

# AGUA PARA SIEMPRE

Raúl Hernández Garcíadiego  
Gisela Herrerías Guerra

# Obtención de agua y conservación de suelos a través de la regeneración de cuencas

## DetECCIÓN DEL PROBLEMA DEL AGUA

En 1980 comenzó un programa de desarrollo rural entre campesinos de bajos ingresos en la semiárida región mixteca poblana. El proyecto fue impulsado inicialmente por la Central de Servicios para el Desarrollo de Tehuacán, A. C. (CEDETAC), y posteriormente fue fortalecido y expandido por Alternativas y Procesos de Participación Social, A. C. (Alternativas). A lo largo de su aplicación ha contado con importantes apoyos de donantes particulares e institucionales, nacionales e internacionales, entre los que destaca la Fundación Ford, a la que se han sumado las fundaciones Interamericana, Cante, Basiliana, Rotaria y los clubes rotarios de Loveland, Tehuacán y Tehuacán Manantiales.

Gracias al éxito alcanzado, el programa se ha extendido hacia la mixteca oaxaqueña y ha inspirado a múltiples instituciones privadas y gubernamentales a realizar programas similares.

Este programa mereció el máximo reconocimiento mexicano en materia social: el Premio Nacional de Solidaridad 1992.

La estrategia establecida pretende generar procesos de autodesarrollo sostenible de familias y comunidades campesinas marginadas a partir de un trabajo de promoción y organización popular cimentado en una metodología esencialmente educativa.

La labor no consiste en resolver los problemas de los campesinos, sino en organizarlos, capacitarlos y brindarles los apoyos básicos para que ellos mismos puedan solucionarlos, de modo que sean capaces de mantener un proceso autogestivo de desarrollo sostenible.

Desde el inicio fue evidente que el principal problema de la región es la falta de agua, al igual que en gran parte de nuestro país y del resto del mundo, a tal grado que se está convirtiendo en uno de los problemas mundiales más angustiantes.

Para enfrentar esta escasez, muchos grupos de campesinos solicitaron apoyo para perforar pozos profundos, pensando que es la técnica moderna más idónea para tener agua abundante a corto plazo.

Al analizar el problema y la alternativa de solución propuesta, se decidió no impulsar la perforación de pozos por varias razones, entre las que destacan:

1.- Una limitante ecológica, ya que resulta técnicamente inadecuado aumentar la sobreexplotación de los mantos acuíferos subterráneos de la región, que de por sí se encuentran gravemente amenazados.

Obtener más agua perforando pozos es como introducir más popotes al mismo vaso; tendremos más agua en el corto plazo, pero se acabará más rápidamente, por lo que el problema —en lugar de resolverse— se agravará en el futuro.

2.- Una limitante económica derivada de que la inversión que se requiere para perforar, equipar, dotar de energía y operar un pozo profundo, está fuera del alcance de la mayoría de la población campesina.

El costo global de la tecnología de los pozos profundos es prohibitivo para resolver el problema en una escala regional, nacional y mundial.

3.- Una limitante legal que se enfrenta debido a que con el fin de proteger los mantos acuíferos, desde 1950 se decretó una veda que prohíbe el alumbramiento de aguas subterráneas en la región de Tehuacán, la cual fue ampliada en 1959.

En la práctica esta veda ha sido violada incesantemente y, con el amparo de la nueva Ley Federal de Aguas expedida en 1992, la Comisión Nacional del Agua permitió la regularización de pozos, aunque hubieran sido perforados al margen de las disposiciones de protección de acuíferos.

## Investigación *El agua como recurso escaso*

Ante la magnitud del problema del agua y la complejidad de las alternativas de solución, en 1985 y 1986 los investigadores de CETAC y Alternativas —con el apoyo de la Fundación Ford— realizaron un importante estudio denominado *El agua como recurso escaso - La respuesta de Tehuacán*, en el que se analizó el fenómeno de lucha por el agua desde una perspectiva histórica, abarcando desde el origen de la agricultura en Mesoamérica hasta nuestros días.

Gracias a ello se logró comprender la interrelación de tres factores fundamentales que confluyen en esta

problemática:

- La ecología regional
- La tecnología utilizada en diversos periodos históricos, y
- La organización social que se ha generado para operar estas tecnologías en diversos contextos microecológicos a lo largo de la historia regional.

Además de aportar información de gran valor, la investigación concluye que, precisamente debido a la escasez que sufre y a la enorme importancia del agua, la región de Tehuacán ha aportado, adoptado y adaptado múltiples alternativas para su obtención y aprovechamiento en las diferentes épocas históricas.

En cada periodo, los pobladores de esta zona se han organizado en diferentes formas y han utilizado diversas tecnologías para aprovechar del mejor modo posible este vital y escaso recurso.

Más que ningún otro factor, la lucha por el agua es el eje de interpretación más claro de la historia regional.

### **Prehistoria**

Entre 1960 y 1964, un amplio equipo de científicos del más alto nivel encabezados por el doctor Richard MacNeish, realizó una importante investigación conocida como “el proyecto Tehuacán”.

A través de ésta logró esclarecer el origen de la civilización mesoamericana al encontrar la cuna de la agricultura y de la agricultura de irrigación, relacionando evidencia ininterrumpida del proceso evolutivo de la civilización regional por un periodo que cubre entre 9500 y 10000 años.

De modo inverso a lo ocurrido en el viejo continente, donde primero se estableció la vida sedentaria y posteriormente se originó la agricultura, en el valle de Tehuacán primeramente se descubrió la agricultura, lo que gradualmente permitió la vida sedentaria.

A partir de 1994 se ha comenzado a reexaminar la edad de la agricultura de Mesoamérica, utilizando la nueva tecnología de espectrometría por aceleración de masas que remonta la más fuerte limitación del método convencional de fechamiento con radiocarbono utilizado desde 1948: el tamaño mínimo de la muestra. El espectrómetro de masas puede trabajar con muestras de un milésimo de tamaño de lo que antes se requería, lo que ha permitido fechar pequeños pedazos de mazorca descubiertos en las cuevas, cuando antes esto no era posible.

Con este reciente método se establecieron nuevas fechas para los cultivos más antiguos que se encontraron en Tehuacán: el maíz americano (*Zea mays*) tendría una antigüedad de 4500 a 4700 años, y no ya los 7000 establecidos originalmente, mientras que el frijol (*Phaseolus vulgaris*) más antiguo de Tehuacán tendría 2300 años de antigüedad. Estas fechas todavía no pueden ser consideradas definitivas y es por ello que seguimos utilizando las fechas de radiocarbono —y no su conversión sideral— presentadas por Johnson y MacNeish con las reservas de imprecisión que ellos mismos señalaron en su tiempo, más las que las recientes técnicas han hecho surgir.

Cabe mencionar que aunque los modernos métodos de fechamiento están modificando los esquemas cronológicos de un modo importante, la secuencia evolutiva se conserva igual.

En la primera etapa, llamada fase Ajuereado (del 9500 ó 10000 hasta 6800 a. C.), unas tres o cuatro familias nómadas —de cuatro a ocho miembros cada una— recolectaban plantas silvestres y cazaban animales menores en la región de Tehuacán-Coxcatlán.

La siguiente fase, llamada El Riego (del 6800 al 5000 a. C.), se caracteriza por el uso de instrumentos y el



(85) Grúa cabría. Diseño de Leonardo da Vinci.

descubrimiento de la agricultura, domesticando el aguacate y una variedad de calabaza.

Durante la fase Coxcatlán (del año 5000 al 3400 a. C.) domesticaron el maíz, chile, guaje, amaranto, frijol, quelite, haba y zapote, aunque no representaban más del 10% de su dieta.

En la fase Abejas (del 3400 al 2300 a. C.) los pobladores adoptaron un patrón de asentamiento más sedentario y mejoraron el maíz tripsacoide, mientras que del 2300 al 1500 a. C. (fase Purrón) el único cambio relevante fue la aparición de la cerámica más antigua de Mesoamérica.

En la fase Ajalpan (de 1500 al 800 a. C.) los habitantes eran agricultores de tiempo completo y vivían en pequeños pueblos de 100 a 300 individuos. En la fase Santa María (del año 800 al 150 a. C.), los naturales realizaron el descubrimiento de la agricultura de irrigación manejando el agua de lluvia, y emprendieron la construcción de la monumental presa de Purrón.

Cada mejora en la agricultura propició un avance en el desarrollo de su cultura, lo cual —a su vez— redundaría más tarde en nuevos adelantos para la técnica agrícola.



(86) Presa de Paxtle, Santa Ana Telóxtoc, y restos de presa prehispánica.

La agricultura de riego se inició domesticando aguas broncas provenientes de escurrimientos de origen pluvial, mediante represas y terrazas escalonadas de las cuales existen muchos restos en esta región.

La construcción de la monumental presa de Purrón señala el inicio de la agricultura de riego en Mesoamérica hace 2750 años, siendo aquélla la obra de este tipo más antigua que se ha encontrado hasta hoy.

La presa, construida por etapas a partir del año 750 a. C. y concluida antes del año 300 de nuestra era, mide 18 metros de altura, más de 400 metros de largo de lado a lado de la barranca, y de ancho tiene más de 100 metros en la base. Ella formaba un depósito de agua de aproximadamente 400x700 metros, con lo que pudo almacenar más de dos y medio millones de metros cúbicos de agua.

Afortunadamente, en la actualidad se conserva el 80% de la enorme estructura de esta presa prehispánica, ubicada en el arroyo Lencho Diego, al sureste del Valle, cerca de la población de Coxcatlán.

La monumental obra está construida con un volumen de aproximadamente 370 mil metros cúbicos de



piedra y tierra compactada, y tan sólo en su última fase de edificación requirió del trabajo de más de 4300 hombres durante unos 220 días, lo cual revela la existencia —en aquel tiempo— de una compleja red social que pudiera organizar y controlar a tal número de trabajadores, y evidencia un dominio de la ingeniería hidráulica que permitiera el diseño y la construcción de una obra de almacenamiento de agua de tal envergadura.

Como esta presa existen otras varias en la región, aunque no se ha encontrado ninguna tan antigua ni tan monumental como la de Purrón, lo cual implica que la captación y aprovechamiento del agua de lluvia fue un patrimonio cultural ampliamente extendido desde la prehistoria de la región.

Junto con la tecnología para retener el agua de lluvia por medio de presas, los antiguos agricultores —a partir de la fase Palo Blanco (del 150 a. C. al 700 d. C.)— dominaron también la técnica de construcción de terrazas para retención de suelos y de humedad en las parcelas de siembra de ladera. De estas terrazas, construidas con piedras superpuestas, existen muchísimas evidencias arqueológicas en todo el Valle.

La fase Venta Salada (del 700 al 1500 d. C.) representa la última etapa evolutiva antes de la llegada de los españoles a la América continental.

En esta fase, mucho antes de la llegada de los españoles, se desarrolló un complejo sistema de canales de distribución para llevar el agua de los manantiales del valle medio hasta los lugares óptimos de cultivo en el valle bajo, creando un macrosistema de irrigación de más de 25 kilómetros de largo que comprende cientos de kilómetros de canales en total.

Estos se mineralizaron con los años por incrustación de las sales de las aguas, formando lo que se conoce como canales fósiles o tecuates, algunos de los cuales pueden admirarse gracias a que los constructores del fraccionamiento Reforma, en la zona alta de Tehuacán, decidieron preservarlos en los camellones y trazaron las calzadas siguiendo su curso.

Para uso doméstico, los pobladores utilizaron la técnica de los jagüeyes. La mayoría de las poblaciones de la región se formaron como un conjunto de casas alrededor de un bordo de tierra compactada —llamado jagüey— que recibía el agua de los escurrimientos de los cerros y era utilizada tanto para satisfacer las necesidades elementales de la población como para que los animales abrevaran.

Cada año, durante el período de secas se realizaban labores de mantenimiento, asignando a cada familia alrededor de un metro cúbico de azolve que tenía que excavar del fondo del jagüey para colocarlo y compactarlo sobre el bordo, incrementando así año con año su capacidad de almacenamiento.

La existencia de tan diversos sistemas hidráulicos y sus grandes magnitudes revelan que en la prehistoria de la región se desarrolló un complejo tejido de organización social para operar exitosamente el sistema hidráulico del Valle como un todo unitario.

Esta notable armonía que se alcanzó en la antigüedad entre la ecología de la zona, la tecnología utilizada y la organización social, nunca más se ha vuelto a lograr en las siguientes etapas de desarrollo de la historia de la región.

## **Colonia**

A partir de la Conquista, al introducirse un nuevo concepto de propiedad de la tierra para dar lugar a la formación de las haciendas, se inutilizó la compleja red de canales fósiles que fueron vitales para el desarrollo de la agricultura en la época anterior.

La técnica prehispánica resultaba adecuada para la óptima utilización del agua en un sistema unitario de aprovechamiento en el Valle, pero no se adaptaba al nuevo régimen de organización social que dividía la superficie en varias unidades aisladas —las haciendas— pertenecientes a distintos propietarios.

Al mismo tiempo, el nuevo esquema de dominación sobre la población indígena destruyó el modelo de orga-



(87) Canal, Santiago Miahuatlán.

nización social que había operado tan exitosamente para la producción agrícola de la región.

A cambio de ello, durante la época Colonial se aportaron nuevas técnicas de desviación de corrientes broncas hacia los terrenos de cultivo de las haciendas. También se adoptó la tecnología de las galerías filtrantes, —de origen persa, del tiempo del rey Sargón II (722-705 a. C.)— para obtener agua excavando un túnel horizontal con ligera pendiente que conduce el agua del subsuelo por medio de la gravedad, y que da lugar a un manantial artificial permanente a flor de tierra.

Este túnel o galería tiene pozos verticales —llamados lumbreras— que sirven para iluminación, respiración y extracción de materiales durante el período de construcción, y para su mantenimiento posterior.

Esta técnica logró arraigarse en la región a tal grado que aun en la actualidad —a pesar de verse gravemente amenazado— constituye el sistema de irrigación más importante en el valle bajo, abarcando más de doscientas galerías en operación que aportan alrededor de 170 millones de metros cúbicos anuales de agua para irrigación.

Las galerías son operadas normalmente por sociedades de aguas que representan un esquema de organización social con alto grado de sofisticación y complejidad.

En resumen, durante el virreinato se siguió prestando atención al aprovechamiento de escurrimientos de agua de origen pluvial por medio de presas derivadoras, aunque con una eficiencia mucho menor que en la prehistoria, y se inició la explotación de los mantos subterráneos de baja profundidad por medios artificiales como las galerías filtrantes y pozos someros.

Más tarde, con la desaparición gradual del sistema de dominación y propiedad territorial de las haciendas, a partir de la Revolución se provocó el abandono de muchas obras hidráulicas de la Colonia, especialmente los sistemas de canales de conducción, aunque muchas otras se conservaron y se encuentran aún en operación.

### **Epoca moderna**

Más recientemente, con la aparición de la tecnología de los pozos profundos se acentuó el proceso de abandono gradual de la tradición de construir y mantener jagüeyes y represas de contención de las aguas superficiales, para concentrar los esfuerzos en la explotación de los mantos acuíferos profundos, mediante la perforación y equipamiento de pozos para uso individual en granjas y ranchos, y, en ocasiones, de pequeños grupos de campesinos.

Los datos sobre el número de pozos existentes y sus aforos no son confiables debido a que —por la vigencia de la veda legal— la mayoría de ellos se encuentran en la clandestinidad.

Sin embargo, las oportunidades de regularización que surgieron de la nueva Ley de Aguas Nacionales de 1992 están cambiando rápidamente esta situación.

Ya en la segunda mitad de nuestro siglo se construyó un canal que trae agua al valle medio de Tehuacán proveniente de la presa de Valsequillo, ubicada a unos 100 kilómetros de distancia, y operada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural conjuntamente con las organizaciones de usuarios.

Desgraciadamente, la vida útil de este embalse se está reduciendo a causa del enzolvamiento de su vaso provocado por la extensa deforestación de la cuenca.

Además de ello, presenta el problema de la contaminación progresiva del agua que conduce por la presencia de afluentes que arrastran detergentes y productos químicos, dañando las tierras que irriga.

En pocos años, el Valle se quedará sin recibir agua de la presa de Valsequillo y con tierras de temporal gravemente contaminadas.

Una presa secundaria del mismo sistema, ubicada en el valle alto, cerca de la población de Cacaloapan, presentó una falla y nunca pudo operarse, con lo cual se difundió la creencia de que la construcción de presas para aprovechamiento del agua de lluvia no es una alternativa adecuada para la región.

Esta creencia se mantuvo durante décadas, hasta que el programa “Agua para siempre” demostró lo contrario.

Nuestros tiempos se caracterizan por ser los primeros que amenazan seriamente al equilibrio ecológico al propiciar, por un lado, la deforestación acelerada, afectando con ello las fuentes de recarga de acuíferos, al mismo tiempo que, por el otro, se intensifica la explotación de los mantos subterráneos.

### **Panorama actual**

Cada época ha generado nuevas tecnologías y sus propias formas de organización social, produciendo diferentes sistemas socio-tecnológicos, muchos de los cuales coexisten actualmente en un complejo macrosistema que —siguiendo a Karl Wittfogel— puede denominarse una Sociedad Hidráulica.

Pero a pesar de esta generación de tecnologías y estructuras sociales, el problema, en lugar de resolverse,

tiende a agravarse en nuestros días debido a tres factores principales:

- 1. uno, el incremento de la población;
- 2. dos, el inadecuado manejo de los recursos naturales de la región; y
- 3. tres, el acceso desigual al agua disponible, concentrada injustamente en pocas personas y grupos de poder como resultado de una competencia desigual entre el sector urbano y el rural, por una parte, y entre grupos económicos de diferente fuerza dentro de cada sector, por la otra.

La tendencia de abatimiento de los mantos acuíferos nos dibuja un panorama catastrófico para el futuro cercano. Basta con decir que de 1968 a 1986 se duplicó el kilometraje de las galerías filtrantes, que es el sistema socio-tecnológico más importante de la región, y a pesar de ello la cantidad de agua extraída en esta última fecha no aumentó significativamente con respecto a la que se obtenía 18 años antes.

La mayoría de las galerías filtrantes presentan una drástica disminución de su caudal en la actualidad, habiéndose secado ya muchas de ellas.

También en los pozos profundos se registran tendencias graves de abatimiento.

Mientras tanto, millones de metros cúbicos de agua de lluvia se desperdician cada año al correr por las barrancas sin dejar ningún beneficio, sino por el contrario, causando serios daños a su paso.

El problema estriba no solamente en la obtención de agua para satisfacer las diferentes necesidades, sino en lograr que esta extracción no siga mermando los mantos acuíferos subterráneos y que el acceso a este recurso se realice en condiciones de justicia para los diferentes grupos sociales.

Por ello, en el diseño de nuevos proyectos hidráulicos deben tomarse en cuenta tres elementos de gran importancia que confluyen en su resultado global:

1.- el cabal conocimiento de la ecología de la región,

2.- la comprensión de las formas de organización social existentes, y

3.- la tecnología adecuada, tanto para esta forma de organización social como para el medio ambiente microrregional.

Ante este panorama, CEDETAC y Alternativas realizaron un análisis para detectar las causas del problema y encontrar soluciones viables.

Las mujeres son quienes más sufren la escasez, ya que ellas son las encargadas de llevar agua a la casa para beber, cocinar y lavar, así como para el aseo personal de los miembros de la familia. Las mujeres campesinas en ocasiones tienen que acarrearla a lo largo de grandes distancias en cubetas atadas a un palo que se lleva en hombros o, las que tienen mayor suerte, llenando botes de plástico que consiguen y cargan en burros.

Para los hombres, la escasez de agua se sufre en los períodos de sequía, cuando las lluvias se atrasan y las cosechas se pierden, dejando a la familia sin alimento. Muchos de ellos tienen que emigrar temporalmente para buscar el sustento en alguna ciudad de México o de Estados Unidos.

Los animales que cuidan mujeres, niños y ancianos sufren y mueren cuando falta el agua, y no es posible encontrar comprador que ofrezca un precio adecuado.

## Origen del problema

Para satisfacer sus requerimientos de vivienda y de combustible, presionados por la necesidad imperiosa de obtener recursos económicos mediante la venta de madera, y acicateados por el hambre para sembrar maíz



(88) Compactación de la presa de Santa María La Alta.

con fines de autoconsumo familiar, a lo largo de la historia reciente de la región los pobladores de los cerros han talado bosques enteros y han abierto tierras de monte al cultivo, forzándolas inadecuadamente a servir a propósitos agrícolas, cuando su vocación natural era eminentemente forestal.

Esta tala de subsistencia realizada por los habitantes de los montes se ha visto agravada por la inmoderada tala comercial que va a dar a los aserraderos concesionados a particulares, los que generalmente no cumplen con la obligación de reforestar debido a una mala e inadecuada administración de la política forestal nacional.

El sobrepastoreo también ha provocado que la vegetación no se reponga, ya que las plantas tiernas son arrasadas por los rebaños que se alimentan de ellas.

La acción combinada de la deforestación y el sobrepastoreo ha hecho desaparecer la capa de vegetación natural que cubría las laderas de colinas y montes, y esto provoca que el agua de lluvia no se infiltre ya hacia el subsuelo para recargar los mantos acuíferos, sino que escurra superficialmente por la pendiente, a velocidad creciente, arrastrando el suelo descubierto, hasta dejar solamente tepetate o piedras estériles.

El proceso de erosión resultante va escarbando barrancas en donde antes había bosques.

De acuerdo a la topografía del terreno, muchas barrancas pequeñas confluyen y dan lugar a una más grande, que arrastra un caudal con fuerza y velocidad crecientes, lo que provoca una erosión mayor.

El relieve que se configura es el de una gran barranca con muchos afluentes menores, siguiendo un patrón semejante a las ramas de los árboles.

Por otra parte, valle abajo, donde se encuentran tierras propias para el aprovechamiento agrícola, se perforan pozos para extraer agua y convertirlas en tierras de riego.

La conjunción de la erosión de los montes y la sobreexplotación de mantos acuíferos provoca un rápido descenso en los niveles freáticos, ya que se incrementa la extracción a la vez que disminuye el volumen de recarga.

El abatimiento de los acuíferos está causando severos daños al sistema de galerías filtrantes que depende de los mantos superficiales y es la base de la agricultura de riego en el valle bajo.

Ante la escasez del recurso hidráulico, se hace atractiva la captación de los caudales de las barrancas, ya que son susceptibles de aprovechamiento por medio de la construcción de bordos o represas para embalsar el agua.

Debido al empuje del torrente, estas presas requieren una fuerte estructura para detenerlo, por lo que demandan una costosísima inversión que no está al alcance de las poblaciones rurales, a menos que cuenten con apoyo externo, ya sea gubernamental o privado.

Además del problema de costo, las presas tienen una vida limitada debido a la gran cantidad de azolve que llevan las aguas, inutilizando en pocos años la enorme inversión realizada.

La miopía de esta tecnología de las grandes presas estriba en que visualiza el problema bajo la óptica de un solo recurso: el agua, en lugar de enfocarlo desde la complejidad de las causas que lo originan y que exigen un manejo integral de los recursos al plantear las soluciones.

## **La solución: regeneración de barrancas**

Afortunadamente, los campesinos de la región no han perdido aún totalmente su vasta cultura hidráulica tradicional.

Los resultados de la investigación *El agua como recurso escaso*, llevaron a la conclusión de que una solución adecuada sería emprender un programa de regeneración de barrancas y cuencas.

Con esto, en 1988 nació el programa "Agua para Siempre", que ha crecido rápidamente y ha brindado abundantes frutos gracias a la entrega de un entusiasta equipo de profesionistas, técnicos, administradores y campesinos, entre quienes destaca el ingeniero Gerardo Reyes Bonilla.

La propuesta de regeneración pretende resolver el problema en el lugar mismo en donde se origina; es decir, corrigiendo sus causas reales y no solamente atendiendo a los efectos visibles.

Para regenerar una cuenca se requiere hacer tratamientos específicos en cerros, lomas, valles y barrancas, utilizando tecnologías adecuadas para lograr los efectos buscados.

El ciclo de regeneración es exactamente opuesto al proceso de deforestación.

En lugar de iniciar con la construcción de una gran presa para embalsar el agua al final de la barranca, se abordan primero los lugares más elevados en los cerros y colinas, en donde el agua de lluvia se empieza a juntar para producir una pequeña corriente.

## **Obras de retención en los cerros**



En las pendientes escarpadas de los cerros se pueden iniciar las labores de regeneración ecológica utilizando zanjas trinchera, anillos de captación y reforestación con especies adecuadas.

Los objetivos de los trabajos en los cerros son: favorecer la formación de suelos mediante la reforestación, reducir la velocidad de escurrimiento del agua de lluvia, disminuir la erosión, propiciar la infiltración hacia el subsuelo y conducir el agua retenida al lugar deseado dentro de la cuenca.

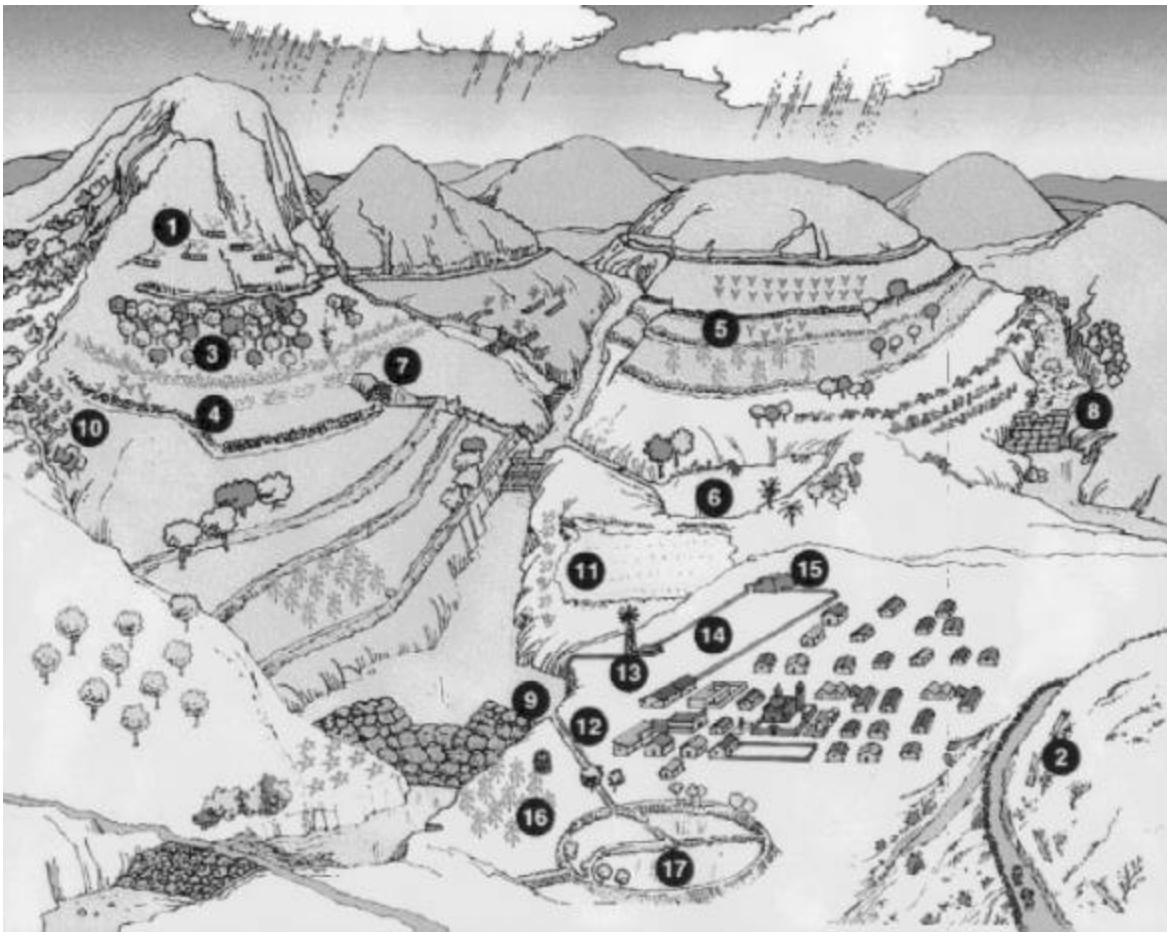
### Zanjas trinchera

En pendientes escarpadas se excavan cepas alineadas con la curva de nivel para plantación de árboles o arbustos; la tierra extraída se coloca junto a la cepa, hacia abajo, formando un ligero arco o bordo que retenga el agua de lluvia que escurra y la concentre en torno a la planta.

La siguiente línea de zanjas, ladera abajo, se hace intercalada para que las cepas intercepten el agua que haya escapado de la anterior línea de retención.

### Estacado con ramas

Cuando no existe suelo suficiente para hacer cepas profundas, se recomienda enterrar estacas que retengan un amontonamiento de ramas, piedra y tierra, para proteger a las plantas tiernas, favoreciendo su enraizamiento natural.



(89) Regeneración de cuencas.

- |                                  |                             |                |
|----------------------------------|-----------------------------|----------------|
| 1 Zanja trinchera                | 7 Presa de piedra acomodada | 13 Rehilete    |
| 2 Anillos de captación           | 8 Presa de gaviones         | 14 Tubería     |
| 3 Reforestación                  | 9 Presa derivadora          | 15 Tanque      |
| 4 Curvas de nivel con vegetación | 10 Manantial                | 16 Pozo somero |
| 5 Terrazas                       | 11 Irrigación               | 17 Jagüey      |
| 6 Agujajes                       | 12 Canal de tierra          |                |



(90) Presa "Agua el Moral", Santa Ana Telóxtoc.

### **Reforestación**

En cada cepa se siembran árboles, arbustos o plantas perennes, adecuadas a la región y al clima, con bajo requerimiento de humedad y que requieran pocos cuidados.

Estas plantas ayudarán en la labor de retención de agua y de infiltración al subsuelo por las fracturas que abren sus raíces, contribuyendo además a la formación y retención de suelos con la materia orgánica de sus hojas. Una vez establecidas, proporcionarán a la población leña, frutos, forraje o madera, según las especies que se elijan, incrementando el ingreso familiar y regional.

En zonas críticas se puede cercar un área en proceso de reforestación para restringir temporalmente la entrada de animales, y proteger de este modo a la vegetación en su fase de crecimiento inicial.

### **Anillos de captación**

Para recoger el escurrimiento de agua de lluvia en los cerros que bordean una cuenca, se puede construir un anillo de captación, es decir, una zanja horizontal con una ligera pendiente bajo la curva de nivel para llevar el agua de lluvia obtenida hacia un lugar determinado.

Este procedimiento permite concentrar el líquido en un sitio elevado de la cuenca y, a partir de allí, conducirlo al punto deseado con mayor facilidad, evitando cruces de barrancas en el valle o en el abanico aluvial.

El ancho del anillo está en función de lo escarpado de la pendiente y de la dureza de la superficie, mientras que la altura de su bordo depende del volumen de agua que se estima que circulará por él.

### **Obras de aprovechamiento en lomas**

En lomas donde la pendiente es menor a la que se da en los cerros, es posible continuar la reforestación y realizar obras de captación del agua de lluvia a través de bordos y terrazas a nivel, así como de aguajes o jagüeyes para abrevar a los animales y para pequeña irrigación.

Todas estas obras tienen incorporados vertedores de demasías para evitar desbordamientos y rupturas en

caso de exceso de escurrimiento.

### **Bordos y terrazas a nivel**

Siguiendo la curva de nivel se construyen bordos de tierra excavando una zanja, y amontonando y comprimiendo la tierra en el lado de abajo para formar un montículo.

Los bordos adquieren una resistencia mucho mayor cuando en ellos se plantan magueyes, nopales, árboles o arbustos que ayudan con sus raíces a afianzar la tierra, además de producir otros recursos para la población. Donde no se encuentra tierra para formar bordos pueden construirse muros de piedra acomodada siguiendo la curva de nivel, con el objetivo de formar terrazas uniformemente planas con el suelo que se retenga.

### **Cobertura vegetal**

Donde existan suelos someros que permitan sustentar vegetación natural, es conveniente propiciar el recubrimiento de aquéllos con pastos adecuados que proporcionen una cobertura al terreno, evitando la erosión y favoreciendo la infiltración del agua.

Conviene seleccionar preferentemente plantas de la región, en virtud de que la naturaleza ha demostrado que están adaptadas al lugar, además de que la cultura local ha aprendido a utilizarlas, lo que no excluye que en ocasiones puedan introducirse otras especies, después de cuidadoso estudio y ponderación.

### **Jagüeyes o agujajes para ganado y microirrigación**

En pequeños lugares con menor pendiente es posible construir jagüeyes o agujajes, excavando el suelo y colocando el relleno como bordo colina abajo.

El jagüey captará el agua que escurra de terrenos pedregosos o no nivelados, haciendo disponible una cantidad mayor de agua ya sea para abrevar a los animales o para mejorar las condiciones de las siembras de temporal mediante riegos de auxilio.



(91) Represa filtrante de gaviones, Santa María La Alta.



## Obras de regeneración en barrancas

Las barrancas se formaron donde el agua encontró suelo más débil, al que pudo erosionar con mayor facilidad. La regeneración se hace restaurando el suelo en estos puntos donde el agua ha excavado, construyendo terrazas mediante represas filtrantes y levantando bordos de tierra, siguiendo las curvas de nivel en los terrenos adyacentes.

Para ello se identifica cada uno de los brazos de la barranca que proporcionan los mayores caudales y se escoge uno de ellos para empezar. Este brazo se sigue corriente arriba para detectar los múltiples lugares en donde se originan los escurrimientos, y allí dar principio al tratamiento.

### Represas filtrantes de piedra acomodada

En cada uno de esos puntos donde la corriente no es fuerte, se obstruye el paso del agua por medio de la construcción de pequeñas represas filtrantes o terrazas, pudiendo utilizarse diversos modelos y técnicas de acuerdo a las condiciones del terreno y a los materiales disponibles.

Las represas filtrantes retienen los materiales sólidos aguas arriba y permiten una filtración del líquido con menor velocidad, facilitando su control y alargando el tiempo de escurrimiento.

Una represa sencilla consiste en una pared perpendicular a la dirección de la corriente, edificada simplemente acomodando y superponiendo piedras sin labrar y sin utilizar mezcla ni cemento para unir las, de modo que queden hendiduras entre ellas por donde pueda filtrarse el agua, cuidando que estén bien calzadas para que no sean arrastradas por ella.

En la cara de la represa que está corriente arriba se amontonan ramas, tierra o desechos vegetales disponibles que impidan que el agua se filtre velozmente, logrando un estancamiento temporal.

### Represas filtrantes de gaviones

Si la corriente es más fuerte y amenaza derribar un muro de piedra simplemente acomodada, conviene construir represas de gaviones con cimientos y empotramiento de mampostería para darle resistencia contra el embate de la corriente.

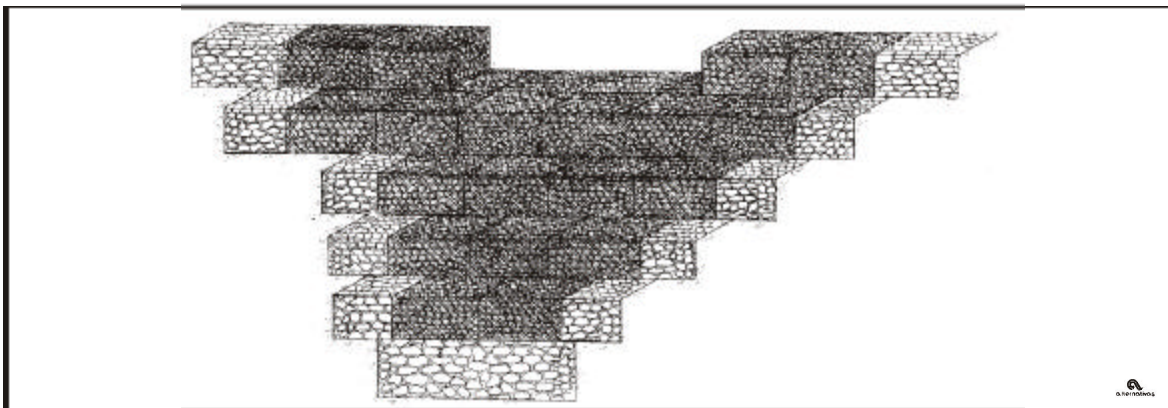
Las presas de gaviones están armadas con una serie de cajones de malla de alambre galvanizado, rellenos de piedras y amarrados unos a otros, por lo que tienen gran resistencia para enfrentar corrientes turbulentas.

Tales presas se diseñan con un vertedor central para conducir el exceso de agua en caso de desbordamiento, y así evitar que la corriente pueda horadar los extremos donde la presa se une al terreno.

Si la caída de agua es fuerte, será necesario añadir un piso aguas abajo o un tanque amortiguador, que impida que la corriente excave la base de cimentación de la presa, lo cual podría derribarla.

Las condiciones del terreno y la fuerza estimada de la corriente en cada punto determinan el diseño de la presa de gaviones, que puede ser de niveles escalonados para tener mayor resistencia o de cortina inclinada para reducir costos.

En ambos casos puede optarse entre dejar que el exceso de agua siga corriendo por el cauce de la barranca o buscar que se desborde e inunde los terrenos adyacentes.



(92) Presa filtrante: contención y regeneración.





(93) Presa-vado de gaviones El Tempesquixtle, camino a Santa Ana Telóxtoc.

Una vez terminada una represa corriente arriba, se identifica el siguiente lugar aguas abajo en donde se pueda construir otra similar junto con sus bordos correspondientes, para ir deteniendo el agua en diferentes niveles según lo exija la pendiente del terreno, continuando corriente abajo hasta llegar al cauce principal.

Este sistema de escalonamiento de represas se realiza en cada uno de los brazos o ramas de la barranca.

Al disminuir la velocidad y fuerza del torrente inicial a través del estancamiento provisional del agua en diversos puntos, se logra el control de los dos recursos naturales involucrados: el suelo y el agua.

- ▮ la tierra acarreada por la corriente se asienta en el lecho de las terrazas montaña arriba, en donde debe estar, formando excelentes terrenos para cultivo en lugar de ser arrastrada corriente abajo;
- ▮ se obtiene un espejo de agua temporal que puede servir para abreviar ganado, mientras que una parte se filtra lentamente a través de las hoquedades de la represa hacia las partes más bajas de la barranca, y otra porción se infiltra en el suelo, recargando los mantos freáticos.

A través del tiempo, estos dos fenómenos producirán un doble efecto benéfico:

- ▮ la acumulación de tierra fértil en las hondonadas producirá un efecto similar a la cicatrización, cerrando la herida de la barranca, con lo que poco a poco se cubrirá de vegetación natural favorecida por las condiciones de humedad que encontrará, y
- ▮ la acumulación de azolve funcionará como esponja que captará una gran cantidad de agua y la soltará lentamente a través de la represa filtrante, logrando un pequeño flujo que se prolongará por varios días o semanas, convirtiéndose en un arroyo semipermanente, en lugar del estéril torrente que corría anteriormente durante unas cuantas horas.

En una cuenca larga, en donde es posible construir múltiples represas y terrazas, la corriente que se logra puede llegar a ser permanente, y su flujo aumentar a medida que se complete la regeneración de la cuenca hasta las montañas más altas de la cuenca.

Cuando exista suelo suficiente en toda la extensión de una barranca nivelada mediante la deposición de azolve, podrán sembrarse árboles frutales y plantas perennes diversas que, además de producir frutos para la población, auxiliarán a las represas en la labor de retener la tierra asentada, y con su sombra estarán reduciendo la evaporación del valioso líquido.

## Obras de extracción de agua

A lo largo de todo el sistema, y de acuerdo con las necesidades del lugar, es posible excavar pozos de poca profundidad, laterales a la trayectoria de la barranca, o galerías filtrantes bajo el cauce mismo para obtener —aun en los tiempos de secas— agua que ha sido almacenada e infiltrada por las represas.

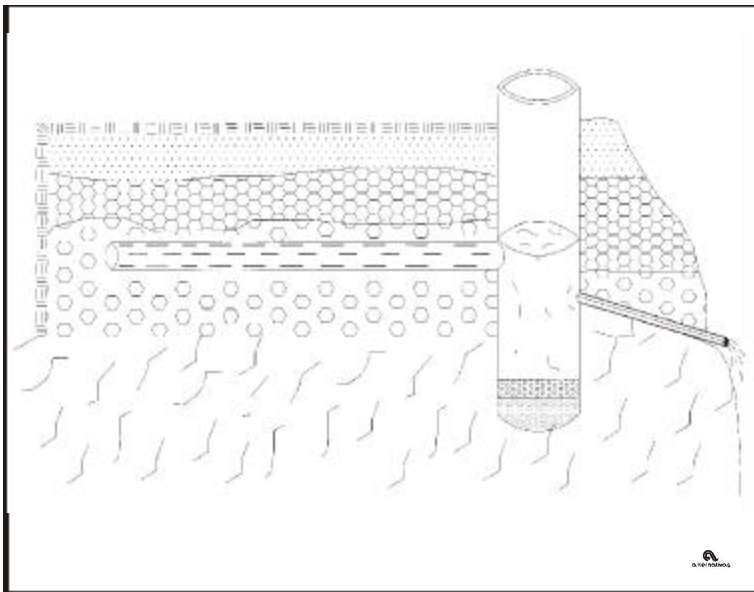
El líquido que se obtiene puede destinarse como fuente de aprovisionamiento para uso doméstico, para abrevadero de animales, para agricultura o para una combinación de estas tres, que es lo que generalmente busca la familia campesina.

### Pozos someros

El agua de una barranca o la de un jagüey es turbia por los sólidos que contiene en suspensión, por lo que no es saludable consumirla directamente de estas fuentes.

En lugar de eso, conviene perforar un pozo somero a escasos metros al lado de la barranca para obtener agua limpia que se habrá filtrado a través de las paredes de la fuente de la que provenga.

El agua obtenida de esta forma no es potable, ya que puede estar contaminada bacteriológicamente, pero es cristalina, libre de partículas sólidas por efecto de la filtración, y por lo tanto tiene mucho menor contaminación que la de la barranca o del jagüey.



(94) Galería filtrante de tubo enterrado.

### Galerías filtrantes

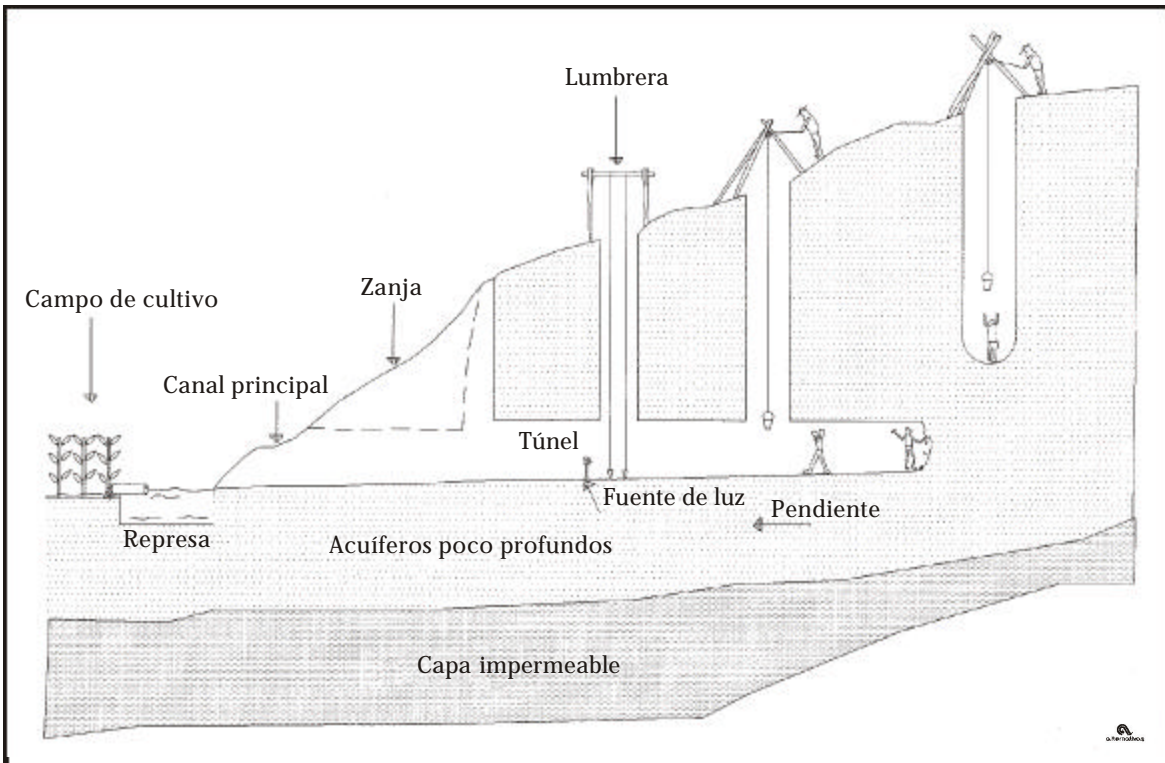
Otro modo de extraer agua limpia del subsuelo por medio de gravedad consiste en excavar una galería filtrante. Hay dos tipos principales de éstas: las de tipo túnel y las de tubo enterrado.

Una galería filtrante tradicional es un túnel horizontal que se excava manualmente con el objetivo de interceptar un manto de agua subterráneo, captando filtraciones por sus paredes y conduciéndolas a la superficie gracias a una ligera pendiente en el trazo de su nivel.

Para poder respirar mientras se excava, obtener iluminación y para extraer los materiales, se perforan pozos verticales, llamados lumbreras, que servirán posteriormente para inspección y mantenimiento.

Una galería más sencilla es una zanja que se excava en el fondo de una barranca, en la cual se entierra un tubo con perforaciones que se recubre con grava, gravilla y arena para protegerlo. El agua que circule en el fondo de la barranca se filtrará a través de la grava, la gravilla y la arena hasta llegar al tubo, entrará en él a través de las perforaciones y escurrirá hacia la boca del mismo, fuera de la barranca, por efecto de la pendiente.

### Presas derivadora

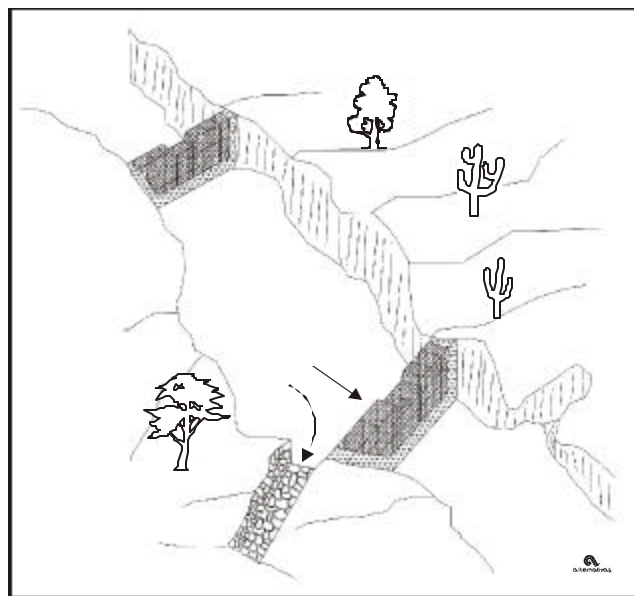


(95) Diagrama de construcción de galería filtrante.

En algún punto en donde la profundidad de la barranca lo permita, conviene levantar una presa derivadora para desviar parte de la corriente, canalizándola hacia terrenos agrícolas, proveyéndolos con un riego de auxilio que incremente la cosecha, reduciendo al mismo tiempo el caudal descendente que se busca domesticar.

Las presas derivadoras suelen incluir:

- Una base que eleva y nivela el piso de la barranca a una altura uniforme para repartir el agua a todo su ancho, disminuyendo la turbulencia de la corriente y permitiendo extraer el agua desde un punto más elevado.
- Muros laterales para encauzar el agua en la dirección deseada.
- Un parteaguas y una obra de toma para separar y controlar el volumen a extraer ya como agua mansa.



(96) Presa derivadora: desahogo de canales y riego de auxilio.

### Manantiales

El agua infiltrada en las partes altas de la cuenca suele brotar en algún lugar aguas abajo en forma de manantial, generalmente debido a fracturas en las rocas.

En los manantiales se pueden construir obras de captación y protección para evitar pérdidas y contaminación.



## Obras de almacenamiento

El sistema de retención gradual de suelo y agua en las partes altas de la cuenca permite la construcción de una presa de almacenamiento al final del cauce principal que requiere una inversión mucho menor en relación con el caso en que la presa tuviera que enfrenar bruscamente el descenso del torrente original.

Además, el vaso formado por esta presa final tendrá una vida útil mucho más prolongada al disminuirse la deposición de azolve, ya que está recibiendo agua que ha sido filtrada previamente e n múltiples ocasiones a lo largo de su curso montaña abajo.

Aún así, en zonas de fuerte erosión, el diseño de la presa final puede incluir un desarenador que permita limpiar el vaso en caso de que esté reteniendo azolve en cantidades superiores a las esperadas. Este azolve, así como el agua liberada para limpiar su vaso, pueden canalizarse para beneficiar a los terrenos de cultivo que se encuentren en su desembocadura.



(97) Presa llena, Santa María La Alta.

## Obras de conducción de agua

Una vez lograda la captación del agua, se utilizan tecnologías apropiadas en el diseño de sistemas de elevación, traslado, almacenamiento y aprovechamiento óptimo, trayendo cambios muy favorables a la familia campesina y a la región entera.

El agua mansa puede encauzarse por distintos conductos a los lugares de almacenamiento. Algunos sistemas de conducción producen mermas por infiltración y evaporación, mientras que otros son muy eficientes en el cuidado del agua. La elección dependerá de la escasez o abundancia relativa de agua y de los recursos disponibles para invertir en las obras de conducción.

El agua domesticada puede conducirse por el mismo cauce de la barranca original para evitar costos de



construcción de canales. Este medio genera mermas importantes en el flujo ya que el fondo irregular de la barranca produce estancamientos e infiltración en diversos puntos, reduciendo el caudal disponible al final, por lo que sólo conviene utilizarlo cuando se tienen volúmenes importantes de agua o cuando no hay recursos suficientes para hacer canales o entubar.

En caso contrario, el agua puede transportarse eficientemente por canales abiertos hasta el punto de utilización.

El trazo de la trayectoria debe dar una pendiente ligera que impida que el agua adquiera velocidad y llegue a desbordarse o a dañar el canal.

El diseño del canal está en función del volumen de agua a transportar, de la topografía y de la distancia.

Este puede ser rústico o revestido con piedra, cemento, canaleta u otros materiales. El recubrimiento implica costos mayores, pero evita pérdidas de agua por infiltración.

Sin embargo, el transporte de agua entubada es el modo más eficiente para evitar mermas, tanto por infiltración como por evaporación. Antes del entubamiento es necesario construir un tanque que permita asentar partículas en suspensión para no taponear las líneas de conducción.

## El manejo del agua en el valle

### Almacenamiento

Una vez que el agua llega al lugar en que habrá de retenerse, se puede optar por diversos métodos de almacenamiento, entre ellos el estancamiento temporal en terrenos de cultivo con bordos a nivel, los jagüeyes, las presas y los tanques impermeables.

La elección está en función de la cantidad de agua a almacenar, del tipo de terreno y de la inversión requerida.

### Bordos para estancamiento temporal

Si hay abundancia de agua de escorrentía, ésta puede retenerse provisionalmente en campos de cultivo, levantando bordos a nivel con vertedor incorporado, con lo cual se logrará infiltrar una porción importante, mientras que otra parte beneficiará directamente a los cultivos.

### Aguajes y jagüeyes

El agua se puede almacenar por períodos largos construyendo aguajes y jagüeyes.

Un jagüey es un bordo de tierra compactada, generalmente semicircular, que se forma excavando en el centro para aumentar la capacidad de almacenamiento de agua, y depositando la tierra escarbada sobre el bordo.

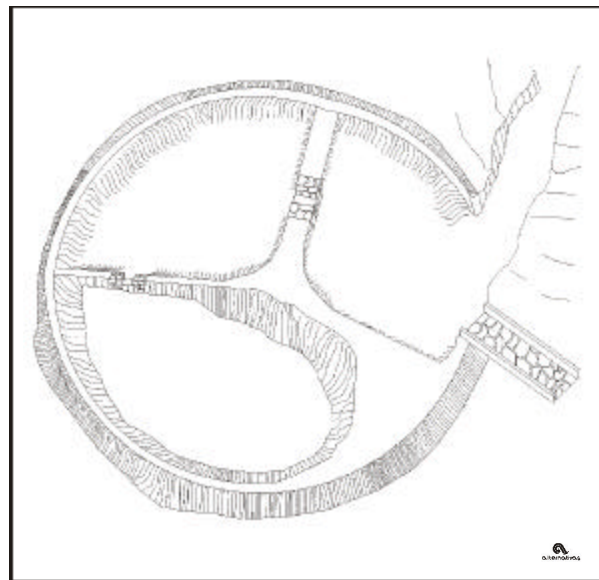
Con el tiempo, el fondo se sella casi totalmente, disminuyendo las pérdidas por infiltración.

El jagüey suele tener a la entrada una trampa de azolve para facilitar su mantenimiento, llamada contrajagüey, y un vertedor de demasías.

### Presas de almacenamiento

El agua mansa puede embalsarse directamente en una presa de almacenamiento a cuya entrada es también conveniente incorporar una trampa de azolve para prolongar su vida útil.

Cuando se dispone de un sitio donde se



(98) Los jagüeyes tradicionalmente han sido la fuente de abastecimiento de agua para un gran número de pueblos que han crecido alrededor de ellos; por esta razón resulta extraño que sean poco estudiados por antropólogos, arqueólogos, ingenieros e hidrólogos.

encañona el agua entre dos cerros, es recomendable construir una presa de mampostería, utilizando rocas del lugar unidas con mezcla de cemento, cal y arena.

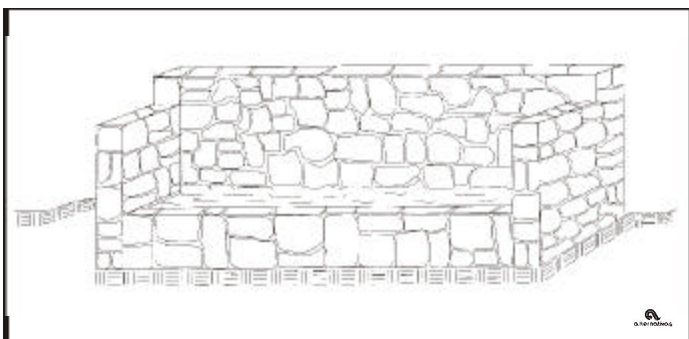
Pueden ser rectas de lado a lado, o en forma de arco para presentar mayor resistencia a la presión del líquido contenido.

Cuando no se cuenta con un lugar encañonado sino, más bien, con un área amplia de pendiente reducida, es preferible levantar una presa de arcilla compactada que retenga el agua.

Para prevenir fallas en caso de fractura causada por sismos o defectos de construcción, las presas de más de seis metros de altura pueden auxiliarse con un filtro invertido formado por arena, gravilla y grava, retenido por una represa de gaviones en su tercio más bajo, en la cara aguas abajo, que es el que soporta más presión.

Las presas de arcilla compactada requieren un dentellón impermeable a manera de cimientito y un vertedor de demasías lateral.

## Tanque impermeable



(99) Para proteger un jagüey o una presa de almacenamiento de la contaminación por excretas de los animales en el área del vaso, es conveniente construir un abrevadero independiente del depósito principal, lateral y aguas abajo.

Si el agua obtenida es escasa y no se quiere aceptar una merma por filtración, entonces conviene construir un tanque impermeable con muros de piedra, ladrillo o bloc repellados con cemento fino. Si el terreno lo permite, puede excavarse el tanque en el piso y recubrirlo con ferrocemento para reducir costos de estructura.

La extracción del agua desde el lugar de almacenamiento puede hacerse a través de tomas directas o, incluso, de abrevaderos, los cuales constituyen fuentes alternativas de abastecimiento de agua para animales, dejando la escasa agua disponible en la

población para su utilización humana.

Para extraer el líquido vital de mantos acuíferos no superficiales o para llevarlo hacia tanques elevados es necesario realizar tareas de bombeo.

En la época actual se utilizan extensivamente bombas eléctricas o de combustible. Cuando es posible, conviene utilizar sistemas de viento, solares, mecánicos (manuales y de tracción animal) o hidráulicos para reducir el costo de operación y evitar el uso de combustibles.

## Conclusión

La combinación de diversas técnicas adecuadas de regeneración ecológica, captación de agua de lluvia o del subsuelo, almacenamiento, distribución, potabilización, uso eficiente y reciclamiento de agua, permitirá dotar a las familias de un volumen suficiente de agua potable, agua limpia y agua tratada, para satisfacer las diferentes necesidades de beber, cocinar, lavar, regar, y abrevar a los animales.

Este sistema integral de regeneración ecológica de cuencas presenta otras ventajas importantes adicionales:

Al ser un proyecto que requiere inversión mayoritaria en mano de obra, su realización exige una importante participación comunitaria, por lo que estará brindando empleo a los lugareños durante el tiempo que no dedican a la agricultura, reduciendo la necesidad de migración estacional hacia las ciudades y el extranjero.

El proceso constructivo del sistema, al ser una sumatoria de pequeñas obras hidráulicas escalonadas en lugar de una gran obra monumental, permite que su desarrollo sea gradual, de acuerdo con la disponibilidad de financiamiento y mano de obra.

Esto evita el riesgo de que alguna obra fuera inútil en caso de que por alguna razón imprevista tuviera que retrasarse o suspenderse.

Es por esto que el proyecto no genera una gran dependencia del exterior para construirlo y mantenerlo; las comunidades pueden iniciarlo y continuarlo en la medida de su propia capacidad en caso de contar con escaso

apoyo externo para realizarlo.

Además, existe un importante antecedente cultural para este tipo de obras en las represas, jagüeyes, terrazas y presas prehispánicas construidas en diferentes periodos y que actualmente están en operación. No se trata de una propuesta nueva, traída de otros lugares, sino que representa una respuesta propia de la región para resolver su problemática, respuesta que había sido relegada por el embate de la tecnología moderna, que en poco tiempo ha mostrado su inadecuación.

Este tipo de obras proporcionan un beneficio directo a la población que la realiza en sus tierras y —por otra parte— están favoreciendo a toda la región al alimentar los mantos acuíferos. Sumando múltiples obras de este



(100) Tanque regulador, San José Trujapan.

tipo a lo largo de los montes que bordean los valles aluviales, la recarga de los mantos que se obtenga será muy importante, ayudando a mantener su nivel, lo que aunado a las acciones de reforestación y de uso adecuado del agua disponible permitirá solucionar en gran medida la escasez actual y futura del preciado líquido en la región.

La rica tradición de conservar suelos y aguas que se había ido perdiendo con el tiempo, se ha comenzado a recuperar y enriquecer con la utilización de nuevas técnicas y equipos para hacerla más eficiente y más eficaz, presentando la ventaja adicional de que su aceptación se facilita por no tratarse de una práctica ajena o extraña a la población campesina, sino de una enraizada en los orígenes mismos de la cultura regional.

El enfoque educativo y organizativo del programa se comprende mejor señalando que, en realidad, el programa *Agua para Siempre* construye presas, sino que edifica personas que, a su vez, construyen presas.