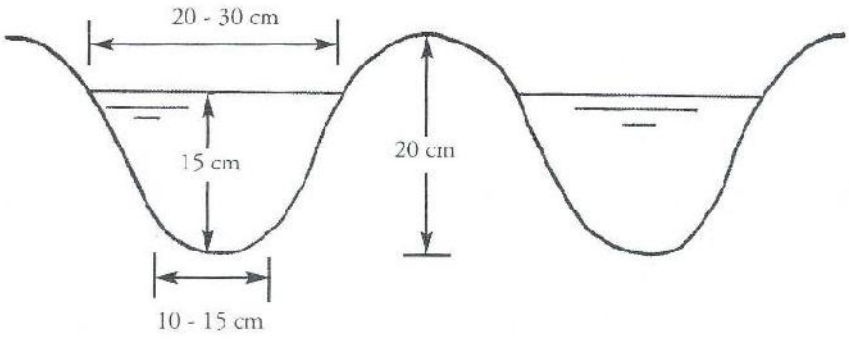
## 4.2.3 Elementos del diseño

### Forma del Surco

La forma de los surcos depende del implemento empleado para su construcción, resultando las siguientes formas: parabólica, triangular o rectangular. Además la forma depende del tipo de suelo y del caudal.

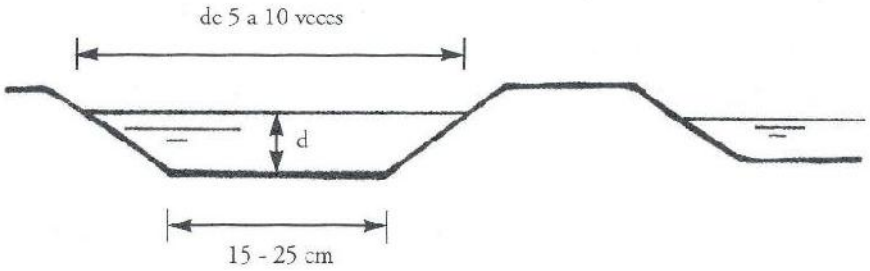
Es conveniente que los surcos sean estrechos y profundos en forma de V para reducir la superficie de suelo a través de la cual el agua se infiltra (figura 3). Sin embargo, los suelos arenosos son menos estables y tienden a hundirse, lo que puede reducir la eficacia del riego.

**FIG. 3. Surco profundo y estrecho en suelo arenoso**




Es conveniente un surco ancho y poco profundo para obtener una gran superficie humedecida, (como lo enseña la figura 4) con el fin de impulsar la infiltración.

FIG. 4. Surco ancho y profundo en suelo arcilloso




En general cuanto mayor sea el caudal mayor deberá ser la sección transversal del surco para contener la corriente.

*El espaciamiento de los surcos está influido principalmente por el tipo de suelo.* En los suelos arenosos el agua se desplaza con más rapidez verticalmente que lateralmente.

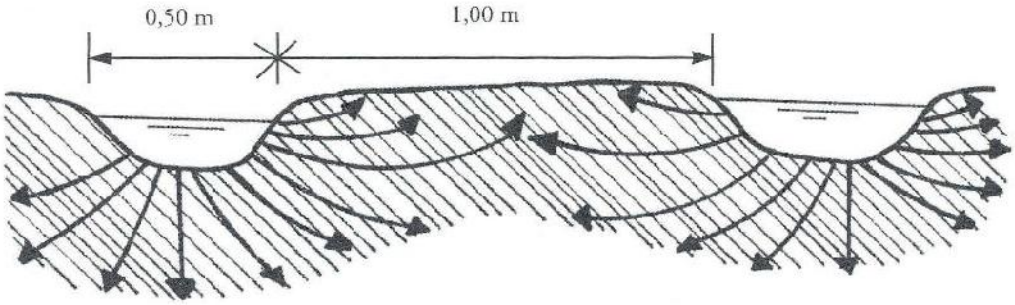
*En los suelos arcillosos, existe mucho más movimiento lateral del agua y la velocidad de infiltración es mucho menor que en los suelos arenosos.*

## Espaciamiento entre surcos

Por regla general en los suelos arenosos el espaciamiento debe ser entre 30 y 60 cm, es decir, 30 cm para arenas gruesas y 60 cm para arenas finas.

En los suelos arcillosos, el espaciamiento entre dos surcos adyacentes debe ser de 75 a 150 cm. En los suelos arcillosos se puede utilizar también surcos de doble lomo, a veces llamados **caballones o camellones**. Su ventaja es que sobre cada lomo puede haber más hileras de plantas. El lomo puede ser ligeramente redondeado por arriba para que se escurra el agua que de otra manera tendería a acumularse sobre su superficie cuando las precipitaciones fueran intensas; se puede observar en la figura 5, lo manifestado.

FIG. 5. Surco de doble lomo




En el cuadro 3 se presentan distancias entre surcos, para algunos cultivos de la región Andina del país. En el cuadro no consta el tipo de suelo (textura) ni la pendiente, factores que, como hemos visto, son muy importantes.

**Cuadro 3. Distancias entre surcos, para algunos cultivos de la región Andina del país**

| Cultivo | Distancia en (cm) | Cultivo | Distancia en (cm) |
|---|---|---|---|
| Alfalfa | 40 - 45 | Papa | 100 - 120 |
| Maíz | 80 - 90 | Arveja | 60 |
| Cebolla en rama | 60 | Fréjol | 60 |
| Col | 50 - 70 | Oca | 100 |
| Coliflor | 40 - 60 | Melloco | 100 |
| Papa | 100 - 120 | Zanahoria | 45 |

**(IEDECA, 1994)**

## CAUDAL

El caudal máximo que no provocará erosión dependerá evidentemente de la pendiente del surco. Para seleccionar este caudal, deben realizarse pruebas de campo con diferentes caudales. Una primera aproximación se obtiene mediante la ecuación de Criddle.

$$Q_{máx} = \frac{0,63}{S}$$

De donde:

Q máx = Caudal máximo no erosivo en l/s

S = Pendiente del surco en %

## LONGITUD DEL SURCO

La longitud de los surcos está relacionada con:

- la pendiente,
- el tipo de suelo,
- el caudal,
- la profundidad de riego,
- las prácticas de cultivo; y,
- la longitud del terreno.

Aunque los surcos pueden ser más largos cuando la pendiente del terreno es mayor, la pendiente del surco máxima recomendada es de 2,0 % para evitar la erosión del suelo.

Los surcos largos exigen menos acequias de conducción en la parcela y menor trabajo para el campesino; en cambio los surcos cortos, requiere un mayor número de acequias de conducción, pero se logra mejor distribución del agua.

En suelos arenosos, los surcos deben ser cortos (menor de 110 m); mientras que en suelos arcilloso, la longitud del surco deberá ser mayor.

En el cuadro 4. se presentan las longitudes máximas de surcos, en base a la pendiente, tipo de suelo, el caudal y la lámina de riego (Brouwer, 1989).

*En la sierra andina ecuatoriana, en general no se dan tales longitudes, especialmente por la topografía y forma del terreno; y, por que se necesita de una buena preparación del suelo.*

Cuadro 4. Valores prácticos de longitudes máximas (m) que dependerán del tipo de suelo, el caudal y la profundidad neta de riego

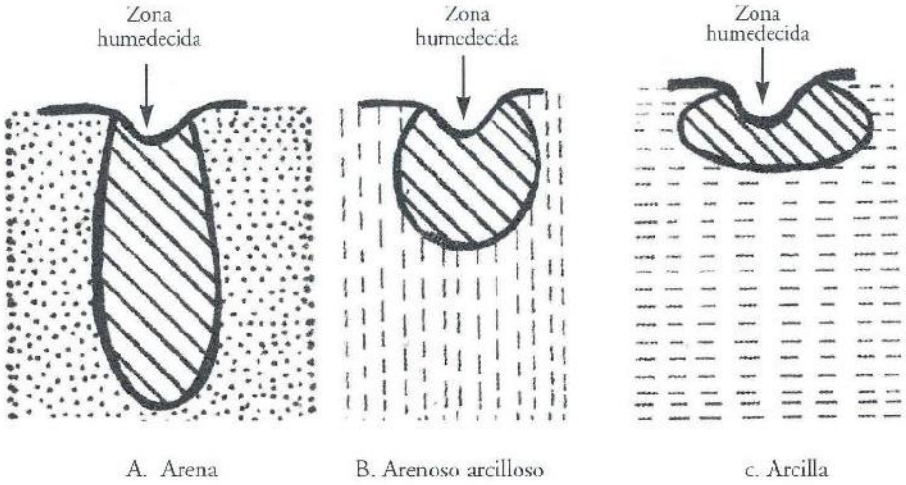
| Pendiente del surco (%) | Caudal (l/s) por surco | Tipo de suelo | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Arcilloso | | Limoso | | Arenoso | |
| | | Profundidad neta de riego (mm) | | | | | |
| | | 50 | 75 | 50 | 75 | 50 | 75 |
| 0.0 | 3.0 | 100 | 150 | 60 | 90 | 30 | 45 |
| 0.1 | 3.05 | 120 | 170 | 90 | 125 | 45 | 60 |
| 0.2 | 2.5 | 130 | 180 | 110 | 150 | 60 | 95 |
| 0.3 | 2.0 | 150 | 200 | 130 | 170 | 75 | 110 |
| 0.5 | 1.2 | 150 | 200 | 130 | 170 | 75 | 110 |

## Formas de humedecimiento

*Para obtener un humedecimiento uniforme en la zona radicular, los surcos deben estar adecuadamente separados (ver capítulo 2.3.2) y tener una pendiente uniforme y el agua de riego debe aplicarse con rapidez.*

Como la zona radicular del lomo debe humedecerse a partir de los surcos, el movimiento descendente del agua en el suelo es menos importante que el movimiento lateral del agua. Ambos movimientos dependen del tipo de suelo, como puede verse en la figura 6.

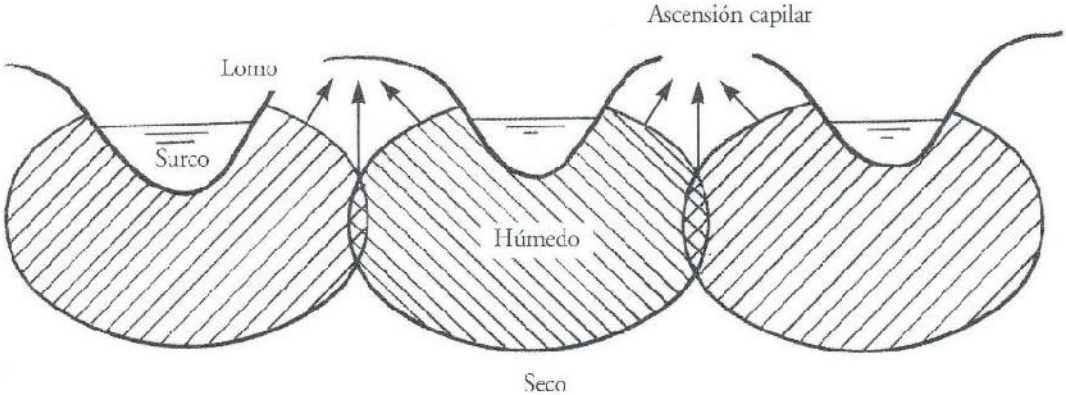
FIG. 6. Diferentes modalidades de humedecimiento en surcos según el tipo de suelo




## Forma ideal de humedecimiento

En una situación ideal, las zonas de humedecimiento adyacentes se superponen, y existe un movimiento ascendente del agua (ascensión capilar) que humedece todo el lomo, como muestra la figura 7, suministrando así agua a la zona radicular.

FIG. 7. Esquema ideal de humedecimiento



Para obtener un distribución uniforme del agua a lo largo de la extensión del surco es muy importante que la pendiente sea uniforme y disponer de un caudal que sea lo suficiente como para que el agua descienda rápidamente por el surco. De esta manera se pueden evitar grandes pérdidas por percolación a la cabeza del surco. Se utiliza la regla de la cuarta parte del tiempo necesario para que el agua se desplace del canal de distribución al extremo del surco, con el fin de reducir a un mínimo las pérdidas por percolación.

## Forma incorrecta de humedecimiento

Un humedecimiento incorrecto puede estar motivado por:

a) **Condiciones naturales poco favorables**

*Las capas de suelo compactado o diferentes tipos de suelo producen el mismo efecto en el riego por surcos (deficiente humedecimiento).*

La solución del problema es también similar.

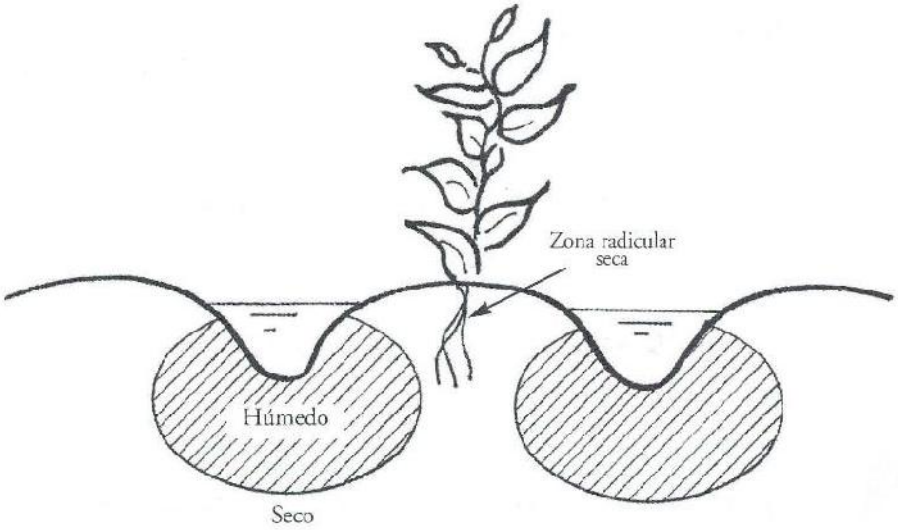
Una pendiente irregular puede producir un humedecimiento irregular a lo largo del surco.

El agua desciende rápidamente por las pendientes empinadas y lentamente por las pendientes más suaves. Esto influye en el tiempo de que se dispone para la infiltración y provoca una mala distribución del agua. El problema se puede resolver mediante una nueva nivelación del terreno para darle una pendiente uniforme.

b) **Trazado incorrecto**

Si la separación entre los surcos es demasiado grande (figura 8), no se humidificará de manera adecuada la zona radicular. Es preciso elegir meticulosamente el espaciamiento de los surcos para lograr un humedecimiento adecuado de toda la zona radicular.

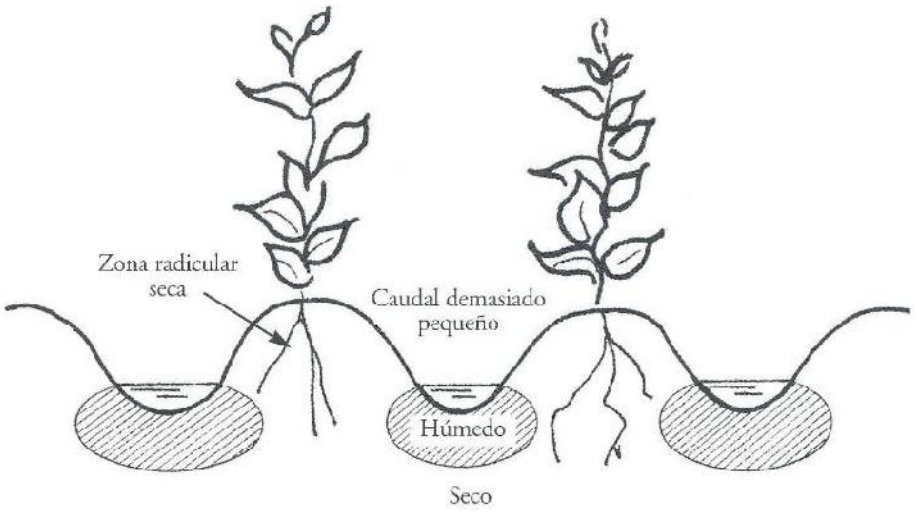
FIG 8. **La separación entre dos surcos adyacentes es demasiado grande**




### c) Mal Manejo

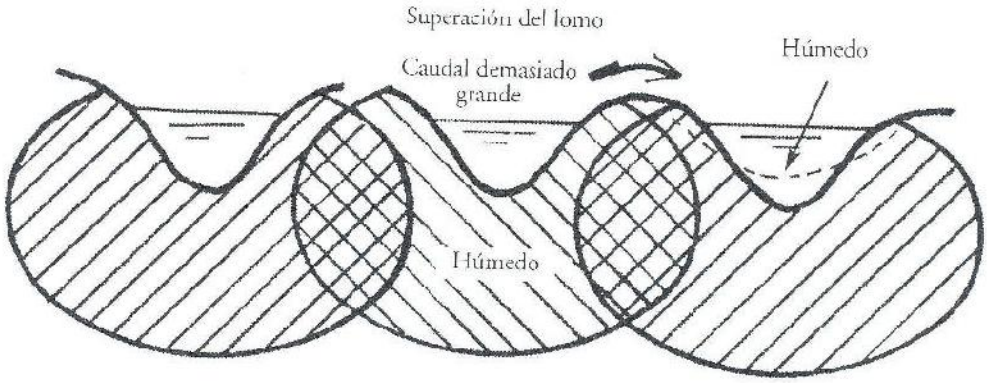
Un nivel de agua bajo producirá un humedecimiento insuficiente de los lomos, como lo ilustra la figura 9, incluso si las plantas están situadas a los lados del lomo, no se dispondrá de agua suficiente. Un pequeño caudal también provocará una mala distribución del agua a lo largo de la extensión del surco. El agua avanzará lentamente y se perderá una cantidad excesiva de esta por percolación profunda a la cabeza del surco.

FIG. 9. **El caudal es demasiado pequeño para humedecer el lomo**



Si el caudal es demasiado grande en terrenos de pendiente llana, el agua puede pasar por encima del lomo (figura 10). En pendientes más fuertes con un caudal excesivo, puede producirse erosión del lecho y de los lados del surco.

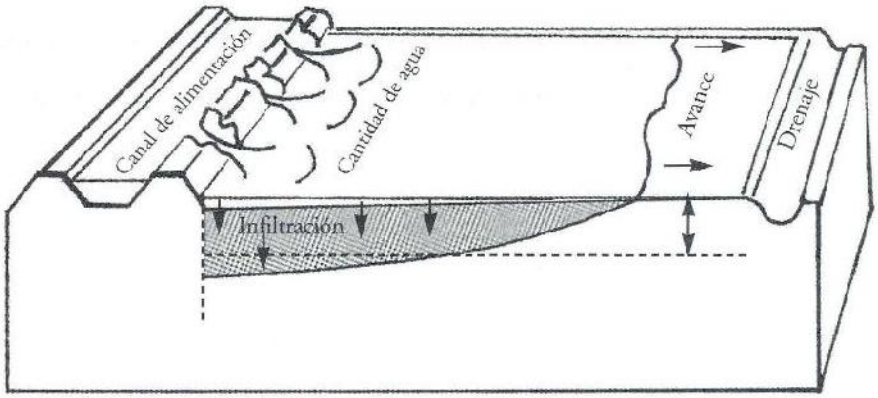
**FIG. 10. Un caudal demasiado grande da origen a que el agua pase por encima de los lomos o a erosión**




## 4.2.4 Fases del riego por surcos

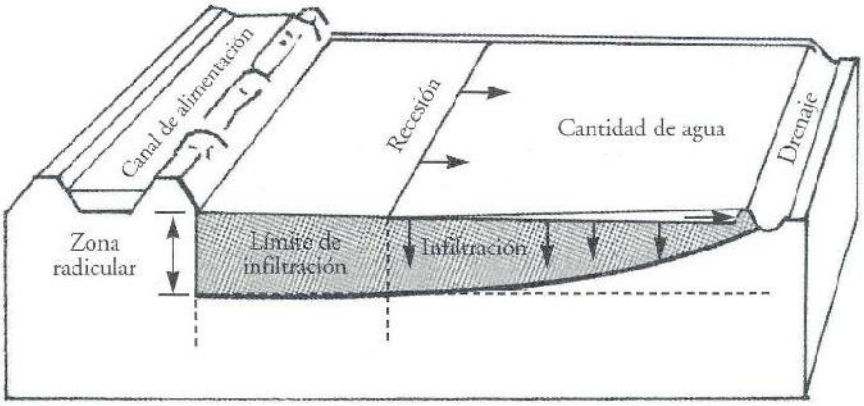
En el riego de superficie el agua se suministra a partir del canal de la parcela, desde el lado del canal el agua se desliza hacia el lado opuesto de la parcela; a esto se le llama el avance del frente de agua, la misma que se halla representada en la figura 11 y que la asumimos como si fuera un surco.

FIG. 11. **Avance del frente de agua**




Cuando el suministro de agua se corta, el agua que está en la parcela se infiltra gradualmente en el suelo y fluye hasta las partes bajas y se separa gradualmente del canal de parcela; a esto se le llama la recesión del frente de agua (figura 12).

FIG. 12. **Recesión del frente de agua**

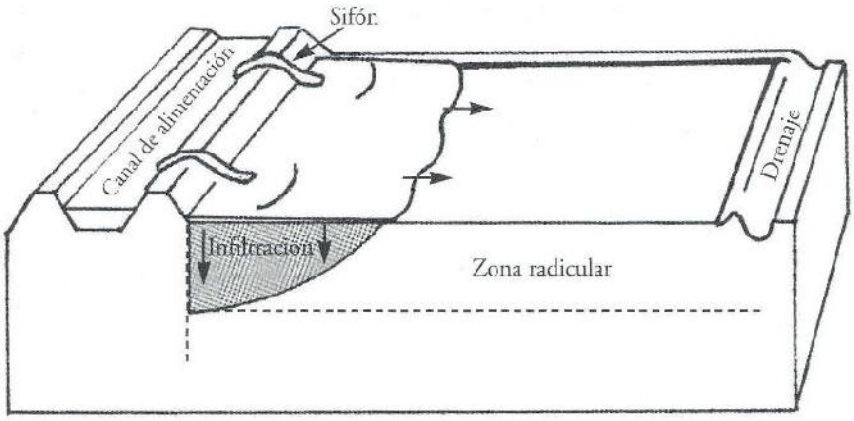



Si el avance del frente de agua durase igual a la recesión esto originaria una infiltración uniforme del agua en toda la parcela. Por lo común el avance y la recesión no son iguales; el avance es a menudo más lento que la recesión. El resultado es que el lado de la parcela que está cerca del canal de alimentación recibe más agua que el lado opuesto de la parcela. Esto es particularmente cierto si el volumen de agua suministrado a la parcela es demasiado pequeño.

Cuando, por ejemplo en un suelo arenoso, se aplica un pequeño caudal a una gran parcela, pasará mucho tiempo antes de que el agua llegue al extremo más alejado de

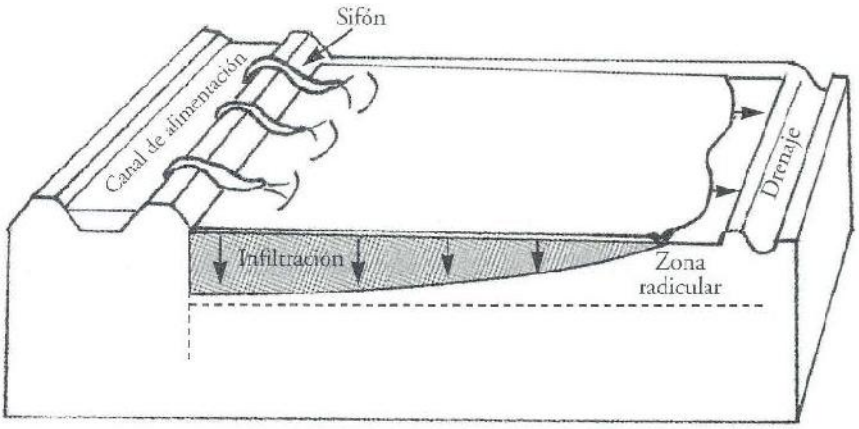
la parcela; el agua se infiltra rápidamente en el suelo arenoso. El lado de la parcela que está cerca del canal de alimentación recibe demasiada agua y el lado opuesto de la parcela recibe una cantidad insuficiente de agua (figura 13).

**FIG. 13. Distribución del agua con un caudal demasiado pequeño**




Cuando el caudal aumenta, la distribución del agua mejorará. El agua, por supuesto, se infiltra a la misma velocidad, pero el frente de agua llegará al lado opuesto de la parcela antes. Ese lado recibirá también, por ese motivo, una parte adecuada de agua, aunque siempre menos que el lado que está cerca del canal de alimentación (figura 14).

**FIG. 14. Distribución del agua con un caudal suficiente**



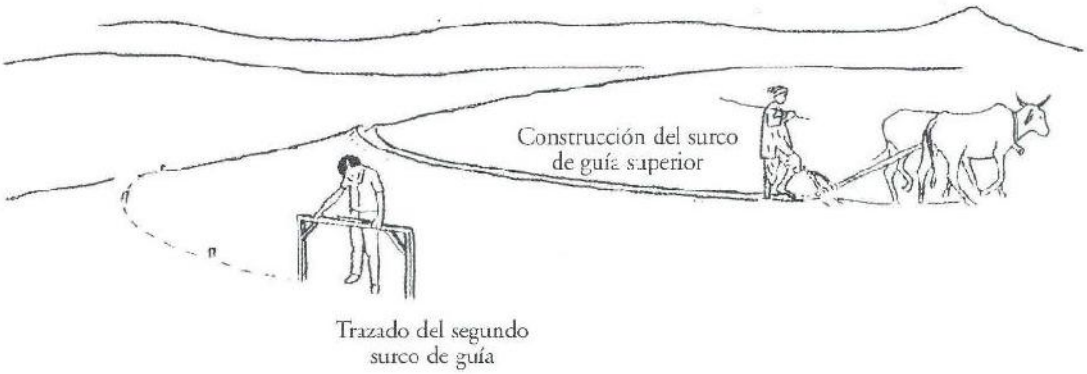
## 4.2.5 Construcción de los surcos en terrenos inclinados

Se debe poner particular atención para construir surcos a lo largo de la línea de nivel en terrenos inclinados. La construcción de surcos a lo largo de líneas -curvas- de nivel se efectúa a través de las etapas siguientes.

**Etapa 1**

Primeramente se debe trazar un surco guía a lo largo del extremo superior de la parcela, cerca del canal de alimentación, utilizando un dispositivo para nivelar con la finalidad de localizar la curva de nivel. Otros surcos de guía se trazan cada 5 metros en los terrenos ondulados y cada 10 m en los terrenos uniformemente inclinados, como se presenta (figura 15).

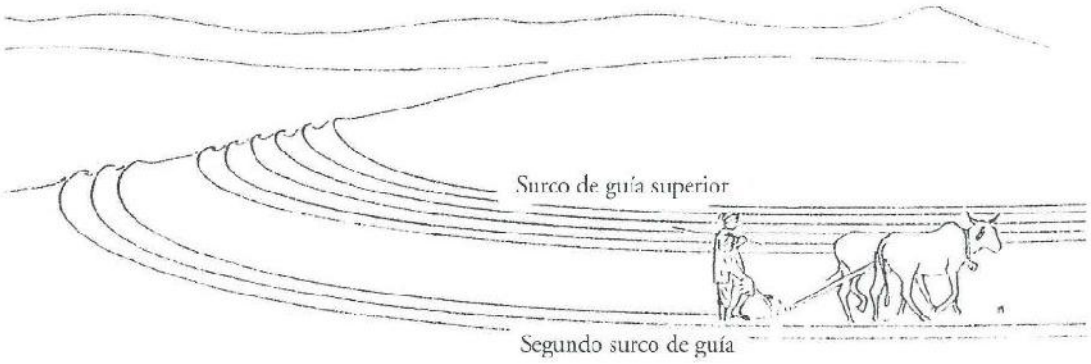
**FIG. 15. Formación de surcos de guía**




**Etapa 2**

A partir de cada surco guía, se van formando surcos equidistantes a lo largo de éste (figura 16).

FIG. 16. Formación de surcos




## 4.2.6 Técnicas de plantación

El emplazamiento de las plantas en un sistema de surcos no es fijo, sino que depende de las circunstancias naturales. A continuación se mencionan unos pocos ejemplos.

- En zonas con fuertes precipitaciones, las plantas deben situarse en la cima del lomo para prevenir el daño resultante del anegamiento (figura 17).

FIG. 17. Protección contra el anegamiento

- Si el agua es escasa, las plantas se pueden emplazar en el propio surco para que se beneficien más del agua limitada, como se enseña en la figura 18.

**FIG. 18. Protección contra la escasez de agua**

- En algunas zonas del Ecuador, se siembra el maíz en el fondo del surco, posteriormente se realiza el aporque a la planta que así queda en el lomo.
- Como las sales son transportadas por el agua, y en el lomo hay un movimiento de agua hacia arriba, se acumulan las sales en el punto más alto del lomo. Un cultivo en suelos salinos debe plantarse lejos de la cima del lomo. Normalmente se planta en dos hileras a los lados (figura 19). Sin embargo, conviene asegurarse de que no exista peligro de anegamiento.

**FIG. 19. Protección contra la acumulación de sal**

*En todo proyecto de riego y drenaje es importante efectuar una evaluación del sistema y más concretamente del riego en la parcela, en lo que tiene relación a la demanda y a la eficiencia de aplicación del riego en la parcela, cualquiera que sea el método de riego empleado.*

## 4.2.7 Condiciones para utilizar el riego por surcos

**Equipo**

- Cinta de medir
- Canaletas
- Cronómetro
- Hoja de registro de datos.

**Prueba de infiltración**

Datos: Dimensión del surco: 24 m x 1,0 m = 24 $m^3$

Paso 1. Seleccionar 3 surcos representativos, de los cuales el surco intermedio servirá para hacer la prueba de infiltración, mientras que los dos surcos extremos evitaran la infiltración lateral del agua del surco central.

Paso 2. Instalar canaletas al inicio y final del surco central seleccionado.

Paso 3. Determinar el caudal al inicio y al final del surco central, por medio de una canaleta previamente calibrada.

Paso 4. Realizar la lectura de caudal en las canaletas de entrada y salida, en frecuencias de 5, 10, 15 y 30 minutos, desde el momento en que el surco tenga una altura de lámina constante.

Paso 5. Calcular la lámina infiltrada, considerando la diferencia entre el caudal de entrada y salida.

Paso 6. Tabulación, procesamiento e interpretación de resultados. Para el procesamiento y obtención de los resultados se procede de la manera siguiente:

- Transformar las lecturas de caudales a volumen.

Ejemplo: Si la diferencia de caudal infiltrado es de 0,5 l/s en un intervalo de 5 minutos; transformar a lámina.

- 0,5 l/s x 5 min (intervalo) x 60 s = 0,5 l/s x 300 s = 150 litros.

Como 1 $m^3$ = 1000 litros.

X 150 litros

X = 0,15 $m^3$ (Volumen infiltrado)

- Como la longitud del surco es de 24 m y el ancho de un metro, el área del mismo será de 24 m_?.
- Ahora, transformamos el volumen infiltrado (30 litros) a unidades de lámina:

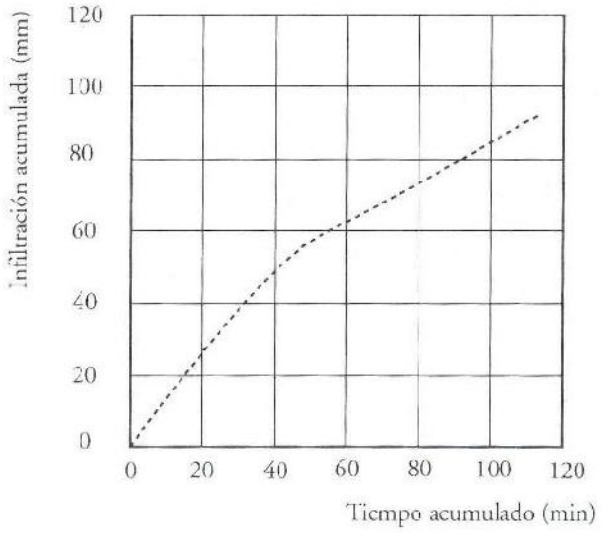
- Lámina = $\frac{L \times L \times L}{L \times L} = \frac{0{,}15 \text{ m_?}}{24 \text{ m_?}} = 0{,}0063 \text{ m} \times 1\,000$ mm =

- Lámina infiltrada = 6,25 mm

Paso 7. Con los datos de tiempo acumulado y láminas acumuladas graficamos en papel doble logarítmico la curva de infiltración acumulada. En el eje x (Abscisa) se ubica los valores del tiempo acumulado y en el eje y (ordenada) los de la lámina acumulada.

Paso 8. En la curva (figura 20) nos ubicamos en el eje "y" con el valor de la lámina requerida e interceptamos la curva en forma horizontal, luego trazamos una perpendicular al eje x y encontramos el tiempo de oportunidad necesario para infiltrar dicha lámina.

FIG. 20. Prueba de infiltración




- La lámina neta requerida, está en función de las propiedades edafológicas, la profundidad efectiva y el nivel de humedad del suelo. Su fórmula es la siguiente: (revisar módulo 5. Unidad 3)

**Ln = p(cc - PMP/100)da x Pef.**

De donde:

Ln = Lámina neta en mm.

p = Nivel de humedad en %

CC = Capacidad de campo en %

PMP = Punto de marchitez permanente en %

Da = Densidad aparente del suelo en g/cm;

Pef = Profundidad efectiva del cultivo en mm.

Paso 9. Iniciar el riego (momento cero). Utilizar el mismo caudal y el mismo tipo de riego que utiliza normalmente el regador. Anotar el tiempo que hace falta para que el frente de agua llegue al final del surco. Esto se llama tiempo de avance (Ta).

Paso10. Calcular el tiempo de contacto (oportunidad) en el inicio y final del surco. El tiempo de contacto es el tiempo en que hay agua en un determinado punto a lo largo del surco. Es el momento (hora y minutos) en que llega el agua menos el momento en que ya no llega más agua y se ha infiltrado toda el agua presente.

**Conclusión:**

La eficiencia del riego por surcos será buena si se presentan las siguientes condiciones:

a) Cuando el tiempo de avance en el surco sea igual a la cuarta parte del tiempo de oportunidad necesario (es decir el tiempo necesario para infiltrar la lámina neta requerida, determinado en la curva de la figura 20).

$$Ta = 1/4\ Tn$$

De donde:

Ta = tiempo de avance en min.

Tn = tiempo de oportunidad necesario en min.

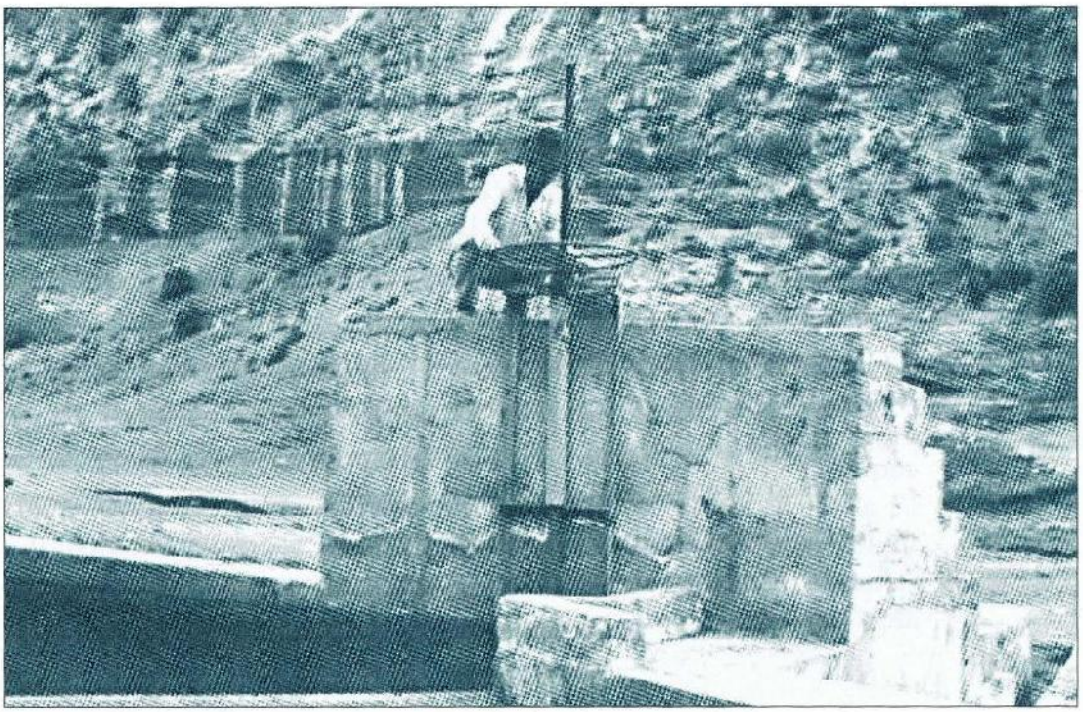
b) Cuando el tiempo de oportunidad (calculado en el campo) es igual al tiempo de oportunidad necesario, calculado para el inicio y para el final del surco.

$$To = Tn$$

De donde:

To = tiempo de oportunidad.

# TEMA 4.3 OTRAS FORMAS DE RIEGO SUPERFICIAL EN LA REGIÓN ANDINA DEL PAÍS



Lamentablemente, en el país es muy difícil encontrar literatura con respecto a las investigaciones y experiencias que debieron hacer en su oportunidad los organismos gubernamentales y/o no gubernamentales y los centros de educación media y superior. De lo que se conoce, las investigaciones utilizando riego por gravedad, se han centrado en temas tales como: variedades de cultivos, niveles de fertilización, densidades de siembra, control de plagas y enfermedades, etc.; prácticamente, no se ha trabajado en temas como: longitud y ancho de surco (canterón), caudal máximo no erosivo, etc. en función del tipo de suelo (textura), pendiente, profundidad efectiva, cultivo, tradición y experiencia, organización de los usuarios, caudal y tiempo adquirido en el derecho, disponibilidad de mano de obra, etc.

A continuación se presentan algunas experiencias de riego gravitacional, que han sido producto de la observación.

## 4.3.1 Riego por desbordamiento

En la Región Andina del país, se lo conoce también como "ciego" o "borrachera" y se lo usa principalmente en cultivos densos tales como: el trigo, cebada, arveja, pastos etc. En el proyecto Tablón de Oña del Cantón Saraguro Provincia de Loja, los campesinos lo usan de generación en generación. El caudal regularmente es de alrededor de 25 - 30 l/s, el mismo que es distribuido en diferentes partes de la parcela; con la ayuda de una lampa, el campesino va haciendo "caminos" en la ladera con el

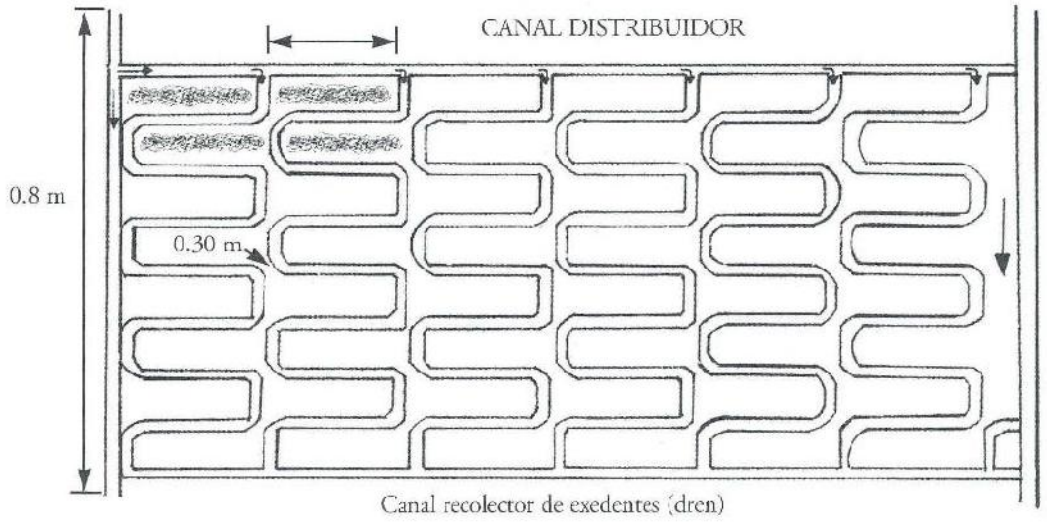
fin de que el agua llegue a todo el cultivo. Este método tiene una baja eficiencia de aplicación, debido a la desigual distribución del agua en el suelo; por ello el campesino utiliza todo el caudal y tiempo de su turno, hasta que la superficie del suelo esté prácticamente inundado.

### 4.3.2 Riego por canterones

Este tipo de riego es muy común en la región centro y norte de la sierra ecuatoriana, concretamente, la observación se la realizó en la Comunidad Santa Marianita del proyecto de riego Chingazo - Pungal, en el Cantón Guano, Provincia de Chimborazo.

En la figura 21, se puede observar la disposición de los canterones (surcos en serpentín) en un suelo cuya pendiente es del 15 %. Los canterones regularmente tienen un ancho de 4.0 - 5.0 m. y de largo entre 5.0 - 6.0 m. Su funcionamiento consiste en que a partir de una canal terciario se deriva un caudal aproximado de 5 l/s al canal distribuidor y de aquí se distribuye el agua en forma proporcional al número de canterones (normalmente 1 l/s "guachito" /canterón). Al final del canterón, existe un canal recolector de los excedentes, los cuales son empleados en las áreas siguientes.

**FIG. 21. Disposición de canterones**



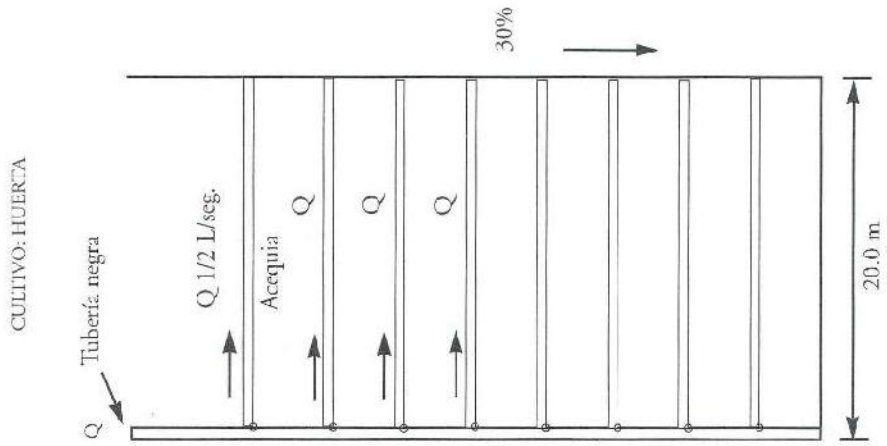

### 4.3.3 Riego por surcos abastecido por una tubería

Tal como lo demuestra la figura 22 en el proyecto de riego Chingazo - Pungal, en el Cantón Guano, Provincia de Chimborazo, se emplea éste método de riego,

principalmente para la clásica huerta campesina. A continuación se describe su funcionamiento:

Se coloca en forma paralela a la pendiente del terreno (30 %), una tubería de polietileno de 2 pulgadas, a partir de ella salen (con orientación al surco) orificios de 2 cm de diámetro, por medio de los cuales fluye el agua hacia los surcos de 20 m de largo, los mismos que están cerrados en la parte final. Al momento en que se ha depositado una lámina de alrededor de 10 cm de columna de agua, se cierra el orificio con un palo. Seguidamente, se hace lo mismo con el resto de surcos que se ordenan a lo largo de una longitud de 50 a 60 m.

FIG. 22. Tubería de abastecimiento

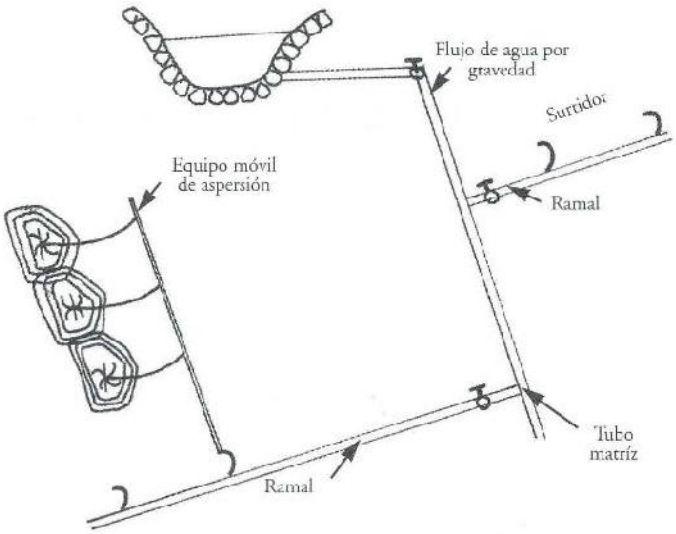



## 4.3.4 Aspersión

*En la sierra ecuatoriana, por lo accidentado de los suelos y la escasez del recurso hídrico, el riego por aspersión constituye la alternativa más apropiada para promover una relación hombre - naturaleza sustentable. Se aprovecha la diferencia topográfica para el funcionamiento del sistema.*

El agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma parecida a la lluvia. El rociado se desarrolla mediante el flujo de agua bajo presión a través de pequeños orificios, ver figura 23.

**FIG. 23. Riego por aspersión**




## CONDICIONES PARA LA UTILIZACIÓN DEL RIEGO POR ASPERSIÓN

El riego por aspersión se adapta a la mayoría de las plantas, a excepción del arroz (el suelo permanece permanentemente inundado) y el tomate riñón (cultivo muy sensible a la proliferación de plagas y enfermedades por la humedad del aire). Es adaptable también a casi todos los suelos susceptibles de riego, debido a que existen aspersores en una amplia escala de capacidad de descarga.

En suelos de textura extremadamente fina con bajos coeficientes de infiltración, es necesario tener cuidados especiales a fin de seleccionar los tamaños apropiados de las boquillas, el tipo de aspersor en general, la presión necesaria y el espaciamiento de los aspersores para aplicar el agua uniformemente empleando descargas pequeñas.

*La adaptabilidad de los equipos para aspersión y el control eficiente en su aplicación, hacen que este método sea el indicado para la mayoría de las condiciones topográficas sin una preparación intensiva del terreno y está sujeto, solamente, a limitaciones impuestas por el factor económico.*

El riego por aspersión puede adaptarse a la mayor parte de las condiciones climáticas donde la agricultura de regadío es posible; no obstante, en algunas regiones se presentan problemas debido a temperaturas extremadamente altas y a las considerables velocidades del viento; donde una o ambas condiciones hacen difícil aplicar el agua uniforme y eficientemente por el método de aspersión, por lo que generalmente se usan otros métodos de riego (Laor, J. 1988).

Sin embargo, la introducción del riego por aspersión en la región andina del país es una intervención muy específica en la técnica de riego, en la organización social y en la economía campesina. Pretende ser un aporte para el desarrollo productivo, socioeconómico y organizativo. Los factores son los siguientes.

1. Escasez y uso limitado del recurso hídrico

Se ha llegado a la conclusión de que no tiene sentido utilizar más fertilizantes, mejores variedades de cultivos etc., si no se mejora la infraestructura técnica y organizativa del riego, que permita aprovechar realmente éstos insumos y variedades. Un uso más intensivo del agua, con una mejor distribución de su aplicación sobre el año, es el factor principal que permite disminuir los riesgos.

2. Tecnología y educación

Dentro de su nivel tecnológico, la población campesina es sumamente racional y eficiente en la ubicación de sus limitados recursos económicos y humanos. Sin embargo, el nivel tecnológico mismo es limitante, como también la educación que no parte de su propia realidad. La introducción de riego por aspersión no tendrá su óptimo efecto, si no va acompañada por una educación sobre su manejo técnico, sus instancias organizativas y económicas.

El riego por aspersión presurizada por gravedad, que permite ampliar la frontera agrícola a suelos con pendientes del 60 y 70 %, se corre el riesgo, que sin una buena capacitación a los usuarios, éstos suelos, en la época invernal resultarían muy frágiles si no están debidamente protegidas con una buena cubierta vegetal y obras de conservación de suelos.

3. Capital

Otro factor limitante es la escasa presencia de capital monetario que permita impulsar un aumento de la producción y productividad. La introducción de riego por aspersión es una inversión de capital, que solo se justifica cuando hace aumentar la rentabilidad de la actividad agropecuaria (Chávez, V. 1992).

Un diseño de riego por aspersión, debe ser creativo y flexible. Creativo en compatibilizar el componente técnico con el componente social. Flexible en el sentido de permitir la futura ampliación del sistema hacia más usuarios y la introducción de nuevos tipos de aspersores y demás accesorios, sin que ello ocasione grandes problemas técnicos, sociales y económicos.

- Distribuir eficientemente el agua
- Ampliar el sistema en el futuro
- Realizar cambios de cualquier componente sin mayores costos
- Manejar, reparar y mantener el sistema con facilidad y rapidez. (Calderón, L. 1996)

"La capacidad de un diseñador no se muestra en la complejidad técnica de las obras y los aspersores, sino en la sencillez del diseño técnico y la facilidad organizativa de los usuarios para:

## VENTAJAS, DESVENTAJAS Y ALTERNATIVAS

### VENTAJAS

- Es adaptable a un amplio rango de medidas y topografías del terreno.
- En las laderas de la sierra se aprovecha la energía que se origina de la diferencia de nivel topográfico.
- Fácil operación y consecuentemente, rápida capacitación de los operadores; trabajadores no profesionales son capaces de operar el equipo en forma correcta.
- Alta eficiencia de riego como consecuencia de la distribución uniforme del agua.
- Medición de las cantidades de agua en forma cómoda y correcta, por medio de medidores de agua.
- En el caso de suelos con elevada permeabilidad y alto contenido de arena, así como en los excesivamente permeables y con alto porcentaje de arcilla en su textura, el empleo del riego por aspersión es óptimo: evita las pérdidas excesivas de agua por percolación e infiltración, con el consiguiente arrastre de elementos fertilizantes en los primeros y las pérdidas de agua por escorrentía superficial unida en casos de pendientes no adecuadas a arrastre del suelo laborable en los segundos.
- Se evita la construcción de canales o acequias en tierra para la distribución del agua dentro de la explotación, lo cual evita la contaminación del agua.
- Se pueden proteger las plantas de los efectos de la helada. Para estos usos las pulverizaciones finas son las más indicadas.
- Se puede abonar o aplicar enmiendas con rapidez, eficacia y economía. El equipo necesario es simple y la mano de obra reducida (Shani y Sapir, 1984).

### DESVENTAJAS

- Para el funcionamiento del sistema (no es el caso general de la sierra) es necesario, generar presión, normalmente por medio de bombeo, lo cual significa inversión de energía.
- Elevados costos de las tuberías de conducción y distribución del agua.
- Pérdidas de agua por evaporación desde la superficie del terreno durante el riego.
- Derroche de agua en los bordes, en especial en terrenos pequeños e irregulares.
- Elevado costo de instalación, que es inversamente proporcional a la superficie de la unidad de explotación a que atiende. Es decir, mientras menor sea esta superficie, mayor resultará el costo.

- El viento puede distorsionar por completo la distribución del agua en el suelo, e igualmente disminuir el agua que llega al suelo, lo que implica una baja eficiencia de riego. Asimismo, las pérdidas de agua por evaporación son mayores que en los métodos superficiales, pues en el riego por aspersión la lluvia sale bajo la forma de pequeñas gotas que en conjunto tienen una gran superficie.
- Algunas veces el riego por aspersión, puede crear condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades fungosas y reducir la efectividad de la aplicación de herbicidas e insecticidas, al ser estos lavados y transportados desde el follaje de los cultivos al suelo.
- El impacto de la lluvia en las flores puede, en algunas ocasiones causar su caída y por lo tanto hacer que disminuya los rendimientos (Shani, y Sapir, 1984).

### ALTERNATIVAS PARA DISIPAR DESVENTAJAS

- Aprovechando la topografía de las laderas de los Andes, existen diferencias de nivel que por gravedad generan presión, sin costo alguno.
- En vista que en la Sierra Ecuatoriana predomina el minifundio y que se dispone de pequeños caudales de riego, se deberá elegir presiones adecuadas, generalmente por medio de tanques rompepresión.
- Decidir, de preferencia, si los riegos deben aplicarse en horas de la tarde, noches o mañanas.
- Para mantener la uniformidad de distribución, es necesario acortar la distancia en la dirección del viento, instalar el lateral con los aspersores transversal a la corriente del viento.
- Aplicar el riego previo al control fitosanitario.
- Se debe disminuir la intensidad de la pluviometría y el tamaño de las gotas para evitar la caída de flores y frutos sensibles, mediante una selección adecuada del aspersor (Calderón, L. 1996).

## 4.3.5 TERMINOLOGÍA

Con la finalidad de familiarizarnos con los diferentes términos técnicos empleados en los sistemas de riego, a continuación detallamos los más importantes:

- **Presión**

Es la fuerza que actúa sobre una superficie determinada. Se expresa en unidades de atmósferas. Una atmósfera = 1,0 kg-f/cm$^3$

**Ejemplo:**

A cuántas atmósferas equivale 13,5 kg-f/cm$^3$

**Solución:** Resolvemos el problema, de la manera siguiente:

Como una atmósfera - - - - - - -1,0 kg/cm$^3$

$$X = \frac{13{,}5\ kg/cm^3 \times 1{,}0\ atmósfera}{1{,}0\ kg/cm^3} = 13{,}5\ atmósferas$$

- **Altura de Agua (Presión)**

Es la presión equivalente a una columna de agua y se expresa en metros (10 m = 1 atmósfera). En el campo se la obtiene rápidamente por medio de un altímetro o un clinómetro, y con un caballete o simplemente con una cinta.

**Ejemplo:**

Cuántas atmósferas de presión hay entre dos puntos de un terreno, cuyas cotas correspondientes son 2.115 msnm y 2.150 msnm.

**Solución:**

La diferencia de nivel es de: 2.150 - 2.115 = 35 metros

Como 10 metros de desnivel = 1,0 atmósfera

$$X = \frac{35\ metros \times 1{,}0\ atmósfera}{10\ metros} = 3{,}5\ atmósferas$$

- **Cantidad de Agua**

Se mide en unidades de volumen, como m; o litros; 1m = 1000 litros.

**Ejemplo:**

Un reservorio tiene una capacidad de 83.500 litros. Cuál es la capacidad del mismo en $m^3$

**Solución:**

1 $m^3$ = 1000 litros

$$X = \frac{83.500\ litros \times 1\ m^3}{1.000\ litros} = 83{,}5\ m^3$$

- **Descarga**

Es la cantidad de agua que pasa por un determinado punto en la unidad de tiempo. Las unidades más usadas son: metros cúbicos por hora ($m^3/h$) o litros por hora (l/h). 1 m;/h = 1000 l/h.

**Ejemplo:**

Un aspersor tiene una descarga de 1,35 $m^3/h$. ¿A cuántos l/h equivale?

**Solución:**

Como 1 $m^3/h$ = 1.000 l/h

$$x = \frac{1{,}35\ m^3/h \times 1.000\ l/h}{1\ m^3/h} = 1.350\ l/h$$

- **Espaciamiento de los aspersores**

Es la distancia entre los aspersores a lo largo del lateral y entre los laterales. A la izquierda del signo de multiplicación se escribe la distancia de los aspersores a lo largo del lateral y a la derecha del mismo, se escribe la distancia entre los laterales.

**Ejemplo:**

La disposición del sistema de riego es de 12 m x 18 m. ¿Cuáles son las distancias entre aspersores y laterales?

**Solución:**

La distancia entre los aspersores sobre el lateral es de 12 metros y la distancia entre los laterales es de 18 metros.

- **Intensidad de precipitación**

Es la cantidad de agua aplicada a una unidad de superficie en la unidad de tiempo. Se expresa en términos de milímetros por hora (mm/h).

$$\text{Intensidad de Precipitación(mm/h)} = \frac{\text{descarga del aspersor (l/h)}}{\text{superficie regada (m x m)}}$$

Para evitar pérdidas de agua por escorrentía (y percolación profunda), la intensidad de precipitación (Ip), debe ser menor a la velocidad de infiltración básica (VIB), para lo cual se deberá chequear en los catálogos de los fabricantes y armonizar las diferentes disposiciones del sistema, caudal, presión y la forma de operación del mismo.

La intensidad de precipitación debe correlacionarse con la pendiente del terreno, en el sentido de disminuir la intensidad con el aumento de la pendiente, de acuerdo al Cuadro 5.

**Cuadro 5. Reducción de la intensidad de precipitación debido a la pendiente del terreno**

| PENDIENTE TERRENO (%) | REDUCCIÓN DE Ip (%) |
|---|---|
| 0 - 5 | 0 |
| 6 - 8 | 20 |
| 9 - 12 | 40 |
| 13 - 20 | 60 |
| > 20 | 75 |

**Ejemplo:**

Cuál será la intensidad de precipitación de un aspersor que tiene una descarga de 1.560 l/h, con una posición de 12 m x 12 m. El terreno tiene una pendiente de 10 %.

**Solución:**

Descarga del aspersor = 1.560 l/h.

$$\text{Precipitación horaria} = \frac{1560 \text{ l/h}}{12 \text{ m} \times 12 \text{ m}} = \mathbf{10{,}8} \text{ mm/h}$$

Como la pendiente del terreno es del 10 %, en consecuencia se reduce la intensidad de precipitación del aspersor en un 40 %, como lo demuestra la tabla 2.

Ip (mm/h) = (1,0 - 0,40) x 10,8 mm/h = 6,5 mm/h

- **Diámetro de cobertura**

Es el diámetro en metros, del área circular del terreno que cubre el aspersor, cuando el cabezal del mismo está a 40 cm sobre el nivel del suelo.

- **Velocidad del viento**

Su unidad de medida es kilómetros por hora (km/h) y metros por segundo (m/s).

**Ejemplo:**

Transformar la velocidad del viento de 30 km/h a m/s

**Solución:**

Como 1 km = 1000 m; y, en 1 hora hay 3600 segundos.

30 km/h x 1 000 m/1 km x 1 h/3600 s = 8,33 m/s

- **Diámetro de la tubería**

Son las diferentes secciones circulares de las tuberías que conducen el agua para riego, tienen diámetros determinados en pulgadas y en milímetros, tanto internos como externos.

**Ejemplo:**

Una tubería de PVC de 3 pulgadas (diámetro comercial 90 mm) a cuantos milímetros equivale.

**Solución:**

1" (pulgada) = 25.4 mm (diámetro interno)

$$X = \frac{3'' \times 25{,}4 \text{ mm}}{1''} = 76{,}2 \text{ mm}$$

- **Diámetro de la boquilla del aspersor**

Los distintos diámetros de las boquillas se expresan en milímetros (mm) (Shani, y Sapir, 1984).

## 4.3.6 Componentes de un sistema de riego por aspersión

Un sistema de riego por aspersión debe disponer de los siguientes componentes básicos.

- Fuente de agua
- Fuente de energía
- Sistema de distribución de agua
- Aspersores
- Accesorios

### Fuente de agua

El riego por aspersión para ser económicamente factible, requiere de un caudal continuo, el cual puede provenir de una fuente superficial o subterránea. Las características más influyentes en el diseño del sistema de riego son:

- ubicación,
- calidad de agua; y,
- caudal.
- Ubicación: los factores más importantes que influyen en el diseño son:

- desnivel entre la fuente y el terreno,
- distancia,
- accidentes topográficos entre la fuente y el terreno.

- **Calidad de agua:** la calidad química y física del agua condiciona el diseño y funcionamiento del sistema. Las características más importantes son el contenido de sedimentos, la materia orgánica y las sales en solución (revisar unidad 1 del presente módulo).
- **Caudal:** para realizar un buen diseño que optimice el uso del agua y de la tierra hay que contar con un buen estudio hidrológico que determine el caudal seguro con una determinada probabilidad de ocurrencia (revisar unidad 1 del presente módulo)

## Fuente de energía

El riego por aspersión requiere relativamente de altas presiones para su funcionamiento. La presión puede lograrse utilizando bombas o aprovechando el desnivel existente entre la fuente de agua y el terreno; esto último solo ocurre en regiones montañosas.

## Sistemas de distribución de agua

El sistema de distribución del agua está conformado por tuberías principales y laterales. La tubería principal puede ser fija o móvil, superficial o enterrada.

La tubería lateral conduce el agua a los aspersores colocados sobre la misma. Al igual que en la tubería principal, los laterales pueden ser fijos o móviles, de aluminio, polietileno (manguera negra) o PVC.

*"En la región andina, el riego por aspersión a nivel campesino es básicamente de traslado periódico, es decir, la operación de uno o dos aspersores por usuario".*

## Aspersores

*Los aspersores por efecto de la presión ejercida por el agua giran dispersando el agua al aire en forma de gotas a través de una o dos boquillas.*

Los aspersores "tipo martillo" y el "tubo martillo" son los más conocidos. Un brazo accionado por un resorte de muelle recibe el chorro del agua y de esta forma hace girar el aspersor y cambia la dirección del chorro.

El Cuadro 6. presenta los tipos de aspersores, en función del rango de presión de

trabajo. Los aspersores de rango alto (4 - 7 atmósferas), se los utiliza principalmente en cultivos como: el banano en la Costa y caña de azúcar y pastos en los valles de la Sierra Andina.

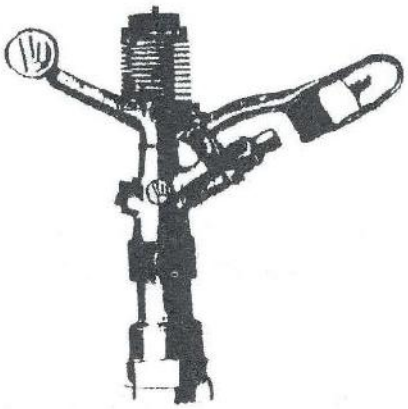
Los aspersores de rango media (2 - 4 atmósferas), son los más comunes, utilizados en cultivos de campo y hortalizas; mientras que los de baja presión (1 - 2 atmósferas), se los utiliza en árboles frutales, jardines, en el cultivo de las flores y en invernaderos.

**Cuadro 6. Clasificación de los aspersores según la presión de trabajo**

| RANGO | PRESIÓN DE TRABAJO (atm) atmósferas | metros | |
|---|---|---|---|
| Alta | 4 - 7 | 40 | 70 |
| Media | 2 - 4 | 20 | 40 |
| Baja | 1 - 2 | 10 | 20 |

Normalmente, los catálogos de los fabricantes con respecto a las características de los aspersores, definen las características más importantes (figura 24) (Shani y Sapir, 1984), en el que regularmente se tiene: el diámetro de las boquillas, la presión de trabajo, la descarga, el diámetro húmedo y la intensidad de precipitación del aspersor.

**FIG. 24. Características generales de los aspersores, en los catálogos**



Aspersor de descarga media

Dos boquillas

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 12 x 12 | 12 x 15 | 12 x 18 | 18 x 18 |
| 44 x 25 | 25<br>30<br>35<br>40 | 144<br>146<br>167<br>178 | 29<br>30<br>31<br>32 | | 99<br>107<br>115<br>123 | 81<br>87<br>94<br>100 | 66<br>72<br>77<br>82 | |
| 49 x 25 | 30<br>35<br>40 | 193<br>206<br>219 | 32<br>33<br>34 | | 133<br>142<br>151 | 108<br>115<br>123 | 88<br>94<br>101 | 60<br>64<br>68 |

Del catálogo de "NAAN"

1. Diámetro de las boquillas en mm.
2. Presión del agua en atm.
3. Descarga en $m^3/h$
4. Alcance en metros
5. Tasa de precipitación en mm/hora. Espaciamiento de los aspersores en metros

- **Selección.** La elección del aspersor se efectúa tomando en consideración la información básica y las características técnicas del aspersor que proporciona el catálogo del fabricante. La información básica, es la siguiente:
  - Tamaño de la parcela
  - Tipo de cultivo
  - Velocidad de infiltración básica
  - Topografía
  - Disponibilidad de caudal y presión de operación disponible

En el catálogo, determinamos la descarga promedio del mismo, por medio de la fórmula siguiente:

**Q asp.máx = VIB x Sl x Sm**

En donde:

Q asp. máx = Caudal máximo del aspersor en $m^3/h$

VIB = Velocidad de infiltración básica en mm/h

Sl = Espaciamiento entre aspersores en m

Sm = Espaciamiento entre laterales en m

**Ejemplo:**

Determinar el máximo caudal de un aspersor, para irrigar un suelo que tienen una velocidad de infiltración básica de 15 mm/h. La disposición del sistema es de 12 m x 12 m.

**Solución:**

Q asp. máx. = 0,015 m/h x 12 m x 12 m = 2,16 $m^3/h$.

Para seleccionar el aspersor para un sistema comunitario andino, se requiere un aspersor que tenga buena uniformidad y que responda a las condiciones señaladas líneas arriba. Además, es importante anotar que en general se carece de información (obtenida en el campo), sobre la uniformidad de distribución, en base a: variación de presión, descarga, velocidad del viento, pendiente del terreno, elevación e inclinación del aspersor, etc.

En el anexo 1 se presenta un cuadro en donde constan los principales problemas de los aspersores, las causas y probables soluciones

## Accesorios

La implementación de un adecuado sistema de riego por aspersión requiere de la utilización de cierto número de "accesorios" que faciliten la conducción y distribución del agua, así como también el control del sistema. Entre los más importantes podemos mencionar:

- Conexiones (codos, elevadores, etc.)
- Válvulas
- Ventosas
- Reguladores de presión
- Medidores de flujo y de presión
- Filtros
- Inyectores de fertilizantes, etc. (CIDIAT, 1988)

## 4.3.7 Tipos de Infraestructura en relación con la presión

En base a la disposición de presión del agua, en los Andes se dan tres modelos de infraestructura de riego por presión, como lo demuestra la figura 25.

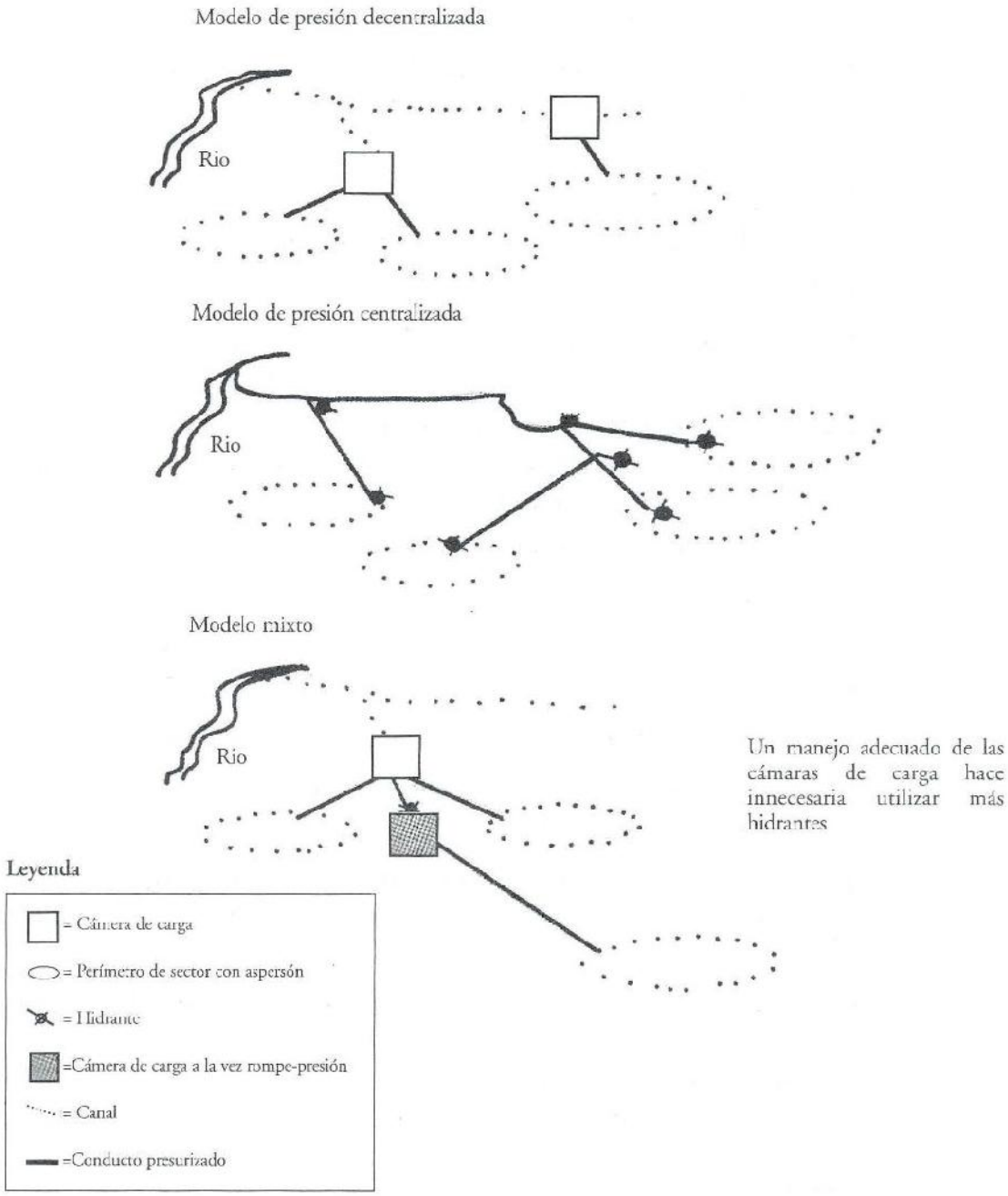
1. Presión descentralizada. Este modelo se refiere a que únicamente el equipo individual, la conducción del agua es presurizada.
2. Presión centralizada. Se denomina presión centralizada porque tanto el equipo individual como los conductos principales y secundarios son presurizados. El proyecto "Toronche" en Vilcabamba, Provincia de Loja, responde a un diseño con éstas características.
3. Modelo Mixto. Este modelo, se refiere a que el equipo individual y algunos componentes de conducción son presurizados con el fin de optimizar costos y operación.

A continuación se exponen algunas ventajas del modelo descentralizado, apropiadas por los campesinos de Paucartambo en la Subregión del Cusco en los Andes peruanos.

- Es lo más económico; los conductos a presión atmosférica son mucho más económicos que la tubería para conducción a presión.
- Una vez establecida la infraestructura del modelo descentralizado, es mucho más sencillo hacer una ampliación, porque la conducción principal no depende de válvulas; en cambio, acoplar nuevos conductos a ella es técnicamente sencillo.
- El control social sobre la distribución del agua es más fácil, por cuanto, este modelo tiende a nivelar las presiones hidráulicas con las cuales los aspersores en diferentes partes del perímetro de riego funcionan. Cada usuario busca el mínimo de tuberías presurizadas que necesita para su equipo móvil. Además requiere de muchas menos válvulas, lo que facilita el control social.

- Es compatible con otros usos del agua, porque gracias a la presión atmosférica del agua, en cualquier lugar de la red de conducción, se puede abrir o acondicionar puntos de toma de diferente tipo: abrevaderos para ganado, puntos en el canal para lavar ropa, etc.
- En caso de avería, las repercusiones son mucho menos impactantes en el total del perímetro de riego y además la reparación es más fácil, rápida y económica (Calderón, L. 1996).

**FIG. 25. Modelos de infraestructura de riego por presión**



## 4.3.8 Instrumentos físicos - administrativos para regular y/o medir caudales y zonas de riego en comunidades andinas

### Instrumentos físicos

Los instrumentos físicos en un red comunitaria a presión, que nos permiten regular o medir caudales son los siguientes:

- Tanque rompepresión (TRP)
- Tanque rompepresión - distribuidor (TRPD)
- Reguladores de presión(RP)
- Válvulas de compuerta y de bola
- Vertederos (triangulares, rectangulares, con contracción, sin contracción, pared gruesa o delgada).
- Orificio de fondo
- Compuertas
- Regla limnimétrica
- Aforos: volumétrico y con trayectoria de chorro
- Salidas, aspersores, tuberías, etc.

### Instrumentos Administrativos

Los aspectos administrativos del riego en los Andes (se los analiza puntualmente en la unidad tres del módulo seis) son:

- Organización de usuarios
- Junta de regantes
- Turnos de riego
- Deberes y derechos del agua
- Preferencia de agua
- Programación del riego

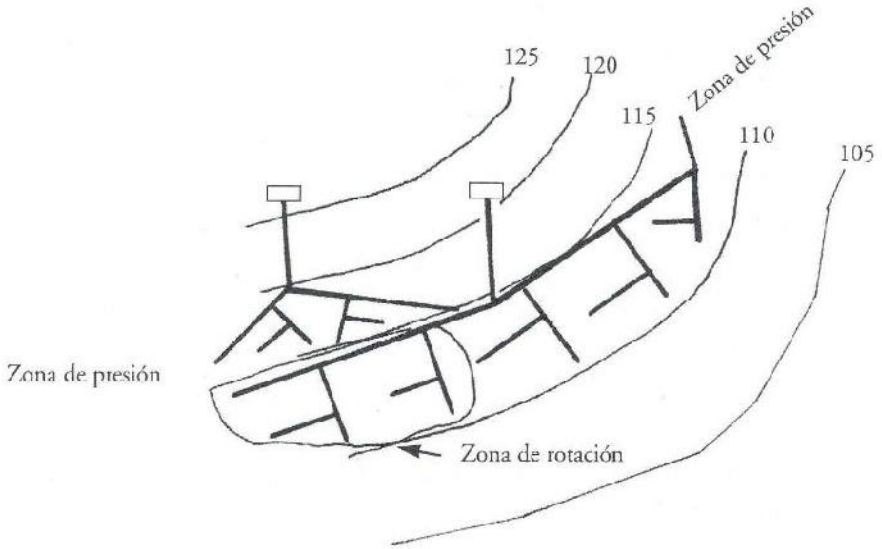
## Zonas de un sistema de riego Andino por presión

Las zonas de riego en las comunidades andinas, se clasifican como: físico, rotativo y administrativo.

**Zona física.** Se refieren a las zonas de riego que tienen presiones similares (mínimas y máximas).

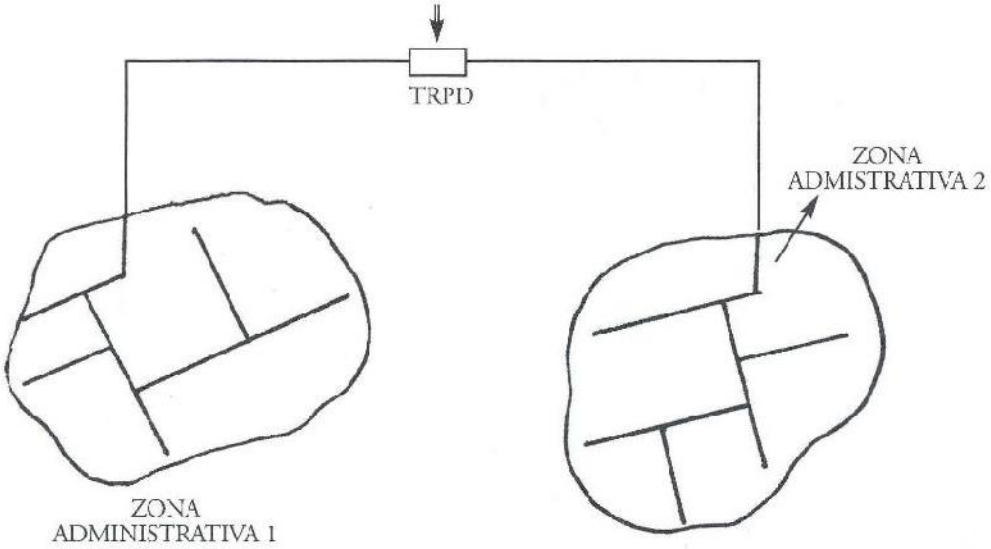
**Zona de rotación.** Por zona de rotación, se entiende a la distribución de varias "salidas" (vecinos) dentro de una misma área de presión. Una zona de rotación puede ser menor o igual a una zona física. En el cuadro 26 se observa la zona física y la de rotación.

FIG. 26. Zona física y de rotación




**Zona administrativa.** Divide a una zona de riego, en zonas independientes, tal como se observa en la Figura 27 (Van Drunen, H. 1998).

FIG. 27. Zona administrativa



## 4.3.9 Uniformidad de distribución de agua

Cuando existe una correcta distribución del agua, el suelo es humedecido hasta una profundidad uniforme de acuerdo a lo programado. Un reparto equivalente del agua sobre todo el terreno promete un crecimiento uniforme en todo el cultivo.

### Factores que influyen en la distribución uniforme

**Presión:**

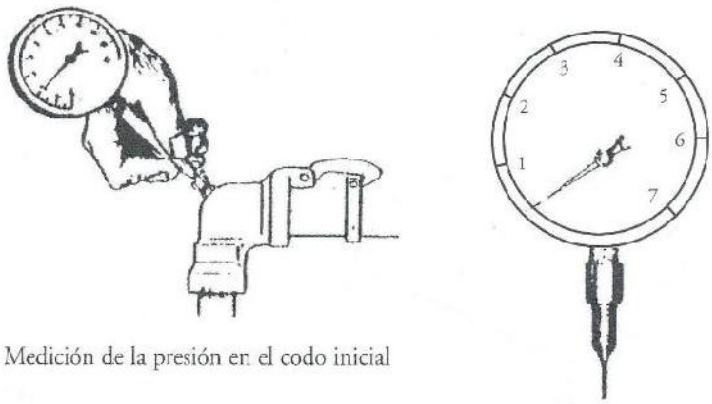
Cada aspersor funciona en forma eficiente en un rango de presiones de trabajo recomendadas. En este entorno, la distribución es mejor y el aspersor trabaja con una alta eficiencia y bajo desgaste en su material.

Por ejemplo, un aspersor que debe trabajar entre 20 - 40 metros de presión, regará una distancia menor, cuando deba trabajar a una presión de 10 metros, la distribución del agua será deficiente y existe la posibilidad de que no comience a funcionar.

Por otro lado, a presiones por encima de 40 metros, el chorro de agua se desparramará en gotas muy pequeñas.

La presión en el aspersor y en la red, se mide sin inconvenientes con un medidor, manómetro manual "tipo reloj" (figura 28), que corresponde a la presión de agua en la red, (Shani, y Sapir, 1984).

**FIG.28. Medición de la presión**



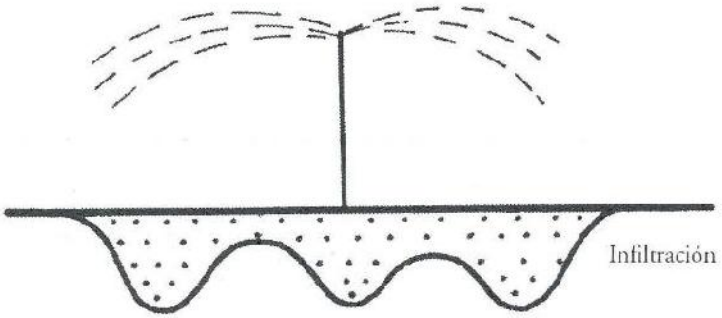

Medición de la presión en el codo inicial

Manómetro

Los aspersores deben funcionar dentro de los límites específicos de presión, con el objeto de asegurar un adecuado y óptimo patrón de distribución.

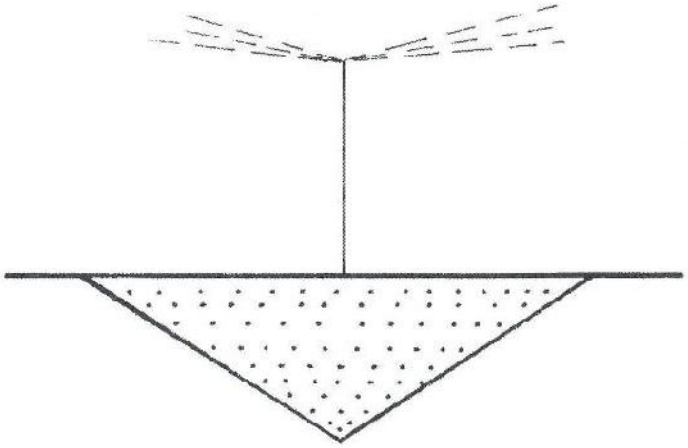
Las bajas presiones determinarán una inadecuada división del chorro y por consiguiente dos círculos de distintas precipitaciones (Figura 29).

**FIG. 29. Bajas presiones**



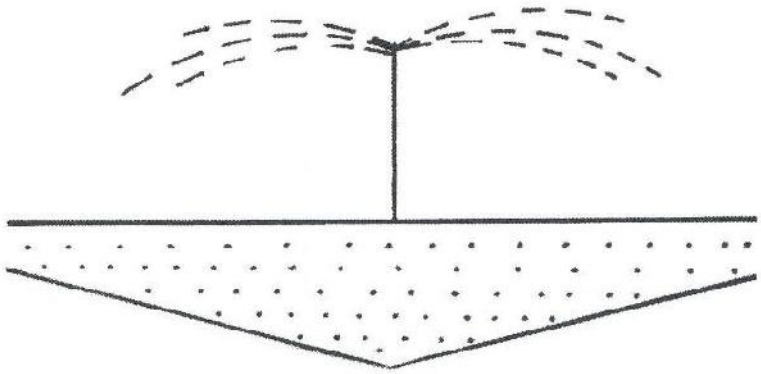

Las presiones excesivas causarán un rápido desgaste de los aspersores, una exagerada división (pulverización) del chorro, disminución del alcance y un exceso de agua en las proximidades del aspersor (Figura 30).

**FIG. 30. Excesivas presiones**



La presión óptima entrega una precipitación regular (Figura 31) (Van Drunen, 1996).

FIG. 31. Presión óptima



**Viento:**

Los rangos de velocidades del viento comunes en riego por aspersión son: 0-1.0 m/s (condiciones sin viento), 1.0-2.5 m/s (viento suave) y 2.5-4.0 m/s (viento leve). Por encima de 4.0 m/s (viento fuerte), la aspersión no es recomendable.

**Espaciamiento y superposición de los aspersores:**

Los espaciamientos entre laterales y aspersores se fijan de acuerdo al tipo de aspersor, sus boquillas, condiciones de viento, nivel de presión y ángulo de chorro.

**Disposición cuadrada:**

Indica la misma distancia entre laterales y entre aspersores. Espaciamientos a 24 m x 24 m y más son problemáticos por sus "manchas secas" en el centro entre 4 aspersores (figura 32).

**Disposición triangular:**

Tiene la posición alternada de aspersores entre 2 laterales. Está recomendada sólo para condiciones limitantes de presión (figura 33).

Fig. 32. Disposición cuadrada

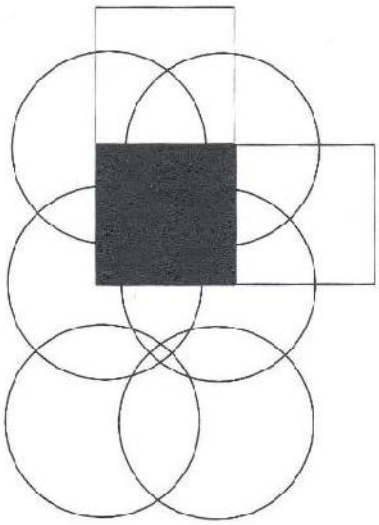
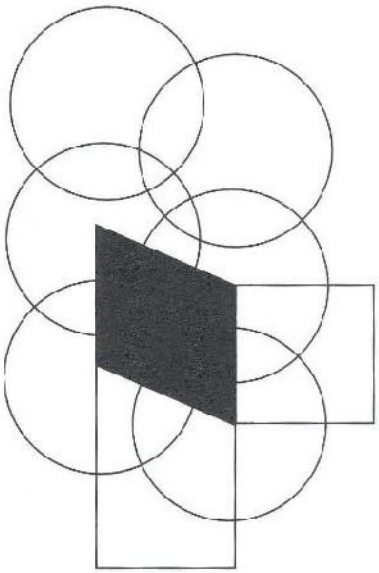


Fig. 33. Disposición triangular



**Disposición rectangular:**

Tiene una distancia mayor entre laterales y una distancia menor entre aspersores. Compensa en condiciones adversas y asegura una eficiencia más alta de riego. Las más comunes son de 18 m x 12 m, de 15 m x 12 m y de 15 m x 9 m (Shani y Sapir, 1984)

En los gráficos precedentes se observan los lados del rectángulo o el cuadrado formado por los aspersores. A es la distancia entre los aspersores ubicados en un mismo lateral. B es la distancia entre los laterales. A multiplicado por B da la superficie en metros cuadrados.

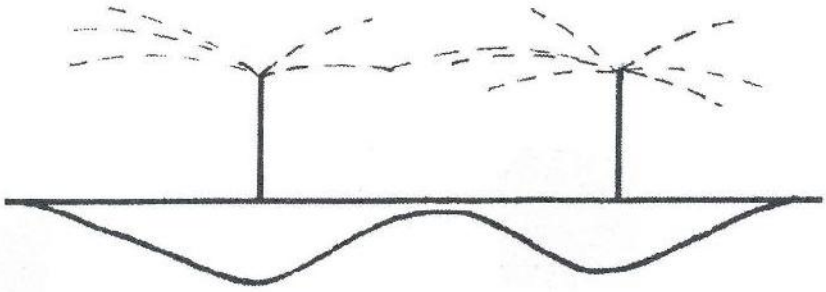
En virtud de su movimiento giratorio, los aspersores distribuyen el agua en modelos circulares, asegurando uniformidad de aplicación de agua en el área regada.

Los aspersores deben ubicarse de tal forma, que exista una superposición (traslape) de los círculos regados.

Ningún aspersor individual o en línea debe funcionar sin satisfacer la superposición requerida. El grado de superposición requerida variará de acuerdo con el modelo de aplicación del aspersor y las condiciones de viento.

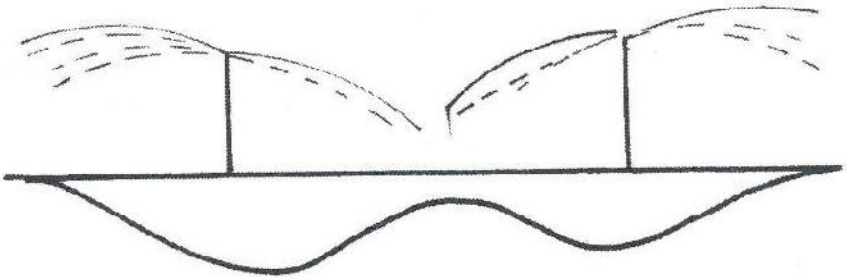
Una buena ubicación de los aspersores a lo largo de la línea y una distancia correcta entre líneas laterales determinará una aplicación acumulada (Figura 34).

FIG. 34. Espaciamiento correcto de aspersores



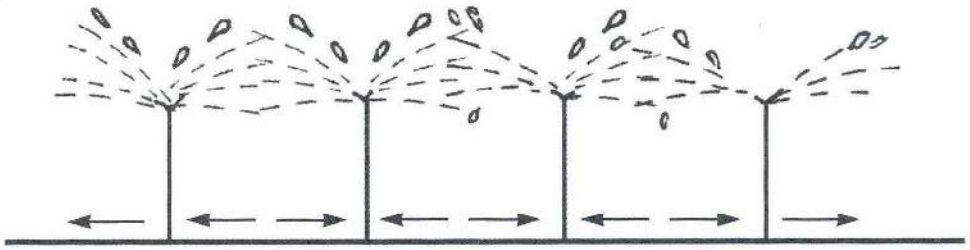
La figura 35 muestra como un espaciamiento exagerado entre aspersores determina una deficiente uniformidad de aplicación.

FIG. 35. Espaciamiento exagerado entre aspersores



La figura 36, muestra que puede existir escurrimiento y erosión como resultado de un espaciamiento entre aspersores demasiado próximos (Van Drunen, 1996).

FIG. 36. Espaciamiento entre aspersores muy cercanos



El cuadro 7 indica el espaciamiento máximo entre los aspersores y laterales, el mismo que es determinado por la cobertura circular del aspersor en el suelo y la velocidad del viento.

Cuadro 7. Espaciamiento máximo entre aspersores

| VELOCIDAD VIENTO (km/h) | ESPACIAMIENTO | |
|---|---|---|
| | Sl (%) | Sm |
| no viento | 50 | 70 |
| 0 - 8 | 45 | 65 |
| 8 - 16 | 40 | 60 |
| 16- 24 | 35 | 55 |
| > 24 | 30 | 50 |

**Ejemplo:**

La velocidad del viento es de 4 km/h y la cobertura circular del aspersor es de 38 m. Encontrar la distancia entre aspersores y laterales.

**Solución:**

Del cuadro 7 para una velocidad del viento de 4 km/h, el espaciamiento máximo entre aspersores es de 45 % y el de laterales de 65 %. Por lo tanto:

Sl = 0,45 x 38 m = 17,1 m

Sm = 0,65 x 38 m = 24,7 m

En las comunidades andinas, en donde prácticamente el riego es con un solo aspersor, de las pocas experiencias que se ha estudiado, se observa que uno de los mayores problemas de los usuarios, es la falta de conocimiento para manejar los aspersores, en lo que tiene que ver a: tiempo de riego por posición, frecuencia de riego y lugar exacto del cambio de posición del aspersor; los técnicos en los diferentes sistemas, deberán trabajar en ello para lograr una mayor eficiencia en los sistemas de riego a presión.

### 4.3.10 Organización familiar para el riego andino a presión

En la mayoría de las comunidades andinas, la familia cumple un papel muy importante en las actividades agrícolas, principalmente en el riego, desde los hijos más pequeños hasta la mujer participan activamente en estas labores.

Se debe señalar la función que cumple la mujer campesina, ya que las labores realizadas por ella son múltiples y en muchos casos imprescindibles. Aparte de las labores reproductivas, así como su actividad principal que es la de pastar el ganado, colabora con el riego por aspersión, desempeñando en la mayoría de los casos las actividades siguientes:

- Traslado de tubos
- Instalación del sistema
- Limpiar la acequia
- Soltar el agua
- Limpiar los aspersores
- Cambiar de posición el sistema de riego.

Las labores de los hijos son similares a las de la mujer, en la mayoría de los casos son ellos los encargados de cuidar los aspersores durante el tiempo de riego. Para mayor referencia, revisar módulo 2 "Género y Riego" (IMAMA, 1994).

## 4.3.11 Ejecución, operación y mantenimiento de un sistema de riego andino

### Instalación del sistema de riego por aspersión

En todas las fases del proyecto: diseño, instalación, operación, mantenimiento y evaluación, debe participar la comunidad activamente. Para la instalación del sistema de riego, se debe ejecutar las siguientes actividades:

**Excavación de Zanja.** Para el emplazamiento de la red de tuberías principales y/o laterales, con colocación de hidrantes y válvulas, se realiza la excavación de la zanja de acuerdo al perfil longitudinal, procurando que la rasante por tramos, sea de pendiente uniforme. La profundidad de la apertura de la zanja varía generalmente de 0,60 a 0,80 m y su ancho es de 0,40 a 0,50 m.

La excavación se realiza también para la ejecución de las obras de arte complementarias: sedimentador, cámara de carga, cámara rompepresión, etc.

Luego de la excavación de la zanja, se sigue con el tendido de la red de tubería principal y laterales. Se debe tener cuidado en dejar los puntos de derivación, para empalmar la línea lateral, hidrantes y válvulas.

Antes de instalar la red de tuberías en la base de la zanja, se hace la compactación de una capa de 10 a 15 cm para evitar el pandeo de la tubería. Luego de instalada la tubería y accesorios es importante aplicar la prueba hidráulica, con el fin de hacer los reajustes oportunamente.

Posteriormente se aplica la primera capa de relleno de tierra fina zarandeada, compactándola cuidadosamente, obteniendo un espesor de 5 cm encima del tubo en estado compactado.

### Operación del sistema de riego por aspersión

Culminada la instalación del sistema de riego por aspersión, se empieza la operación con la prueba hidráulica indicada, para posteriormente hacer algunos ajustes. Las labores de operación se resumen a continuación:

- Durante la operación del sistema, se inspeccionará el funcionamiento de las diferentes partes del mismo, con la finalidad de detectar posibles fallas de funcionamiento.
- Antes de cada aplicación de riego se debe efectuar el purgado, con el fin de que los sedimentos y deshechos no malogren el equipo.
- Las válvulas de operación se abrirán y cerrarán lentamente, con el fin de evitar roturas en las conducciones debido al golpe de ariete.
- Mantener limpios los filtros en cada operación, para evitar la disminución del caudal de descarga, en la cámara de carga al sistema y mantener la presión de trabajo de los aspersores.

## MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Con el objeto de dar un buen mantenimiento al sistema de riego por aspersión y garantizar así la operatividad y el mayor tiempo de vida útil, se señala a continuación algunas instrucciones que se deberán cumplir fielmente:

- Previo a la realización de las labores agrícolas es importante retirar el material del área de riego.
- Con un manómetro se comprobará frecuentemente las presiones de trabajo en los diferentes puntos del sistema.
- En un lapso de uno a dos meses, se retirará los tapones al final de la línea principal y de los laterales por espacio de cinco minutos, con el objeto de sangrar el sistema.

En las captaciones se debe efectuar periódicamente, lo siguiente:

- Limpieza del desarenador.
- Limpieza del reservorio
- En la cámara de carga, mantener limpio el tubo de rebose.
- Limpieza constante, reparación o renovación del filtro.
- Lubricación de válvula y mantenerla bajo seguridad después de la operación (cuando se trata de reservorios con válvulas).

En la red de tuberías:

- En la línea principal como en los laterales, reparar las filtraciones.
- En los hidrantes, si son metálicos, repintarlos. Si son de P.V.C., cubrirlos después de su operación.

En los aspersores:

- Renovación de las boquillas.
- Renovación de cojinetes y cambio de junta de gomas.
- Repintar los soportes metálicos (Calderón, L. 1996).

## ELEMENTOS DE GÉNERO A CONSIDERARSE EN LA EJECUCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS POR ASPERSIÓN:

La decisión de iniciar la ejecución de un programa de riego por aspersión debe partir de identificar los cambios y exigencias que trae un sistema de riego por aspersión principalmente a tres niveles:

**¿Quién hace qué en el riego?** Si fuera la mujer la que riega principalmente es necesario ubicar lo que implica el cambio tecnológico para ella sobre todo en relación a los siguientes elementos: si implica más tiempo que el sistema tradicional, si implica más trabajo (tubería móvil puede significar la presencia de por lo menos dos personas) y si implica mayores gastos en recursos económicos como producto del cambio, ¿quién cubrirá dichos gastos y en beneficio de quién irán dichos recursos?.

Un diseño en función de las condiciones, situaciones, roles y posibilidades de los usuarios hombres y mujeres. El acceso de la mujer a la nueva tecnología es muy

importante pero para que funcione es necesario que esté adaptada a su situación y se acompañe de un adecuado proceso de transferencia de conocimientos.

**Necesidades de capacitación:** Para una correcta operación y mantenimiento se necesita preveer una adecuada capacitación que implica considerar el grado de escolaridad principalmente de las mujeres, las especificaciones técnicas de los aspersores y accesorios y los lugares y precios de compra, la aplicación práctica y uso del sistema. La elaboración de guías sencillas y prácticas comprensibles para las mujeres.

## Experiencias sobre riego a presión en la región andina del país

Poco se ha trabajado en la región andina del país, en el tema de riego a presión presurizada por gravedad; los organismos no gubernamentales principalmente, son las que están a cargo de algunos proyectos. A continuación se presentan las experiencias de la SNV, FEPP y de la Fundación Colinas Verdes.

## Servicio Holandés de Cooperación para el Desarrollo

La SNV (Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo) viene desarrollando un trabajo investigativo en el centro del país, en los proyectos Penipe y Quimiag ubicados en la Provincia de Chimborazo y en el proyecto Patococha en la Provincia del Cañar. Los proyectos Penipe y Quimiag fueron concebidos para regar por aspersión, mientras que el proyecto Patococha se lo diseñó para regar por gravedad y se ha ido introduciendo paulatinamente el riego por aspersión.

A partir de la información básica obtenida mediante la revisión de los documentos del proyecto y entrevistas a los usuarios, líderes de las organizaciones campesinas y al personal técnico de los proyectos, a continuación, se extraen algunas conclusiones de carácter general.

**Proyectos Penipe y Quimiag.** Las ventajas y desventajas expresadas por los entrevistados son las siguientes:

**Ventajas:**

- Evita la erosión
- Facilidad de riego
- Mejor humedad del suelo
- Posibilidad de usar de noche

**Desventajas:**

- Taponamiento de los aspersores
- Se dañan los cultivos (por regar en las horas de más sol)
- El viento obstaculiza el riego normal
- Mantenimiento del sistema es muy caro
- No tienen capacitación para manejar el sistema

Hay que anotar que en el proyecto Quimiag, el mayor problema es el taponamiento de los aspersores producto de las algas, las mismas que se producen, probablemente porque el agua de la conducción principal tiene muchos fosfatos.

Proyecto Patococha:

**Ventajas:** Entre las principales ventajas mencionadas por los usuarios están las siguientes:

- Evita la erosión
- Facilidad de riego
- Mejor producción de la papa (incremento del 100 %)
- Mejor humedad del suelo
- Necesita menos agua
- Consensos acerca de la distribución del agua y confianza en la organización.

**Desventajas:** Para los agricultores del Proyecto Patococha, las principales desventajas son:

- Cambiar las mangueras
- Falta asistencia técnica para el riego
- El robo de accesorios y materiales es considerable.

En los documentos de la investigación de los tres proyectos no consta la información socio-técnica del riego, es decir de las características hidráulicas del sistema, tipo de los aspersores, frecuencia ni tiempo de riego, aptitud de los suelos para riego, topografía, necesidades de riego de los cultivos, forma de operación y mantenimiento, derechos, etc.

## Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio (FEPP)

El FEPP viene trabajando en algunos proyectos de la zona andina del país en riego a presión presurizado por gravedad. Concretamente, en las comunidades de Gañil y Jaratenta en el Cantón Saraguro de la Provincia de Loja, se está implementando riego a presión bajo los siguientes parámetros técnicos de diseño:

**Medidor.** Se han instalado medidores de caudal, con la finalidad de obtener una mejor distribución y ahorro del recurso hídrico entre los usuarios, apegado a las normas de equidad y transparencia, fortaleciendo con ello la organización social y el manejo racional de los recursos naturales. El medidor de caudal se instaló en la cabecera de cada uno de las parcelas. Sus características técnicas son las de tener un diámetro de 1/2" y una capacidad máxima de 0,42 l/s.

**Tipo de aspersor.** Con la finalidad de responder a las condiciones físicas y sociales de la comunidad, se seleccionó un aspersor autocompensado NELSON 2004, con una descarga de 0,14 l/s, diámetro húmedo de 18 m y con una presión de trabajo que oscila entre 17 y 42 m. Por lo tanto, el número máximo de aspersores funcionando por medidor es de tres.

**Área mojada por salida.** A partir de una salida (grifo de agua) se instaló una manguera de polietileno de baja densidad de 15 metros de longitud y de 1/2" de diámetro, al final de la misma se ha instalado el aspersor (Figura 37). Por cada salida, existe teóricamente siete posiciones. Considerando el 65% por efecto del viento con respecto al diámetro mojado del aspersor (18 m), la distancia entre aspersores es de 12 m. En siete posiciones diferentes del aspersor se cubre una área mojada de más o menos 1.000 m²

FIG. 37. **Salida (grifo) con aspersor**

Tiempo y Frecuencia de riego. El tiempo y frecuencia de riego en cada una de las parcelas, está en función de las necesidades de riego de los cultivos, la lámina de agua, disponibilidad de caudal y de la forma de operar, los valores y normas son diferentes en cada proyecto de riego.

## Fundación Colinas Verdes

En la Parroquia San Pedro de Vilcabamba del Cantón Loja, Provincia de Loja, la Fundación Colinas Verdes conjuntamente con los moradores de dicha parroquia y la ayuda económica internacional, realizaron los estudios y la instalación de un sistema de riego por microaspersión y goteo, en terrenos de ladera de aproximadamente 40 % de pendiente. Las características técnicas del sistema son las siguientes:

- Q de captación = 4,2 l/s
- Longitud de tubería principal = 10 Km
- Diámetro de tubería en los primeros 5 Km = 63 mm
- Tanques rompepresión = 7
- Caudal de microaspersor = 85 l/h
- Caudal de goteros = 4 l/h
- No. de familias = 24

- Superficie total = 24 ha.
- Caudal por familia = 0,35 l/s
- Tiempo de riego/familia = 96 horas
- Frecuencia de riego = cada 8 días.

El sistema de riego es de traslado periódico (aspersor) y sirve para la producción de cultivos, tales como: café, yuca, cítricos, aguacate, maíz, fréjol, etc.

El proyecto, cuenta con una sólida organización denominada "Toronche". La participación de los usuarios en todas las fases del proyecto ha sido muy importante y significativa, producto de lo cual se crearon los derechos del agua y se distribuye la misma con un alto sentido de equidad y transparencia.

# BIBLIOGRAFÍA


- Aguilar. Carlos, *El Rol de la Gestión de los Recursos Hídricos en el Manejo de Cuencas Hidrográficas,* Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- ALOP – ICCO, *Un Sistema de Relacionamiento para la Agricultura Sostenible de América latina y el Caribe. Una Propuesta Conjunta de ICCO y ALOP, 1998.*
- BAUDREZ, C. 1996. Descripción de los sistemas de riego por aspersión. Postgrado en Riego Comunitario Andino. Centro de Estudios de Postgrado. Universidad Nacional de Loja. Separata de clase. pp. 2-55.
- BAUDREZ, C. 1995. Necesidades de Agua para Sistemas de Riego. Apuntes para el Programa CROPWAT. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Nacional de Loja. pp. 3-7.
- BROUWER, C. Y HEIBLOEM, M. 1989. "Métodos de riego. Manejo de agua de riego". Manual de Campo N_ 5. Roma - Italia. FAO. pp. 2-64.
- BROUWER, C. y HEIBLOEM, M. 1987. Necesidades de agua de los cultivos. Manejo de agua de riego. Manual de Campo N_ 3. Roma. FAO. pp. 3-60.
- BUOL, S.W. F.D. HOLE, and R. J. McCRACKEN. 1980. Soil Genesis and Classification. Second Edition, The Iowa University Press.
- BURGMEIJER. J. 1996. Métodos de riego superficial. Postgrado en Riego Comunitario Andino (PRICA). Centro de Estudios de Postgrado. Universidad Nacional de Loja. Separata de clase. pp. 1-15.
- BURGMEIJER. J. 1996. Introducción a los métodos de riego. Postgrado en Riego Comunitario Andino (PRICA). Centro de Estudios de Postgrado. Universidad Nacional de Loja. Separata de clase. pp. 2-7.
- Bustamante. Rocío, *Procesos de transformación Legislativa para la Gestión de Recursos Hídricos,* 1998.
- Butler Flora. Cornelia, *Creación de Incentivos Sociales para la Conservación de Biodiversidad,* SANREM, 1999.
- CALDERON, L. y VAN DENBERG, A. 1996. Manual de Riego por Aspersión en los Andes. Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente. Cuzco - Perú.
- CAMAREN, *Compendio de Fichas de Capitalización I,* 1998.
- CAMAREN, *Compendio de Fichas de Capitalización II,* 1998.
- CNRH, *Gestión Integral de los Recursos Hídricos: Politicas y Estrategias Recomendadas* (Documento para Discusión), 1999.
- CNRH, *Políticas del Consejo Nacional de Recursos Hídricos. Proyecto de Reforma y Codificación de la Ley de Aguas,* CNRH, 1996.

- CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL DE AGUS Y TIERRAS (CIDIAT). 1988. Manual de riego por aspersión. Serie Riegos y drenajes. Mérida. Venezuela. pp. 1-15.
- CENTRO INTERNACIONAL DE RIEGOS 1981. Módulos de Entrenamiento en Riego. Universidad del Estado de Utah.
- CEPAL, Informe del II *Taller de Gerentes de Organismos de Cuenca en América Latina y el Caribe*, 1997.
- CEPAL, *Ordenamiento Político – Institucional para la Gestión del Agua,* 1998.
- CEPAL. Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, *Carta circular 1*, 1.994
- CEPAL. Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, *Carta circular 2*, 1.995
- CEPAL. Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, *Carta circular 3*, 1.995
- CEPAL. Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, *Carta circular 4*, 1.996
- CEPAL. Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, *Carta circular 5*, 1.996
- CEPAL. Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, *Carta circular 6*, 1.997
- CEPAL. Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, *Carta circular 7*, 1.997
- CEPAL. Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, *Carta circular 8*, 1.998
- CEPAL. Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, *Carta circular 9*, 1.998
- CEPAL. Red de Cooperación en la Gestión Integral de Recursos Hídricos para el Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe. Naciones Unidas, *Carta circular 10*, 1.999
- CESA, *Estrategias Institucionales de Intervención para el Desarrollo Rural 1996/2000*, CESA, 1996.

- CESA, *Posición Institucional ante la Nueva Ley de Aguas – Documento Interno -*, CESA, 1999.
- CODELSPA, *La Cuenca del Lago Imbacocha,* Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- CHAMBOULEYRON, J. (s.f.) Diseño y Evaluación del riego por superficie. Mendoza- Argentina. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas. Centro Regional Andino. pp. 1-15.
- CHAVEZ, V. y CHAVEZ, L. 1992. Introducción al riego por aspersión. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Cuzco - Perú.
- DENT, D. and A, YOUNG. 1981. Soil Survey and Land Evaluation. George Allen and Unwin, London.
- De Zeeuw. Henk, *Sistematización de los Estudios sobre Agricultura Sostenible,* ALOP – ICCO, 1998.
- DOORENBOS, J. y PRUIT, W.O. 1990. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO. N_ 24. Roma. pp. 50-59.
- Dourojeanni. Axel, *Guía para orientar procesos de gestión para el desarrollo en cuencas y microrregiones de alta montaña,* ILPES, 1989.
- Dourojeanni. Axel, *La gestión del agua y las cuencas en América Latina,* 1994.
- Encalada. Oswaldo y Martínez Pablo, *Principios Básicos del Manejo Integral de las Microcuencas Hidrográficas,* CAMAREN, 1998.
- FAO. 1984. Proteger y producir. Conservación del suelo para el desarrollo. Roma - Italia.
- GRASSI, C. 1989. Diseño y Operación del Riego por superficie. Mérida. Venezuela. pp.226 -250.
- Gómez. Marcelo y Vásquez. Marcelo, *Informe de las Experiencias del Proyecto de Desarrollo de Área Cochapamba en el Ordenamiento y Manejo de la Subcuenca,* Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- HANSEN, W. ISRAELSEN, O. AND G. STRINGHAM. 1980. Irrigation Principles and Practices. Fourth Edition, John Wiley and Sons, New York.
- HILLEL, D. 1980. Fundamentals of soil phisics. Academic Press, New York.
- IEDECA, P*lan de Manejo para los Páramos de El Hato,* 1995.
- IEDECA, *Proyecto de Conservación de Recursos Naturales y Riego Campesino en la Cuenca Alta del Río Ambato,* CORICAM, Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- ILACO, B.V. 1981. Agricultural Compendium for Rural Development in the Tropics and Subtropics. Elsevier - Amsterdam.

- INAMA. 1994. Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente. Diagnóstico del Riego por aspersión en la Cuenca del Mapacho. Cuzco. Perú
- INAMHI. 1993. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial por varios métodos para cien localidades Ecuatorianas. Quito.
- INEFAN, *Talleres de Identificación de Amenazas al Páramo – Documento Borrador -*, 1997
- INERHI. 1980. Parámetros para Clasificación de Tierras con Fines de Riego. Sección Edafología, Quito - Ecuador.
- Instituto Forestal de Sao Paulo, *Cuarto Curso Internacional Sobre Manejo de Cuencas Hidrográficas,* Secretaría de Estado de Medio Ambiente e Instituto Forestal de Sao Paulo, 1999.
- ISRAELSEN, O. y HANSEN, V. 1973. Principios y Aplicaciones de Riego. La Evapotranspiración. Barcelona - España. Ed. Reverte. 2da. Edición. pp. 224-235.
- Jadán. Segundo, *Posición Institucional Sobre el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas,* Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- Macas. Benjamín, *Proyecto FEPP en Saraguro,* Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- MAG, *Análisis Económico Sobre el Manejo Integral de Cuencas: Consideraciones Metodológicas,* Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- MAG, *Política Ambiental para el Sector Agropecuario – Resumen Ejecutivo,* 1998.
- MAG, *Propuesta Preliminar para la Gestión Integral de las Cuencas Hidrográficas,* Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- Martínez Alier. Joan, *Agricultura Sustentable*, CAMAREN, 1998.
- Martínez. Juan, *Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental*, CAMAREN, 1999.
- MEDINA, J. 1988. Riego por Goteo. Teoría y Práctica. 3ra. Edición. Madrid - España. Editorial Mundi-Prensa. pp. 15 -21.
- MORENO, C. 1989. Levantamientos Agrológicos. México, Trillas, UAAAN.
- Naciones Unidas, *Guía para la creación de entidades de cuenca. Marco de referencia para su elaboración.* Naciones Unidas, 1999.
- NEDA, *Sustainable Irrigated Agriculture*, Ministry of Foreign Affairs, 1998.
- OEA, *Plan de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas de los Ríos San Miguel y Putumayo,* Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.

- OLEARTE, W. 1987. Manual de Riego por Gravedad. Como diseñar el riego por surcos. Lima - Perú. Comisión de Coordinación de Tecnología Andina. pp. 9-105.
- PLASTER, E. 1992. Soil Science and Management. 2nd ed. Delmar Publishers, New York.
- Pons. Pablo, *Sistematización de Experiencias de Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas.* Cuenca del Río Paute, Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- Presidencia de la República, *Propuesta de Ley del Sector Agropecuario*, 1999.
- PRICA, *El Agua: de la cuenca a la Parcela*, CAMAREN, 1999.
- Proaño. Mauricio y otros, *Manejo Colaborativo y Uso Apropiado de Recursos Naturales en la Ecorregión de la Cuenca del Río El Ángel*, Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- Ramón. Galo, *Manual de Planeamiento Comunitario.* El PAC en la Región Andina, COMUNIDEC, 1995.
- *Ríos. Rusvel, Proyecto Manejo del Uso Sostenible de Tierras Andinas – PROMUSTA*; Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- SHANI, M. y SAPIR, E. 1984. El riego por aspersión, equipos y métodos. Estado de Israel. Ministerio de Agricultura. pp. 4-50.
- SKOGERBOE, G. y WALKER, W. 1987. Teoría y práctica del riego por superficie. Estados Unidos de Norteamérica. Centro Internacional de Riegos. pp. 3-9.
- SRAELSEN, O. y HANSEN, V. 1973. Principios y Aplicaciones de Riego. Métodos de riego. 2da. Edición. Barcelona. España. Ed. Reverte. pp. 260-2285.
- Terán. Fernando, *Proyecto de Riego y Desarrollo Rural Guarguallá – Licto. Fase III*, Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- Valencia. Fabián, *Metodología Utilizada para el Manejo de la Cuenca Alta del Río Pastaza*, Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.
- Varea. Anamaría, *Manejo de Conflictos Socioambientales,* UPSQ – PRODEPINE – DINEIB, 1998.
- VALAREZO, C. 1995. Relación suelo-agua-planta. Texto de estudio PRICA, Universidad Nacional de Loja.
- VALAREZO, C. 1995. El suelo como recurso básico para el crecimiento de las plantas: características físico-químicas y fertilidad. Texto de estudio PRICA, Universidad Nacional de Loja.

- VALAREZO, C. 1995. Levantamientos de suelos con fines de riego Texto de estudio PRICA, Universidad Nacional de Loja.
- VAN DRUNEN, H. 1996. Riego por aspersión. Postgrado en Riego Comunitario Andino (PRICA 1). Centro de Estudios de Postgrado. Universidad Nacional de Loja. Separata de clase. pp. 2-8.
- VAN DRUNEN, H. 1998. Riego por aspersión. Postgrado en Riego Comunitario Andino (PRICA 2). Centro de Estudios de Postgrado. Universidad Nacional de Loja. Apuntes de clase.
- Zury. Willam, Sistematización del Proyecto Desarrollo Forestal Campesino en los Andes del Ecuador – DFC, Taller de Sistematización de Experiencias en el Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas – MAG, 1999.

# LISTA DE FIGURAS

UNIDAD 2

**Figura 1.** Las interacciones del suelo en la biosfera
**Figura 2.** Triángulo de las clases texturales
**Figura 3.** Prueba manual para estimar la clase textural
**Figura 4.** Rangos de pH del suelo y de algunas sustancias comunes
**Figura 5.** Diagrama esquemático del suelo como un sistema en tres fases
**Figura 6.** Volumen de agua para llevar a capacidad de campo suelos de tres texturas
**Figura 7.** Tensiómetro instalado en la zona de las raíces
**Figura 8.** Infiltrómetro instalado en el campo
**Figura 9.** Determinación de la velocidad de infiltración por surcos
**Figura 10.** Erosión laminar
**Figura 11.** Erosión en surcos
**Figura 12.** Erosión en cárcavas
**Figura 13.** Erosión en riberas
**Figura 14.** Nivel Tipo A
**Figura 15.** Canales de desviación
**Figura 16.** Zanjas de absorción o infiltración
**Figura 17.** Vías de agua protegidas o encespadas
**Figura 18.** Terrazas o Bancales
**Figura 19.** Terrazas individuales o banquetas

UNIDAD 3

**Figura 1.** Evapotranspiración
**Figura 2.** Principales factores climáticos que influyen en las necesidades de agua de los cultivos
**Figura 3.** Evapotranspiración del cultivo de referencia
**Figura 4.** Método para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia
**Figura 5.** Tanque evaporímetro clase A
**Figura 6a.** Midiendo la altura de agua en el día 1
**Figura 6b.** Midiendo la altura de agua en el día 2
**Figura 7.** Fases de desarrollo
**Figura 8.** Kc medio en la fase inicial, en función del nivel medio de la Eto (durante la fase inicial) y la frecuencia de riego o de unas lluvias apreciables
**Figura 9.** Curva del coeficiente del cultivo
**Figura 10.** Precipitación Efectiva
**Figura 11.** Esquemas gráficos de la determinación de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo), las necesidades de agua de un cultivo (ETc) y las necesidades de agua de riego

**Figura 12.** Pérdida de agua en los canales
**Figura 13.** Pérdida de agua en los campos

UNIDAD 4

**Figura 1.** Riego por surcos
**Figura 2.** Vista desde arriba y corte transversal de los surcos y los lomos
**Figura 3.** Surco profundo y estrecho en suelo arenoso
**Figura 4.** Surco ancho y profundo en suelo arcilloso
**Figura 5** Surco de doble lomo
**Figura 6.** Diferentes modalidades de humedecimiento en surcos según el tipo de suelo
**Figura 7.** Esquema ideal de humedecimiento
**Figura 8.** Esquema ideal de humedecimiento
**Figura 9.** El caudal es demasiado pequeño para humedecer el lomo
**Figura 10.** Un caudal demasiado grande da origen a que el agua pase por encima de los lomos o a erosión
**Figura 11.** Avance del frente de agua
**Figura 12.** Recesión del frente de agua
**Figura 13.** Distribución del agua con un caudal demasiado pequeño
**Figura 14.** Distribución del agua con un caudal suficiente
**Figura 15.** Formación de surcos de guía
**Figura 16.** Formación de surcos
**Figura 17.** Protección contra el anegamiento
**Figura 18.** Protección contra la escasez de agua
**Figura 19.** Protección contra la acumulación de sal
**Figura 20.** Prueba de infiltración
**Figura 21.** Disposición de canterones
**Figura 22.** Tubería de abastecimiento
**Figura 23.** Riego por aspersión
**Figura 24.** Características generales de los aspersores, en los catálogos
**Figura 25.** Modelos de infraestructura de riego por presión
**Figura 26.** Zona física y de rotación
**Figura 27.** Zona administrativa
**Figura 28.** Medición de la presión
**Figura 29.** Bajas presiones
**Figura 30.** Excesivas presiones
**Figura 31.** Presión óptima
**Figura 32.** Disposición cuadrada
**Figura 33.** Disposición triangular
**Figura 34.** Espaciamiento correcto de aspersores
**Figura 35.** Espaciamiento exagerado entre aspersores
**Figura 36.** Espaciamiento entre aspersores muy cercanos
**Figura 37.** Salida (grifo) con aspersor

## QUÉ ES EL CAMAREN

El Proyecto CAMAREN es un sistema de capacitación ecuatoriano en el manejo sostenible de los recursos naturales renovables. Se ejecuta a través de un Consorcio de entidades públicas y privadas. Asegura su sostenibilidad por medio del apoyo al fortalecimiento de las instituciones participantes.

## EL SISTEMA DE CAPACITACIÓN CAMAREN

El sistema de capacitación CAMAREN se fundamenta en la recuperación de las experiencias institucionales, de técnicos y campesinos. Su punto de partida es esa práctica, sumada al conocimiento científico-tecnológico.

La capacitación es concebida como un proceso permanente y, en ella, la sistematización y capitalización de experiencias juegan un rol protagónico: facilitan escenarios de capacitación y aportan constantemente insumos de capacitación.

## FINALIDAD, OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS DEL CAMAREN

La finalidad del proyecto es contribuir al manejo sostenible de los recursos naturales renovables en la Sierra en términos socio-económicos y ecológicos.

El objetivo central del proyecto es poner en funcionamiento un sistema de capacitación para extensionistas y técnicos y el fortalecimiento de las capacidades institucionales.

El proyecto prioriza tres ejes estratégicos:

i. La cooperación interinstitucional para la construcción y ejecución de los programas de capacitación.

ii. La elaboración de contenidos de capacitación a partir de la integración de la sistematización de las experiencias y el conocimiento científico.

iii. El establecimiento del Consorcio CAMAREN como el instrumento impulsor del sistema de capacitación.

## LOS MIEMBROS DEL CONSORCIO

- Centro de Capacitación del Campesinado del Azuay (CECCA)
- Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas (CESA)
- Centro de Reconversión del Austro (CREA)
- Cooperativa de Asistencia y Recursos al Exterior (CARE)
- Fondo Ecuatoriano Populorum Progressio (FEPP)
- Instituto de Ecología y Desarrollo de las Comunidades Andinas (IEDECA)
- Ministerio del Ambiente
- Red Agroforestal Ecuatoriana (RAFE)
- Universidad de Cuenca
- Universidad Nacional de Loja

AUSPICIO

COSUDE

EMBAJADA REAL DE LOS PAISES BAJOS

ORGANISMO ASESOR

INTERCOOPERATION

ENTIDAD LÍDER

CESA