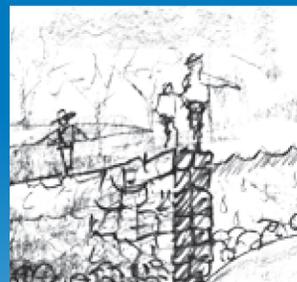


Prácticas ancestrales de crianza de agua

una guía de campo

Estrategias para adaptarnos a la escasez de agua



Autor / Recopilador:

KASHYAPA A. S. YAPA (Ph.D. UC Berkeley)

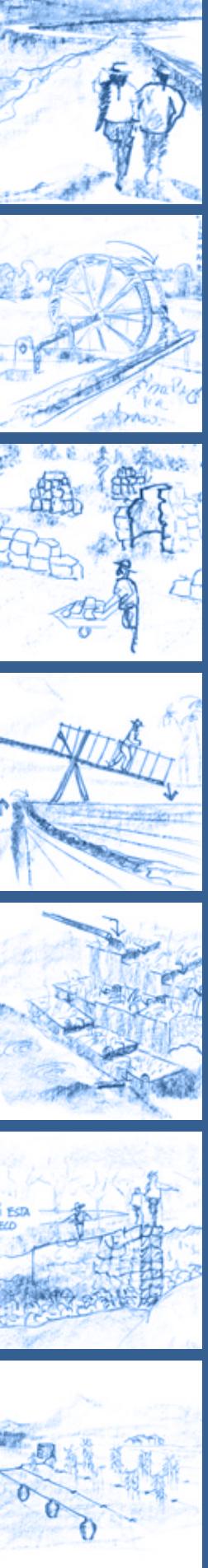


Ministerio
del **Ambiente**



Secretaría Nacional
de **Gestión de Riesgos**





Prácticas ancestrales de crianza de agua una guía de campo

Estrategias para adaptarnos a la escasez de agua

**Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, (PNUD)
Buró para la Prevención de Crisis y Recuperación, (BCPR)
Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, (SNGR)**

María del Pilar Cornejo

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, SNGR – Ecuador

Diego Zorrilla

Representante Residente, PNUD – Ecuador

Mónica Merino

Representante Residente Adjunta, PNUD – Ecuador

Nury Bermúdez

Coordinadora Nacional de Gestión de Riesgos, PNUD – Ecuador

Una publicación del Programa
de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD

Ilustraciones:

Carlos Trujillo Rosero

Diagramación, edición e impresión:

Manthra, comunicación integral
info@manthra.net / 02 6000 998

ISBN: 978-9942-9887-8-2

Primera edición. Quito, marzo 2013

Las opiniones expresadas en este documento son exclusivamente de las personas que las han emitido y no reflejan la posición oficial del Sistema de Naciones Unidas, ni del PNUD, ni de sus donantes o de sus programas, proyectos o representantes, tampoco reflejan la opinión oficial de la SNGR.

Se permite reproducir el contenido citando la fuente.

KASHYAPA A. S. YAPA

Autor/Recopilador

Originario de Sri Lanka, por ende, heredero de una ingeniería hidráulica milenaria, Kashyapa Yapa cuestiona, como ingeniero civil, la aplicabilidad de la ingeniería europea/norteamericana en situaciones socioambientales diferentes. Su peregrinaje por el mundo, por el Abya-yala, iniciado en 1993, donde intercambia conocimientos con comunidades indígenas/campesinas, le permitió conocer de primera mano muchas técnicas de ingeniería precoloniales, por la abundancia de investigaciones históricas y arqueológicas. Entonces, decidió promoverlas y aplicarlas en situaciones donde los beneficiarios estén abiertos a valorarlas y ayudar a los técnicos jóvenes a aprender más de su entorno social, en vez de copiar diseños trasplantados.

Prólogo

La Madre Tierra nos da el seno, como la madre a su niño... Los manantiales son los senos que forman los ríos y los ríos forman los océanos.

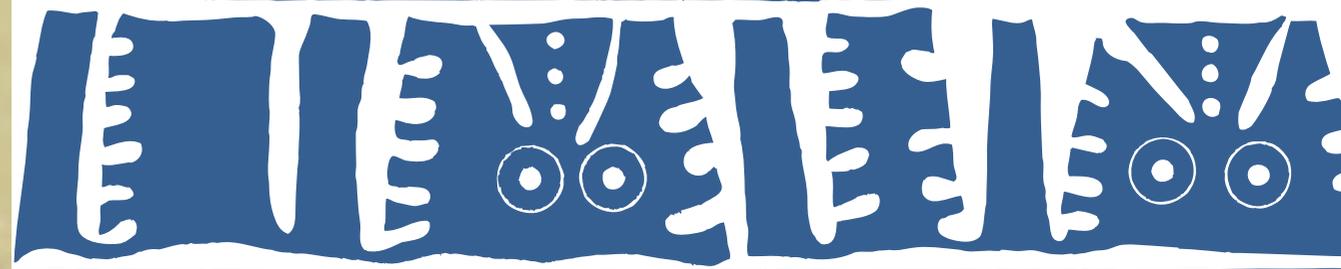
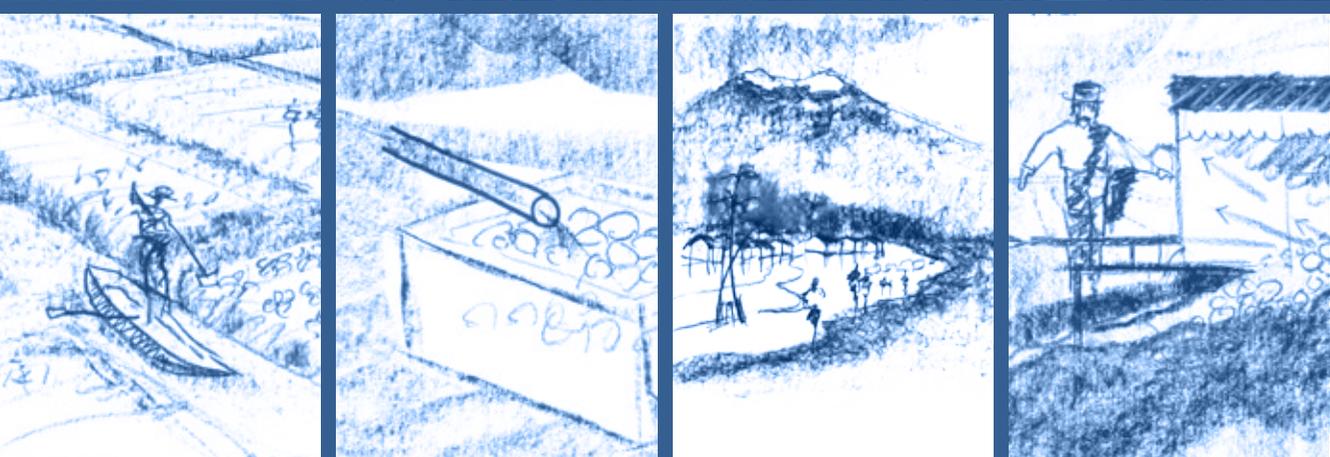
Los árboles dan la sombra para producir la humedad y manan por las raíces, y por las raíces se alimentan los árboles.

Mamo Mayor Arhuaco Zarey Maku

(Ortiz 2005, p. 51)

"A todos los que me ayudaron a encontrar el alma social/ambiental en la ingeniería..."

Kashyapa A. S. Yapa



Presentación

*"Ñukanchikka mana yakumamata¹
yallichu kanchik, ñukanchikllatami yakumama kanchik."*

*"Nosotros no somos ni más ni menos que la madre agua,
porque nosotros mismos somos agua".*

(Katsa)

Ñawpapachapika² chusku ñañapura yaku wikikukunami hawapachapi³ kawsashka nin. Shuk punchaka kay wikikukunaka Atsilyayawan⁴, Atsilmmawanmi⁵ rimankapa rishka Pachamamapaman⁶ rinayanmi ninkapak. Apunchikkunaka⁷ sumak kuyaywan uyashpa ari nishka paykunapa mañashkata.

Kallari wikiku urmamushka punchapipacha, payka sumak tullpusapa winkuman tikrashka, shina, tullpusapa winku kay pachapi shayarikpika paypa umaka urku hawakunakaman chayashka nin.

Kati wikikupash uriyakumushpa Pachamamapi urmashka, payka kutin allpaman yaykushpa ninanta yanamanka ukuta kallpakushka, shina, karupi punchalla rikurikpi utkalla kallpakushka, chayashpa hawaman llukshishpaka pukyushinami llukshishka nin.

Kimsaniki wikikupash Pachamamaman uriyakumushka, kutin payka shuk urku hawapi

1 Yakumama: Término kichwa que aproximadamente se traduce como "madre agua". Es el nombre del agua como persona femenina con capacidad de dialogar y de reproducirse.

2 Ñawpapacha: Literalmente equivale a "tiempo adelante". Se refiere a la visión andina del tiempo en donde el pasado también es el futuro. Si se quiere conocer el futuro es necesario conocer el pasado porque pasado y futuro se unen en ciclos del tiempo llamados Pachakutin, conocidos también como el retorno del tiempo.

3 Hawapacha: El mundo de "arriba". Se refiere al mundo macro, al mundo del cielo, comprendiéndose por cielo al mundo material con sus cúmulos, galaxias, sistemas y planetas, como también al mundo macro espiritual.

4 Atsilyaya: Nombre prekichwa de la divinidad (dios) masculino.

5 Atsilmmama: Nombre prekichwa de la divinidad (diosa) femenina.

6 Pachamama: Madre mundo, madre existencia, madre tiempo-espacio, madre naturaleza. Se diferencia de allpa-mama o madre tierra porque Pachamama se refiere a toda la existencia material y espiritual de la existencia.

7 Apunchik: Según los diccionarios kichwas equivale a dios, pero en realidad es un término compuesto por la palabra Apu que es divinidad y el morfema -nchik que significa "somos". Esta palabra guarda el verdadero significado de la concepción de la divinidad prehispánica andina, en donde la divinidad está dentro de los seres del mundo. Apunchik equivale a decir "somos dioses" que cuestiona las concepciones de la divinidad de Occidente.

urmashpaka ninanta rumi shina sinchiyashka nin, shinapash intiyayapa⁸ rupaywanka amukyashpa urkumanta uray kallpay kallarithka mayu tukushpa.

Puchukay wikikupash uriyakurikukta rikushpaka Apunchikkunaka kashnami nishka: "kikinka amarak uriyakuychu, shuyayrak. Kikinka hawapachapimi kawsana kanki. Pachamaman uriyakunata mushshpaka ushankillami, shinapash kutinmi puytu tukushpa hawapachaman tikranki, nishka."

"En tiempo adelante cuatro gotitas de agua, que eran hermanas, vivían en el cielo. Un día decidieron hablar con Atsilyaya y Atsil mama para que les permitan bajar al mundo. Los dioses les escucharon con amor y aceptaron su pedido.

La primera gotita bajó al mundo en pleno día y se convirtió en un arco de múltiples colores que se "paró" en el mundo alzando su cabeza por sobre las montañas.

La segunda gotita bajó y cayó sobre el mundo, de pronto, sintió que entraba y corría por debajo de la tierra en medio de la oscuridad; y a lo lejos vio una luz, se apresuró y al salir brotó como una vertiente.

La tercera gotita bajó al mundo y cayó sobre una montaña y sintió que su cuerpo se endurecía como una piedra. Más tarde con el calor del padre sol sintió que su cuerpo se ablandaba y empezó a bajar por la montaña como un río.

La cuarta gotita también se disponía a bajar al mundo, cuando los dioses le dijeron: "Espera, no bajes todavía. Tú vivirás en el cielo, podrás bajar al mundo cada vez que quieras, pero siempre regresarás al cielo en forma de nube". (Cachiguango, José Antonio. 2005)⁹

La expresión kichwa yakumama con su equivalente aproximado en español "madre agua" aparentemente nos está hablando en términos metafóricos, poéticos quizá, pero, si nos remontamos a la sabiduría andina nos está revelando la concepción profunda del agua que en nuestras comunidades es comprendida como un ser vivo, una "persona" más, que comparte la vida en este mundo ayudando a los humanos a vivir. Por otro lado, también nos está diciendo que esta persona es una mujer (madre) y que es capaz de escucharnos, de ponerse feliz, de ponerse triste, de enojarse, de bendecir y hasta de castigar. Esta "persona" llamada yakumama o madre agua, puede hacer lo que solamente una mujer es capaz: ¡parir! Estamos hablando sin lugar a dudas de la crianza del agua. Podemos criar el agua, solamente necesitamos reaprender a comunicarnos y relacionarnos con ella.

El título de este libro también nos habla en el mismo lenguaje, cuando nos presenta como: "La crianza del agua". Algunos entenderán "crianza" como un lenguaje metafórico y más bien pensarán que este título alude a algunos aspectos empíricos para la "captura" y uso del agua, pero, Kashyapa Yapa, un trotamundos que ha visto las diferentes experiencias del trato humano al agua, primeramente en su lugar natal Sri Lanka y posteriormente en muchos pueblos indígenas de América, ha comprendido la profunda dimensión existente en la concepción de nuestras comunidades, en donde el agua no es un elemento ni un recurso, sino, un ser que acompaña al ser humano desde el momento de su nacimiento hasta el momento de su muerte. Pero hasta aquí estaríamos hablando solamente la crianza que propicia el agua a los demás seres del mundo, en los Andes vamos un poco

⁸ Intiyaya: Padre sol.

⁹ Cachiguango, José Antonio (Katsa): Agricultor y narrador de mitos andinos de 69 años de la comuna Kotama, del cantón Otavalo, provincia de Imbabura. Fallecido en enero del 2006.

más, así como el agua cría al ser humano, nosotros los humanos también podemos criarle al agua, podemos "sembrar" el agua y criarle como a las plantas y los animales. Esta concepción tiene una diferencia abismal con el concepto científico del agua, H₂O, visión complementada con palabras como recurso natural, elemento natural, que ha propiciado en el mundo un trato de apropiación economicista, control social y dominio humano sobre la naturaleza.

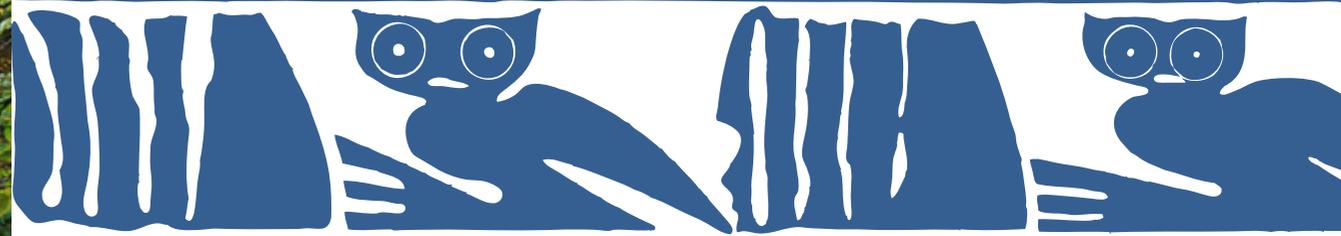
Las alarmantes premoniciones apocalípticas de que la tercera guerra mundial será por la escasez y el control de agua dulce, evidencian sin lugar a dudas el espíritu guerrillero de los gobernantes de Occidente¹⁰ y su incapacidad de afrontar su responsabilidad para con la vida de los seres de la tierra, seres en donde, paradójicamente, es una especie viviente en peligro de extinción, no por las inclemencias de la naturaleza, sino por el control y dominio que el mismo ser humano ha propiciado sobre la naturaleza que ahora amenaza con arrastrar a la humanidad a un final nada agradable. Dentro de este contexto aparecen voces, que han permanecido anónimas desde hace varios siglos y que en la actualidad resurgen, con un mensaje de esperanza para el mundo. Esta voz es la de los pueblos indígenas de las montañas, de la costa y la amazonia contándonos desde sus sentimientos sus preocupaciones, sus problemas y sus esperanzas para con su madre agua.

"Yakumama" y "Crianza del agua", dos términos que hablan una misma lógica, la lógica de que el agua es un ser vivo (persona), autónomo y un bien natural capaz de reproducirse por sí misma, un ser que necesita y busca "conversar" con nosotros los humanos, un ser que "cría" la vida en todas sus particularidades y que al mismo tiempo, según los andinos, puede dejarse criar por los humanos; y que hoy, gracias al sistema académico-político, es incomprendido, es maltratado, es usado como recurso de poder, es manipulado con los "manejos" del agua, es creado en laboratorio como H₂O, es usado como recurso de control social (ley de aguas), etc. Dentro de este aspecto, no cabe la menor duda de que el trabajo plasmado por el caminante del mundo Kashyapa Yapa, a más de recoger las diferentes experiencias de crianza del agua en los Andes, también nos abre un espacio de debate entre la ultramoderna física cuántica occidental y los saberes milenarios andinos. Un diálogo que nos llevará muy lejos, nos ayudará a comprender mucho mejor el misterio de la conciencia humana, el rol que tenemos en este mundo y la obligación de reaprender a relacionarnos de una forma diferente, de la que normalmente hemos estado haciendo hasta ahora con la madre naturaleza. Entonces, sólo entonces, quizá comprendamos que en la existencia todo es vida, no hay seres vivos y seres inertes, como nos enseñan en las clases de ciencias naturales, sino que, todos somos seres vivos con conciencia propia y que nuestra madre agua está aquí, en este mundo, para criarnos a todos y todas y es nuestra responsabilidad también criar el agua para contrarrestar su escasez y evitar nuestra extinción.

Luis Enrique "Katsa" Cachiguango

Comuna Kotama-Otavalo, enero del 2013

¹⁰ Occidente: Los Andes también es occidente, pero, en esta ocasión nos referimos a la corriente filosófica hegemónica de la visión del mundo de acuerdo a las culturas: egipcia, hebrea, griega y romana presentes el mundo actual.



Índice

CAPÍTULO 1: ¿De dónde viene el agua?	11
1.1 El ciclo del agua	12
1.2 ¿Cómo nos llega el agua?	18
1.3 La calidad del agua que recibimos	24
CAPÍTULO 2: ¿Qué le sucede al agua con el clima cambiante?	27
2.1 ¿Qué cambios del clima se han observado hasta ahora?	29
2.2 ¿Qué se pronostica sobre el clima de los Andes?	32
CAPÍTULO 3: ¿Qué enseña esta guía?	39
CAPÍTULO 4: ¿Cómo conseguimos más agua en la sequía?	43
4.1 Rituales ancestrales para solicitar agua	44
4.2 Captar agua de la niebla	51
4.3 Captar el agua bajo cubierta condensando el vapor	58
4.4 Manipulación de nubes para forzar la lluvia	60
4.5 Indicadores del campo para pronosticar el clima	61
CAPÍTULO 5: ¿Cómo captar el agua de lluvia?	69
5.1 Recoger el agua que cae sobre los techos	70
5.2 Captar el agua de escorrentía	73
5.3 Recoger el agua de los ríos	75
5.4 Almacenar el agua superficialmente	81
5.5 Almacenar el agua en el suelo	93
5.6 Cómo prepararnos para una lluvia en exceso	107
CAPÍTULO 6: ¿Cómo recargar y captar el agua subterránea?	123
6.1 Recargar el agua subterránea	123
6.2 Captación del agua subterránea	131
6.3 Almacenaje subterráneo del agua	143
6.4 Cultivar en el nivel del agua subterránea	149
CAPÍTULO 7: ¿Cómo aprovechamos mejor el agua?	153
7.1 Ahorrar el agua	153
7.2 Descontaminar el agua. Reciclar el agua usada	169
7.3 Conservar la humedad en los cultivos	173
CAPÍTULO 8: Adaptémonos al cambio	177
Bibliografía	182
Agradecimientos	185



CAPÍTULO 1

¿De dónde viene el agua?

En este libro intento difundir las diferentes tecnologías que se utilizan para conseguir agua para el consumo en tiempos de escasez –en la casa y en el campo– y también para aprovecharla mejor. Sin embargo, no les parece que hay cosas que debemos conocer primero, como: ¿de dónde viene el agua? y ¿por qué estamos preocupados sobre una posible escasez de agua?

Cuando el ser humano logró salir fuera del planeta Tierra descubrió que más arriba de las nubes no hay aire para respirar ni tampoco hay una sola gota de agua para tomar. .



"SOY UN YAKU ALCALDE,
ENCARGADO DE REPARTIR EL AGUA
DE RIEGO. EN ESTA GUÍA, YO
LES AYUDARÉ A CONOCER COMO NUESTROS
ANTEPASADOS CONSIGUIERON EL AGUA
Y COMO LA CUIDABAN."



Soy un Yaku alcalde, encargado de repartir el agua de riego. En esta guía, yo les ayudaré a conocer cómo nuestros antepasados consiguieron el agua y cómo la cuidaban.

¿Qué significa realmente este descubrimiento? Que nuestro planeta es un globo aislado, separado de otros planetas y de la Luna por un espacio vacío de millones de kilómetros. Así que no podemos esperar que llegue el agua diariamente de algún planeta vecino.

Entonces, ¿cómo apareció el agua aquí en la Tierra? Aún no lo sabemos bien (ver Bibliografía: Robert, 2001). Con certeza nació antes que todos los seres vivos, porque sin agua no hay vida. Y, ¿desaparecerá el agua de aquí? Aunque no sabemos cómo ni cuándo, es bastante posible que desaparezca. Porque hay muchos lugares en el universo, como la Luna, donde ya no existe ni un charco de agua. Así que nuestro reto es cuidar este gran tesoro que hemos heredado porque, cuando desaparezca, desaparecerán todos los seres vivos.

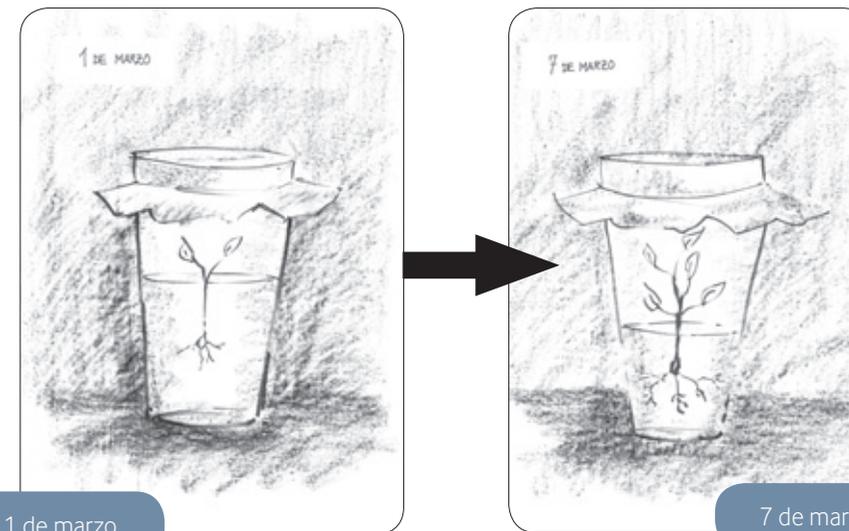
Por ahora, el agua está atrapada entre nosotros y no tiene cómo salir de la Tierra. Cuando hay una sequía fuerte en un lado, no es que el agua haya desaparecido, sino que otro sector del planeta está recibiendo agua en abundancia. En otras palabras, el agua se da la vuelta dentro del mismo globo: se va y viene, una y otra vez, de manera cíclica.

En este capítulo vamos a conocer en detalle sobre este ciclo del agua. También conversaremos sobre las diferentes formas en que llega este líquido y sobre su calidad para el consumo y responderemos a la segunda pregunta inicial en el Capítulo 2.

1.1 El ciclo del agua

¿Cree usted que las montañas y los valles, los ríos y las lagunas, los bosques y los cultivos, son seres vivos? A mí me parece que sí, porque todos *respiran* el aire, se *alimentan* del agua y de nutrientes y, asimismo, *eliminan* lo innecesario.

Ahora, analicemos cómo ellos se *alimentan* de agua. Cuando cae la lluvia, el suelo se empapa de esa agua y los ríos crecen *alimentándose* de ella. Las plantas también se alimentan de agua, a través de sus raíces, como se puede ver en el experimento graficado a continuación.



1 de marzo

7 de marzo

Para ver cómo el suelo o una laguna *elimina* el agua, necesitamos hacer otro experimento. Sobre un charco en la tierra colocamos un techo transparente (puede ser un plástico). En un día caluroso podemos ver cómo, poco a poco, se forman gotas de agua debajo del plástico, porque el agua ha subido como **vapor** hasta el techo. A esto llamamos **evaporación**.



Mira cómo sube el vapor del charco.

Una planta también *elimina* el agua. Pero primero la aprovecha para preparar el alimento que necesita para vivir. Después, las hojas liberan el agua que les sobra en forma de vapor. A este proceso lo llamamos **transpiración**.

El suelo, el charco y la planta emiten el vapor más fuertemente cuando hay más luz, más calor y más viento. Porque cuando hay más energía, se forma más vapor. Cuando no hay un techo que lo atrape, el vapor sube muy arriba, hasta el cielo.

Ahora, ¿qué pasa con este vapor?

Primero conozcamos cómo cambia la temperatura con la altura. Todos sabemos que el aire en las montañas es más frío que el aire de la costa. Si pudiéramos subir al cielo como el vapor, notaríamos cómo disminuye la temperatura del aire. ¿Cuánto? Aproximadamente, un grado centígrado (1 °C) por cada 150 m.



Si el sol es el que nos calienta, ¿por qué hace más frío mientras estamos yendo hacia él?

Por un lado, el aire no se calienta mucho con la energía solar. La tierra, que es sólida, se calienta más rápido y pasa su calor al aire. La capa de aire cercana a la tierra se calienta primero y pasa su calor hacia arriba, así sucesivamente. Pero, en ese traspaso, cada vez se pierde un poco de calor.

Por otro lado, en las montañas altas, sabemos que nos *falta* aire. No podemos correr muy rápido sin antes acostumbrarnos a la altura por unos días. Esto es porque allá arriba el aire es menos denso, es decir, sus partículas están más distantes entre sí. Donde hay poco aire se siente poco calor. Por estas dos razones, en las alturas se siente más fresco.



Estoy más cerca del sol, pero siento frío.

Desde aquí el calor sube. Pero no lo sientes porque allá hay poco aire.

Así es como se enfría el vapor de agua en su subida al cielo. Cuando el vapor ya no puede subir más, por la falta de calor o energía, busca donde apegarse o apoyarse. Lo único que puede encontrar en esas alturas son diminutas partículas de polvo. Y el vapor se queda pegado a ellas como una gotita. Así, el vapor se **condensa** y se convierte en gotas de agua tal como ocurrió bajo el techo de plástico, pero ahora, en el cielo.

Cuando se acercan muchas gotitas de agua en el cielo, nosotros, desde la tierra, las podemos ver como **nubes**. Al momento en que una nube entra en una zona más fría, las gotitas crecen, y cuando el aire ya no puede soportar su peso, ellas caen de nuevo en forma de **lluvia**.

Este no es como el bi-ciclo, se demora en dar la vuelta



A todo este proceso de ida y vuelta del agua, desde y hacia la Tierra, lo llamamos **ciclo del agua**. Durante este ciclo, el agua aparece en varios estados: el líquido y el vapor, que conocimos arriba; y también en forma de solido (hielo o nieve) que vamos a conocer en la sección siguiente.

No toda el agua que cae vuelve al cielo enseguida. Una parte sí se evapora inmediatamente. Otra parte se mete muy adentro de la tierra y tarda mucho en volver a salir a la superficie para evaporarse. El agua que queda atrapada dentro de los animales y de los árboles solo se libera completamente cuando ellos mueren y se descomponen.

Tampoco se evapora toda el agua desde el mismo lugar donde cayó. La lluvia que cae sobre una montaña desnuda viajará una distancia muy grande antes de evaporarse. Porque no hay quien la atrape. Si la montaña tiene un bosque denso, los árboles detienen el agua y la envían al cielo desde allí mismo. Eso aumenta la posibilidad de que la montaña reciba más lluvia.

Fortunata Huallpa Mamani

Pachamachay, Cuzco, Perú



Antes, los cerros estaban pelados, no había pasto, eran parecidos a un techo de calamina... El agua de lluvia se perdía muy rápido.

Las zonas como la Amazonía reciben mucha lluvia y, a través de sus densos bosques, grandes lagunas y ríos, emiten mucho vapor. Las zonas desérticas emiten poco vapor, por eso su aire es seco y, a veces, no reciben ni una gota de lluvia por meses enteros. Pero cuando se

construyen grandes embalses dentro de zonas áridas, se ha observado que las lluvias aumentan, por lo menos en sus alrededores.



Un bosque emite más vapor y recibe más lluvia.



'AQUI NO HAY PLANTAS PARA EMITIR VAPOR TALVEZ POR ESO NO LLUEVE'

Aquí no hay plantas para emitir vapor. Tal vez, por eso no llueve.

Héctor Vanegas

Villa Vieja, Huila, Colombia



(A lo que ahora llamamos) desierto de La Tatacoa, anteriormente era selva, había mucha vegetación y toda clase de animales silvestres. Y cuando vinieron el algodón y la soya, hubo la destrucción, tumbaron todos los árboles. Esto sucedió hace 50 años... Usted tenía toda clase de comida, hoy no hay. Ahora estamos intentando reforestar las zonas altas para que vuelva la lluvia.

Así, el agua que se encuentra debajo de la tierra, en su superficie y en el cielo siempre se recicla mediante este proceso de lluvia, evaporación-transpiración y condensación.

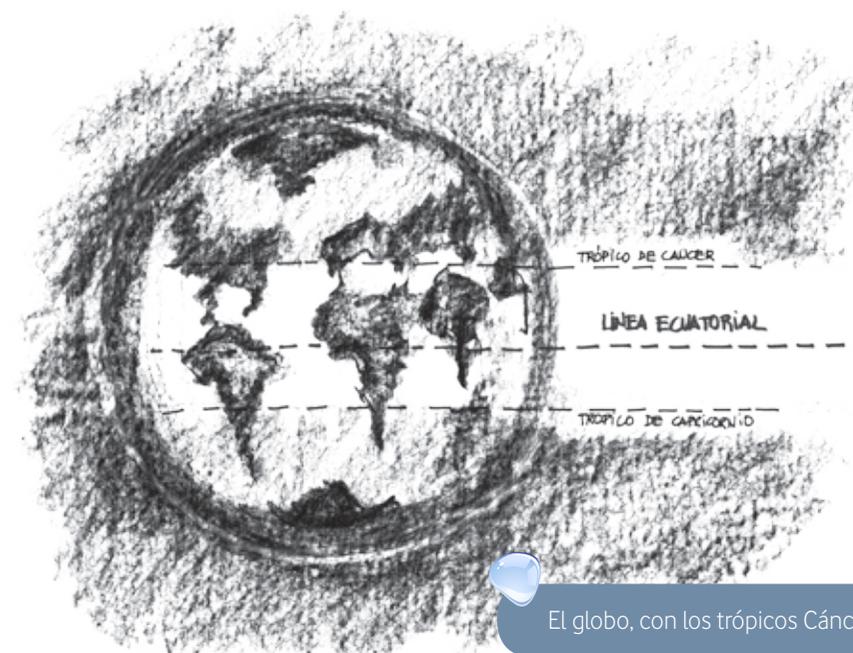
1.2 ¿Cómo nos llega el agua?

Recibimos el agua directamente desde el cielo como lluvia, granizo, nieve o neblina. También nos llega, indirectamente, mediante manantiales y lagunas. Los ríos recogen y transportan el agua que cae en sectores distantes.

Lluvia, granizo, nieve, neblina

El agua del cielo puede caer en forma de lluvia, granizo o nieve. Y la neblina también trae agua, pero como vapor.

El *granizo* —esas pequeñas bolitas de hielo— cae del cielo muchas veces junto con las tormentas. En la zona tropical, entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, el granizo cae sobre las cordilleras altas. Los vientos, cargados de gotitas de agua, chocan con las montañas y se elevan más arriba de sus cumbres. En esas alturas, las temperaturas bajo cero pueden convertir las gotitas de agua en hielo. Estas bolitas de hielo crecen en tamaño mientras suben, pero caen a la tierra cuando el viento ya no puede sostener su peso.



El globo, con los trópicos Cáncer y Capricornio.

Fuera de la zona tropical, el granizo aparece durante la temporada fría, pero puede caer también en las tierras bajas cuando hay tormentas.

El granizo se convierte en líquido después de caer a la tierra. Sin embargo, las granizadas fuertes causan muchos daños a los cultivos.



Las granizadas fuertes causan muchos daños a los cultivos.

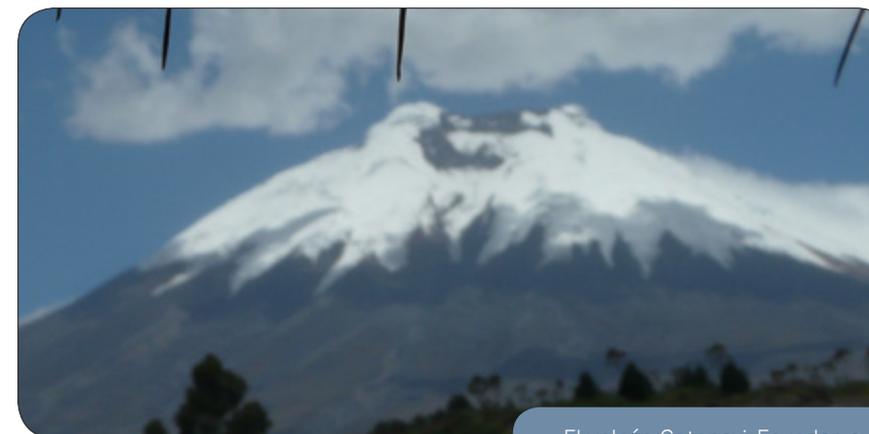
Para ahuyentar el granizo, la gente en la Europa antigua disparaba con cañones al cielo. En las comunidades rurales del altiplano andino, cuando ven nubes negras acercándose a su zona, prenden fogatas entre todos los comuneros (Gomel, 2000). Estos actos pueden dar resultados porque, al chocar el aire caliente con las nubes, las bolitas de hielo se convierten en gotas de agua.



Cuando ven nubes negras, prenden fogatas entre todos.

La formación de *nieve* es similar a la de granizo, pero ocurre bajo vientos menos violentos y temperaturas menos frías. Si se dan las condiciones adecuadas en las nubes, cada gota de agua se convierte en un pequeño copo de hielo y cae a la tierra. Cuando ocurren las tormentas o los ciclones en las zonas tropicales la nieve puede caer sobre las montañas muy altas. En cambio, en las zonas cercanas a los polos, la nieve cae hasta en las costas.

Al caer a la tierra la nieve se transforma en líquido o puede permanecer largo tiempo en forma sólida si la temperatura del aire se mantiene bajo cero. Si continúa la nevada, las capas de nieve se compactan por su propio peso y se convierten en una masa de hielo duro y grueso (**glaciar**). El glaciar se descongela lentamente con el sol y aporta agua a las quebradas aledañas.

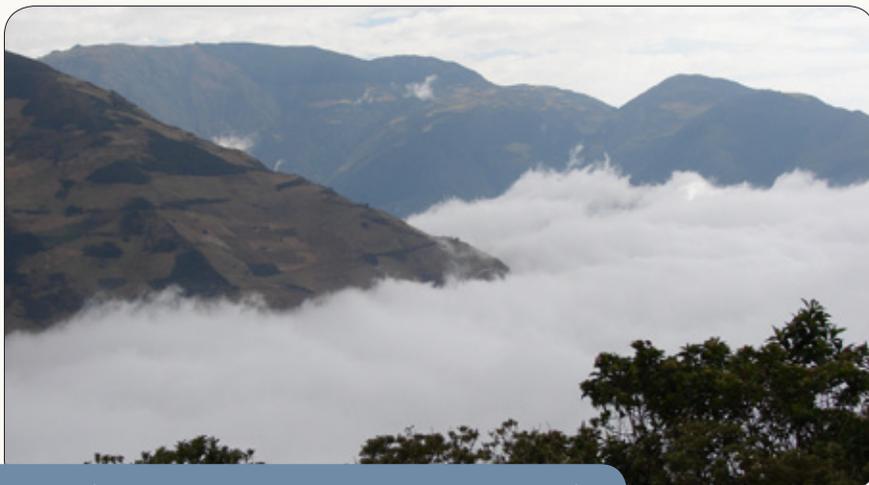


El volcán Cotopaxi, Ecuador, cubierto de glaciares.

La *lluvia* ocurre cuando el aire cargado de vapor se enfría lentamente. Un volumen de aire puede llevar cierta cantidad de pequeñas partículas (**moléculas**) de vapor. Eso depende de la energía del aire. Cuando baja la temperatura o se reduce la energía del volumen del aire, disminuye el número de moléculas de vapor que pueden estar volando libremente. Las moléculas restantes tienen que pegarse a las partículas de polvo cercanas y convertirse en gotitas de agua. Al enfriarse más, más vapores se condensan y forman gotas más grandes. Cuando el aire ya no puede soportar el peso de la gota, cae.

Esta condensación también puede ocurrir cuando una nube húmeda (como una que viene del mar) es llevada hacia arriba por el aire caliente. En un día muy caluroso, el aire que se encuentra cerca de la tierra se calienta mucho. El aire caliente sube y empuja las nubes más arriba. Al enfriarse, los vapores en las nubes se condensan. Por eso, después de un día muy caluroso y húmedo, es muy probable que llueva.

La *neblina* contiene pequeñas partículas de vapor igual que las nubes, pero permanece cerca de la tierra. A veces podemos ver cómo la neblina humedece los árboles que se encuentran a su paso. Cuando la neblina se mueve, sus partículas de vapor chocan contra las hojas y dejan gotitas de agua pegadas a ellas. Poco a poco, se forma una gota mayor que cae por su propio peso. Cuando hay viento o cuando el aire se calienta mucho, la neblina se eleva y se dispersa.



Neblina densa (Cortesía de Marco Martínez, Riobamba, Ecuador).

Manantiales, pozos, lagunas, quebradas, ríos

Los cuerpos de agua (pozos, lagunas, quebradas o ríos) se alimentan principalmente del agua de lluvia que corre por la superficie de la tierra (**escorrentía**), pero también recogen agua de los manantiales (ojos de agua o vertientes).

Un manantial no produce agua por sí mismo, tan solo es el lugar por donde brota el agua que está dentro del suelo. Cuando llueve, una parte de la escorrentía se adentra en el suelo. Esto se conoce como **infiltración** y depende del tipo de suelo y de la velocidad de la escorrentía. Cuando el suelo es más arenoso, más suelto y más seco, o cuando la escorrentía es frenada por la cobertura vegetal sobre el suelo o por surcos, más agua se infiltra. Este proceso también ocurre en el fondo de las lagunas y los reservorios, dependiendo del tipo de material que cubra su base.

Fortunata Huallpa Mamani

Pachamachay, Cuzco, Perú



Si encima de una calamina ponemos una frazada... el agua de lluvia se retiene. Ocurre lo mismo en los cerros con más pastos conservados. Hemos separado varias astanas (zonas de pastoreo)... Las dejamos libres para que el pasto retoñe. Los pastos ya recuperados y bien altos ayudan a retener el agua y, en las zonas bajas, aumenta la humedad.

Toda el agua infiltrada pero no captada por las plantas va hacia abajo, pasando de una capa de suelo a otra. Cuando se encuentra con una capa que no le deja penetrar fácilmente (un estrato **impermeable**), como una arcilla o una roca, allí se va quedando. El lugar donde el agua queda acumulada dentro del suelo lo llamamos **acuífero**.

Un acuífero, en general, no dispone de agua libre como en un pozo, la almacena como en una esponja, llenando los espacios entre las partículas del suelo. Las capas de arena o grava forman buenos acuíferos cuando se encuentran sobre un estrato impermeable. Si excavamos un pozo hasta encontrar con un acuífero, podemos ver cómo el agua brota por todos sus lados.

El pozo recoge agua que se viene filtrando desde más arriba de esos árboles.



Si la capa impermeable está inclinada, el agua no se queda acumulada. Se mueve hacia abajo siguiendo la pendiente. Cuando esta capa sale a la superficie, por un corte en la ladera por ejemplo, el agua también brota. A esto lo llamamos **manantial**.

Es muy común encontrar manantiales en los bordes de las quebradas porque ellas, muchas veces, tienen en su fondo capas impermeables. Asimismo, al pie de los valles grandes suelen encontrarse manantiales con bastante agua. Si las laderas de un valle tienen bosques, se infiltra más agua y podríamos encontrar manantiales con flujos de agua (**caudales**) estables.

1.3 La calidad del agua que recibimos

Hace tiempo, considerábamos el agua que cae del cielo como algo puro. Sin embargo, en la actualidad, su pureza es dudosa. El aire alrededor de las grandes ciudades y fábricas está muy contaminado por los gases tóxicos (óxidos de sulfuro o nitrógeno, especialmente) que emiten los vehículos y chimeneas. El viento los lleva hasta zonas distantes. Las erupciones volcánicas también agregan estos gases a la atmósfera. Cuando se mezclan con la lluvia que cae sobre la tierra, la llamamos **lluvia ácida**.

Las lluvias ácidas hacen mucho daño a largo plazo a los bosques. En los cultivos no se notan sus daños porque los fertilizamos frecuentemente. La cal que regamos en los cultivos también reduce los perjuicios por la lluvia ácida.

Oiga
compadre, mucho ojo al
usar las aguas amarillas.



Al agua de las montañas también la consideramos pura, sin embargo, el agua que se acumula en los páramos o humedales a veces contiene bastante hierro, producido por la descomposición de las plantas. En el fondo de los canales o quebradas suelen observarse sedimentos rojizos de óxido de hierro. Esta agua no es apta para consumir. Los cultivos sí necesitan un poco de hierro pero si se presenta en exceso, hasta el pasto muere.

El agua que se filtra en el suelo puede contaminarse en su recorrido. A veces, con ciertos minerales (hierro, azufre, boro, etc.), otras veces, con materiales orgánicos (metano, lodo podrido, asfalto, petróleo, etc). El pozo o el manantial que recibe esta agua nos puede indicar su nivel de contaminación por su color, olor y sabor. Pero en ciertas situaciones no percibimos nada, hasta que los cultivos o las personas comienzan a enfermarse.

El agua también se contamina por las actividades humanas. Los aceites que se botan en los desagües, las aguas servidas domésticas y las descargas industriales que se vierten en los ríos y las escorrentías agropecuarias que se acumulan en las quebradas, todas son

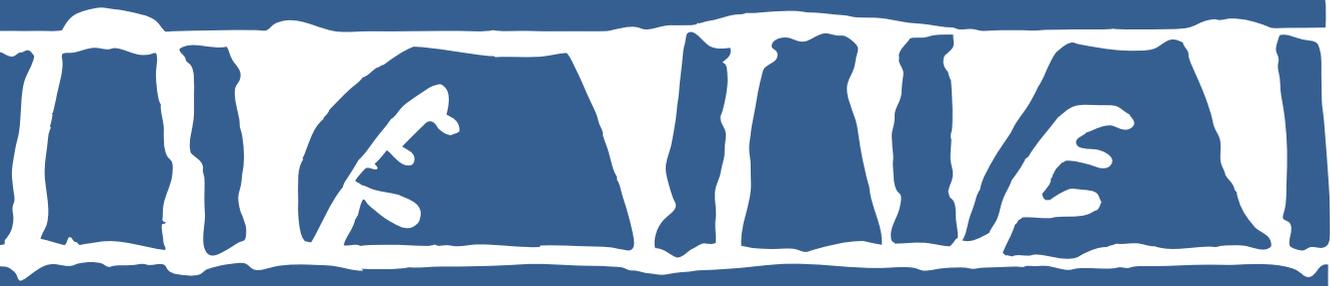
contaminantes. Los drenajes de los campos agropecuarios, aún cuando no sean tóxicas, han causado graves problemas en muchas partes del mundo (Ongley, 1977). A veces, esas descargas contienen bacterias, parásitos o metales pesados que causan enfermedades en la población. Sus altas cargas de nutrientes pueden crear algas o malezas acuáticas en grandes cantidades: ellas dejan los cuerpos de agua sin oxígeno disuelto, facilitan la proliferación de plagas de mosquitos y dificultan la navegación. Además, en la actualidad, se produce y usa un sinnúmero de sustancias tóxicas en las ciudades y campos agrícolas que dificultan y hacen más costoso el detectar el agua contaminada.

Algunas personas mayores pueden reconocer si su agua es apta para el uso agrícola observando las plantas y los peces que viven en la fuente. Este tipo de conocimiento tiene sus limitaciones. Es válido únicamente para su localidad. Además, ellos no han tenido tiempo suficiente para detectar problemas causados por los nuevos tóxicos.

Los organismos acuáticos visibles (insectos, moluscos, lombrices, etc., que se denominan científicamente como **macroinvertebrados**), por su intolerancia a ciertos tóxicos, pueden indicarnos la calidad biológica de las aguas (Alba-Tercedor, 1996). Si el agua se contamina, los organismos que viven allí serán reemplazados por otros, más tolerantes a los tóxicos. Para conocer si está cambiando la calidad del agua, se toman muestras de ellos en la fuente cada cierto tiempo. Este método se puede mejorar agregando los conocimientos locales para obtener un sistema práctico y de bajo costo para detectar la contaminación (CIPAV, sin fecha).

Macroinvertebrados de agua limpia. Longitud 14 mm.
(Cortesía de Víctor Galindo de la Fundación CIPAV, Cali, Colombia).





CAPÍTULO 2

¿Qué le sucede al agua con el clima cambiante?

La palabra **clima** describe todo lo que nosotros sentimos en el ambiente donde estamos: la temperatura, el viento y la humedad. Todos estos elementos, en conjunto, determinan si va a llover, cuándo y con qué fuerza (**intensidad**). Sus valores dependen de la energía que recibe de los astros, por lo tanto, cambian todo el tiempo, todos los días y todos los años. Entonces, ¿por qué ahora hay tanta preocupación sobre un cambio en el clima?

Al analizar los valores históricos de la temperatura, el viento y la humedad en un sitio, se puede pronosticar el cambio diario, mensual y anual del clima. Los científicos también han observado los cambios del clima por ciertas anomalías cíclicas, como por ejemplo, el fenómeno de El Niño. En este caso, si se observa que sube la temperatura del mar, ellos nos alertan que puede llegar el fenómeno, y pronostican lluvias fuertes en ciertas zonas y sequías en otras. Pero hay otros cambios del clima, mucho más drásticos y de mayor duración, sobre los cuales aún estamos a oscuras.

La disminución de los glaciares es uno de esos cambios. Hay ciertos indicios de que eso ha ocurrido ya varias veces y que ha durado cientos o miles de años. En las partes altas de los Andes podemos observar lomas enteras de piedritas sueltas, arrastradas y depositadas allí por antiguos deshielos de los glaciares. También hay indicios de grandes subidas del nivel del mar en épocas

Todo cambio es bueno, sino me aburro.



antiguas que muchos responsabilizan a los deshielos glaciales de larga duración. Muchos de estos cambios han ocurrido aún antes de que comenzara a andar el ser humano en la Tierra, por eso no sabemos qué mismo causó estos eventos, con qué fuerza actuaron ni cuánto duraron.



Una montaña cubierta con un glaciar.

En el altiplano Andino, durante las últimas décadas, hemos observado que muchos glaciares están desapareciendo poco a poco. Algunas montañas ya no tienen nieve permanente.



El glaciar desaparece y el nivel del mar sube.

Retroceso glaciar del volcán Cotopaxi 1976-2006 (Cortesía de SNGR/ INAMHI, Ecuador).



	1976	1997	2006
km ²	19,2	13,5	11,8
%	0	-29,7	-38,5

Comparando los datos de las lluvias y temperaturas en los últimos 50 años, los científicos han confirmado que efectivamente está ocurriendo una variación significativa en el clima. Ellos temen que estamos experimentando un *cambio climático*, una variación muy drástica, como ya sucedió en tiempos prehistóricos.

Veamos lo que hasta ahora han observado los científicos acerca de esta variación climática y sus pronósticos sobre lo que pueda pasar de aquí en adelante.

2.1 ¿Qué cambios del clima se han observado hasta ahora?

No existen datos históricos precisos y continuos sobre el clima en la Región Andina. Algunas zonas tienen datos completos desde hace 2 o 3 décadas, pero casi todos se han registrado en las ciudades sin cubrir la complejidad geográfica de la cordillera. Eso ha complicado mucho las investigaciones.

Al analizar la información existente desde 1940, se ha observado que en los Andes tropicales el promedio anual de la temperatura ha ido aumentando lentamente. Pero desde los años 70, este aumento se triplicó. A partir de entonces, el incremento ha sido de un tercio (0,3) de grado centígrado cada 10 años (Vuille, 2007).

En otras palabras, la temporada de calor es más calurosa que antes. Y en la temporada fría, el frío es menor. Este calentamiento no ha ocurrido uniformemente todos los años, tiene sus años altos y bajos, pero el comportamiento general de la temperatura anual (**la tendencia**) muestra ese aumento pequeño que mencionamos antes.

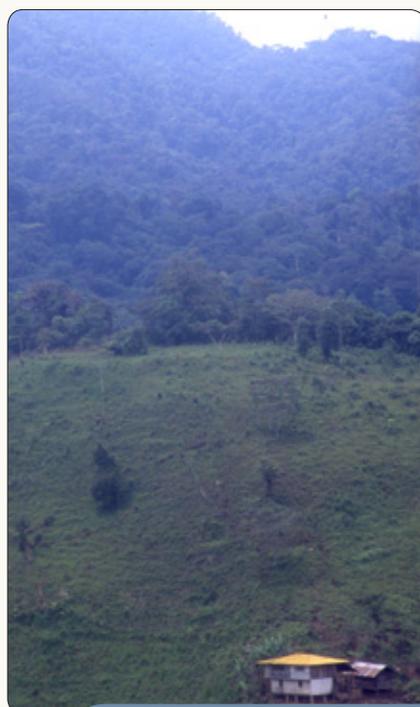
Esta situación también se observa en otras partes del mundo. ¿Por qué todo el planeta se está calentando más rápido ahora?

A partir de la Segunda Guerra Mundial, aumentó aceleradamente la cantidad de industrias y vehículos en todos los países. Además, durante este tiempo, hemos acabado más rápidamente con nuestros bosques, para obtener más madera o para cultivar más. Por eso sospechamos que las actividades humanas tienen mucho que ver con esta aceleración del calentamiento global.

¡Qué bueno!, con el aire más caliente puedo volar a los volcanes.



Aumentó el número de vehículos



Hemos acabado con los bosques.

Este calentamiento no está ocurriendo al mismo ritmo en todos los lugares del mundo. No ha sido uniforme ni siquiera en la Región Andina. En el lado amazónico de la cordillera, el calentamiento es insignificante, mientras que en el otro lado, en las faldas que dan hacia el Pacífico, es mucho mayor (Vuille, 2007); tal vez, porque allí ocurre el fenómeno de El Niño que causa calentamientos cíclicos. El altiplano Andino, por su parte, ha experimentado un aumento intermedio de la temperatura. En el sur de los Andes, en Chile y Argentina, sí ha ocurrido un calentamiento gradual, pero más lento. Las variaciones de la temperatura a lo largo del altiplano no han sido uniformes porque el clima de cada localidad andina depende mucho de su ubicación: dentro de un valle, sobre una montaña o en una ladera.



1970. El aire frío mantiene el glaciar de la montaña.

2012. El calentamiento reduce la nieve y permite cultivar otros productos.

En la región de Cuzco, en Perú, el calentamiento ha sido gradual en la parte alta (3 500 metros sobre nivel del mar –m. s. n. m.–), mientras que en su parte baja (2 000 m. s. n. m.), cerca de Machu Picchu, se ha observado un leve enfriamiento en los últimos 40 años (SENAMI, 2009). Más al sur, en el altiplano boliviano (cerca de 4 000 m. s. n. m.), las temperaturas máximas y mínimas diarias se han incrementado levemente durante casi todo el siglo pasado (Marengo, 2011). Es

decir, año tras año, ¡disminuyeron las noches de heladas! Este es el comportamiento general, pero de vez en cuando, ha habido años con más noches de heladas que el anterior. Y esa tendencia general se ha observado en casi todo el altiplano andino.

Acerca de las lluvias, los datos históricos indican un ligero aumento en la parte norte de los Andes y una leve disminución desde Bolivia hacia el sur (Marengo, 2011). La costa norte de Perú sí ha recibido un incremento de lluvias, pero la costa sur y sus laderas amazónicas han mostrado una disminución. Los días de lluvias intensas se han incrementado en el noroccidente, mientras en la zona central peruana, estos se han reducido.

Estas variaciones en las lluvias tampoco ocurren uniformemente durante todas las estaciones del año. En el verano, en la cuenca del río Urubamba –región de Cuzco– han aumentado las lluvias. Pero en la primavera, cuando las lluvias no son fuertes, estas se han reducido todavía más.

Como se puede ver, las variaciones climáticas (de la temperatura y la precipitación) en los Andes no han sido uniformes en toda la región y tampoco han mantenido una tendencia firme con el tiempo.

2.2 ¿Qué se pronostica sobre el clima de los Andes?

Pronosticar el clima es una ciencia muy compleja porque hay que tomar en cuenta muchos elementos. Los más importantes son:

1. La temperatura del aire
2. La presión atmosférica
3. La humedad
4. La contaminación del aire
5. Los accidentes topográficos, como montañas y valles
6. Los ambientes naturales, como bosques, páramos, lagos y ríos
7. Los ambientes artificiales como ciudades, cultivos e incendios
8. El periodo pronosticado

Todos ellos actúan en conjunto para determinar el clima de un lugar. Por eso, el dicho *una mariposa batiendo sus alas en China puede*

causar un huracán en América no parece ser una exageración. Los científicos, con la ayuda de computadoras poderosas, han desarrollado varios modelos para pronosticar el clima. Pero la falta de datos históricos confiables, especialmente en la zona Andina, no les permiten perfeccionar sus modelos. Por esta razón, hay que tener mucha cautela en creer y actuar considerando estos pronósticos.

Algunas variaciones climáticas (de la temperatura y la lluvia) que se avecinan ni hemos de percibir con certeza durante toda nuestra vida, porque pueden ocurrir lentamente, a lo largo de varias décadas. Lo importante es conocer cuáles son sus tendencias. Si colocamos estaciones climatológicas para cubrir uniformemente todas las zonas geográficas y las monitoreamos bien, lograremos una buena base de datos para mejorar los pronósticos.

Los científicos pronostican que la temperatura media diaria seguirá aumentando lentamente hasta el fin de este siglo en toda la Región Andina. Para el año 2100, se estima que este valor subirá en 3 °C (Vuille, 2007). Pero este incremento de temperatura también dependerá de cómo actúe la humanidad frente los cambios.

Si continúa la tendencia de la temperatura observada en los Andes hasta ahora, podemos esperar lo siguiente:

1. Menos noches de heladas (menos pérdidas de productos agrícolas).
2. Días de fuertes soles (mayor rendimiento agrícola, mayor necesidad de riego).
3. Aumento gradual de la temperatura media en cada sitio (bajo rendimiento de los productos agrícolas de pisos fríos, ocupación agrícola de pisos cada vez más altos)

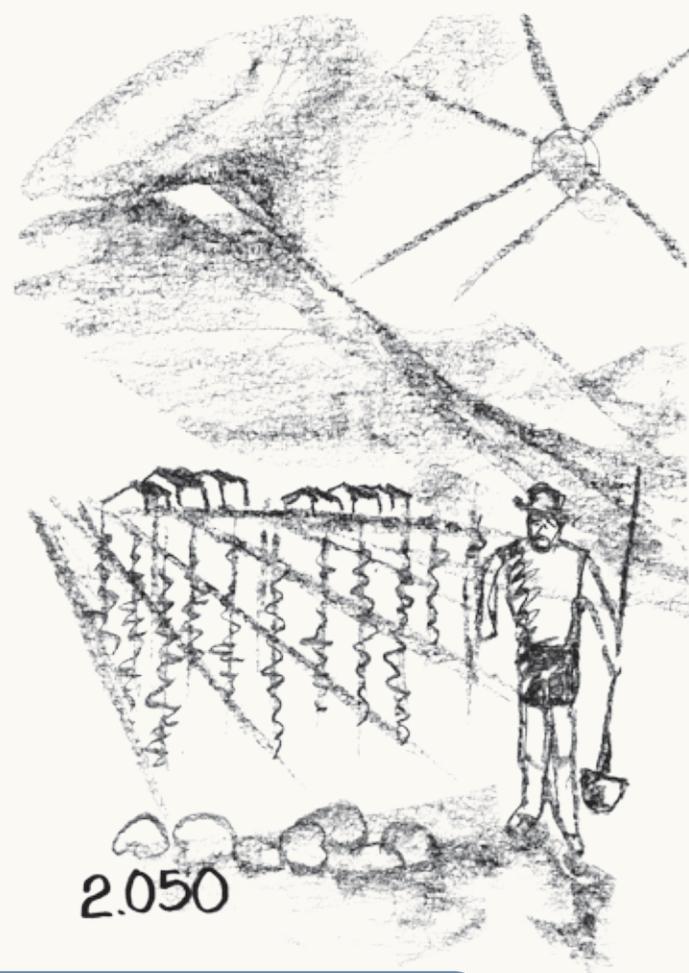
Sobre las lluvias no existe consenso en los pronósticos. En general, se espera un aumento gradual de lluvias en los Andes. En la temporada húmeda de cada región, las lluvias pueden ser más intensas y de mayor duración. En la temporada seca, se espera menos lluvia de



lo normal. Hay estudios que pronostican una leve disminución de lluvias en la zona sur de los Andes hasta la Patagonia.

Para la región de Cuzco, se proyecta que en el año 2100 habrá un 20 % más de lluvias en verano y primavera, y un 40 % menos, en el invierno, que es la temporada seca de esa región (SENAMI, 2009). En cambio, para la zona sur de Ecuador, se pronostica un aumento de lluvias, pero mayormente en su temporada seca (Centella y Bezanilla, 2008).

Frente a esta incertidumbre en cuanto a las lluvias, debemos prepararnos para cualquiera de las siguientes situaciones o una combinación de ellas:



Más calor permitirá sembrar cultivos de pisos bajos.

1. Cambios en los meses normales de lluvia y sequía (modifica el calendario agrícola).
2. Lluvias prolongadas (pérdidas en algunos productos agrícolas y ganancias en otros, deslaves, inundaciones).
3. Lluvias intensas concentradas en áreas pequeñas (deslaves, inundaciones).
4. Sequías prolongadas (falta de agua para consumo, pérdidas agrícolas).



Pobre vecino, el agua se llevará todos sus granos.

Para prever la disponibilidad de agua en el futuro también debemos entender el comportamiento de los glaciares. Actualmente, los nevados están retrocediendo en la mayor parte de la cordillera de los Andes. El calentamiento del aire puede acelerar su deshielo. Por otro lado, una precipitación mayor de nieve, en ciertas temporadas del año o en ciertos años, puede frenar la pérdida del hielo.

El deshielo rápido de los glaciares aumentaría los caudales en las quebradas, a corto plazo, complaciendo a las poblaciones de más abajo. A mediano y largo plazos, cuando ya no haya más hielo arriba,

se reducirían los caudales. Esto puede ocasionar conflictos entre los usuarios del agua. Más que todo, puede causar desplazamientos de poblaciones enteras (como ocurre en Bolivia, por ejemplo) y grandes pérdidas económicas.

Como explicamos anteriormente, ninguno de los escenarios de arriba se hará realidad con total certeza. Tampoco podemos descartarlos completamente. Lo único que podemos hacer es prepararnos y no dejar que el clima nos sorprenda.



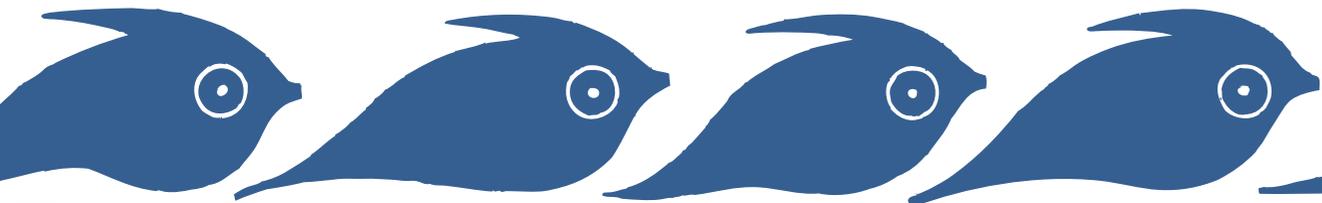
Montaña con glaciar completo.



El deshielo aumentó el caudal. Pero sin nieve, la quebrada se secará.



Si el glaciar desaparece, la quebrada se seca y los peces mueren.



CAPÍTULO 3

¿Qué enseña esta guía?

Con esta guía intentamos ayudar a afrontar este clima tan incierto. Específicamente, explicaremos cómo prepararse cuando ocurren periodos largos de escasez de agua. Conversaremos sobre cómo conseguir agua para el consumo: de la casa y en el campo, y cómo usar esa agua sin desperdiciarla.

Un cambio climático no será igual que las emergencias de agua que hemos experimentado hasta ahora: lluvias torrenciales o sequías fuertes. Porque sus impactos se sentirán a nivel mundial. Todos estaríamos afectados. Además, estos impactos no se limitarían a un día o a un mes, sino que nos golpearán por un largo tiempo, tal vez por cientos de años. ¿Qué significa esto? ¿Que no podemos esperar que venga alguien de afuera con ayuda para rescatarnos!

Entonces, en vez de estar extrañando los buenos tiempos del pasado, debemos acostumbrarnos a vivir con un clima cambiante y diferente. Mejor aun, adaptémonos a convivirlo.

Por suerte tenemos tiempo. Adaptarnos al cambio significa realizar experimentos nosotros mismos. Ganar experiencia observando los resultados. Aprender de lo bueno y continuar mejorando las técnicas.

Por ejemplo, según cómo se comporte el clima deberemos modificar la forma de conseguir el agua y consumirla. No solo en nuestra casa sino también en nuestros cultivos.

Hacemos estos experimentos sin esperar recursos externos. Aprovechemos al máximo todos los recursos que disponemos en nuestro alrededor. Entonces, ¿por qué no sacamos provecho del mejor tesoro que nos dejaron nuestros antepasados: su sabiduría?



Venteando habas: Chivay, Arequipa, Perú.

Los conocimientos de nuestros abuelos sobre el manejo (**la crianza**) del agua son invalorable. Preferimos usar aquí el término *crianza del agua* cuando hablamos de esas prácticas ancestrales. Porque la crianza implica no solo sacar provecho de ella. Nuestros abuelos consideraban el agua como un ser vivo, como parte de su comunidad. El agua les ayudaba a criar a los suyos. Y ellos, por respeto mutuo, intentaban criar al agua. No la desperdiciaban, la cuidaban.

Estas prácticas son resultados de sus experimentos vivenciales de miles de años. Los mayores enseñaron a sus hijos las prácticas que les resultaban mejor. Para implementarlas, ellos no necesitaban dinero, maquinaria ni títulos universitarios. Sus técnicas son fáciles de comprender porque están basadas en observaciones minuciosas de la misma naturaleza. Son fáciles de implementar porque utilizan materiales de su propio entorno, así como su propia fuerza y la de sus vecinos. Son fáciles de modificar y adecuar a otros sitios porque uno mismo va evaluando los resultados.

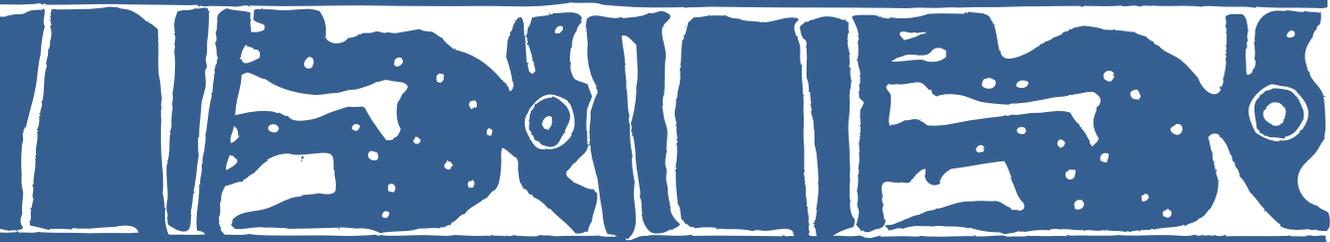
Sí, sus antepasados eran ingenieros, ¡pero de la universidad del campo!



Esta guía es una recopilación de algunas prácticas ancestrales de criar al agua, no solamente de los Andes, sino del mundo entero (las que están a nuestro alcance). Aquellas prácticas que no tienen raíces andinas también pueden ser adaptadas a nuestro medio. Durante los últimos 500 años hemos adaptado, por la influencia de otras culturas, muchas experiencias. Por ejemplo, la forma de consumir agua en la casa hoy es muy diferente al pasado. Hoy cultivamos muchas plantas que vienen de otros lugares. Criamos muchos animales de otros lugares del mundo. En el campo, usamos herramientas muy diferentes a las que usaban nuestros antepasados. Ahora hasta el clima va a ser diferente al del pasado. Entonces, ¿por qué no intentamos probar y adaptar prácticas que ya dieron resultados en otros climas?

El cuadro de abajo indica los temas que serán tratados en los capítulos siguientes:

Capítulo	Tema
4	Prácticas que nos permiten conseguir más agua de la que nos trae el clima.
5	Tecnologías para captar directamente el agua de lluvia. Porque captar esta agua limpia es muy fácil y muy económico.
6	Técnicas adecuadas para aumentar y captar el agua subterránea.
7	Técnicas para aprovechar bien todas las aguas que hemos captado, sin desperdiciar, ni contaminarlas.
8	Cómo combinar todas estas prácticas para adaptarnos al cambio climático.



CAPÍTULO 4

¿Cómo conseguimos más agua en la sequía?

La mayor parte de los Andes experimenta anualmente largos periodos de sequías. Aunque hemos aprendido a vivir sin lluvia en estos meses, cuando tarda demasiado su retorno nos desesperamos. Como hemos visto en el Capítulo 2, en el futuro no podemos esperar que retornen las lluvias en las fechas y cantidades acostumbradas.

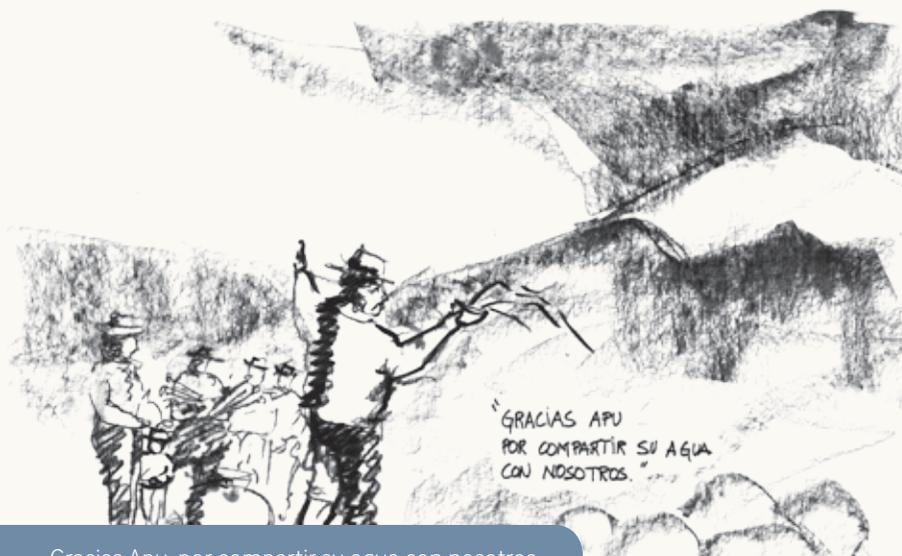
¿Qué opciones tenemos si la lluvia se tarda? Actuar desesperadamente no es una salida. Esto podría causarnos un pánico que nos llevaría a la ruina porque perderíamos muchos recursos en remedios parche. Debemos estar preparados con diferentes alternativas que nos ayuden a superar una escasez crítica de agua.

1. La mejor opción es usar el agua captada sin desperdiciar nada. Vamos a discutir varias prácticas de este tipo en el Capítulo 7.
2. Probablemente usted dirá: *¿por qué no perforamos un pozo?* Es una buena opción, pero haciéndolo apuradamente en una emergencia, nos va a costar una fortuna. El agua subterránea siempre está allí y podemos aprovecharla para complementar el agua de lluvia, según nuestras necesidades y posibilidades. Cavar un pozo es una de las técnicas para captar agua subterránea y es muy costosa. Vamos a conocer algunas de estas técnicas en el Capítulo 6.
3. Hay otras prácticas que usaron nuestros antepasados en sequías largas. Algunas de las más provechosas son: realizar rituales para solicitar lluvia, captar agua de la neblina, condensar el vapor para captar agua y manipular las nubes para forzar la lluvia. No deben ser medidas desesperadas porque necesitan mucha preparación y planificación para lograr buenos resultados. En este capítulo vamos a conocer estas cuatro prácticas en detalle.

Un buen pronóstico del clima nos ayudaría a prepararnos para una sequía larga. En el Capítulo 2 ya conocimos las dificultades que tienen los científicos en pronosticar las actuales variaciones climáticas. Pero hay personas mayores que son expertas en pronosticar la lluvia para su zona: cuándo y cuánto caerá. Al final de este capítulo veremos cómo ellos aprendieron a pronosticar el clima sin computadoras.

De hecho, sus pronósticos se basan en el comportamiento del clima del pasado; pero como el clima actual no sigue los patrones del pasado, los pronósticos campesinos también se pueden equivocar. Sin embargo, si conocemos bien los indicadores que analizan ellos, comparando sus razonamientos con el comportamiento actual del clima podemos aprender a pronosticarlo mejor. En los Andes, cada valle tiene su propio clima. Por eso, las predicciones localizadas son mucho más útiles para el campesino que las que cubren una región grande.

4.1 Rituales ancestrales para solicitar agua



Gracias Apu, por compartir su agua con nosotros.

Hace unos 10 000 años, algunas sociedades humanas optaron por la agricultura. Dejaron de ser nómadas y se asentaron en un lugar fijo. Desde entonces, dependen del agua que está a su alcance para el consumo de las personas, animales y cultivos. Poco a poco, algunos

aprendieron a almacenar agua para el consumo posterior y no depender solamente de la que cae o la que corre. Aún así, siempre que se retrasaba la temporada de lluvias, ellos tenían problemas.

Desde que el ser humano comenzó a razonar entendió que no puede controlar todo lo que ocurre a su alrededor. De allí, tal vez, nació su reverencia y respeto a todos con quienes comparte este mundo: otros seres humanos, animales, plantas y toda la naturaleza. Cuando deseamos comunicar nuestro respeto o reclamo a otro ser humano entablamos una conversación con él. ¿Cómo comunicamos nuestro respeto a la naturaleza? A esa comunicación la llamamos **ritual**.

Nuestros antepasados usaban rituales para comunicarse con otros seres y con las fuerzas naturales. La lluvia, el viento, las montañas, los ríos, los árboles, todos ellos eran parte de su sociedad. Veneraban a las montañas grandes y los ríos caudalosos porque les inspiraban mucho respeto y les pedían favores cuando había una necesidad. Varias comunidades aún mantienen estas prácticas.

La comunidad Kotama, en Otavalo, Ecuador, considera al agua como una familia de cuatro hermanas y cuatro hermanos con temperamentos distintos (Cachiguango y Pontón, 2010). Cuatro fuentes de agua: el manantial, la lluvia, la laguna y el río son nombradas como las hermanas. Los hermanos son: el granizo, la helada, la lancha (lluvia junto con un sol radiante) y el *pipharlay* (gruesas gotas de agua que caen sin aviso).

Martina Mamani
Raqchi, Cuzco, Perú



Las cinco fuentes (en Raqchi) son igual como nosotras. Cada una es una persona...Tiene 5, 15, 30, 50 y 60 años: ashni, huarmi, mama, abuela y colla (es como una sacerdote).

Cuando recibe un favor grande, como una buena cosecha o un manantial permanente, la comunidad decide hacer un pago de agradecimiento. Sus sabios determinan cuál hermano de agua es el responsable por el acontecimiento y dirigen los rituales

correspondientes. Ellos consideran que las anomalías, como el retraso de las lluvias o la aparición de enfermedades raras, ocurren por algún acto que desequilibra la armonía en su sociedad. En una situación de ese tipo, analizan la posible causa del desequilibrio y determinan el hermano de agua cuyas cualidades pueden restablecer la armonía en el pueblo.

Martina Mamani

Raqchi, Cuzco, Perú

El baño de flores es para limpiar la mala energía y que se llene de buena energía... se hace directamente con agua sagrada. Usamos flores para que florezca uno espiritualmente.

Celso Celestino

Ichupampa, Arequipa, Perú



Se hacen pagos al Apu, a la tierra Taitamallcu... Los pagos son con granos de diferentes colores, los mejorcitos. Después, un buen cebo de la alpaca, del pecho o del corazón.

Vamos al mismo ojo y con el incienso hacemos los saumes, el tincachi con vino chicha y hacemos la entrega. Se prepara una alpaquita guagüita de la que aborta, con un pago de coquita y láminas de oro y plata... Hacemos la tinca. Se lo hace todos los años. Es un respeto máximo al Apu.

A los cuatro días llegamos a una catarata... Hacemos una recepción del agua, con banda, es una fiesta grande. Las señoras reciben el agua, con un vaso se toman un poquito y con signo de cariño le sirven un vaso de chicha al agua.

Abdón Flores

Andamarca, Ayacucho, Perú



En el Yaku raymi, los días 24 y 25 de agosto, toda la comunidad participa en la bendición del agua... Traemos el agua en vasijas y esa agua es venerada toda la noche, toda la comunidad prende la vela. Y se devuelve el agua al ojito.

En la ceremonia que se realiza para solicitar la presencia de la lluvia, en Kotama, participa toda la comunidad, incluyendo mujeres, jóvenes y niños. En la fecha escogida, se reúnen todos en una loma cercana con comida suficiente para un banquete. El compartir comida en público hace olvidar las diferencias o cualquier roce entre los socios. Lograda la armonía, comienzan a apelar –mediante cantos o gritos– a que vuelva la hermana lluvia. Incentivan a todos los niños a que llamen a la lluvia por ser personas más sinceras (Cachiguango y Pontón, 2010).



Ceremonia solicitando la lluvia.

El ritual para atraer la lluvia se realiza de diferentes formas en diferentes sociedades. Los hombres y mujeres del pueblo Zuni de Nuevo México, EE. UU., danzan y cantan en voz alta con sus vestidos decorados de plumas y turquesas. En el altiplano peruano de Puno, los gritos de los niños y los lloros de las mujeres son las llamadas preferidas para solicitar la lluvia. Algunos pueblos Maya se reúnen alrededor de un altar y piden a los niños que imiten el croar de las ranas o el graznar de algunas aves, llamando a la lluvia.

En Bulgaria y en la antigua Yugoslavia practicaban cantos o bailes ceremoniales con el mismo fin. Las muchachas del pueblo, vestidas con hojas tejidas, rondaban de casa en casa invocando las bendiciones. Los pastores prehispánicos de las islas Canarias solían incitar a sus manadas de ovejas y cabras a balar para que llueva. En diferentes partes de la India, cuando se retrasan las lluvias, realizan un matrimonio ceremonial, ¡pero entre ranas! Llevar las ranas a un sitio sagrado y hacerles croar ha sido un ritual común para solicitar lluvia en muchas partes de los Andes.



Matrimonio de ranas.

La ciencia moderna aún no ha logrado entender ni explicar el enorme poder que tiene la voz para tranquilizar, curar y comunicarse con fuerzas naturales. Sin embargo, todas las religiones reconocen este poder de la voz y hacen sus oraciones en voz alta. La Biblia dice: *En el principio era el Verbo, el Verbo estaba con Dios, y el Verbo era Dios* (Juan 1:1). Aquí, con *el Verbo* se refiere a la palabra hablada. Del mismo modo, nuestros ancestros usaron la voz para comunicarse con las fuerzas naturales y lograron resultados.

El matrimonio o la mezcla ceremonial de aguas de diferentes fuentes es otra forma de solicitar la presencia de lluvias, especialmente en los Andes. En la ceremonia Para Mañakuy, que hasta hoy se realiza en la comunidad de Yanacona (Municipio de Chinchero, Cuzco, Perú), se lleva un cántaro de agua de una laguna de la zona baja para ser mezclada con la de una laguna de altura, de donde provienen las lluvias. Al momento de vaciar el cántaro en la laguna, los comuneros le arrojan piedras para *enojarla* y esperan como resultado lluvias torrenciales (Callañaupa, 2011). En cambio, en el pueblo indígena de Chipaya, en el salar de Coipasa, Oruro, Bolivia, recogen un cántaro de agua del mar, de la costa chilena, para ofrecerle a su fuente de agua (Mamani, 2012).

Muchos usan artefactos en sus ceremonias para representar diferentes fuerzas naturales. En el pueblo Zuni las plumas

simbolizan el viento, y la turquesa, el agua. El uso de la concha mullo (*Spondylus princeps*) para representar al dios de la lluvia ha sido muy común en los Andes (Paulsen, 1974). Estas conchas fueron enterradas ceremonialmente en las albarradas (reservorios) de la costa ecuatoriana hace 3 000 años, posiblemente, para atraer las lluvias (Stoother, 1995). Los pueblos aborígenes de Australia tenían expertos que hacían llover mediante ceremonias. Ellos usaban objetos sagrados para representar el arcoíris o la lluvia misma (Tonkinson, 1972). Algunos pueblos Han, de China, veneraban dos piedras grandes: Yin (de lluvia) y Yang (de sequía). Cuando se retrasaba la lluvia, un representante del pueblo golpeaba a la piedra Yang para debilitarla y que la piedra de lluvia pueda dominar.



Esta concha llamará a la lluvia para llenar la albarrada.

Los sacrificios también son parte integral de estos rituales. En el caso antes indicado, en China, los golpes eran simbólicos. Algunos realizan sacrificios físicos reales. El pueblo Totonaca, del noreste de México, realiza un ritual muy peligroso: el palo volador, solicitando la lluvia a sus dioses del monte y del sol. Cuatro personas se amarran de los pies, con cabos, colgados de un palo bastante alto y *vuelan* a altas velocidades alrededor del palo. El acto simula el vuelo del pájaro Guagua que hace estas acrobacias cuando se acerca la lluvia. Los padres totonacas incentivan a sus hijos a *volar* especialmente para este ritual.



Voladores totonacas en el sitio ceremonial El Tajin, Veracruz, México.

En la isla de Java, Indonesia, algunas comunidades solicitan lluvia mediante peleas ceremoniales entre hombres voluntarios. Pelean con cañas de rattan (un tipo de carrizo delgado y flexible) hasta que de uno de ellos brota sangre. En las montañas de Guerrero, México, los pueblos originarios realizan *la pelea de tigres*, una ceremonia solicitando lluvia: dos hombres se visten de tigres y se reparten golpes fuertes, cuerpo a cuerpo, como esos animales. Los pueblos Sotho, de Sudáfrica y Lesotho, solicitan la ayuda de sus ancestros para recibir lluvias a tiempo. Pero en sequías largas, golpean ceremonialmente sus tumbas, para reclamarles por no hacer bien su trabajo.

Enviar ceremonialmente el humo al cielo mediante fuego también ha ayudado a atraer la lluvia en ciertas regiones. Las tribus Bantú, de Sudáfrica y Lesotho, subían a las lomas, prendían fuego y enviaban su humo oscuro al cielo. En el antiguo Japón, los sacerdotes de la religión Shinto enviaban humo desde las montañas para llamar a las nubes.

El envío del humo, como en el intento de ahuyentar el granizo (sección 1.2), tiene una influencia directa sobre las lluvias: por una parte, aumenta la cantidad de partículas sólidas en el aire alrededor de las cuales se condensa el vapor de agua, y por otra, empuja a las nubes hacía alturas más frías para que engrosen sus gotitas de agua. El uso simbólico del humo en los rituales para pedir lluvia nació, tal vez, en reconocimiento de ese poder.

Cuando las sociedades se modernizan, tienden a rechazar y descartar las ceremonias y los rituales, por considerarlas *rudas* o *incultas*. Sin embargo, estos rituales han persistido por cientos de años en varias comunidades porque sí dieron resultados. No por pura casualidad. Deben haber razones que aún la ciencia moderna no logra explicar.

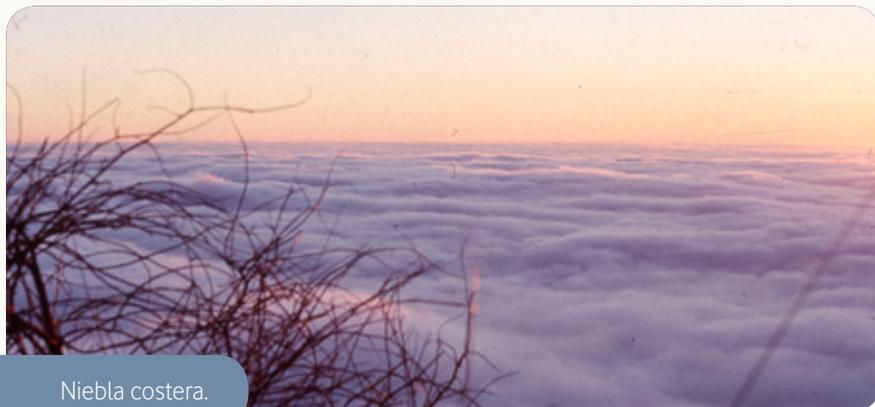
Además, estos rituales no son eventos aislados para solicitar algo puntual. Son parte de la convivencia diaria de las sociedades. Estos actos, acompañados de pagamentos realizados desde los sitios sagrados (Arroyo, 2010), intentan equilibrar y armonizar la naturaleza con buena fe y con buenos pensamientos. La ciencia moderna tiene muchas dificultades para aceptar que los pensamientos y sentimientos son efectivos para comunicarnos con la naturaleza.

Investiguemos con la ayuda de las personas mayores sobre las ceremonias que antes realizaban con éxito en épocas de sequías y hagámoslas revivir. Estos rituales permiten valorar el aporte de todos: niños, jóvenes y mujeres, y unificar a la comunidad. También ayudan a mantener viva su cultura dando realce a los bailes, materiales y productos locales.

4.2 Captar agua de la niebla

La mayor parte de la franja costera del Pacífico americano recibe muy poca lluvia. Sin embargo, casi la mitad del año está bañada con una neblina muy densa y húmeda: una niebla. ¿Cómo se forma esta niebla? En esa temporada, las corrientes marinas costeras enfrían el aire. Cuando el vapor sobre el mar es empujado hacia la costa, al chocar con el aire frío, se condensa y forma una neblina. Vientos suaves permiten que esta neblina se acumule sobre las lomas bajas y las cubra como una densa manta blanca (Martos, 2009).





Niebla costera.

Debajo de los bosques que hay en estas lomas, podemos ver cómo los árboles captan el agua de la niebla y mantienen húmedo su suelo, sin que haya lluvia.

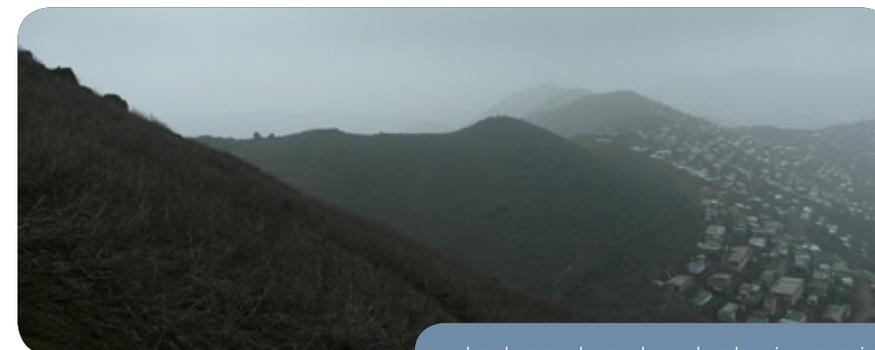
Nuestros antepasados lo observaron bien y recogieron el agua atrapada por los árboles en pequeñas pozas excavadas sobre los filos de las lomas. La comunidad de Juncos, cerca de Bahía de Caráquez, Ecuador, no hubiera sobrevivido los largos meses de sequía costeña sin las pozas prehispánicas en sus lomas. Pequeñas depresiones como canales recogen las gotas que caen de los árboles a lo largo del filo de las lomas y alimentan las pozas. Este tipo de pozas, de diversas formas y tamaños, fueron construidas a lo largo de la costa Pacífica.



Poza de agua de niebla sobre una loma costera, Juncos, Bahía de Caráquez, Ecuador.

En Loma Alta, Santa Elena, Ecuador, los comuneros decidieron revalorar el aporte de su bosque en atrapar agua de la niebla y lo declararon como reserva (Becker, 2005). Sin embargo, muy pocas lomas costeras del Pacífico aún están cubiertas de bosques. Se las ve como pequeñas islas verdes en un mar de tristes dunas grises.

Las lomas costeras de Perú no reciben más de 50 mm de lluvia a lo largo de todo el año. Lima está asentada en este desierto con sus 8 millones de habitantes. Muchos de sus barrios marginales no pueden ni soñar cuándo les habrá de llegar el suministro de agua municipal. Algunos de ellos apostaron por el poder de los árboles para captar el agua de la niebla.



Las lomas desnudas sobre barrios marginales de Lima.

En las lomas desnudas, sobre sus casas, la gente ha sembrado algunas especies de árboles aptos para captar agua de la niebla como tara (o guarango, *Caesalpinia spinosa*) y casuarina (o pino australiano, *Casuarina cunninghamiana*). La tara es un árbol nativo de esta costa Pacífica y la casuarina viene de Australia. El primero también produce un fruto con valor comercial.



Las plantas de tara y casuarina atrapan las nieblas.

Pero al inicio necesitaban agua para regar las plántulas. Para eso levantaron varias *atrapanieblas* que son grandes redes plásticas (de 4 x 8 m), soportadas verticalmente por palos. Ellas acumulan las gotas de agua atrapadas de la niebla. Lograron captar hasta 8 litros de agua por día por metro cuadrado de la red, durante los tres meses de medición (Lummerich y Tiedemann, 2009). Algunas redes fueron construidas con mallas finas comerciales y otras eran *arpas* de alambres de luz (estiradas verticalmente pero en dos capas, sobre un marco metálico). Las que tenían hilos diagonales entre ambas capas dieron mejores resultados porque seguían atrapando gotas de agua aún cuando el viento cambiaba la dirección.



Atrapanieblas artificiales.



El agua recolectada era dirigida hacia pequeños reservorios. Luego llenaban unas ollas de barro 'sembradas' entre las plántulas. Después de un año y medio, los mismos árboles ya atrapaban agua, no solamente para su supervivencia sino también para las plantas a su alrededor.

Estamos regando los huertos con agua de la niebla.



Vegetación bajo el árbol de palo verde.

En las últimas décadas, se han instalado estas redes plásticas en muchos países. Ellas proveen de agua, principalmente para el consumo humano en las comunidades con difícil acceso. Su provisión de agua limpia y su mínimo costo de operación, le da a este mecanismo una ventaja amplia sobre otros. Sin embargo, sus altos costos de instalación inicial y de mantenimiento (donde hay ventarrones fuertes) impiden su desarrollo a gran escala.

Si antes de las redes plantamos una cortina de árboles firmes y altos, para que enfrenten los vientos, a la larga se pueden reducir los daños por ventarrones. La misma comunidad que se beneficia puede asumir el mantenimiento del sistema.

El volumen de agua que capta una red depende de su ubicación y de la época del año. Algunos sitios requerirán sistemas grandes de atrapanieblas para acumular suficiente agua para todo el año. Por otro lado, se puede complementar la captación de agua de niebla con otra de agua de lluvia porque las dos no ocurren al mismo tiempo.

Hoy, después de unos 5 años de este experimento, el barrio Quebrada del Paraíso de Lima ya tiene agua potable municipal y las redes artificiales están abandonadas. Sin embargo, los árboles que lograron establecerse en las lomas muestran su gran efectividad en atrapar la humedad. Los habitantes están soñando en reverdecer sus lomas de nuevo aprovechando esa humedad.

Geronimo Huayhua

Barrio Quebrada Alta del Paraíso, Lima, Perú



El proyecto lo empezaron como proyecto piloto. El experimento era (para ver) cómo captar el agua. El agua captada de las redes se utilizaba para lavar ropa, regar las plantas...

Se nota un crecimiento de plantas en la base de la casuarina. Esta planta tiene cuatro años... Palo verde siempre está verde y atrapa bastante agua... Él ya se riega solo y hay bastante vegetación bajo el árbol... Así, estas lomas se pueden mantener como áreas verdes.

En la ladera occidental de los Andes, entre los 1 500 y los 3 000 msnm, aún existen remanentes de otro tipo de atrapanieblas. Sus bosques tienen árboles grandes, arropados densamente con musgos que son campeones en atrapar la niebla.

Esta neblina se forma sobre la planicie, al pie de la cordillera. El viento eleva el aire húmedo en busca de una salida por encima de las montañas. El enfriamiento del aire y la consiguiente condensación del vapor ocurren por el rápido cambio de altura. La neblina pesada se extiende sobre la ladera, pero si el viento no logra elevar y dispersarla, ella se acumula y forma una niebla densa. Se estima que los bosques que atrapan esta niebla aportan hasta con el 60 % del agua que reciben las comunidades inmediatamente abajo (Roach, 2001). Estos atrapanieblas naturales hoy desaparecen en forma acelerada. Los pastos y cultivos que los reemplazan no logran atrapar casi nada del agua de la niebla.

La neblina también aparece en los valles interiores. La tierra se enfría rápidamente en las noches despejadas, haciendo que se

enfrié la capa de aire que está sobre ella. En una madrugada sin mucho viento, el vapor se condensa y forma una neblina ligera. Captar agua de esta neblina es complicado porque casi no se mueve horizontalmente. Con el sol de la mañana la neblina se levanta porque la tierra comienza a calentarse de nuevo.



Bosque de niebla con árboles musgosos.

No existe mucha humedad en una neblina de este tipo. Sin embargo, en un desierto, cualquier gota de agua vale su peso en oro. Tal vez por eso, desde hace 4 000 años, el desierto de Negev, Israel, ha sido adornado con innumerables montones de piedras. Estos montículos, de entre 15 y 100 cm de altura, están colocados sin dejar mucho espacio entre sí. Largas filas de grava cubren el piso entre los pilos de piedras. La neblina que cubre el desierto en la madrugada libera sus gotitas de agua dentro de los montículos. Las filas de grava y unos canales colectores ayudan a conducir el agua hacia las terrazas agrícolas o pozas (Evanari *et al.*, 1982).



En este desierto, cada gota de agua que deja la neblina entre las piedras vale mucho.

4.3 Captar el agua bajo cubierta condensando el vapor

En el Capítulo 1, observamos cómo se acumulan gotas de agua en un techo plástico que cubre un charco. También vimos que cuando hay más sol, más gotas se forman. El agua que recogemos de ese techo es totalmente apta para consumir. Se puede producir agua pura a partir de agua salada o contaminada, mediante este mecanismo.

Sin embargo, para producir agua de esta forma se debe invertir mucha energía. Si queremos calentar el agua usando energía solar, necesitamos colocar un techo de vidrio. Aún así, se requiere un techo de 2 m² para producir un galón de agua por día con este sistema (ITDG, 1988).

Por eso, a pesar de su simplicidad, este mecanismo es útil únicamente donde el agua para el consumo es muy escasa o contaminada. Como por ejemplo en un barco perdido en el mar. Este principio ha sido utilizado desde hace miles de años para obtener sal, evaporando



¡Mira, es agua pura!

el agua del mar. En este proceso, el viento ayuda porque acelera la evaporación del agua, pero la captación de ese vapor es casi imposible porque se trata de un espacio abierto.

Actualmente existen otras tecnologías más eficientes, pero más complejas, para obtener agua pura del agua contaminada (Boucekima, 2002).



Salinera prehispánica. Ollantaytambo, Cuzco, Perú.

4.4 Manipulación de nubes para forzar la lluvia

Ya conocimos en el Capítulo 1 cómo los pueblos antiguos manipulan las nubes para evitar la caída del granizo sobre sus cultivos. Asimismo, en la Sección 4.1 conversamos sobre el uso ritual del humo para atraer la lluvia en distintas comunidades.



Desde la década de 1950, se ha intentado manipular las nubes para disponer artificialmente de lluvias. En 2008, todo el mundo observó asombrado cómo China trató de despejar las nubes del cielo sobre los Juegos Olímpicos, en el día de su inauguración. La práctica más común es colocar ciertas sustancias químicas en las nubes para acelerar la condensación del vapor. Al mismo tiempo, se intenta crear un ambiente más frío para ayudar en dicho proceso.

Sin embargo, muchas inquietudes aún quedan sin resolverse acerca

de la manipulación de las nubes. No sabemos a ciencia cierta si la lluvia que se logra tras manipular las nubes hubiera ocurrido sin ella. Los impactos que estas operaciones pueden causar en las regiones vecinas tampoco son predecibles. Ellas pueden quedar sin lluvia o pueden recibir lluvia en demasía. Tampoco conocemos bien los impactos ambientales que causan los químicos que se usan para el efecto (Morrison, 2009).

Con todas estas incertidumbres, ¿conviene el alto costo de esta práctica? Su costo depende de la forma de manipulación y de la temporada. Algunos usan aviones porque se puede colocar los químicos en el sitio preciso de las nubes, otros, cohetes o disparos a larga distancia. En temporadas con nubes muy secas, ni manipulaciones repetidas lograrán buenos resultados y su costo subirá.



En 2009, en la provincia de Cotopaxi, Ecuador, un agricultor poderoso disparó cohetes desde la tierra para que no cayera lluvia en exceso sobre sus cultivos. Las comunidades vecinas se opusieron rotundamente por miedo a que esta práctica impidiera la caída de lluvias sobre sus predios.

4.5 Indicadores del campo para pronosticar el clima

Las comunidades campesinas andinas manejan una serie de indicadores (señas) que les ayudan en sus labores agropecuarias, artesanías y vivencias familiares y comunitarias, es decir, en su crianza de la vida (Chuyuma Aru, 2007). El pronóstico del clima es solamente una parte de ese proceso.

Muchos indicadores fueron escogidos según la experiencia local o regional. No podemos esperar buenos resultados en una zona distinta, aunque se usen todos al pie de la letra. Por otro lado, el clima cambiante actual complicará algunas de estas predicciones, aún en la misma localidad.

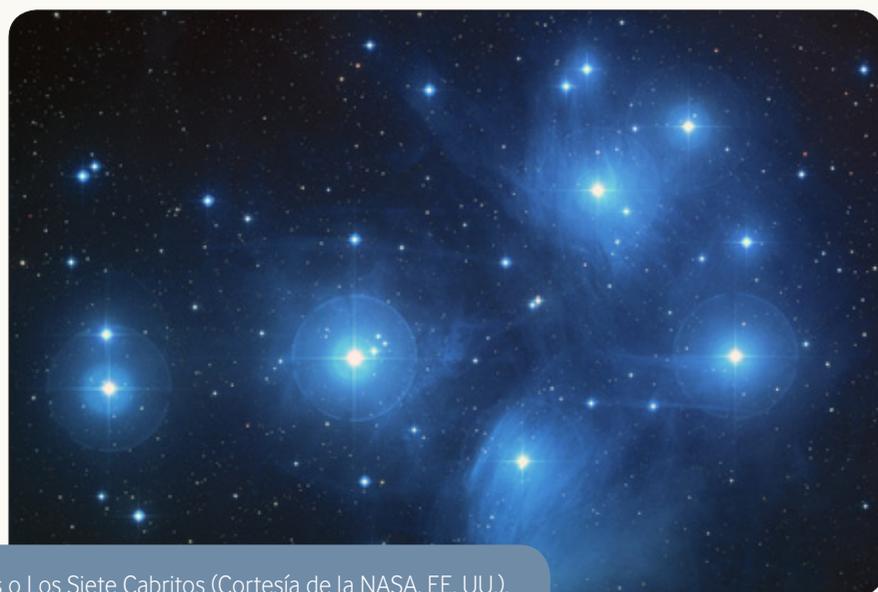
Sin embargo, estos indicadores nos enseñan qué debemos observar en cada región. También debemos aprender los razonamientos que están detrás de sus predicciones. Así, podemos desarrollar

nuestra propia serie de indicadores, modificando y adaptando los razonamientos, según cómo se comporta el clima en cada localidad.

Los objetos astronómicos principales que se relacionan con el clima en la región del lago Titicaca son: el lucero, la luna nueva, la Vía Láctea, las Pléyades, el Arado, el Cóndor y la Cruz del Sur.



Las estrellas Pléyades dicen que adelantemos la siembra este año.



Las Pléyades o Los Siete Cabritos (Cortesía de la NASA, EE. UU.).

Muchas señas astronómicas son particulares de cada localidad porque la ubicación de las estrellas en el cielo y el tiempo de sus apariciones varían de región a región. La gente observa el brillo, el color y la posición de cada objeto astronómico relativo a otro. La brillantez y el color del objeto tienen mucho que ver con el clima, porque las estrellas brillan, especialmente, en una noche despejada. Eso significa que puede helar en la madrugada.

La ubicación de un astro con relación a otro cambia según los ciclos, que duran varios años. Estos cambios causan variaciones en las fuerzas de gravedad entre sí. Estas fuerzas afectan directamente el comportamiento de las corrientes marinas que, a su vez, influyen mucho sobre el clima terrestre. Por todas estas razones, las predicciones basadas en la ubicación de los objetos astronómicos son para un periodo largo, como el año agrícola.

Los fenómenos físicos que se relacionan directamente con el clima: el arcoíris, las formas de nubosidad o el calor del sol, indican eventos más puntuales. Por ejemplo, si el arcoíris aparece bien alto en el cielo, la lluvia se acabaría pronto. Porque las gotas de agua que dibujan el arcoíris en el cielo provienen de nubes muy altas y en el cielo bajo no hay nubes con agua.



El halo solar sobre volcán Cotopaxi. (Cortesía de Marco Martínez, Riobamba, Ecuador).

De los elementos meteorológicos como viento, granizo, lluvia, helada, nieve, neblina, nube, relámpago y trueno, se observan minuciosamente todos los detalles de su ocurrencia: dirección, velocidad, color, forma, tamaño, sonido, frecuencia, etc. Cada uno tiene sus fechas específicas de observación que depende mucho de cada región. En general, se los observa durante las actividades agropecuarias.



Nieve en Orange, Connecticut, EE. UU.

Vientos demasiado fuertes anuncian la ocurrencia pronta de tormentas o huracanes. Vientos pausados con pequeños remolinos indican que va a llover en unos días. En la zona del lago Titicaca, una lluvia el 8 de marzo indicará que las siembras de ese año se deben realizar en las fechas acostumbradas porque las lluvias acompañarán el calendario agrícola normal. Una lluvia intensa en ese día indica un año de inundaciones, mientras que una lluvia suave indica todo lo contrario. En un año lluvioso es mejor sembrar papas y en un año seco, los granos producirán mejor. Si la lluvia se adelanta a esa fecha, las siembras deben ser adelantadas. Estas predicciones se confirman si la lluvia se comporta igual el día 19 de marzo.

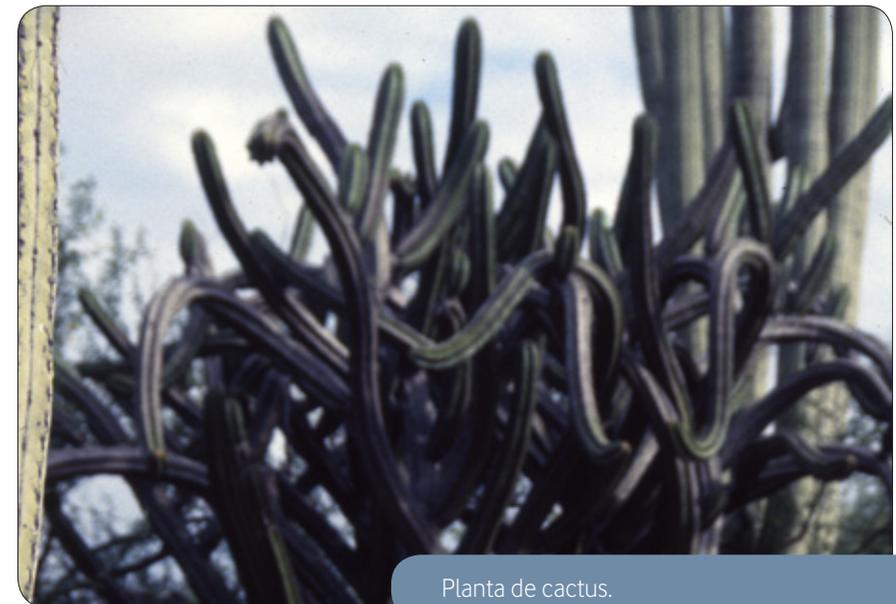
Si cae granizo en esas mismas fechas es una indicación de que sufrirá la campaña agrícola de ese año por el granizo. En cambio, una granizada menuda indicaría que los cultivos producirán bien, porque su acompañamiento durante la campaña elimina las plagas menores en la chacra. Heladas en las fechas mencionadas significarían que los cultivos sufrirán de muchas noches de heladas.

El equinoccio otoñal en el hemisferio sur ocurre el 20 y 21 de marzo, por ello, es importante observar el clima cerca de estas fechas. Las

fechas de observación pueden variar para cada región, según su ubicación geográfica.

Las plantas, especialmente las nativas, son buenos indicadores del clima venidero. Se observa cómo la semilla brota del suelo, crece, florece y se comporta frente a las heladas. En la región del lago Titicaca, se observa todo tipo de plantas: acuáticas, herbáceas, leñosas, arbustivas, frutales, cactáceas, con flores y tubérculos. La totora (*Schoenoplectus californicus*) se observa durante los meses de lluvia. Si ella crece muy pequeña y seca, anuncia un año seco. Si la totora y el berro (*Nasturtium officinale*) muestran un buen desarrollo, el año venidero será lluvioso. Existen varias cactáceas de tipo tuna (*Opuntia*) que indican un año lluvioso con su buen florecimiento y fructificación.

Para predecir el clima también se observan muchas especies de animales: batracios, reptiles, peces, insectos, aves y mamíferos. Hay que fijarse en la coloración y el brillo de la piel y la época de la aparición de batracios y reptiles; en la cantidad de crías y el lugar de desove de los peces; en la dirección del vuelo, el color de los huevos, el canto, el trinar y la forma de tener reunidos ciertos materiales en los nidos de las aves. También en el jugueteo de las crías, los aullidos y la composición de las heces de los animales silvestres y domesticados.



Planta de cactus.

Los batracios, que comúnmente denominamos ranas (orden *Anuro*) indican un año lluvioso cuando muestran una coloración verde oscura durante los meses de noviembre a enero. También son buenos para avisar sobre cambios inmediatos del tiempo: cuando empiezan a croar significa que lloverá pronto, y si ya está lloviendo, la lluvia continuará. Otra variedad de ranas, unas que siempre están en las paredes, croa desde las partes altas para anunciar que la lluvia se va a tardar.

Cuando las truchas (subfamilia *Salmonidae*) desovan en las orillas de los ríos, el año venidero será lluvioso. Lo contrario ocurre si desovan en medio o en el lecho del río.

Si en septiembre, aparecen muchas mariposas amarillas, la campaña agrícola sufrirá por heladas. La aparición de hormigas aladas indica que se puede presentar un veranillo. En la época de lluvias, si una gallina se baña con tierra, la lluvia llegará esa misma tarde. Cuando las gaviotas (familia *Laridae*) llegan en grupos de 5 o 6, la lluvia se acerca, pero la presencia de una o dos indicaría que no lloverá.



El tucán (*Ramphastidae*) también es un buen anunciador de lluvias.

El aullar del zorro (tribu *Vulpini*) sentado en la parte alta de un cerro es un mensaje seguro (en los meses de septiembre a octubre) de un año de lluvias. La entrada de un ratón a su chacra le indica lo mismo. Si el zorro aúlla caminando o corriendo, avisa que este año no será bueno. Cerca de la temporada de lluvias, si las crías de alpacas o chanchos empiezan a jugar, estas llegarán muy pronto.

Estos indicadores son unos pocos de los que se observan en la región del lago Titicaca (Chuyma Aru, 2007). En muchos países del mundo existen conocimientos sobre la relación directa del comportamiento de plantas y animales con el clima. La ciencia aún no ha logrado explicar las razones para estas relaciones tan íntimas. Conocemos bien la gran capacidad de adaptación que tienen las plantas y los animales a las diferentes condiciones climáticas para asegurar su supervivencia. Ya vimos que el ser humano que vive alrededor del Titicaca ha desarrollado innumerables prácticas para sobrevivir y superar la dureza del clima. Entonces, ¿por qué debemos sorprendernos por esa íntima adaptación al clima de otros seres vivos –animales y plantas– que viven mucho más apegados a la naturaleza?

Para aprovechar mejor los conocimientos locales para pronosticar el clima, debemos registrar las observaciones de los indicadores del campo y comparar sus pronósticos con lo que ocurra. Actualmente, en el altiplano boliviano, los yapuchiris (técnicos campesinos) de cada comunidad llevan estos registros, llamados 'Pachagramas' (Prosuco 2012).



CAPÍTULO 5

¿Cómo captar el agua de lluvia?

En el capítulo cuatro vimos lo difícil que es obtener más agua en tiempos de escasez. Por eso, enfocaremos nuestra atención en cómo captar lo máximo del agua que cae como lluvia.

Existen tres instancias para captar el agua de lluvia:

1. Recoger el agua que cae sobre el techo.
2. Captar la escorrentía, es decir, el agua que cae sobre el terreno y comienza a correr sobre la tierra, requiere técnicas diferentes.
3. La escorrentía que no logramos captar de nuestro predio va hacia la quebrada o el río más cercano. Ese curso de agua también puede traer aportes desde otros sectores. Para atrapar esas aguas se requiere una concesión o autorización formal de las instituciones pertinentes, que nos permitirá extraer una parte del caudal del río mediante una obra con esa capacidad.

Podemos usar el agua así captada inmediatamente o podemos almacenarla para su uso posterior: canalizarla a un tanque; o almacenarla en el suelo, dentro de la zona de alcance para las raíces de las plantas.

En este capítulo vamos a conocer algunas técnicas adecuadas para captar y almacenar el agua. Aunque nos preparamos de esta manera para afrontar una sequía, el clima nos puede sorprender con un aguacero intenso o una lluvia prolongada que puede destruir nuestras obras de captación. Para estar prevenido, conozcamos en la última sección de este capítulo, cómo proteger nuestras obras, el suelo y los cultivos de una lluvia excesiva.

5.1 Recoger el agua que cae sobre los techos

Podemos captar fácilmente la lluvia que cae sobre un techo y abastecernos de agua limpia. Esto no es un concepto nuevo. En la Antigüedad, casi todas las ciudades grandes estaban ubicadas en zonas áridas. Para evitar la construcción de obras costosas y complejas para abastecer a su población, sus autoridades obligaban a cada familia a recolectar el agua de lluvia de su techo (Evanari *et al.*, 1982).

El agua así recolectada tiene mucho menos contaminación que la que captamos de otras fuentes. Manteniendo limpio el techo y las canaletas podemos reducir cualquier contaminación. Sin embargo, las primeras lluvias después de una sequía larga pueden traer mucho polvo y algunos desechos. Podemos separar de manera automática estas aguas que lavan el techo, colocando una trampa en la canaleta o en el bajante. Así aseguramos la calidad del agua para el consumo humano.



Bajante con una trampa de desechos.

Si no desea consumir el agua del techo, se la puede canalizar directamente hacia su jardín o hacia el campo de cultivo. Otra opción es almacenarla para el riego posterior de las plantas. Estas alternativas reducirían la demanda para el sistema municipal/comunitario de aguas y ahorrarían bastantes recursos para el usuario.

La captación del agua del techo no requiere muchos gastos porque el techo y las canaletas son parte del mismo edificio. Ahorraríamos más recursos si diseñamos la forma de recoger el agua antes de construir o remodelar el edificio.

También podemos atrapar el agua de lluvia en una capa de tierra sobre el techo. Obviamente, se debe diseñar el edificio para soportar el peso de la tierra húmeda. Una posibilidad es colocar una capa delgada de suelo (de entre 5 y 10 cm de alto)

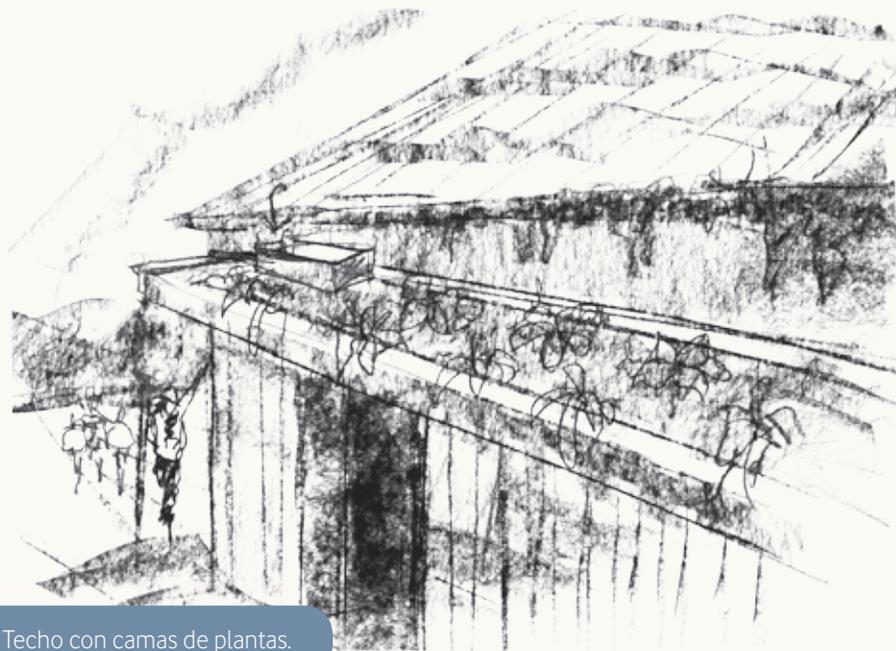
que cubre todo su techo. Una lluvia muy intensa o de muy larga duración puede saturar el suelo del techo, para evitar aquello, se debe recoger el exceso de agua sin que arrastre el suelo. Podemos sembrar plantas rastreras ornamentales en el techo siempre y cuando haya cómo regarlas durante una sequía. Un techo de tierra ayuda a mantener una temperatura fresca dentro de la casa.



Otra trampa en la bajante, Vereda Bellavista, El Dovio, Valle del Cauca, Colombia.



Techo de tierra.



Techo con camas de plantas.

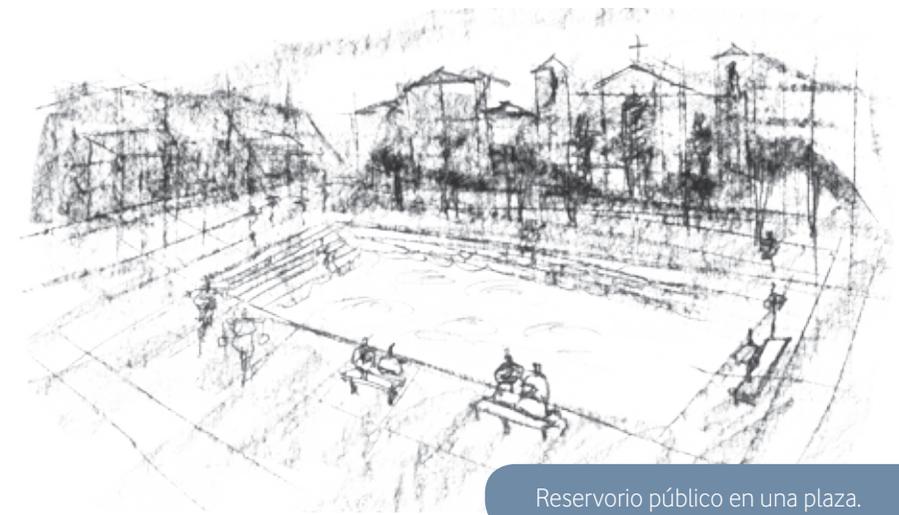
Otra opción es colocar sobre una parte del techo camas profundas (20-25 cm) de cultivo: hortalizas o plantas ornamentales. Se puede canalizar el agua que cae en el resto del techo hacia las camas. Para regar estas camas en la sequía, se puede almacenar el exceso de agua sobre el mismo techo. Disponer un huerto en el techo permite aprovechar al máximo los espacios urbanos reducidos.



Techos verdes. (Cortesía de la ciudad de Portland, EE. UU.).

5.2 Captar el agua de escorrentía

Muchas ciudades antiguas disponían de mecanismos para captar y almacenar las aguas de escorrentía de las plazas públicas. Investigaciones detalladas sobre este tipo de facilidades fueron realizadas en Israel (Evanari, 1982), el territorio Maya (Matheny, 1982; Zapata, 1989) e India (Tanwar, 2007). El público se preocupaba en mantener limpias las plazas porque ellos tenían acceso a estas aguas.



Reservorio público en una plaza.

Hoy hemos perdido la práctica de recoger la escorrentía de las plazas; no la recogemos ni de nuestros predios. Las ciudades modernas tienen colectores de aguas lluvias en sus calles que también recogen escorrentía de los predios urbanos. Pero muchos de estos sistemas mezclan la escorrentía con las aguas servidas domésticas. Por ello, las plantas de tratamiento de aguas servidas tienen que manipular caudales muy grandes.



Antiguo reservorio público en Anuradhapura, Sri Lanka.

Recientemente, los altos costos del tratamiento de aguas servidas han obligado a algunas ciudades a buscar alternativas. Los caudales relativamente pequeños de aguas servidas se pueden tratar con costos muy bajos, cuando separamos la escorrentía. Y esta se puede descargar directamente a los ríos después de pasar por una trampa para retener la basura.

¡Ganamos todos! Tu huerto regado, tu pago rebajado y el gasto municipal ahorrado.



Los ciudadanos también podemos contribuir para reducir el volumen de escorrentía que la ciudad debe recolectar. Como vimos en la sección anterior, la captación y el aprovechamiento del agua que cae sobre el techo reduce una parte de la carga para el colector. También se puede regar el jardín o el huerto del predio con su propia escorrentía. Algunas ciudades ahora están incentivando a los ciudadanos a que detengan el agua de lluvia en sus predios mediante estos mecanismos y reduzcan la carga para sus colectores (Kong, 2008; Anderson, 2011).

Primero analicemos qué hacer con la escorrentía captada del predio. Podemos almacenarla en tanques o reservorios. También podemos regar las plantas directamente, esto es almacenar el agua en el suelo. Otra opción es regar las plantas primero y almacenar solamente el exceso, esto reduce el costo del tanque. Vamos a conocer en detalle las técnicas adecuadas para cada opción de almacenamiento en las secciones siguientes. Según la opción que escojamos organicemos y ordenemos nuestro predio: dónde ubicar los cultivos y los edificios, dónde colocar los caminos y estacionamientos de los vehículos, cómo pavimentar las diferentes áreas, cómo recoger la escorrentía de todos ellos y dónde almacenarla.

Si deseamos que ingrese más agua al suelo (**infiltra**) debemos inspeccionar el predio para ubicar las áreas impermeables (con menor infiltración) como zonas pavimentadas, rocosas, de caliche (capas delgadas de carbonato de calcio) y de cangagua (suelo

volcánico endurecido). En estas zonas podemos mejorar su infiltración cambiando el pavimento, roturando el suelo duro o reduciendo la velocidad de la escorrentía. En cambio, si queremos evitar la infiltración, como por ejemplo, en una ladera inestable, debemos compactar o sellar su superficie o desviar la escorrentía antes de que ingrese a esa área.

Para captar mejor la escorrentía, podemos construir canales interceptores que atraviesen la pendiente del terreno y un canal conductor que siga la mayor pendiente para que recoja las aguas de los interceptores. En los canales interceptores podemos colocar rejillas para evitar el ingreso de basura, pero con barras distanciadas para que los escombros de una lluvia fuerte no tapen el ingreso del agua. Si la pendiente es fuerte debemos revestir el canal conductor para evitar la erosión.



Con las rejillas limpias, los canales atrapan la escorrentía para llevarla a un reservorio.

5.3 Recoger el agua de los ríos

Los ríos conducen mucha más agua y con mayor velocidad que la escorrentía de su predio. Y no podemos captar del río más agua que el caudal concesionado. En tiempos secos el caudal del río puede ser

menor que el caudal concesionado y se necesita almacenar agua antes de captar lo que corresponde a la concesión. En ocasiones, el flujo del río se mueve de una orilla a otra por los sedimentos en el lecho. Además, el caudal se puede medir fácilmente cuando se vierte el agua sobre un muro. Por lo tanto, es común construir un muro sobre el río para captar sus aguas.



Pequeños reservorios antiguos, construidos sobre quebradas en escalinata. Mau Ara, Río Walawe, Sri Lanka.

Un muro que cruza un río (**presa**) debe resistir grandes fuerzas. Su cimentación debe llegar hasta el material firme debajo del lecho del río. La presa debe tener el ancho suficiente para que la crecida no la vire. Debe evitar la filtración de agua debajo de la cimentación, de sus lados y también dentro de su cuerpo. Además se requiere un paso seguro para el agua sobrante (**vertedero o aliviadero**) para que ella no erosione la presa ni las orillas río abajo. A un lado del muro se debe instalar una compuerta para desviar la cantidad de agua que su concesión permite. Si desea que el agua que capta sea limpia, también debe instalar una trampa de sedimentos (**desarenador**) al inicio de la conducción del agua desviada.



Un dique reforzado con vertedero y desarenador.



A la izquierda, una presa con tabloncillos de desagüe, vertedero y orificio de caudal ecológico. No se ve la ventana con rejilla para el desvío del agua concesionada.



A la derecha, desarenador con tres cámaras de sedimentación. La primera atrapa ripio y vierte agua a la cámara trapezoidal. No se ven las tres compuertas de desagüe. Planchaloma, Cotopaxi, Ecuador.

Algunos ríos traen crecientes muy grandes comparadas con la cantidad que uno desea captar. Se puede modificar la presa de que hablamos anteriormente, para que la creciente se vierta a todo lo largo de ella.

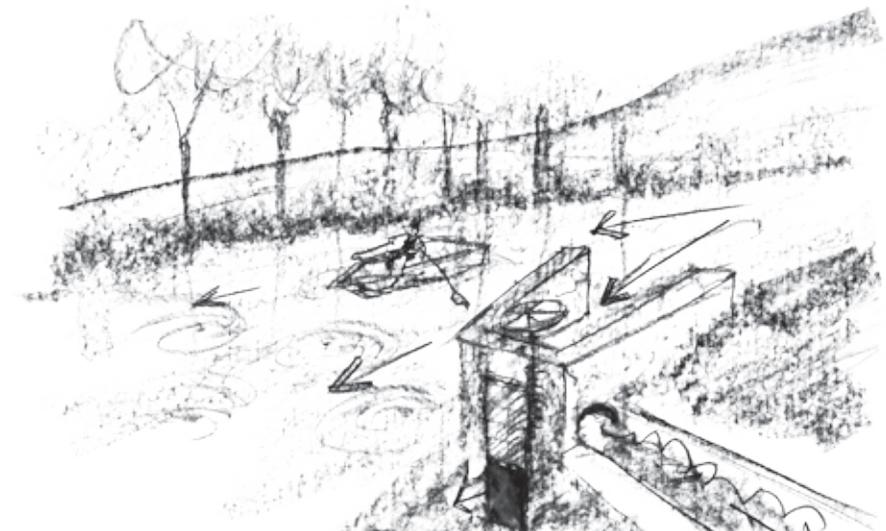


Presa que vierte agua sobre el muro completo.



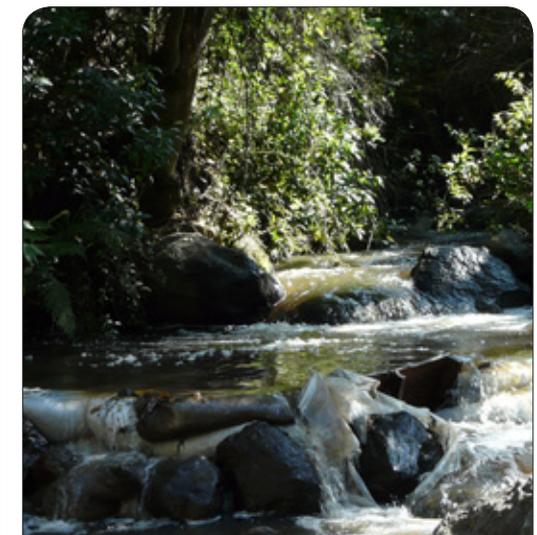
IZQ: Presa de vertedero completo, Weli Oya, Río Walawe, Sri Lanka.
DER: Presa parcial sobre Río Mahaweli en Minipe, Sri Lanka.

Si el río, en tiempos secos, lleva un caudal más grande que lo concesionado, no hace falta bloquear todo el río: se puede construir un muro que cruce el río parcialmente para desviar solamente el caudal concesionado al desarenador.



Captar poca agua con un muro parcial en un río grande.

Una alternativa preferida por nuestros antepasados era construir sobre el río seco un muro rústico (**tajamar**), con palos y piedras (Antúnez de Mayolo, 1986). Esto desviaba agua para regadío en tiempos secos. En la temporada de lluvia no usaban el riego. Después de las lluvias, al bajar la corriente del río, reconstruían el muro.

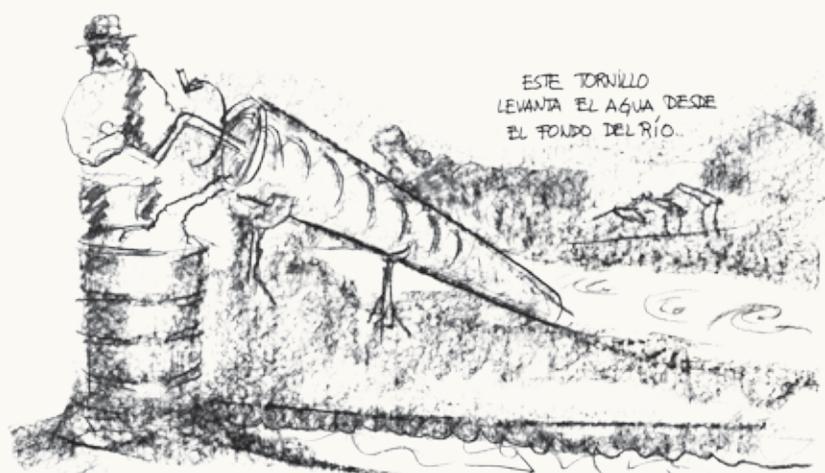


IZQ: Tajamar en Río Grande, Chone, Ecuador.
DER: Desvío de agua con sacos de arena en Caldera, Carchi, Ecuador.

En Grecia, hace más de 2 000 años, instalaron en las orillas de ríos una rueda de baldes (llamada **noria**). Esta aprovechaba la velocidad de la corriente para girar y elevaba el agua balde por balde y la vertía a un canal. Este sistema funciona donde el nivel del río no varía mucho durante la temporada de regadío. Casi al mismo tiempo inventaron el tornillo sinfín, un mecanismo que funciona aun cuando el nivel del río varía mucho. Algunos atribuyen este invento al griego Arquímedes, pero otros indican que fue utilizado en Egipto desde mucho antes (Janick, 2005).



La corriente del mismo río me da alzando el agua de riego por la noria.



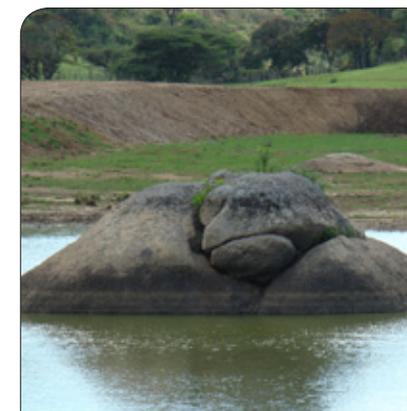
Este tornillo levanta el agua desde el fondo del río.

5.4 Almacenar el agua superficialmente

Al almacenar el agua captada se la puede usar mejor, especialmente en tiempos de mayor necesidad. Pero también exige una mayor responsabilidad: mantenerla limpia, no permitir el acceso a los niños y a los animales y evitar filtraciones que dañen estructuras aledañas.

El almacenamiento es el componente más costoso en cualquier sistema de captación de agua. Por lo tanto, se requiere un diseño óptimo. Debemos saber la cantidad y la frecuencia con que ingresa el agua. En caso de captar el agua de un río, necesitamos saber cómo varía su caudal con el tiempo. Además, se debe considerar cuándo y cómo se va a usar esa agua. La ubicación del almacenaje y el material con que vamos a construirlo también influyen en el costo.

Para almacenar agua de un techo, podemos colocar un tanque justo debajo. Usamos el área del techo, la intensidad y la frecuencia de las lluvias para calcular su volumen. Colocando el tanque lo suficientemente alto, podemos retirar su agua por gravedad. Ubicándolo en el subsuelo se reduce el costo de construcción, pero requiere usar una bomba o alzar el agua en baldes para consumirla.



Reservorio antiguo recuperado en Catacocha, Loja, Ecuador. (Cortesía de Marco Martínez, Riobamba, Ecuador).

Si deseamos usar esta agua para consumo humano debemos colocar un filtro para atrapar los sedimentos y eliminar las bacterias con sustancias como el cloro. Además, se debe conservar el agua en un ambiente fresco, evitar el crecimiento de algas y el ingreso de insectos.

La escorrentía captada de un predio grande se puede almacenar en pequeños tanques conectados entre sí, colocados en sitios dispersos, a diferentes alturas. Cada tanque recogerá la lluvia que cae dentro del área inmediatamente arriba. Y cuando se llena un tanque el agua sobrante pasará al otro. Cuando ocupa esa agua para regadío, se debe diseñar el volumen de cada tanque considerando también la demanda de riego del área inmediatamente abajo.

Reservorios pequeños en zigzag.



Si el agua nos viene de una quebrada, podemos construir un tanque grande en la cabecera del predio. Almacenar toda el agua en un solo sitio puede reducir el costo de construcción del tanque. Sin embargo, se debe analizar la estabilidad del terreno cuando hay una gran cantidad de agua en su cabecera.



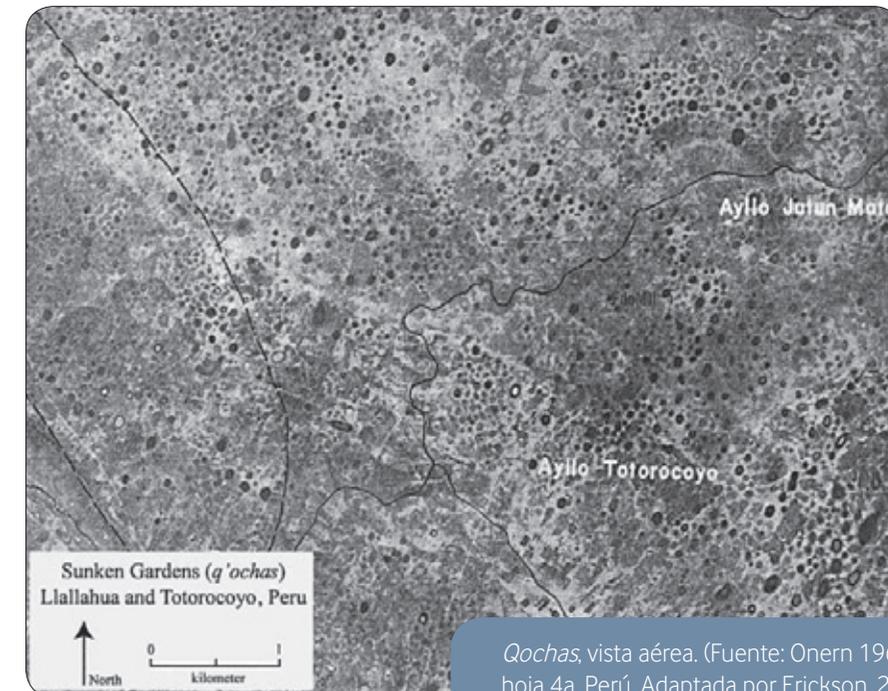
Almacenar mucha agua en la cabecera del pueblo es peligroso.

Existen varios tipos de diseños para construir los tanques. Almacenar el agua del techo no necesita un volumen mayor y se puede construir un tanque fijo con tapa: de ladrillo, piedra u hormigón. Se debe comparar su costo con el precio de un tanque móvil, de plástico o de metal, y su facilidad de instalación.

La población de la cultura Pucará, del altiplano peruano cerca del lago Titicaca, recogía el agua de lluvia con unos tanques muy

diferentes. Ellos excavaron pozas, llamadas *qochas*, en la planicie de 3 900 m de altura (Flores, 1983). Algunas tienen diámetros hasta de 150 m y profundidades hasta de 6 m. Todas las *qochas* están conectadas mediante pequeños canales para conducir el agua que sobra de una a la otra. Mediante fotografías aéreas se ha estimado la presencia de más de 25 mil *qochas* en esta planicie de 280 km² (Erickson, 2000).

El agua, en medio de la *qocha*, mantiene el suelo húmedo y protege los cultivos de las heladas.



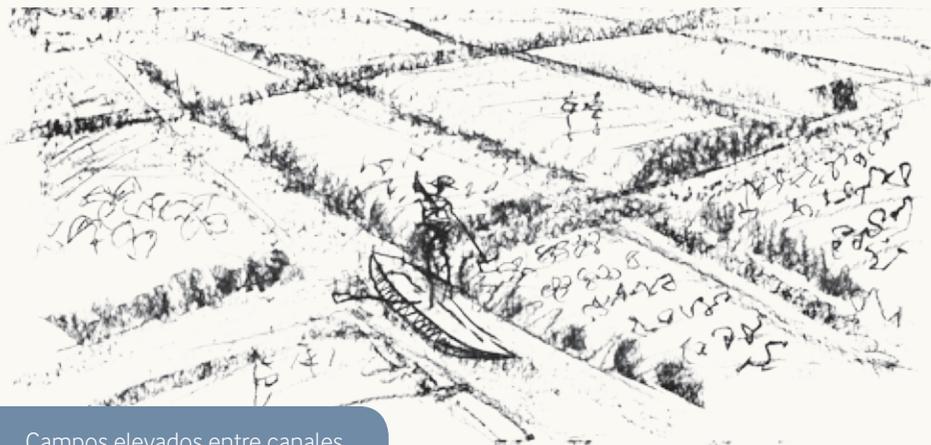
Qochas, vista aérea. (Fuente: Onern 1965, hoja 4a, Perú. Adaptada por Erickson, 2000).



Qocha con camas de cultivo. (Cortesía de Clark Erickson, EE. UU.).

Estas no fueron utilizadas solamente para almacenar agua sino también para cultivar. En la medida en que bajaba el nivel del agua, sembraban en camas preparadas en el lecho de la *qocha*. Así aprovechaban la humedad del suelo sin necesidad de más regadíos. Este mecanismo de siembra también protegía las plantas de las fuertes heladas que azotan estas alturas. El agua estancada en la *qocha* no permitía que el aire se congelara dentro de su ambiente.

En los humedales de las tierras bajas y en los alrededores de los lagos de altura, se encuentra otro tipo de almacenamiento de agua de propósito múltiple, manejado a la perfección por nuestros antepasados. La gran depresión momposina, en el norte de Colombia, fue cultivada extensivamente por los Zenues desde hace 2 000 años, formando campos elevados para los cultivos (Plazas et



Campos elevados entre canales.

al., 1993). Los canales anchos entre estos campos se llenaban de agua en la época de lluvias. Para mantener la humedad en los campos durante los largos meses de sequía siguiente, los agricultores bloqueaban los canales con pequeños diques.



Campos elevados entre canales en Duran, Guayas, Ecuador. (Cortesía de Michael Muse, Guayaquil).

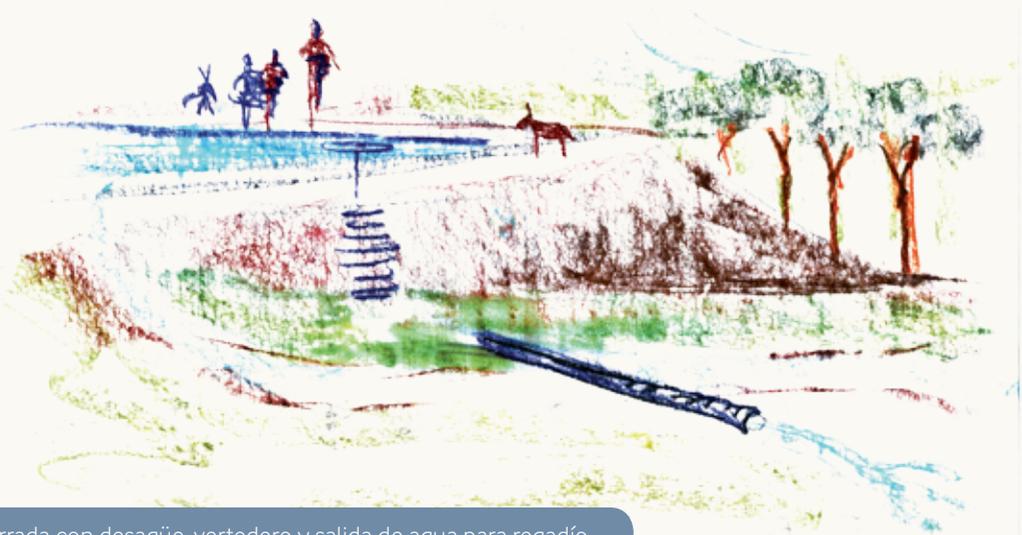
En la llanura baja del río Guayas, en Ecuador, y en el llano de Mojos, en Bolivia, también se observan vestigios de este tipo de almacenamiento de aguas, porque estas zonas también sufren de largas temporadas de sequías (Denevan, 2001).

Los agricultores en la inmensa llanura del lago Titicaca, entre Perú y Bolivia, también levantaban sus campos de cultivo entre surcos anchos. Allí este sistema se llama *waru-waru* o *suka kollu* y trae otro beneficio muy importante en las temporadas de heladas. El agua que ellos lograban atrapar entre los campos elevados no permitía que se congelara el aire cerca de los cultivos. Experimentos recientes en el campo han demostrado la efectividad de este mecanismo, especialmente en los cultivos de papas (IC-PROSUKO, 2008). Algunos campesinos siguen cultivando en los *suka kollu* como hicieron sus antepasados desde hace miles de años. Este ingenioso sistema de agricultura fue empleado en otros altiplanos húmedos también, como en Quito, Cayambe y San Pablo, en Ecuador, (llamados camellones o *inka-wacho*) y Bogotá, en Colombia, (Denevan, 2001). Además, se observan sus vestigios en los pantanos entre Wisconsin y Luisiana, en EE. UU., donde repentinas heladas afectaban severamente el cultivo de maíz.



Suka kollu, Lacaya, Bolivia.

Atajar una hondonada (inicio de una quebrada) con un muro permite almacenar un volumen grande de agua sin gastar mucho dinero. El muro se puede construir con tierra, excavando su lecho y compactándola en el sitio. Diferentes regiones usan diferentes nombres para este tipo de almacenamiento, pero preferimos usar la palabra *albarrada*. En el fondo del muro, se puede colocar una compuerta de desagüe (de madera o de metal) y una tubería con una válvula de control como salida para regadío. En una parte más firme de la orilla de la albarrada se debe construir un vertedero, para el agua sobrante. El muro también se puede construir con mampostería de piedras o con hormigón, dependiendo de los costos de las diferentes opciones.

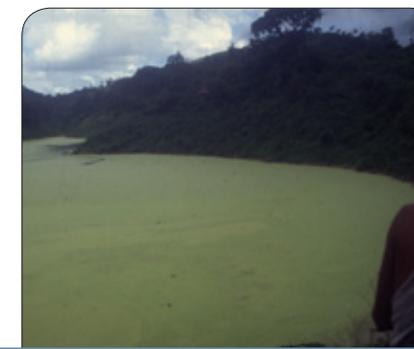


Albarrada con desagüe, vertedero y salida de agua para regadío.

Si la topografía del terreno permite, recomendamos instalar una o varias albarradas desde la cabecera de su predio, en vez de una grande. Las albarradas pequeñas son bastante económicas y fáciles de construir, operar y mantener. No causan peligros por desbordes o deslaves.

En diferentes países de América existen muchos indicios de albarradas antiguas. Algunas aún están en funcionamiento. En la península de Santa Elena, Ecuador, han existido miles de albarradas desde hace mucho tiempo, que cubren toda esta zona semiárida. Vamos a conversar en el siguiente capítulo sobre su función en recargar el agua subterránea.

En el estado Tehuacán, México, aún se puede observar una parte del muro de tierra, construido hace más de 1 500 años, que almacenaba agua a una altura de más de 20 m. En el filo de la cordillera Chongón-Colonche, de la costa ecuatoriana, todavía se mantiene el muro de La Tapada que retiene agua hasta unos 30 m de altura. Esta no tiene una compuerta de salida, sino un filtro unos 200 m más abajo del muro, que emana entre 6 y 7 litros de agua por segundo. Aún no existe una investigación arqueológica que defina su antigüedad exacta. Los comuneros de Balsas, Colonche, quienes se benefician del agua que filtra no dudan sobre su origen prehispánico.

IZQ: Corte erosionado del dique Purrón, Valle de Tehuacan, México.
DER: Reservorio La Tapada, Balsas, Santa Elena, Ecuador.

En la sección anterior, conversamos sobre la construcción de presas que desvían la corriente de las quebradas o ríos hacia canales. En los ríos donde el caudal varía mucho entre las temporadas de lluvia y sequía, podemos almacenar el agua de la creciente y disponer de un

caudal mayor en el tiempo de sequía. El diseño de la presa, en este caso, debe considerar mayores alturas de agua y mayor resistencia. A este tipo de obras las llamamos *represas* o *reservorios*. Su manejo es bastante complejo por el peligro que representa el gran volumen de agua que se almacena.

Sin embargo, nuestros antepasados no se detuvieron por semejantes retos. En Sri Lanka, aún existen algunos reservorios grandes que fueron construidos hace más de 2 000 años. Sus muros son de tierra, que posiblemente fueron compactados usando la fuerza de los elefantes. Evitaban el desmoronamiento del muro colocando grandes bloques de rocas en sus taludes como rompeolas. Lo más complicado en estos reservorios era controlar la alta presión del agua en la salida y evitar la erosión del muro en ese punto. Lo lograron construyendo una caja de salida entrecruzando gruesos bloques de roca y revistiendo el túnel de salida con más rocas.



DER: Reservorio Parakrama Samudraya, Polonnaruwa, Sri Lanka. IZQ: Rompeolas.



Caja de control (derecha) y túnel de salida de agua del reservorio (izquierda) 200 d. C. aprox. Bhu Wewa, Polonnaruwa, Sri Lanka.

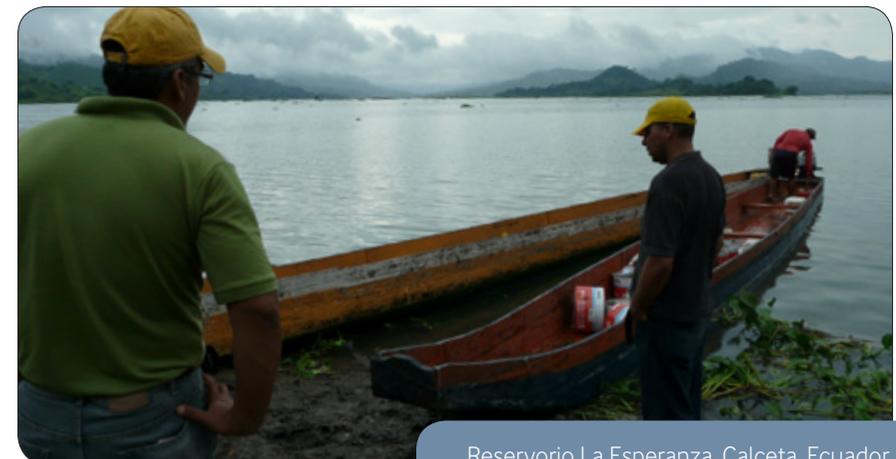
Antes de construir reservorios grandes para almacenar agua, se deben considerar ciertos aspectos socioambientales. El área de inundación no debe ocupar tierras productivas, zonas ecológicamente frágiles como páramos ni áreas turísticamente provechosas. Se deben evitar sitios con laderas inestables alrededor del espejo de agua, así como tierras muy erosivas, porque se llenaría el reservorio con los sedimentos demasiado pronto. No se debe inundar árboles ni arbustos en grandes cantidades porque su pudrición malograría la calidad del agua y hasta podría iniciar plagas de mosquitos en ciertos climas. Río abajo, se debe mantener un caudal suficientemente grande para la subsistencia de todos los seres vivos que dependen del río. La presa debe facilitar el paso de las especies migratorias por el curso de agua. Sobre todo, debe haber un buen control de los caudales de crecientes para evitar inundación, erosión y deposición de materiales en las orillas río abajo.

Jose Tobías

Camachal, Membrillos, Ecuador.



Con la represa (La Esperanza) se dañó el monte... Antes de la represa había camino y nosotros podíamos sacar los frutos a vender, ahora no es posible, ahora hay que sacarlos a lomo de caballo...



Reservorio La Esperanza, Calceta, Ecuador.

Iván Correa

Lorica, Colombia.



Con el (proyecto hidroeléctrico) Urra I sucede el ecocidio. Ha desaparecido como en un 80 % la población de peces... con el bloqueo del río Sinú. Había muchos peces que llegaron hasta el muro pero no avanzaron a su zona de desove...

Héctor Vanegas

Agricultor de 70 años, Villa Vieja, Huila, Colombia.



En Betania (sobre el río Magdalena) hicieron una represa... y cuando llueve mucho, se lleva con todo... Yo tenía en la ribera 13 000 plantas de plátanos hace 15 o 20 años, que me abastecían para todo... y ahora no las hay... ni para el mercado ni para la educación de los chicos.



IZQ: Erosión de la orilla por descargas altas de Betania.
DER: Bancos de arena en la otra orilla, Villa Vieja, Huila, Colombia.

Los tanques y albardas construidas en tierra, pierden una parte de su agua por infiltración. Revestir sus lechos para impermeabilizarlos es muy costoso y es mejor evitarlo. Al momento de construir puede ubicar el tanque en un suelo menos permeable. La otra opción es profundizar más el tanque para no ampliar mucho el espejo de agua. Allí, comparada con el volumen de agua almacenada, la infiltración es menor. En un terreno plano, también se puede colocar la tierra excavada alrededor del hoyo para alzar el muro, así se incrementa el volumen.

La infiltración y el humedecimiento de las orillas de un almacenamiento de agua no deben ser considerados como algo totalmente negativo, más bien, eso permite crear un ambiente lleno de vida en el predio, con plantas, animales, insectos y pájaros a su alrededor.

Si el revestimiento es necesario, se debe seleccionar el material dependiendo de la profundidad del reservorio y el tipo de suelo en el sitio. Como los costos varían mucho según el diseño, recomendamos consultar a un técnico para que diseñe una cobertura adecuada para el lecho. Los revestimientos más usados son: hormigón, geomembrana (una especie de caucho grueso), plástico, ferrocemento (un hormigón muy delgado), terrocemento (tierra mezclada con cemento) y mampostería de ladrillo y piedra. Podemos construir tanques con paredes verticales o inclinadas, según el tipo de revestimiento escogido. El volumen revestido del tanque no se debe desperdiciar llenándolo con sedimentos y es mejor incorporar un desarenador a la entrada del agua.

Teófilo Avellaneda

Proyecto Cuenca Río Ceibas, Neiva, Colombia



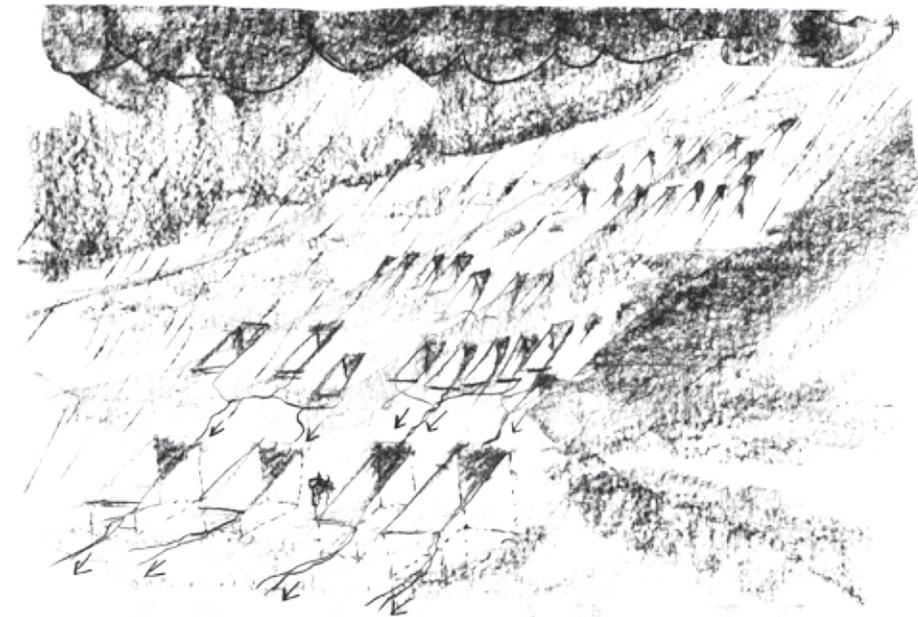
Para almacenar el agua, construimos un casquete esférico... Excavando el suelo... colocamos cemento con alambre de púa o malla de gallinero. Como la presión está distribuida... solo se necesita impermeabilizar (el fondo). Es una alternativa económica... para hasta 20 mil litros de agua.



Casquete esférico para almacenar el agua, cuenca del río Ceibas, Neiva, Huila, Colombia.

En un tanque o albarrada abierta se pierde agua también por la evaporación. En zonas de vientos secos y fuertes esta pérdida puede ser muy alta. Una opción es colocar una cubierta sobre la superficie del agua, como un plástico. Por otro lado, haciendo más profundo el tanque, se disminuye la porción de agua que se pierde por evaporación.

En la ciudad iraní de Siraf, en la costa norte del Golfo Pérsico, la temperatura puede subir fácilmente a 50 °C. Con una precipitación no más de 200 mm al año, ellos estaban obligados a minimizar la evaporación de la poca escorrentía que captaban, debido a eso, hace más de 2 000 años, excavaron miles de pozas pequeñas (1 x 2 m aproximadamente) y profundas en la ladera rocosa sobre la ciudad por donde desciende la escorrentía (Mohajeri, 2010). Tantas cavidades rectangulares, muy próximas unas de otras, confundieron a los arqueólogos europeos quienes creyeron que la zona era un cementerio. El agua se desbordaba de una poza a otra dejando un poco de sus sedimentos cada vez. Al final estaban los reservorios subterráneos –de 20 m de profundidad– que lograban abastecer a la ciudad hasta las próximas lluvias.



Cavidades en Siraf, Irán.

Otra opción para almacenar el agua es en las depresiones naturales: pozas, humedales o pantanos. Esta agua no debe ser consumida ni usada para el regadío sin tener un control sobre su calidad. Muchas veces, estas depresiones se usan como abrevaderos para los animales, sin embargo, recomendamos no permitirlo de pozas pequeñas porque los animales beben el agua que ellos mismos contaminan. La función principal de las depresiones naturales es la recarga de las aguas subterráneas, la cual discutiremos en el capítulo siguiente.

5.5 Almacenar el agua en el suelo

El agua que se infiltra en el suelo no debe ser considerada como una pérdida, es una forma muy útil de almacenarla. Eso sí, una parte de esta descenderá para ser parte del agua subterránea. Pero eso ocurre también en un tanque sin revestimiento, como vimos en la sección anterior. La pérdida de agua por evaporación, en cambio, es mucho menor cuando se almacena agua en el suelo que en un tanque abierto.

Nuestros antepasados apreciaron esta característica del suelo y en situaciones de escasez de agua confiaban en él para almacenarla. La ciudadela Wari, Marahuamachuco, cerca de Cajamarca, Perú, se encuentra ubicada en la cima de una cordillera, un sitio estratégico por su vista panorámica. El sitio sagrado Cerro Amaru también se encuentra cerca, en el mismo filo de la cordillera. Por su ubicación, era muy difícil proveer agua de consumo a los peregrinos y a la población de la ciudadela.

Sobre el mismo filo de la cordillera, los ingenieros Wari construyeron un tanque grande para captar el agua de lluvia y conservaron su cosecha de lluvia dentro del suelo. Aprovecharon los afloramientos de rocas y los conectaron con algunos muros de piedra para completar el perímetro del tanque. Construyeron unos pozos en medio con piedras labradas, dándoles la forma de botellones y todo el tanque lo rellenaron con tierra (Topic, 1992). La lluvia que cae humedece el suelo y llena estos botellones (llamados *chiles*) mediante filtración lateral, que se retira con baldes.



Plataforma de Cerro Amaru y un pozo de agua, Huamachuco, La Libertad, Perú.

Reservorio de Cerro Amaru en construcción.



Plataforma completada.



Para experimentar con diferentes técnicas de almacenamiento de agua en el suelo, nuestro propio jardín es el lugar más adecuado. Como conocimos en el Capítulo 1, un suelo arenoso permite mayor infiltración de agua. Pero, en este caso, deseamos que el suelo retenga el agua más tiempo en la capa superficial (capa arable) para que las raíces de las plantas puedan abastecerse de ella. Se recomienda agregar más materia orgánica: majada de animales, compost, humus y hojarasca, para transformar el suelo en algo limoso. Un suelo así, equilibra la infiltración y la retención de agua.

Remigio Huayllani

Huacatinco, Cuzco, Perú.



Mi terreno es rocoso y lo he mejorado, ahora tengo un poquito de humedad. Con riego... aguanta un mes. Ahora estoy pensando... en sembrar más pasto: porque como acolchonado está quedando, como esponja está manteniendo... Yo quiero sembrar especies nativas, para que aumente el agua.

Ahora, intentemos mejorar la capacidad de infiltración del suelo sin modificar su contenido. Construyamos una pequeña poza para retener el agua alrededor de una planta o una cama de cultivo. Estas pozas se pueden preparar excavando pocos centímetros de tierra alrededor de la planta o colocando tierra como un pequeño dique en forma de herradura. El agua que se retiene no se debe quedar mucho tiempo empozada ahogando las raíces. Cuando organizan las pozas en escalinata, el agua sobrante de una poza se dirige hacia la siguiente.

Árboles con pozas alrededor, organizadas en zigzag en una ladera suave.



También se puede preparar la cama de cultivo como una poza en sí. En una zona arenosa, este mecanismo ayuda a conservar la humedad en el suelo. En la ciudad de Siraf, en Irán, muchas pozas profundas que cavaron en la roca para captar la escorrentía, sirven

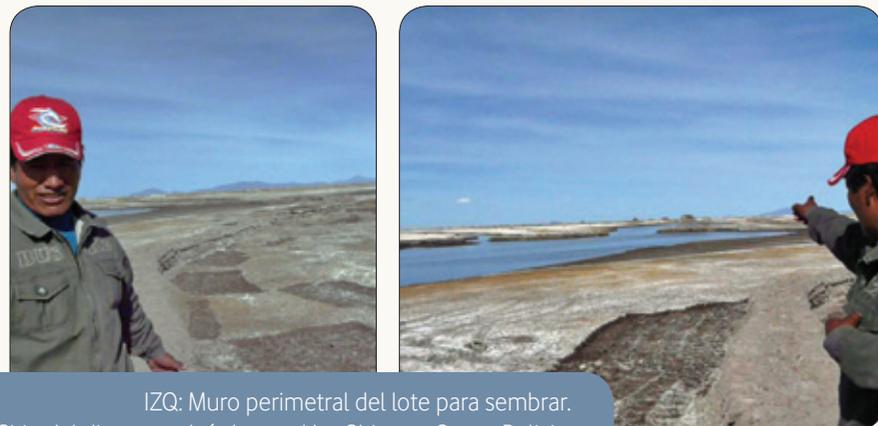
realmente como camas de cultivo. A los 6 m de profundidad termina la excavación porque llega a una capa de suelo. Encima de los sedimentos que atrapa la poza, ellos siembran ramas de uva. Después del primer año estas no necesitan riego, porque la humedad que atrapa la poza las sostiene. Aún existen plantas de uva produciendo ya más de 600 años en esas pozas (Mohajeri, 2010).



Uvas que salen de pozas en Siraf, con el detalle de una poza.

El pueblo indígena Uru Chipaya, asentado en el salar de Coipasa, del altiplano desértico boliviano, nos da una lección de cómo usar una cama de cultivo como poza para almacenar agua en el suelo. Aunque no reciben lluvias frecuentes, aprovechan al máximo el río Lauca que divide su territorio en dos. Ellos siembran quinua, el único cultivo adaptado a este clima y suelo. Unos 4 o 5 años antes de la siembra, escogen un terreno grande y lo preparan colectivamente, pues se requiere de intenso trabajo.

En vez de ahondar el terreno para empozar el agua, construyen un muro perimetral con chambas (bloques de tierra con pasto o paja). Después, desvían el agua del río al terreno designado, elevando el nivel del agua mediante un dique hecho con bloques de paja, sacos de arena y chambas. Las primeras inundaciones se realizan en el tiempo de heladas para eliminar la vegetación natural mediante congelamiento. En esta época el desvío del río no es tan difícil porque tiene poco caudal.



IZQ: Muro perimetral del lote para sembrar.
DER: Sitio del dique en el río Lauca, Uru Chipaya, Oruro, Bolivia.

Una vez logrado este objetivo, se preparan para el reto de desviar el agua de la creciente del río que también trae lama (sedimentos) para abonar el terreno. Para esto, colocan en el lecho del río grandes bloques de paja atada y encima las chambas. Esto reduce la fuerza que ejerce la corriente sobre el dique. El agua que filtra a través de la paja en el fondo crea una fuerza vertical, que mantiene el dique casi flotando. Para mayor seguridad, ellos anclan todo el dique a las orillas con una soga de paja. En esta época, con el río muy alto, realmente no se requiere retener y alzar el agua sino solo desviarla hacia su terreno. Y este dique lo logra en una forma ingeniosa. Sin embargo, ellos deben realizar este esfuerzo dos o tres años seguidos antes de sembrar quinua por una sola vez, porque se debe lavar la fuerte salinidad del suelo mediante esta inundación (BioAndes, 2010).



Preparación de bloques de paja para dique, Uru Chipaya, Oruro, Bolivia.



IZQ: Dique completado. DER: Sección del dique.

Elías Mamani
Chipaya, Bolivia.



En tiempo de noviembre a enero vienen las aguas turbias en el río. Lo tapamos con diques... Los diques se preparan con chambas y paja. La lama se queda en el lote seleccionado... Eso lo hacemos unos tres años y luego sembramos.

Esta forma de almacenar el agua de la escorrentía en el suelo se observa también en varias partes de Mesoamérica, aunque las formas de captarla son diferentes (Wilken, 1987). En el valle de Tehuacán, México, las comunidades se organizan antes de las lluvias para captar con diques reforzados los torrenciales flujos que bajan por las barrancas secas. Desvían estos flujos de lodo por turnos para inundar con su lama los lotes de cultivo. En Yemen, en la península Arábiga, esta práctica tiene miles de años de historia y aún es bastante común en la agricultura de las laderas (Brunner, 2000). En la planicie de inundación del Nilo, en Egipto, desde hace 4 000 años, los agricultores atrapaban los desbordes del río cargados de abono con diques perimetrales en sus lotes (Janick, 2005).

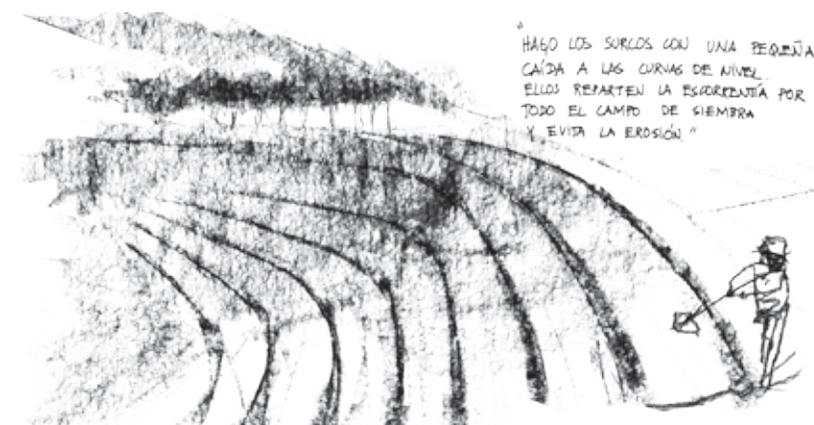
Néstor Chambi
Puno, Perú.



La gente excavaba canales más abajo de los corrales de los animales para captar la escorrentía de las primeras lluvias que viene lavando el estiércol. Y la desviaban a los pastizales degradados para abonarlos.

En un campo cultivable, la mejor forma de aprovechar su propia escorrentía es almacenándola en el suelo (Yeomans, 1958). Esta mejora la fertilidad y minimiza la erosión. Para lograr mejores resultados con esta técnica, se deben planificar las actividades desde el principio y ordenar el predio, asignando a cada actividad el lugar adecuado. Las edificaciones, los caminos, los cercos y los bosques se deben ubicar para que la escorrentía no se acumule y pueda infiltrarse sin causar erosión. Los caminos, así sean de tierra, se compactan y siempre acumulan el agua de lluvia. Construyéndolos con pendientes suaves y dirigiendo su escorrentía con zanjas hacia el campo de cultivo, podemos reducir la erosión. Dejando franjas de bosques entre los campos de cultivo se previene la erosión por el agua y el viento. Los edificios deben ubicarse en suelos con menor infiltración donde no se puede sembrar y en sitios más elevados que los cultivos para poder usar su escorrentía para regadío.

En un valle, el agua siempre busca dirigirse por la línea de la pendiente mayor, donde se forman las quebradas. Cuando se preparan los surcos en un campo de cultivo, Yeomans (1958) recomienda iniciar el arado desde esa línea. Se debe avanzar hacia ambos lados, manteniendo el surco casi paralelo a la curva de nivel con una caída pequeña. Así, se distribuye bien el agua por todo el terreno y se reduce la velocidad de la escorrentía. Si los surcos de su predio tienen caídas más fuertes, sería mejor colocar pequeños diques a cierta distancia, en cada surco, para frenar el flujo del agua.



Hago los surcos con una pequeña caída a las curvas de nivel. Ellos reparten la escorrentía por todo el campo de siembra y evitan la erosión.



Un surco con pequeños diques en Nazca, Perú.

También se puede aumentar la infiltración de la escorrentía, sin surcos, usando materiales localmente disponibles. Como conversamos en el Capítulo 1, los bosques reducen la velocidad de la escorrentía y ayudan a aumentar la infiltración. Donde no hay bosques, si logramos que los arbustos o los pastos naturales cubran completamente el suelo desnudo, eso mejoraría mucho la infiltración.

Nemesio Pucutuni
Jullicunca, Cuzco, Perú.



Para mantener a nuestros animales hacemos pastos naturales. En zonas donde no hay riego, tenemos zonas reservadas... donde no entran los animales. Conservamos los pastos y eso se conserva la humedad... y hay pasto suficiente para todo el año.

Los pueblos Zuni y Hopi, en EE. UU., en sus terrenos ligeramente inclinados, colocan largas filas de piedras en curvas de nivel. En esta zona muy árida, las lluvias ocasionales caen como tormentas. Pero, formando filas desde la cabecera del predio, antes de que la escorrentía gane velocidad, ellos logran retener la humedad y el suelo.

En zonas muy desérticas de EE. UU., donde el viento también erosiona el suelo, los antiguos agricultores colocaban piedras en forma de pequeñas cuadrículas. Los sembríos se realizaban en medio de estas cuadrículas (Neely, 2001; Homburg, 2002). En tiempos de heladas, el calor que emiten estas piedras por la noche protegen las plantas. Además, las piedras facilitan un refugio para las hormigas y otros insectos que mantienen el suelo flojo.



En este desierto, los bordos con las piedritas me ayudan a controlar la erosión.

En terrenos con poca pendiente, se puede cubrir el suelo con materiales que aportan nutrientes a los cultivos a largo plazo: ramas, hojarasca o desperdicios de la cosecha anterior. Las técnicas agroecológicas promueven el cultivo de plantas rastreras como zambo y zapallo, entre un cultivo principal alto, como maíz. Todas estas prácticas también ayudan a conservar la humedad en el suelo, como conoceremos en detalle en el Capítulo 7.

En terrenos con pendientes fuertes, se necesitan reforzar las filas que frenan el agua porque la escorrentía tiene más velocidad. Si queremos disponer de más espacio entre las filas, hay que construir muros altos a lo largo de cada fila. Para construirlos, algunas personas

usan piedras grandes, otras, bloques de cangagua. El suelo que arrastra la escorrentía queda atrapado detrás del muro, formando terrazas lentamente, después de varias temporadas de lluvia (Kendall, 2008). En Mesoamérica, estas terrazas (llamadas **metepantle**) tienen plantas firmes como maguey sembradas en el borde y una zanja inmediatamente debajo (Wilken, 1987).



Terrazas de formación lenta.



Terraza de formación lenta, Flores, Riobamba, Ecuador.

En pendientes más fuertes, se deben hacer terrazas de banco (como escalinatas) para prevenir daños por erosión. Los muros de estas terrazas deben ser firmes, porque retienen suelos de algunos metros de altura. Podemos usar piedra o cangagua labrada para el muro o colocar piedras sin labrar con barro o cemento (como argamasa). Inclina el muro ligeramente hacia la loma para ganar mayor estabilidad. Debemos colocar material filtrante inmediatamente detrás del muro, para que no quede empozada el agua de escorrentía o de riego (Kendall, 2008).



Terrazas de banco (andenes).



Terraza en Yucay, Cuzco, Perú.



Terrazas en Andamarca, Apurímac, Perú.

Celso Celestino

Ichupampa, Chivay, Perú.



En los andenes regamos a gravedad... Es un sistema para conservar el suelo y el agua... El regado aguanta 60 días... Para mantener la humedad, tiene unos dos metros de tierra limosa... Los antiguos han hecho un trabajo especial, tienen drenajes interiores para filtración... En la base del cimiento se pone piedra fina para que salga el agua.

Abdón Flores

Andamarca, Ayacucho, Perú



Los andenes están contruidos a base de piedras. Los incas, no sé cómo entendieron esa tecnología... Aquí hace mucho frío en la madrugada pero en el día hace mucho calor. La piedra recibe todo el día el calor y se calienta. Y en la noche, se reparte ese calor. Eso controla la temperatura en los cultivos, siquiera un poco. No solo eso, hay montones de piedras en las chacras. Eso ha sido la política de los antiguos. Los montones les llamamos huapanas. Esas piedras también se calientan en el día. Y en la noche sueltan el calor. Las piedras no están allí por gusto.

Donde no existe la posibilidad de preparar terrazas, también sirven zanjas profundas cavadas a curvas de nivel para prevenir la erosión y facilitan la infiltración de escorrentía (Wilken, 1987). La profundidad de la zanja y el espacio entre ellas depende del volumen de suelo que arrastra la lluvia o el viento en esa ladera. Árboles o arbustos con raíces profundas pueden sembrarse en el filo abajo de la zanja, para formar una barrera permanente contra la escorrentía.



Zanjas de infiltración que previenen la erosión.

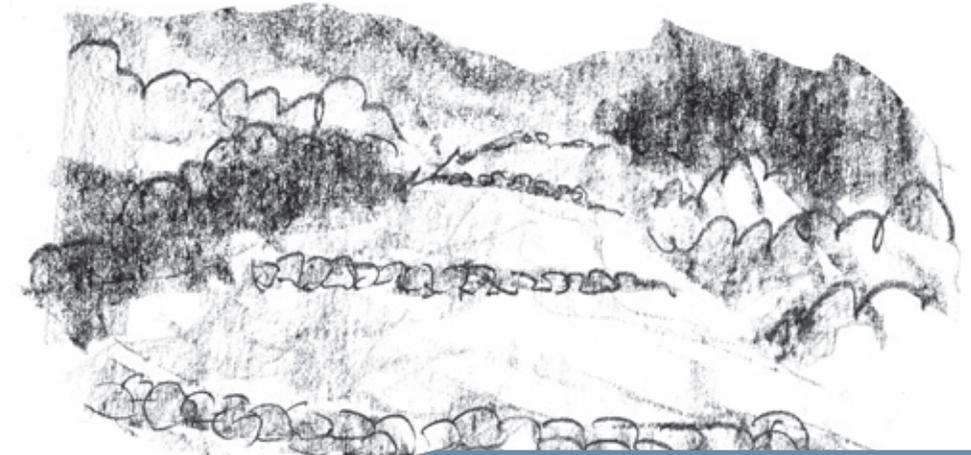
Las filas de árboles o arbustos sembrados entre los cultivos siempre ayudan a frenar la escorrentía. Ellos también aportan al suelo con sus hojas, reducen la velocidad de los vientos y minimizan el problema de heladas. Se pueden organizar estas barreras con plantas de diferentes alturas para no quitar los rayos de sol a los cultivos.



Yo siembro plantas de diferentes tamaños como barrera contra la erosión.

En la cabecera de una quebrada, podemos atrapar la escorrentía construyendo un muro que atraviese la hondonada. La baja velocidad de la escorrentía no lo destruirá, sino que atraparé todo el suelo que arrastre. La técnica es parecida a la de la albarrada que conocimos en la Sección 5.4, pero aquí, la intención no es almacenar agua, sino el suelo.

Entonces, debemos construir el muro en una forma tal que deje filtrar el agua: amontonando piedras o entretejiendo ramas y palos. Lo llamamos *dique de control* (o *de cheque*). Con el tiempo, se convertirá en una pequeña terraza por la acumulación del suelo. Así mismo, podemos construir más diques, uno debajo de otro, como escalinata, a lo largo de la quebrada. Si colocamos suficientes diques, uno cerca de otro, ni una lluvia torrencial los destruirá. Este mecanismo ayuda a recuperar la vegetación natural en las orillas de la quebrada. Y también aumenta el caudal de los manantiales más abajo, como veremos luego.



Diques de piedras en serie en una quebrada de poca pendiente.



Dique de control con ramas/hampas que retiene suelo en Santa Lucía de Tembo, Guano, Ecuador.

Como vimos antes, existen muchas formas de captar el agua de lluvia. La forma más adecuada y más económica para cada predio depende mucho de lo que uno va a hacer con esa agua.

5.6 Cómo prepararnos para una lluvia en exceso

Normalmente, cuando estamos más preocupados sobre la escasez de agua, intentamos captar cada gota de lluvia, de escorrentía o de una quebrada. Pero, si de repente nos cae una lluvia muy fuerte, ¿estamos preparados?

Control de inundaciones - práctica ancestral

En realidad, las lluvias fuertes causan muchos daños porque ocurren rápido, sin darnos tiempo para reaccionar y podrían dejar a la comunidad o toda la región aislada, al destruir su infraestructura básica.

Hoy, casi todos los pueblos dependemos del acceso terrestre: necesitamos los caminos para traer los productos básicos, enviar afuera nuestros productos y hasta recibir cualquier apoyo emergente. La energía eléctrica muchas veces llega paralela a los mismos caminos. Los sistemas de agua también necesitan caminos para su mantenimiento. Por eso, una inundación o un deslave, causado por una lluvia fuerte, nos dejaría muy vulnerables.



Inundaciones en Tecolutla, Veracruz, México.

Nuestros antepasados, que habitaban zonas anegables, desarrollaron una civilización acuática, para convivir con las grandes avenidas (correntadas). En la Sección 5.3 conversamos sobre cómo ellos superaron sequías largas reteniendo agua de inundación en los surcos entre sus campos de cultivos. Esa práctica era solo una parte de

toda una estrategia de convivencia que manejaban estas poblaciones.

Ellos no intentaron detener las correntadas con diques, como suelen hacer ahora, porque no tenían la capacidad técnica para controlar con seguridad las crecientes. Tampoco intentaron confinar el río entre muros en sus orillas, porque eso les impedía el transporte fluvial de las cargas pesadas.

Hicieron todo lo contrario: mediante canales anchos, abrieron paso a las crecientes del río hacia las zonas bajas. Construyeron los canales desde donde el río sale de los encañonados a la planicie, a fin de aprovechar al máximo la fuerza de gravedad para conducir el agua. Los bajos, que eran humedales, ciénagas o antiguos meandros del río donde no podían cultivar, recibían y almacenaban las grandes avenidas del río. Como describimos antes, estas poblaciones sembraban en campos elevados

extensos, contruidos entre surcos muy anchos. Estos surcos siempre estaban conectados con las zonas bajas mediante canales.

Así, tenían grandes superficies para dispersar las correntadas del río y su lecho quedaba libre de sedimentos. Todo esto evitó que el nivel de agua se eleve mucho, aún durante las lluvias fuertes, y disminuyó el riesgo de inundación para la población y los cultivos.

Esta manera de recibir la creciente del río con brazos abiertos, en vez de bloquear o restringir su camino, no solamente reducía la vulnerabilidad de la población. También les traía muchas ventajas.

El agua ya dispersada y frenada, depositaba sus sedimentos cargados de nutrientes en las vegas de los cursos de agua y en los bajos. Los surcos entre los campos elevados recibían los sedimentos más finos. Los agricultores aprovechaban fácilmente este abono para sus cultivos. Los alevines de peces migratorios, que ingresaban a los humedales con el flujo, también recibían suficiente alimentación.

Captando los peces en los canales y humedales los agricultores mejoraban su dieta. Los bajos llenos de agua fresca reducían la incidencia de plagas. Para superar posibles sequías largas en el futuro, los agricultores guardaban agua en los surcos entre los cultivos. Además, los bajos recargaban el agua subterránea y ayudaban a mantener la humedad en los campos elevados. Más que todo, esta extensa red de canales permitía a la población transportarse por agua en todas las épocas del año.

Como mencionamos antes, en América del Sur, aún existen grandes superficies tejidas densamente de caminos fluviales contruidos por poblaciones prehispánicas: en la planicie baja del río Guayas, en Ecuador; en la depresión Momposina de los ríos San Jorge, Cauca y Magdalena, en Colombia; y en la llanura de Mojos del río Mamoré, en Bolivia.





Arriba el mapa y abajo una vista aérea de campos elevados, bajos y los canales que los conectan con el río, en la depresión Momposina, Colombia. (Museo de Oro, Banco de la República, Colombia).



Estas obras necesitan una coordinación y colaboración entre toda la población para designar zonas que almacenen el exceso de agua y construir canales con acceso directo a ellas desde el río. Por su escala inmensa, podemos imaginar que la tenencia comunal de tierras y los gobiernos fuertes facilitaban su construcción.

Actualmente, como la propiedad privada es un concepto sagrado y cada propietario prioriza el beneficio propio, trabajos mancomunados de este tipo son difíciles de implementar. Por eso sugerimos en las secciones anteriores la construcción de pequeñas obras, como albarradas o represas, para abastecimiento individual de agua. Sin embargo, antes de construirlas debemos analizar su comportamiento frente a una lluvia fuerte, a fin de no se constituya ningún riesgo para sus vecinos aguas abajo.

Control de inundaciones-práctica moderna

En este caso, aprendemos de las experiencias de los reservorios grandes que los ingenieros actuales suelen construir en ríos caudalosos. Estos proyectos consumen presupuestos muy altos, justificándolos con promesas de que ya no habrá más inundaciones.



Represa de Shasta, Redding, California, EE. UU.

La población en la zona baja, confiada en ellas, invierte recursos para construir y mejorar sus viviendas o negocios en predios normalmente anegables. Sin embargo, el comportamiento de estos reservorios es muy imprevisible, porque hay una serie de supuestos falsos detrás de las promesas.

Un reservorio que ofrece controlar las inundaciones debe ser lo suficientemente grande para retener una avenida fuerte del río y luego descargarla de una manera controlada. Muy pocos embalses realmente tienen capacidad para controlar las inundaciones fuertes que ocurren durante su vida útil, pero los políticos siempre lo prometen para ganar más votos. Para calcular el tamaño del reservorio se necesita un buen pronóstico sobre las lluvias y los caudales correspondientes. Como vimos en el Capítulo 2, esto requiere datos históricos –precisos y continuos– recogidos durante un largo tiempo. Las lluvias se deben medir en la cuenca alta del río y los caudales, en la boca de cada quebrada grande. Allí es donde muchos de estos proyectos fallan: para ningún río de los países andinos existen datos de calidad aceptable, que cubran los últimos 50 años. Eso hace difícil relacionar la lluvia en la cabecera con la correntada del río para realizar los pronósticos.

Nuestras instituciones gubernamentales han fallado gravemente en proveernos con la información básica necesaria. Para superar la falta de información, los calculistas rellenan los vacíos con datos aproximados, de estaciones muy lejanas. En una zona muy escarpada como los Andes, tales aproximaciones crean una historia de lluvias totalmente irreal.

Cuando vinculamos la precipitación en la cabecera de una quebrada con su caudal, no debemos olvidar el papel importante que juega la cobertura vegetal en sus laderas. Todos conocemos que las montañas andinas siguen perdiendo sus bosques drásticamente. Un suelo sin cobertura vegetal aporta más escorrentía a la quebrada y lo hace más rápidamente, incluso con más sedimentos. Durante una lluvia extensa y fuerte, si todas las quebradas entregan sus flujos máximos al río al mismo tiempo, el caudal acumulado del río crece y el peligro de inundación aumenta.

¡El ingeniero llena los datos del aire, y la lluvia llena la represa de agua y tierra!



¿Cómo esto afecta a las predicciones de caudales de un río? Si tenemos los datos históricos de lluvias y de caudales, y los relacionamos con los cambios en la cobertura vegetal de la cuenca alta, podemos entender cómo ha cambiado el caudal del río en el pasado, y así, proyectar esos valores y estimar los caudales en el futuro con cierta confiabilidad. Pero, sin tener una información histórica real y completa en sus manos, los valores de caudales que calculan los ingenieros para los próximos 50 años se acercan más a especulaciones que a estimaciones.

¿Y el volumen de almacenaje del reservorio?

Aparte de la proyección de los caudales, debemos estimar la carga de sedimentos que trae el río, para calcular el volumen que requiere el reservorio. Una parte del volumen total en el fondo de cada reservorio, se destina acumular sedimentos. La llamamos el *volumen muerto*, porque las tomas de agua para fines productivos (como riego y generación de energía eléctrica) se ubican más arriba de ese nivel. Normalmente se estima que hasta el fin de la vida útil del reservorio este volumen muerto no se llenará de sedimentos, porque si se llena antes, afectaría gravemente el aprovechamiento de sus aguas.

Sin embargo, las estimaciones sobre la carga de sedimentos de los ríos son totalmente especulativas, porque no existen mediciones históricas de estos valores, solamente se realizan algunas mediciones puntuales antes de construir obras grandes. Los deslaves son los que aportan mayor cantidad de sedimentos a los ríos y no podemos predecir cuándo ocurrirán, ni de qué tamaño serán. Existen muchos reservorios, como

Paján y Paute, en Ecuador, que se han vuelto inoperables después de pocos años de su construcción, por estar llenos de sedimentos.



Reservorio de Paute, Azuay, Ecuador.

El volumen de almacenamiento de un reservorio y el caudal máximo que descarga su aliviadero determinan, principalmente, el costo de su construcción. Por la falta de información real, el ingeniero proyectista no tiene más remedio que especular y escoger ciertos valores para estos parámetros, con el fin de no aumentar demasiado el presupuesto. Y después, ruega a todos sus dioses para que los caudales del río no excedan los valores escogidos, antes de que expire el periodo de su responsabilidad para el diseño.

Sin embargo, la población aguas abajo del reservorio desconoce de esta bomba de tiempo colocada sobre su cabeza. El mal manejo de estos reservorios aumenta el peligro. El operador de un embalse debe estar constantemente informado sobre las lluvias que ocurran en sus cabeceras, los caudales que ingresan al reservorio y su capacidad para amortiguar esas avenidas. Sin embargo, muy pocos embalses están equipados adecuadamente para facilitar esa información con suficiente antelación a sus operadores. Por otro lado, la codicia, por tener el reservorio siempre lleno -porque significa un beneficio mayor para la entidad que lo opera, le inhibe abrir las compuertas a tiempo. Mientras tanto, la bomba acumula lentamente su poder destructivo porque la sedimentación, año tras año, reduce la capacidad del reservorio para amortiguar una avenida fuerte de aguas.

Después de una descarga repentina de aguas de un reservorio, las entidades de socorro reportan, cada vez, mayores daños materiales y económicos. Las represas Daule-Peripa y La Esperanza del Ecuador, y Betania y Urral de Colombia siempre causan este tipo de estragos. Al construir un reservorio, se disparan las plusvalías de los terrenos bajos, porque se cree que quedarán libres de inundaciones. Eso inicia un frenesí de inversiones sobre esta zona. Las inundaciones que ocurren después causarán más daños que los que hubieran ocurrido sin el reservorio.

Otra *solución* a las inundaciones que se emplea en la actualidad es construir diques en ambas orillas a lo largo del río. Es un concepto totalmente opuesto al que manejaban nuestros antepasados: aquí se aísla o se encarcela el río con los diques. Estos se suelen ubicar muy cerca de las orillas del río, con el fin de *liberar* la mayor cantidad de tierra de las inundaciones. Esto reduce el costo de la obra, pero también reduce la superficie disponible para acomodar las crecientes del río.



Derivación del río Bulubulú para controlar sus inundaciones, en Boliche, Guayas, Ecuador. El agua dulce así derivada inunda y mata el bosque de manglar salobre de la Reserva Churute.

En las épocas de lluvia, el nivel del agua entre los diques sube bastante. Con la acumulación progresiva de sedimentos, el nivel del río sube más, aumentando el riesgo de una rotura. El agua de lluvia que traen sus afluentes se acumula fuera de los diques y requiere un bombeo más costoso cada vez, para su evacuación. Además, esta solución vuelve estéril toda la zona *liberada* fuera de los diques: los esteros y

quebradas quedan sin peces migratorios y los terrenos quedan sin el abono natural que traían las crecientes. Por último, estos diques no permiten navegar hacia y desde los afluentes del río.

Ahora, después de tantos desastres causados por reservorios mal diseñados y mal manejados, debemos entender que un reservorio no es ninguna panacea contra las inundaciones. Quien proponga construir uno, grande o pequeño, debe asumir las graves responsabilidades que acarrea esa decisión. Cuando no existe información suficientemente confiable sobre el comportamiento de un río, no se deben arriesgar las vidas de toda una población con un reservorio mal diseñado (Yapa, 2011). Recomendamos explorar otras soluciones menos riesgosas y más flexibles como las que desarrollaron nuestros antepasados.

Aun cuando exista información histórica confiable, no podemos creer mucho en los pronósticos de lluvias durante un clima cambiante como ahora. Eso exige un monitoreo riguroso del comportamiento del río y del reservorio en las temporadas de lluvia. Para reducir la vulnerabilidad de esta estructura, también se debe implementar un programa de control de erosión en su cabecera.

Ahora es muy común escuchar de desbordes destructivos de los ríos, no solamente en las zonas bajas, sino también en las montañas. Estos son causados muchas veces por la obstrucción del cauce del río: a veces las personas que habitan las orillas invaden el río con rellenos para ganar unos metros más; y otras veces, los estribos de los puentes restringen la correntada. Un deslave aguas arriba puede taponar rápidamente estos puntos angostos, causando graves desbordes. La práctica de nuestros antepasados, de abrir más espacio para dispersar la correntada, solucionaría estos problemas también. En zonas urbanas, donde invasiones de los espacios de los ríos son comunes, debemos instalar en sus orillas parques públicos. Así se evita inundaciones de predios privados y les provee áreas recreacionales más agradables que, a la larga, permitirá al municipio recaudar más impuestos para compensar el costo del proyecto.

Controlar la erosión

Si no tomamos precauciones, una lluvia fuerte puede arrastrar sedimentos que llenarán nuestras obras de captación de la

escorrentía. Los procesos que aportan sedimentos a los ríos son: la erosión de los predios de la cabecera, la erosión de las riberas de sus afluentes y los deslaves de las laderas.

Se puede controlar la erosión de los predios reduciendo el caudal que escurre y también su velocidad. En la sección 5.2 ya discutimos varias prácticas que reducen así la erosión por la escorrentía: colocar barreras en curvas de nivel, terraceo, zanjas de infiltración, etc. Si se prevén lluvias intensas o muy prolongadas, debemos emplear estas prácticas más seguidas o implementar algunas prácticas en combinación. Aunque no ocurran lluvias fuertes, estas medidas no son perjudiciales para el terreno, más bien mantendrán la humedad y retendrán nutrientes en el predio.

La erosión de las orillas de las quebradas también aumenta la carga de sedimentos. Se puede reducir la velocidad de flujo mediante pequeños diques de control, instalándolas muy cerca entre sí desde la cabecera misma de la quebrada. Reforestar las orillas también reduce la erosión.

Iván Correa

Lorica, Colombia.



Ahora, cuando sube el nivel del río (porque el embalse descarga agua repentinamente), se van debilitando las riberas de los ríos. Eso permite que el agua entre a las comunidades con facilidad y empiecen a haber las inundaciones... (Para evitar que se derrumben las riberas) implementamos bosques de galerías. Es un sistema de árboles nativos... Ha permitido que mucha fauna que estaba en proceso de extinción regrese... Establecemos la primera franja con arbustos que no tienen mucho peso, después viene una franja de árboles como el naranjuelo, el espina de indio y luego... donde el suelo está más firme, ponemos árboles frutales y maderables como el roble. Hay una franja entre 40 y 60 m de ancho. Estos terrenos son de la nación, (pero) los terratenientes extienden su propiedad hasta el río. Y hemos conseguido que nos den... porque evita inundaciones en su propiedad.

Si los terrenos amenazados por erosión de riberas son muy valiosos, se puede optar por otras técnicas más rigurosas y costosas. El río Vilcanota, en Cuzco-Perú, corre por medio de zonas muy pobladas. El imperio inca, aparentemente, necesitaba convertir todos los terrenos baldíos en maizales, incluyendo los humedales en la orilla del río. Sin embargo, los meandros del río les amenazaban en cada temporada lluviosa. Ellos construyeron muros de piedra, protegiendo todo el tramo del río, donde recuperaban tierras para los sembríos.

Así mismo, para proteger los estribos de los puentes importantes, como el del río Nupe, en el Camino Real peruano, los incas construyeron muros con grandes rocas: cientos de metros para arriba y abajo del puente, por ambas orillas del río.

Esta técnica contra la erosión se practica hasta la actualidad. Sin embargo, para minimizar los costos, los ingenieros modernos construyen muros más cortos, solamente unos metros alrededor de la estructura más importante. Ellos se olvidan de los efectos regresivos de la fuerza erosiva del agua: ella socava primero la orilla pasando la estructura y retrocede, poco a poco, para tumbar el muro y, al final, también la estructura.



Remanentes de muros del puente incaico sobre el río Nupe, Baños, Huanuco, Perú.

Por eso los incas no escatimaban costos cuando deseaban obras duraderas. Uno de los afluentes del río Vilcanota, la quebrada de Yucay, cerca de Ollantaytambo, recoge aguas de los glaciares. Los incas aprovecharon estas aguas para regar extensas terrazas que cubren ambas orillas de la quebrada. Aunque no necesitaban agua de regadío en la época de lluvias, ellos querían evitar que este caudaloso curso destruyera toda su infraestructura de riego. Más de

500 años después, aún hoy, se puede observar cómo está revestida la quebrada con piedras, no solo sus orillas y sino también el lecho, hasta cientos de metros aguas arriba de la toma.



IZQ: Orilla de la quebrada reforzada. DER: Canal revestido desde tiempo incaico, Yucay, Cuzco, Perú.

En los Andes, los deslizamientos en las laderas también agregan grandes cantidades de suelo a los ríos. Una parte de culpa tienen las rocas débiles de la base que no soportan el peso del suelo húmedo. Pero la tala de cobertura vegetal de la ladera acelera este proceso. Una solución directa es evitar la infiltración de la escorrentía en esas laderas inestables. Esto sí es costoso, porque necesitamos impermeabilizar toda su superficie y también recoger y dirigir la escorrentía hacia otra zona estable. A veces, no sabemos dónde se originan las aguas subterráneas que reducen la estabilidad del talud. Una solución más efectiva es localizar los puntos de afloramiento de esas aguas y drenarlas con materiales filtrantes colocados en zanjas profundas (Rivera y Sinisterra 2006). Después, lo más rápido posible se debe restablecer la cobertura vegetal sobre la ladera con plantas de raíces profundas. El Eucalipto (genero *Eucalyptus*) es un buen candidato para este trabajo por su rusticidad, crecimiento rápido y mayor consumo de agua. También habrá especies nativas en cada región con características similares a las del Eucalipto. Para reducir la erosión superficial, deben ser plantados con suficiente espacio entre sí permitiendo la regeneración de la vegetación natural.

Deslave en Paccha, Alausí, Ecuador. (Una casa al pie de foto indica la escala).



Todos estos remedios para controlar la erosión del suelo funcionan mejor si los empleamos a nivel de cada predio, desde la cabecera de cada quebrada. El agua que se infiltra en la tierra y el suelo que se queda atrapado rinden enormes beneficios para cada propietario de la cuenca alta. La población río abajo gana con la reducción de la creciente y de la carga de sedimentos. La conservación de la cabecera de una cuenca tendrá un impacto más efectivo en proteger las poblaciones que están inmediatamente río abajo. Entonces, no debe ser muy difícil convencer a estos grupos vecinales de cada quebrada para colaborar en este esfuerzo. En cuencas muy grandes no se ve una conexión directa entre estos grupos de aguas arriba y abajo (Hofer y Messerli 2006). Sin embargo, los beneficios que se acumulan por conservar cada quebrada y cada riachuelo serán repartidos por el río para todos ellos.

Anegamiento de los cultivos

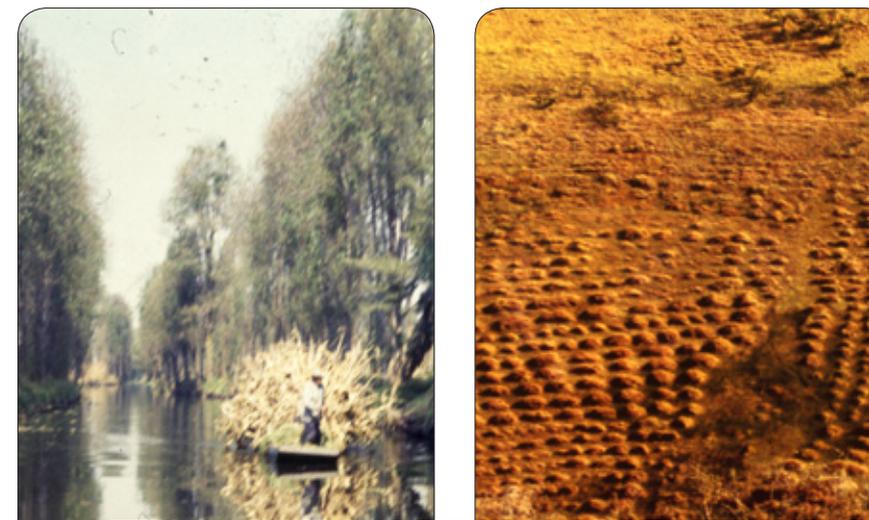
En la Sección 5.2 sugerimos preparar las camas de cultivo en una poza para captar mejor la escorrentía. Sin embargo, si llueve demasiado, estos cultivos se anegarían (Choquehuanca 1997).

Cuando el clima es imprevisible, necesitamos asumir ciertos riesgos. Una lluvia fuerte es la más dañina y más difícil de controlar porque puede ocurrir rápido; algunos cultivos no resisten más de unas horas de anegamiento; y el drenaje de las aguas en exceso es costoso porque todo alrededor puede estar inundado. En cambio, las sequías, ocurren más lentamente y los cultivos pueden resistir más tiempo sin agua. Con un regadío posterior, se puede recuperar la producción aunque sea parcialmente.

Bajo este criterio, si existe una remota posibilidad de anegamiento recomendamos sembrar las plantas en una plataforma lo suficientemente alta para evitarlo. Si se prevé una larga sequía después, podemos atrapar la escorrentía en los surcos entre las camas de cultivo para superarla. Si no ocurre el anegamiento esperado, aún tendríamos tiempo para modificar la plataforma de cultivo y realizar un regadío localizado para salvar las plantas.

En las llanuras bajas, la mejor forma de asegurar los cultivos contra el anegamiento es sembrándolos en campos elevados. La elevación de la cama de cultivo se logra, en general, retirando la tierra del fondo de los surcos entre las camas. La altura de la cama sobre el nivel de agua varía según la ubicación del sitio. Cuando se necesita alzar más la cama, pueden ensanchar más el surco para ganar más tierra. Esto trae un beneficio adicional, porque aumenta la superficie donde el agua de las crecientes pueda dispersarse, reduciendo así el riesgo de inundación. Los campos elevados amortiguan bien las crecientes si este mecanismo se implementa a lo largo de todo el curso de agua.

Parece que nuestros antepasados aprendieron esta lección mediante prueba y error, como demuestran los vestigios de campos elevados prehispánicos en el bajo Guayas (Denevan, 2001). Intentos similares de proteger los cultivos del anegamiento, pero en escalas medianas, se han encontrado en las llanuras de los ríos Chone y Esmeraldas, en Ecuador; San Juan y Sinú, en Colombia; Apure, en Venezuela; New River, en Belice; y Mississippi, en EE. UU. Las chinampas del antiguo lago de Ciudad de México y los pequeños montículos de tierra (*butte*) que cubren cientos de hectáreas de humedales costeras en Guyana Francesa y Surinam, aunque no estén asociados con ríos, funcionaban bajo el mismo concepto.



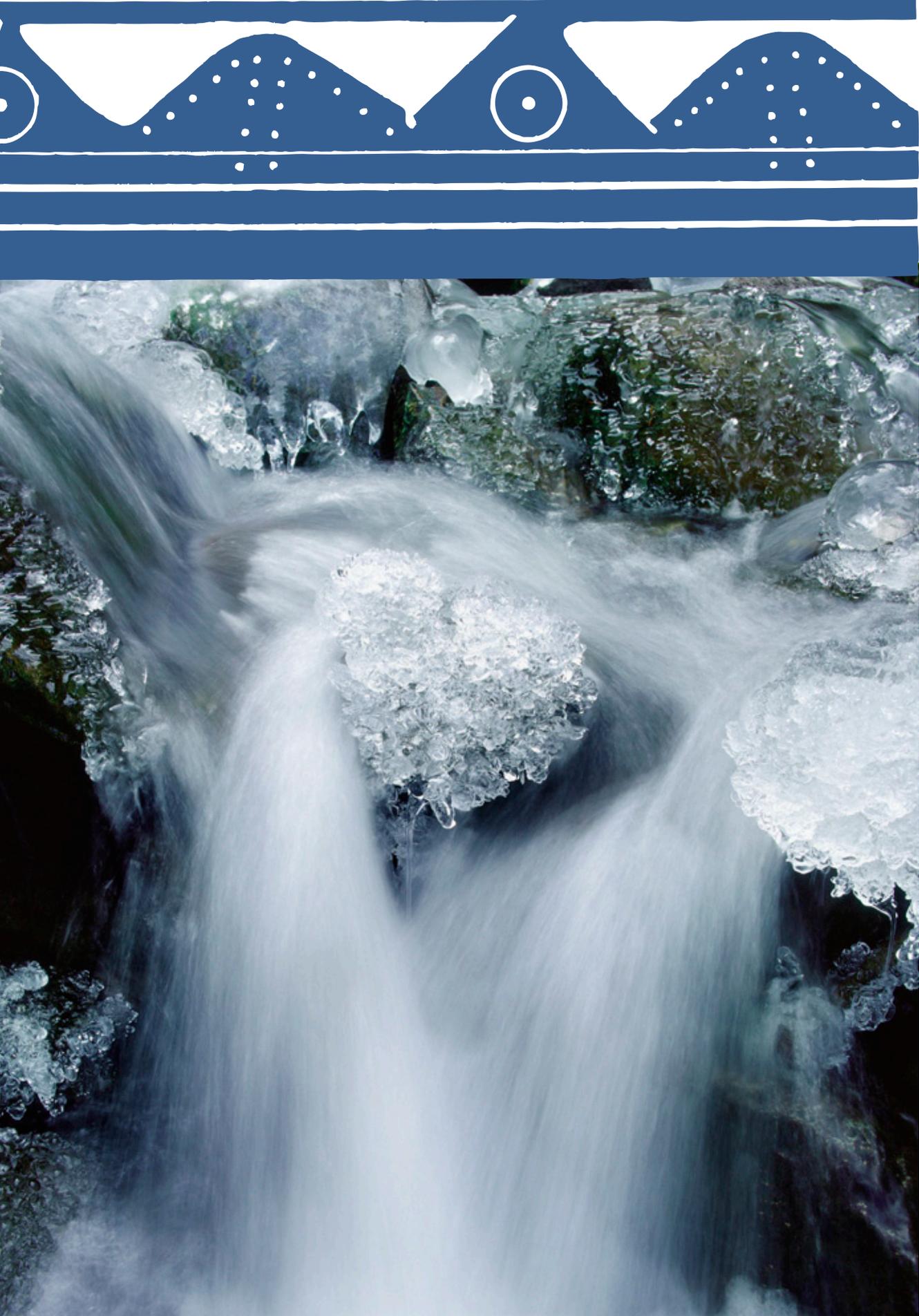
IZQ: Canales entre chinampas, Xochimilco, Ciudad de México, México.

DER: Montículos elevados (*buttes*), Guyana Francesa (Cortesía de Stephen Rostain, Francia).

Otra práctica que se puede emplear es sembrar en niveles diferentes. En ciertos cultivos, se acostumbra a sembrar un puñado de semillas en el mismo lugar. Donde existe el riesgo de anegamiento, podemos sembrar la mitad del puño en la parte alta de la plataforma y el resto cerca del fondo del surco. De este modo, aún en climas extremos, recuperaríamos por lo menos una parte de la producción.

Cuando se siembran plantas permanentes, como frutales, sugerimos preparar la cama en una poza con el fondo ligeramente inclinado. Podemos sembrar una plántula en la parte alta de la poza y la otra en el fondo. Dependiendo del clima en sus primeros años, una de las dos desarrollará mejor y podemos eliminar la otra (Evanariet al. 1982).

Todas estas prácticas para prevenir daños por aguas en exceso se vuelven indispensables en zonas bajas o altas, secas o húmedas, porque en este clima cambiante, las lluvias intensas y prolongadas pueden ocurrir en cualquier región y en cualquier temporada. Las prácticas que describimos arriba para evitar el anegamiento de cultivos también ayudarán en reducir la erosión o controlar las inundaciones, porque todas estas situaciones se relacionan entre sí. Es importante escoger prácticas que tengan además otros efectos benéficos complementarios, como facilitar la navegación, captar el abono, y recargar el agua subterránea.



CAPÍTULO 6

¿Cómo recargar y captar el agua subterránea?

Como observamos en el capítulo anterior, no es posible captar y aprovechar toda el agua de lluvia. Además de la porción que regresa al cielo como vapor, una parte significativa se adentra en el suelo para convertirse en agua subterránea. En tiempos de sequía, debemos captar lo máximo del agua subterránea también. Este capítulo está dedicado a discutir las técnicas para lograrlo.

Primero conoceremos cómo aumentar (**recargar**) el agua subterránea. Después, veremos cómo es posible captarla. El almacenamiento de agua en el subsuelo ha sido una práctica bastante antigua y vamos a conocer también algunos intentos modernos en ese sentido.

Las técnicas para aprovechar mejor el agua captada serán discutidas en el Capítulo 7. Sin embargo, hay una manera ingeniosa de aprovechar el agua subterránea, en el mismo nivel en que se encuentra. Por su modo especial de aprovechamiento, lo vamos a conocer al final de este mismo capítulo.

6.1 Recargar el agua subterránea

El agua que cae al suelo tiene tres posibles caminos.

- a. La parte que queda cerca de la superficie se evapora.
- b. Una parte del agua infiltrada es absorbida por las plantas a través de sus raíces.
- c. Las gotas que pasan la zona de raíces seguirán bajando hasta ser parte del agua subterránea.

La evaporación en la superficie y la absorción de agua por las raíces producen un vacío entre las partículas de suelo. Este vacío crea una presión negativa, que succiona y retiene las gotas de agua que se encuentran más al fondo en el suelo. La fuerza de gravedad, en cambio, ejerce presión sobre esas gotas hacia abajo.

En ese momento, si cae (o regamos) más agua sobre el suelo, el vacío se llena y la fuerza de succión se debilita. Allí, las gotas del fondo quedarán libres para avanzar en su camino hacia más abajo, alejándose de la zona de raíces. Estas gotas alimentan (recargan) el agua subterránea. Entonces, si un terreno recibe agua en una cantidad mayor a la que se evapora y a la que toman las plantas por sus raíces, el resto recargará el agua subterránea.



Algunas gotas quedan atrapadas entre las fuerzas de succión de raíces y de gravedad.



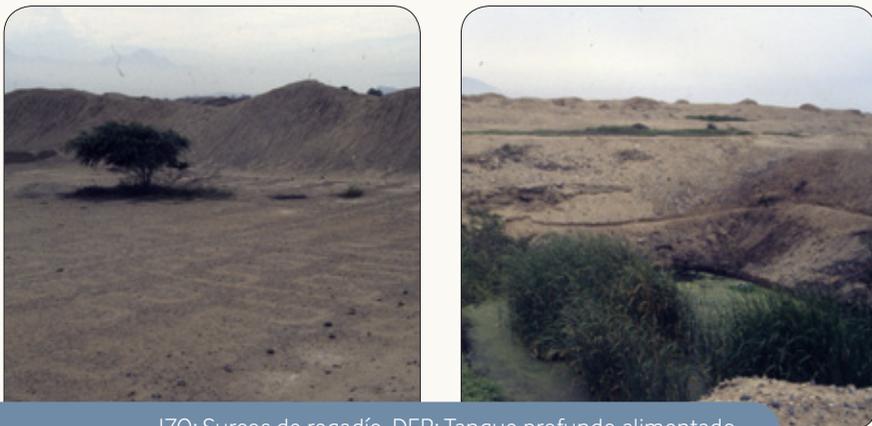
Regando dejo libres unas gotas para que bajen a recargar el agua subterránea.

En zonas áridas, nuestros antepasados se esforzaron mucho para recargar las aguas subterráneas, porque dependían de ellas para vivir. Los pueblos de la península de Santa Elena, en Ecuador, hace más de 1 500 años, construyeron miles de albarradas que cubrieron casi toda la superficie de la península (Stohtert, 1995). Estas, todavía captan las pocas lluvias que caen en su invierno de 3 a 4 meses. Por poco tiempo, la población y sus animales consumen el agua almacenada en la albarrada. Pero su trabajo principal es la recarga de las aguas subterráneas. Los manantiales que aparecen más abajo, en la quebrada, son abastecidos por las aguas que filtran de la albarrada. Investigaciones detalladas han confirmado que la mayoría de las albarradas está ubicada sobre una formación geológica que facilita la recarga de los manantiales (Marcos, 2004). Así, cada poblado puede sobrevivir la temporada de sequía aunque no haya lluvias ni aguas superficiales.



Albarrada de La Libertad, Santa Elena, Ecuador.

Chanchán, la capital del reino Chimú, en la costa norte peruana, era una de las más grandes ciudades del mundo en su época. Está ubicada en una zona muy seca y cercana al mar. Sus ingenieros construyeron varios reservorios en la ciudadela, hasta alcanzar el nivel del agua subterránea, para abastecer a su población. Sin embargo, por la cercanía al mar, siempre existía el peligro de contaminación con agua salada. Para prevenirlo, regaban grandes extensiones de tierra en la planicie, sobre la ciudadela, con enormes canales que construyeron para traer las aguas de los ríos Moche y Chicama (Farrington, 1980; Ortloff, 1985). Esta actividad alimentaba –indirectamente– el agua subterránea, asegurando agua dulce para la población de Chanchán.



IZQ: Surcos de regadío. DER: Tanque profundo alimentado por el regadío, Ciudadela Chanchan, Trujillo, Perú.

Los ríos que están más al sur en la costa peruana conducen agua solamente en tiempos de lluvia. Los pueblos, al pie de la cordillera, sufren por la falta de agua. Ellos observaron que el deshielo de los nevados desaparecía entre las fisuras de las montañas rocosas y entendieron que esa agua alimentaba los manantiales.

Esta situación es una excepción a la forma de alimentar el agua subterránea que describimos antes. Ciertos tipos de rocas, como las volcánicas, pueden tener fisuras muy largas y abiertas desde el momento de su formación, porque son empujadas a la superficie bajo presiones y temperaturas muy altas. La roca se enfría rápidamente, al entrar en contacto con los materiales que están a su alrededor, y así ocurren estas rupturas.

Si el inicio de una fisura de la roca queda a pocos metros debajo de la superficie, la escorrentía podrá abrirse paso hasta allí y desaparecer rápidamente en la grieta. En las faldas de las montañas, el agua de un cauce puede secarse repentinamente por la existencia de fisuras en la zona. En una depresión natural, sobre una loma, si el agua se seca inmediatamente después de las lluvias, en vez de quedarse empozada, será también por la acción de estas grietas. Estas rupturas pueden alimentar un acuífero o pueden conectarse directamente con un manantial algunos kilómetros más lejos. Las fisuras largas, en las rocas que alimentan a los manantiales en Perú se conocen como *amunas*.



Las fisuras en las rocas volcánicas conducen lejos las aguas de lagunas de altura.



El agua de la laguna ingresa a la fisura en la roca.

Las *amunas* se han identificado no solamente en la costa sur peruana sino también en los valles Sondondo y Chicha-Sorras, entre los departamentos Apurímac y Ayacucho (Kendall, 2008). Para evitar el taponamiento de estas fisuras, los comuneros construyen pequeñas pozas sobre ellas en las quebradas que alimentan sus manantiales. En las depresiones naturales sin salida, atrapan los sedimentos de la escorrentía, antes de que lleguen a la fisura, mediante pequeñas pozas o zanjas.



IZQ: Depresión natural a 4 300 m de altura en Pampachiri.
DER: Una cavidad donde filtra el agua, Pampachiri, Apurímac, Perú.



Un manantial alimentado por la filtración de la amuna, a 3 900 m de altura y 3 km lejos. Pampachiri.

Ricardo Illaconza

Pampachiri, Andahuaylas, Perú.



(Amuna) es un sistema que en tiempo de lluvias, se empoza el terreno. Para la época de sequía... en las partes bajas hay manantes... y el caudal no baja en épocas de lluvia ni de sequía.... A veces el agua que empoza se filtra muy rápido y hemos bloqueado el ingreso (donde filtra agua) para que dure más tiempo la laguna. Entonces el manante también dura. Aquí la laguna está en un punto muy alto. Amuna estará beneficiando varias comunidades, pero no importa. La comunidad que beneficia más mantiene la amuna.

En el Capítulo 1, aprendimos cómo se forman los acuíferos y cómo llega el agua subterránea a los manantiales, y reforzamos ese conocimiento analizando la forma en que se recarga el agua subterránea y el mecanismo detrás de las amunas. Con esta información podemos iniciar la recarga de los acuíferos en nuestra comunidad. Sin embargo, para que esta actividad tenga un impacto directo, debemos realizar una observación geológica de la zona para localizar manantiales. Allí ubicaremos los sectores de recarga con mejores posibilidades para captar el agua.

Primero, pongamos mucha atención a los lugares donde la humedad emana desde adentro. Como dijimos antes, el agua subterránea casi siempre sale a la luz sobre una capa impermeable. Las capas más impermeables son las de roca base sin fisuras y las arcillosas, aunque sean delgadas. En cambio, las capas más permeables son de arena, grava y piedras bolas. Pero, cuando hay arcilla llenando los espacios entre ellas, su permeabilidad se reduce mucho.

Los lugares más propicios para encontrar manantiales son el fondo de las quebradas y las laderas sobre las depresiones naturales (con o sin agua). El nivel de agua en los pozos de la vecindad, también nos ayuda a calcular el nivel de la napa subterránea (**freática**).

Otra fuente muy importante es la presencia de ciertos árboles amantes de agua subterránea (plantas freatófilas) que no toleran salinidad, como fresno (*Fraxinus* sp.), aliso (*Alnus* sp.), sauce (*Salix* sp.) y álamo (*Populus* sp.). Según la extensión de las raíces de las plantas también podemos estimar la profundidad en que se encuentra la napa freática (Meinzer, 1927).

Examinemos bien todos los lugares donde está emanando la humedad dentro del predio; excavemos con un azadón alrededor de cada sitio para identificar la capa de suelo/roca que contiene el agua. Intentemos

Si sabes
buscar el oro, allí también
encontrarás el agua.



relacionar todos los sitios donde vemos esta misma capa para localizar los estratos que contienen agua subterránea.

Ahora estamos listos para recargar nuestros manantiales. Observemos detenidamente el paisaje, de abajo arriba, para localizar sitios donde podemos almacenar el agua de recarga. Con el sol a nuestras espaldas, en la madrugada o en la tarde, podemos identificar mejor las ondulaciones del paisaje por sus sombras.



Donde la pendiente normal de la ladera se interrumpe por una pequeña depresión seguida por un abultamiento, puede indicar un deslave antiguo. Paisaje con ondulaciones, vía Cuzco-Paucartambo, Perú.

Para recargar los manantiales no es necesario acumular solo agua limpia, podemos llenar una poza con la escorrentía y sus sedimentos. En sitios donde no es posible almacenar el agua, podemos atrapar solamente el suelo húmedo. Porque el suelo flojo retiene mucha humedad y una buena parte seguramente se va a infiltrar.

En el capítulo anterior ya hablamos de la manera de almacenar agua en tanques, pozas, albarradas o represas. También conocimos cómo almacenar el agua en el suelo mediante surcos, terrazas o diques de control. Fijemos la atención en los sitios donde podemos construir alguna de estas estructuras. Estas construcciones nos servirán, principalmente, para almacenar agua de riego o como camas de cultivo. La intención aquí es que nos ayude, al mismo tiempo, a recargar el agua subterránea. Debemos relacionar cada sitio potencial de recarga con la ubicación de los manantiales para determinar los lugares más provechosos.

Las depresiones naturales pueden ser otra opción, pero observémoslas bien. Hay unas, donde ya no se acumula mucha agua; y otras, con una pequeña loma, inmediatamente abajo, en la ladera. Estos sitios pueden ser productos de deslaves antiguos. Debemos tener mucho cuidado en no construir pozas o albarradas allí porque, sin querer, ¡hemos de reactivar estos deslaves!

Ahora sí, manos a la obra, a construir las estructuras y los canales para conducir el agua o la escorrentía. No vamos a revestirlas porque nos interesa que el agua filtre desde ellas. Si no cumplen otra función, no necesitamos almacenar mucha agua en estas pozas, solamente la cantidad necesaria para que no se vacíen en la temporada de sequía. Si disponemos de agua de riego todo el tiempo, alimentemos las pozas continuamente, solo con la cantidad que compense la infiltración.

No debemos desesperarnos por ver los resultados, porque el agua avanza muy lento dentro del suelo. Dependiendo de la distancia desde el punto de recarga se demoraría hasta meses en llegar al manantial. También puede ocurrir que no llegue el agua a nuestro manantial, porque interpretamos los flujos internos según lo que observamos superficialmente. Pero nuestro trabajo no está perdido; alguien más abajo ha de beneficiarse de esa agua y nos ha de agradecer. Así mismo, nosotros nos beneficiaremos del trabajo diligente de un vecino de más arriba.

6.2 Captación del agua subterránea

La forma más común de captar el agua subterránea es a través de los manantiales. Donde no existían, nuestros antepasados se ingeniaron galerías de filtración para traerla a la superficie por gravedad. Los pozos también han proveído de agua subterránea a las poblaciones desde hace mucho tiempo, pero ahora existen técnicas modernas para explotarlos más fácilmente.

Manantiales

Los manantiales (**ojos de agua**) requieren un cuidado especial, igual que nuestros ojos. El agua que se filtra decide salir a la luz en un sitio dado cuando se reúnen ciertas condiciones.

Como vimos en la Sección 6.1, la fuerza de gravedad siempre presiona al agua para que baje más. Solo una capa impermeable detendrá esta marcha hacia abajo y obligará al agua a moverse sobre su superficie.

Cuando una capa permeable deja salir el agua subterránea poco a poco, bajo la fuerza de gravedad, la identificamos como un **acuífero libre**. Para que este acuífero suelte toda su agua almacenada debemos permitir que avancen las gotas libremente. Ellas siempre vienen acompañadas de pequeñas partículas de suelo que pueden quedarse atrapadas y bloquear los poros. Si permitimos una pequeña caída en la salida de un manantial, la fuerza de gravedad será suficiente para empujar y limpiar los sedimentos que bloquean su paso.



No bloqueará el ojo de agua que brota suave, porque el agua puede correr para abajo.

Sin embargo, hemos encontrado innumerables lugares donde se han construido grandes tanques de hormigón que cargan todo su peso sobre los manantiales de acuíferos libres. Por si esto fuera poco, se colocan enormes piedras sobre el propio ojo, supuestamente para atrapar los sedimentos. Casi siempre se argumenta que estas obras fueron construidas bajo instrucciones de técnicos. Tal vez ellos copiaron los diseños de los libros sin pensar en su aplicación particular. Hemos observado que estos manantiales *encarcelados* se secan en poco tiempo o aparecen en lugares más bajos, fuera del alcance de sus sistemas de conducción.



Un tanque grande sobre un manantial, el agua emana por un lado del mismo tanque. Licto, Riobamba, Ecuador.



Grandes piedras colocadas dentro del tanque sobre un ojo de agua. Licto, Riobamba, Ecuador.

Si usted conoce un manantial de su comunidad en una situación similar, debe tomar acciones urgentes para remediar el error. Primero, remueva íntegramente la estructura que bloquea la salida del manantial. Excave lateralmente, con cuidado, para encontrar de nuevo el camino del agua. Dé facilidad y libertad al agua para que salga a la luz, como describimos antes. Si requiere un tanque para acumular agua, se lo debe construir más abajo del ojo. Si desea proteger el manantial de posibles aluviones o deslaves, construya una tapa de algún material duro y liviano (madera o metal). Pero sus soportes no deben obstruir la salida del agua, ni cargar un peso adicional sobre el ojo.



Este techo protege el manantial de los deslaves. Así el agua brota libremente.

Algunas veces, el agua subterránea se mueve bajo presión. En el momento en que ella detecta un sitio donde el peso del material de arriba es menor que la presión adentro, el agua brota con fuerza. Esta situación ocurre cuando el agua se filtra libremente desde una buena altura (como en el caso de una amuna) y queda atrapada entre dos capas de suelos impermeables. A esto llamamos un **acuífero confinado**. Los diseños que colocan tanques de hormigón y piedras grandes sobre los manantiales no causan mayores problemas en este tipo de situaciones.



Aquí el agua brota con presión porque viene de bien arriba.

Walter Roca

Pacajes, La Paz, Bolivia.



Sabemos colocar el primer huevo que pone una gallina para que no disminuya el caudal de un manantial.

Muchas personas mayores conocen algunas plantas que ayudan a mejorar el caudal de los manantiales. Una planta que se siembra en los ojos de agua en la costa ecuatoriana se llama *nacadero* (*Trichanthera gigantea*), aludiendo específicamente a esta capacidad que tiene. El berro (*Nasturtium officinale*) también se considera como una planta que ayuda a limpiar y aumentar el caudal de los manantiales (Chuyuma Aru, 2007). Las raíces de ciertas plantas, aparentemente, absorben el agua con tal fuerza, que el suelo abre el paso y deja salir más agua a la luz. Otras plantas como Arjuno (*Terminalia Arjuna*) extraen del agua ciertos minerales indeseables para el consumo humano y mejoran su calidad (Uragoda, 2000). La preñadilla (*Astroblepus ubidia*), un pez del altiplano ecuatoriano, también tiene la fama de ayudar a limpiar los ojos de agua. Se presume que este pez busca su comida —las algas— en los poros de los ojos de agua.

Buenaventura Gerundas

Maras, Cuzco, Perú.



Al lado de manantes tenemos plantas como... el sauce, las hojas de serrucho, son plantas que llaman al agua... Además se paga al manante con la cabeza de un pato, porque el pato llama al agua.

Toribio Huilca

Challabamba, Cuzco, Perú.



En donde nacen los manantes, nadie tiene que hacer chacras, se mantiene sin incendios, ni quema de pajas... no se meten los animales... Se planta yuruma.

Abdón Flores

Andamarca, Ayacucho, Perú.



Estamos tratando de proteger los manantes. Se han sembrado como 700 riobarbos y el ojururo... Recuperamos los chaquijotes (pequeñas cochas), y están funcionando bien.

Por estar en el fondo de las laderas, los manantiales están en peligro de desaparecer por aluviones o deslaves. Recomendamos conservar y sembrar árboles nativos, de raíces profundas, que estabilizan el suelo en las laderas sobre los manantiales. Los árboles frenan la escorrentía evitando los aluviones. Una mancha de bosque incrementa la infiltración y mejora el caudal significativamente. Los árboles exóticos, como los eucaliptos, también ayudan a prevenir deslaves, sin embargo, su enorme sed puede reducir el caudal del manantial.

Galerías de filtración

A veces los manantiales están muy dispersos y se dificulta su captación, o no tienen caudales suficientes para cubrir las necesidades. En este caso, se puede ir en busca de las venas de agua dentro de la montaña. En los desiertos del Medio Oriente, sus pobladores desarrollaron, desde hace 3 000 años, una tecnología que extrae el agua por gravedad mediante galerías de filtración (*qanat*). Toda la población de

Teherán, capital de Irán, fue abastecida hasta 1955 solamente por las aguas que traían unas 36 *qanat* (Goldsmith, 1984).

Algunas de estas galerías se adentran por cientos de metros hasta encontrar acuíferos caudalosos. El proceso de su construcción es complicado y peligroso: los constantes derrumbes, la irrupción inesperada de grandes flujos de agua y la retirada del material excavado dificultan su avance. El mantenimiento de la galería también tiene problemas por la constante acumulación de arena que entra al túnel junto con el agua. Los ingenieros construyeron pozos cada 50 o 100 metros para facilitar el retiro del material de excavación y los sedimentos que se acumulan con el tiempo.



Qanat con sus pozos.

Los árabes difundieron el sistema de *qanat* por todo el Medio Oriente. Después de que conquistaron la Europa mediterránea, estas obras de ingeniería llegaron también a España. Los españoles, a su vez, instalaron galerías parecidas en las zonas áridas de México, Perú, Bolivia y Chile (Barnes y Fleming, 1991).

En el desierto inhóspito de Nazca, en la costa sur peruana, también se encuentran más de 50 galerías de filtración, algunas en pleno funcionamiento hasta hoy. En esta zona todos los ríos se secan inmediatamente después de las lluvias, porque sus lechos son muy porosos. Muchas galerías cruzan por debajo de los cauces de los ríos; algunas se extienden por más de mil metros.



Serie de pozos y el detalle del pozo de limpieza en la galería de Orcona, Nazca, Perú.



Palo de guarango como techo y canal de salida para regadío, en la galería de Orcona, Nazca, Perú.

La cordillera donde nacen estos ríos no tiene picos con nieve, pero contiene inmensas dunas de arena. El Cerro Blanco, la duna más alta del mundo (2 200 m. s. n. m.), al parecer, aporta gran parte de las aguas subterráneas desde sus entrañas. Estas aguas permiten regar el valle abajo. Los investigadores Barnes y Fleming (1991) intentaron atribuir la construcción de estas galerías a los mismos españoles. Sin embargo, existen muchos argumentos para dar el crédito a la propia cultura nazca (Schreiber y Lancho, 1995), que se hizo famosa en el mundo por sus intrigantes líneas dibujadas en el desierto. Algunos investigadores encontraron que ciertos dibujos en este desierto indicaban la presencia de agua subterránea en sitios cercanos (Proulx, 2008?).



IZQ: Cerro Blanco en el fondo. DER: El valle que se riega con galerías de filtración y pozos, Nazca, Perú.

Augusto Salazar
Nazca, Perú.



Nosotros dependemos del agua de ese acueducto (cantallyoc) para sembrar nuestros cultivos... Nace desde Cerro Blanco... Aun cuando no hay agua en el río, capta agua. Yo no he visto secarse este puquio todo el año... Nosotros hacemos cada año las limpiezas... Somos 18 usuarios y todos participan en la limpieza... Si hay un derrumbe, arreglan y van viendo cómo está el techo, como están las paredes... En los costados todo es piedra bien labrada... Cuando uno se abre se le reemplaza la piedra por guarango, que no se pudre, él vive en el agua... Dos años atrás han hecho cantidad de pozos en los costados y ha disminuido el caudal.

Una opinión técnica explica que la complejidad geológica del valle de Nazca puede ser la razón por la falta de agua en ciertos tramos de los ríos superficiales (Proulx, 2008?). Esta zona regularmente sufre de fuertes terremotos. Estos movimientos violentos pueden partir la superficie de la tierra por distancias largas. Como resultado, las capas de subsuelo se mueven verticalmente o lateralmente a lo largo de ese plano de ruptura. A la huella de esta ruptura, a veces visible en la superficie de la tierra, la llamamos **falla geológica**. Muchas cruzan el valle de Nazca en diferentes direcciones.

Cuando una capa de suelo que trae agua subterránea es cortada por una *falla*, se interrumpe el camino del agua. El material flojo en la *falla* conducirá esa agua más fácilmente. Si extendemos una galería para interceptarla o si perforamos un pozo sobre ella, probablemente encontraremos grandes caudales subterráneos de agua.

Así, una *falla geológica* también nos puede ayudar a encontrar manantiales en nuestra comunidad. Pero, para detectarla se requiere mayores conocimientos sobre la geología de la zona. Por otro lado, se debe tener mucho cuidado en excavar cerca de las fallas porque el material de subsuelo cercano a ellas puede ser muy inestable.

Pozos de agua y mecanismos para recogerla

Casi todos los pueblos, desde hace mucho tiempo, se abastecían de agua de consumo, y a veces también de riego, mediante pozos profundos. Esta práctica aún se mantiene en muchas zonas rurales. Donde la napa freática es muy profunda, se instala un pozo grande para servir a toda la comunidad. Excavar un pozo requiere bastantes recursos y no se debe iniciar ese trabajo sin antes asegurarse de que haya suficiente agua bajo tierra.



IZQ: Pozo comunitario de agua, La Pila, Manabí, Ecuador.
DER: Pozo comunitario de agua, Choconcha, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

Algunas personas (llamadas *zahorí*) han perfeccionado el arte de la búsqueda de sitios para excavar pozos, con el uso de varillas o péndulos. Aún sin usar las varillas, existen ciertos indicios para anticipar la disponibilidad de agua bajo tierra. En la Sección 6.1 hablamos acerca de cómo ubicar manantiales en nuestro predio. Si deseamos disponer de mayor caudal, podemos construir un pozo cerca de estos manantiales. Si no encontramos manantiales en el predio, podemos calcular la profundidad de la napa freática, relacionando su ubicación con el nivel de agua de los pozos o de las quebradas en la vecindad. Aquí también ayudarían la localización de las capas impermeables en el predio y la presencia de plantas amantes de agua, que hemos analizado anteriormente.

Un zahorí también determina, aproximadamente, el sitio del pozo mediante estos indicadores, antes de usar sus varillas. Donde se observa un movimiento brusco de la varilla, el zahorí indica que allí debajo existe un acuífero. Según una opinión, ese es el resultado del conocimiento basado en los indicadores previos: el subconsciente del experto hace mover la varilla cuando él pisa el sitio de mayor probabilidad.

Los álamos me indican que allá habrá agua cerca.



Aquí las varillas me ayudan a ubicar el mejor sitio para el pozo de agua.



Otra explicación, sobre el movimiento de la varilla, se basa en los campos magnéticos que emiten casi todos los materiales. Los imanes son los ejemplos más destacados que tienen esta característica. Un suelo saturado de agua, emitirá un campo magnético más fuerte que uno seco, aunque no todas las personas pueden detectar estas diferencias. Según un zahorí que siempre intenta enseñar esta técnica a todos los que tienen interés de aprenderla, para algunas personas se hace difícil la captación de estos campos magnéticos, posiblemente, por la constitución física-química de su propio cuerpo (Uribe 2012).

Cuando el pozo acumula agua, elevarla a la superficie con el menor costo es otro reto. Desde hace mucho tiempo, la gente ha utilizado sus propias fuerzas o las de sus animales para hacerlo. En la zona norte de Sri Lanka, el nivel de agua de los pozos puede quedar entre 5 y 10 m de profundidad. Los agricultores que no disponen recursos para instalar bombas, siguen utilizando un sistema de palanca para elevar el agua, balde por balde, para su regadío. Cuando se llena el balde, una persona camina desde el fulcro (punto fijo), sobre la palanca, hacia su otro extremo. El fulcro de la palanca se fija en forma tal que el balde suba a la superficie, cuando el otro extremo de la palanca esté en su punto más bajo.



Elevar el agua del pozo caminando sobre la palanca, Jaffna, Sri Lanka

Estas prácticas ahora están en desuso por el invento de las bombas de agua. Existen bombas de todo tipo: manuales, de pedaleo, de

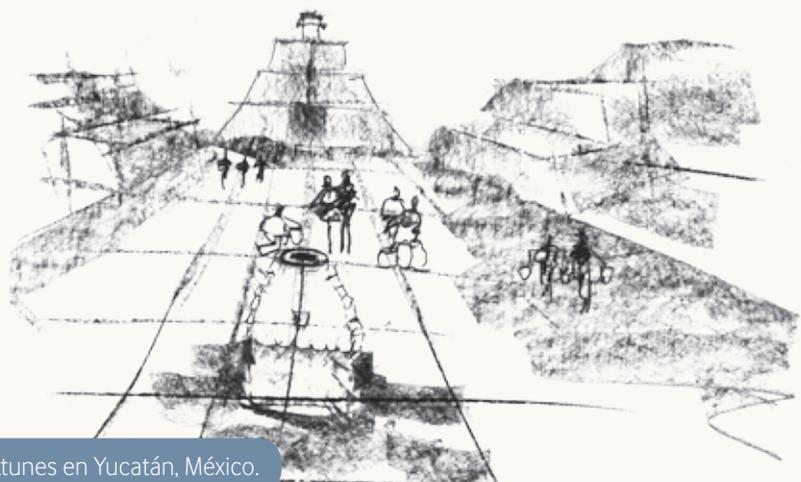
tracción animal, de viento, de combustible o de energía eléctrica. Sin embargo, se debe tener cuidado de no bombear el agua demasiado rápido, para evitar que la extracción sea mayor que la recarga. Además, una extracción desmedida puede afectar al nivel de agua de los pozos de la vecindad.

6.3 Almacenaje subterráneo del agua

En la Sección 5.4 conversamos sobre las técnicas de almacenar superficialmente el agua. Sus principales problemas son la pérdida por evaporación y la contaminación. Una solución para estos problemas, adoptada desde los tiempos antiguos, consiste en almacenar el agua en reservorios subterráneos. Un tipo de reservorio se hacía excavando en el subsuelo, pero dejando una abertura pequeña para acceder al agua.

Una roca calcárea madura cubre casi toda la península de Yucatán, México. En esta zona bastante árida, los ríos y las quebradas conducen agua solamente durante el corto invierno. Las únicas fuentes de agua en tiempos de sequía se encuentran en las innumerables pozas naturales (cenotes), que son cavidades formadas por la disolución de esta roca calcárea. Los pueblos maya que habitan la zona no pueden consumir esta agua porque se trata de un agua dura. La cultura maya no hubiera prosperado en la península sin una solución para este problema.

Ellos recogieron el agua de lluvia de los techos de sus edificaciones y de sus plazas públicas. Y la condujeron hacia los *chultunes*, grandes cavidades adaptadas o construidas cerca de sus ciudades (Zapata, 1989). Debajo de la capa de caliza dura, se encuentra una piedra caliza arenosa (*sascab*), más suave para excavar. Los *chultunes* toman la forma de botellones, de 2 a 4 m de diámetro e igual dimensión en profundidad, con una boca de 30 a 50 cm. Para evitar filtraciones del agua almacenada, estucaron las paredes interiores. Un anillo de roca en la boca, con pequeños orificios que dejan ingresar la escorrentía filtrada, asegura la calidad. El material excavado también sirvió para construir las famosas calzadas ceremoniales (*sacbes*), comunes en las ciudades mayas. Muchos *chultunes* fueron restaurados y abastecen de agua, hasta hoy, a la población aledaña a los sitios arqueológicos de Yucatán.

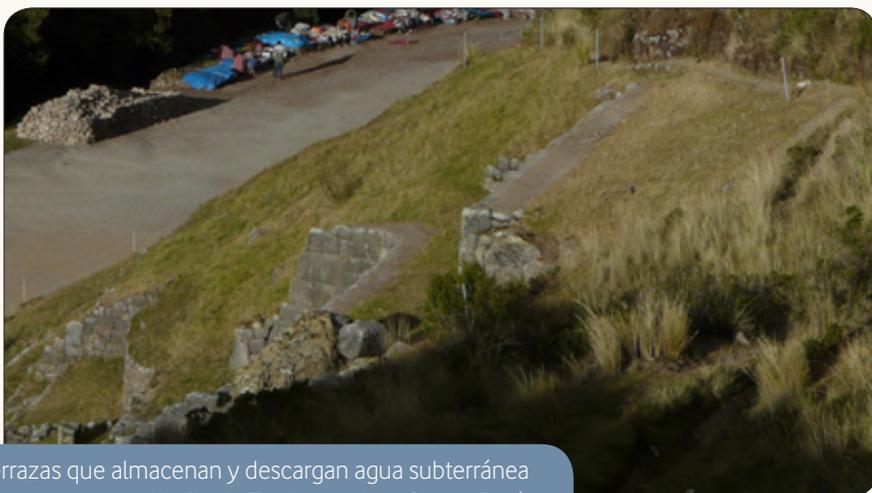


Chultunes en Yucatán, México.

Otro tipo de reservorio subterráneo lo hicieron modificando un acuífero somero (uno que está cerca de la superficie) para incrementar su capacidad de almacenamiento y controlar el caudal de descarga. En la región del Cuzco, en Perú, encontramos dos sitios incaicos, donde se almacenaba agua en el subsuelo (Fairley, 2003).

En el sitio Tambomachay, a 8 km de la ciudad de Cuzco, los incas construyeron un baño ceremonial bloqueando una hondonada.

Hileras de rocas calcáreas la delimitan, mientras que cuatro muros de piedra, formando terrazas de escalinata cierran la hondonada. El muro más bajo contiene un filtro para limpiar el agua que sale por los orificios del baño, estos chorros descargan un caudal total de 0,7 litros por segundo.



Terrazas que almacenan y descargan agua subterránea para el baño de Tambomachay, Cuzco, Perú.

En el sitio Tipón, unos 30 km al sur de Cuzco, por la vía Puno, construyeron una serie de terrazas anchas en escalinata. Estas atraviesan una hondonada grande, delimitada igualmente por filas de rocas calcáreas. Las terrazas acumulan agua dentro del suelo. Y la última terraza emana más de 10 litros de agua por segundo para regadío, mediante una fuente ceremonial de piedra labrada.



Arriba, fuente ceremonial y abajo, terrazas de Tipón, Cuzco, Perú.



Una versión moderna de estos reservorios sumergidos ha sido construida en varias regiones del noroeste de Brasil. Los acuíferos someros de esta zona no producen caudales suficientes porque su permeabilidad es limitada. Pero sus riachuelos tienen una gruesa capa de material aluvial en sus lechos, depositada sobre la roca base. Construyendo desde la roca base un muro sumergido que atraviese

el riachuelo, se puede crear un acuífero artificial con una gran capacidad de almacenamiento.

Para este fin, excavan una zanja en el lecho del río y construyen el muro con cualquier material disponible en la zona como: arcilla, hormigón ciclópeo o mampostería de ladrillo. Un plástico grueso en

el centro, apoyado por tierra compactada en ambos lados, también puede bloquear el paso del agua. Aún en los tiempos de sequía, el agua subterránea, al chocar contra el muro en su camino, se queda acumulada entre los sedimentos del lecho. Construyendo un pozo filtrante detrás del muro se puede bombear esta agua. También se puede colocar, horizontalmente, una tubería perforada y conducir el agua por gravedad hasta el lugar de almacenamiento. Se recomienda colocar otro tubo más abajo, sobre la roca base, para evacuar las sales que se acumulan en el fondo por ser más pesadas (UNEP, 1997).



Detrás del muro el agua subterránea se acumula y el cauce del río está húmedo.

En Bolivia se ha construido otro tipo de reservorio subterráneo: una cámara de hormigón armado con flautas filtrantes insertadas en las paredes (*barbacanas*), enterrada en el lecho de un riachuelo seco (Gutiérrez, 2006). Esta recolecta el agua en su interior. En la comunidad de Vinto, Uncia, Potosí, construyeron una cámara de este tipo. De allí, el agua acumulada se bombea a otro reservorio superficial para riego. Otra en la comunidad de Colon Sud, Avilés, Tarija, recoge el agua por gravedad y la conduce para el regadío mediante un canal. Estas cámaras de hormigón requieren muchos recursos para su construcción. Tampoco tienen una ventaja sobre los reservorios brasileños que son bastante económicos. Pero ninguno tiene acceso para limpiar sus filtros, como en el caso de las galerías de filtración.



Una cámara de hormigón enterrada en un lecho seco.



Una galería de filtración se encuentra enterrada en esta quebrada seca en Vinto, Uncia, Potosí, Bolivia.



Quebrada seca donde está enterrada una galería de filtración, Colón Sud, Avilés, Tarija, Bolivia.

Sugerimos combinar la técnica de construir diques sumergidos, como en Brasil, con la de galería de filtración, para disponer de un caudal mayor a bajo costo. Hoy, es muy difícil instalar galerías de filtración porque, tanto su construcción como su mantenimiento, representan un grave peligro físico para el trabajador. Otro problema es la incertidumbre sobre el caudal que pueda captar la galería. Las técnicas modernas para estimar el caudal antes de perforar no están al alcance de los campesinos.

Una presa sumergida que retiene el flujo subterráneo, en el lecho de un río seco, nos permite estimar con mucha certeza el caudal que podamos captar. Además, para aumentar el caudal podemos aplicar las medidas de recarga en la cuenca alta que aporta al río. Por otro lado, podemos diseñar la presa incorporando a su lado la galería de filtración, con las debidas seguridades. El costo del muro va a aumentar un poco, pero tendríamos una forma de captación de agua que es fácil y segura, de construir y de mantener. Según la disponibilidad de los materiales en cada zona, podemos construir la galería y el muro con madera, piedra laja, planchas de hormigón o mampostería de ladrillo o piedra.



Limpiar esta galería es fácil y seguro.

6.4 Cultivar en el nivel del agua subterránea

Por lo difícil y costoso de traer el agua a la superficie, ¿por qué no llevamos la superficie de cultivo a donde está el agua? No es una idea loca. Nuestros antepasados hicieron justamente eso, principalmente en la costa peruana.

Ellos fueron en busca de lugares donde el agua subterránea queda más cerca de la superficie. Los encontraron cerca de la playa del mar. Detrás de las primeras dunas de arena, existían pequeños humedales de agua salobre que les indicaban que allí, el agua dulce estaba bastante cerca. Ellos excavaron y retiraron la arena detrás de los humedales, hasta que el agua dulce humedezca la tierra y allí sembraron sus cultivos. A lo largo de esta costa aún se encuentran cientos de hectáreas con los vestigios de sembríos antiguos (Parsons y Psuty, 1985). Existen controversias sobre estos vestigios porque su mayor parte ahora están cubiertas de aluviones, causados por los recurrentes eventos de El Niño. Sin embargo, los cronistas españoles en los primeros años de la conquista han mencionado su asombro sobre estos campos hundidos, donde se cultivaban tan cerca del mar.

Unos campos hundidos ubicados cerca y dentro de la ciudadela Chanchán, en Perú (llamados *huachaques*) posiblemente fueron contruidos por los reyes Chimú. Allí, se retiraron hasta 8 metros de arena para llegar al nivel freático. Como explicamos anteriormente, el regadío extensivo en las tierras sobre la ciudadela, posiblemente, aumentó el agua dulce en estos campos, que se extienden hasta la playa misma.



Huachaque grande, Chanchán, Trujillo, Perú.

Hoy no existe ese apoyo gubernamental, sin embargo, algunos agricultores siguen cultivando en los *huachaques* (Schjellerup, 2009). Los pescadores de Huanchaco, unos kilómetros al norte, siguen abriendo más campos para sembrar totoras, el ingrediente principal para fabricar sus botes tradicionales (caballitos) de pesca. Los *huachaques* chico y grande en la pampa Alejandro de Chanchán y los de Choroval, unos 25 km al sur, están siendo usados hoy, no solamente para sembrar totoras, sino también para las hortalizas. Ellos siembran cada planta, en un hoyo de algunos centímetros de profundidad –lleno de agua– para que no le afecte la salinidad. La sal se queda depositada en la orilla del hoyo cuando se evapora el agua. Pero, en la actualidad, alguna gente bombea el agua que se encuentra dentro de los huachaques, lo cual está afectando este sistema frágil de cultivo.



Sembrío en hoyadas de *huachaques*, Chanchán, Trujillo, Perú.
(Cortesía de Juan Piminchumo, Trujillo, Perú).

La investigadora Schjellerup (2009) menciona un esquema similar en Argelia para cultivar palmas de dátiles en ese desierto. Otros investigadores han encontrado situaciones parecidas en España y en la isla de Guam.

El uso del agua subterránea para el consumo de los seres humanos y de las plantas ha sido muy común en la Antigüedad, mediante abundantes técnicas ingeniosas. Con los grandes avances de la ciencia y la ingeniería geológica, hoy tenemos muchas herramientas para perfeccionar esas técnicas y minimizar sus aspectos de incertidumbre. Sin embargo, vemos con mucha tristeza, que en la actualidad se considera el agua subterránea como un recurso para explotar y extraer, dejando de lado los aspectos de su alimentación y cuidado.



CAPÍTULO 7

¿Cómo aprovechamos mejor el agua?

En los capítulos anteriores conversamos acerca de las tecnologías que nos ayudan a captar lo máximo del agua superficial y subterránea. Ahora analicemos cómo aprovechar mejor el agua captada para que nos alcance hasta la siguiente temporada de lluvias.

En los diferentes usos que vamos a dar al agua, debemos pensar cómo podemos ahorrarla y cómo reusarla (reciclarla). Si hemos atrapado la escorrentía en nuestro predio de cultivos o si lo hemos regado, también debemos pensar en cómo conservar la humedad en el suelo.

7.1 Ahorrar el agua

Ahorrar el agua significa no desperdiciarla. El desperdicio ocurre, por un lado, por consumir más agua de la necesaria (por personas o cultivos). Si reducimos el consumo, se reduce la cantidad de agua que debemos captar. Por otro lado, existen muchas pérdidas en los sistemas de agua: durante la conducción hasta su almacenamiento, en el almacenaje y durante su distribución en el sitio de aprovechamiento. Debemos esforzarnos para minimizar estas pérdidas, porque todo lo que se pierde en el camino, se suma a la cantidad que necesitamos captar. Entonces, ahorraríamos no solamente agua sino también el costo de las obras.

Otra forma de ahorrar agua es preocupándonos de no contaminarla durante su uso, porque esto nos permite recuperar y reusar esa misma agua para otro fin.

Consumir menos agua

Para las necesidades humanas, usamos menos de una décima parte del agua que ocupamos para la agricultura. Sin embargo, la purificación del agua para el consumo humano y su distribución domiciliaria requieren gastos muy altos. Por lo tanto, cualquier reducción del consumo de agua en nuestras casas, también significaría un ahorro enorme en dinero para todos los usuarios del sistema de agua.

Las comodidades modernas hacen que el consumo de agua en las ciudades sea más del doble comparado con los sectores rurales.

En tiempos pasados, ninguna ciudad disponía de suministro domiciliario de agua de consumo, salvo el agua de lluvia que almacenaba cada hogar. La gente acudía a las piletas centrales a recoger agua para beber; y a los baños públicos para sus necesidades de aseo, lo que reducía muchísimo el consumo. No creemos que para ahorrar agua, los ciudadanos dejarán estas comodidades a las cuales ya están acostumbrados. Por eso, hoy se promueven muchas prácticas que reducen el gasto de agua, sin afectar sus comodidades. Usar inodoros que consumen menos agua, usar un urinario en vez de inodoro para los hombres, el uso de inodoros secos (Drytoilet, sin fecha) y el reciclaje de aguas usadas para los huertos, son algunas de estas propuestas para ahorrar agua.

Antes,
las fuentes y piletas
eran sitios de tertulia, ahora
son solo para las fotos.



En el campo, si se prevé una larga sequía, es mejor planificar desde el inicio la siembra de cultivos que consumen menos agua, para reducir la demanda de riego. Cada cultivo requiere cierta cantidad de agua para una producción óptima. Calculando la cantidad de agua disponible para la temporada siguiente, podemos analizar los riesgos. Si en una sequía, sembramos un cultivo de alto valor que necesita mucha agua, perderíamos toda su producción. Lograr un producto de baja calidad, regando poca agua tampoco nos rendirá económicamente. En cambio, un cultivo de mediano valor, que resiste mejor la sequía, podría lograr una producción óptima y darle al agricultor un mejor rendimiento.

La práctica de los campesinos del altiplano peruano en sembrar granos en vez de papas en un año seco (Chuyma Aru, 2007) ahorra no solo el agua, sino también sus esfuerzos físicos, recursos monetarios y sus frustraciones. Más que todo, una buena cosecha de granos mejorará su ganancia. En el sureste de Turquía donde el agua de riego es muy escasa, los campesinos optaron por sembrar azafrán en vez de algodón en sus predios. Con azafrán la demanda de riego se redujo en un 90 % (Drynet, 2008?).

Consumir menos agua de regadío, también implica reducir las pérdidas por evaporación y por infiltración profunda. En una sequía fuerte, la prioridad es mantener vivos nuestros cultivos. Y con la poca agua que captamos, no podemos darnos el lujo de recargar el agua subterránea ni dejarla evaporar. Hay que lograr que toda el agua de riego sea absorbida por las raíces. Entonces, además de regar solamente en la zona de raíces (que vamos a discutir bajo el tema Reducir pérdidas en la distribución), necesitamos preparar el suelo para que retenga la humedad durante el mayor tiempo posible (que será analizado en la Sección 7.3)

Sí, sí,
siembren más granos.
Eso consume menos agua y da
más proteína.



Reducir pérdidas en la conducción, el almacenaje y la distribución

Hemos observado que en los sistemas de agua de consumo en las ciudades, así como en los canales de regadío en el campo, existen enormes pérdidas en el proceso de conducir el agua de un lugar a otro. Las pérdidas en las tuberías ocurren por sus malas conexiones y por las roturas debido a altas presiones en los tubos y el paso de vehículos pesados. En los canales, la evaporación y la infiltración contribuyen a las pérdidas.



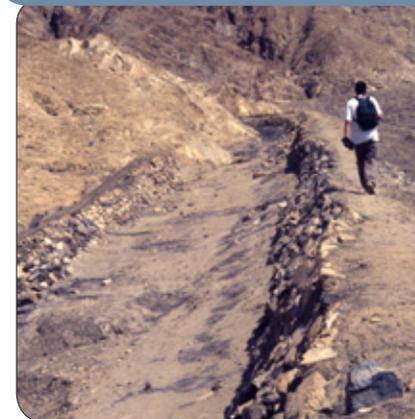
Pérdida de agua en una tubería, también ingresa basura al tubo por el mismo desperfecto. Licto, Riobamba, Ecuador.

En los capítulos anteriores conocimos que la evaporación nos ayuda a recibir más lluvias y la infiltración recarga el agua subterránea. Entonces, ¿por qué consideramos estas dos posibilidades ahora como pérdidas? Aquí, estamos discutiendo sobre el aprovechamiento del agua ya captada. En su captación hemos gastado recursos y debemos usar todo el caudal para cumplir con el objetivo principal. Si el objetivo de la captación fue la recarga de agua subterránea, toda esa agua debe ser conducida hasta el sitio designado, sin que haya pérdidas en el camino.

La pérdida de agua por evaporación en un canal se puede minimizar diseñándolo para que tenga una profundidad de agua mayor que su ancho.

Desde los tiempos antiguos, la filtración de agua en los canales de tierra ha sido un problema. Cuando la fuente no tenía mucha agua o cuando tenían que conducirla muy lejos, nuestros antepasados trataron de minimizar las pérdidas, revistiendo sus canales. Por otro lado, la importancia de llevar el agua limpia para el uso en las ceremonias, por ejemplo, también imponía la necesidad de revestir el canal. El revestimiento se realizaba principalmente con piedras, unidas con barro o cemento.

IZQ: Canal de riego intervale de los chimu, 80 km de largo, revestido de piedra, Trujillo, Perú.
DER: Canal de agua para centro ceremonial incaico de Tipón, Cuzco, Perú.



Actualmente, disponemos de muchas más opciones para conducir el agua sin desperdiciarla. Las tuberías ayudan a eliminar casi totalmente el desperdicio y a tener el agua limpia. Si sus costos son demasiado altos, podemos optar por revestir los canales. En el orden de su costo, los materiales que se pueden usar para el revestimiento son: terrocemento, plástico, ladrillo, piedra, geomembrana y hormigón.

Abdón Flores
Andamarca, Ayacucho, Perú.



Cuidamos el canal en forma tradicional. Lo mejoramos con arcilla... La comunidad va donde hay arcilla y se carga y se pisotea para proteger el canal.

En este análisis de costos, también se deben considerar algunos criterios más. Un canal semicircular permite conducir más agua que un canal rectangular o trapezoidal (con lados inclinados) porque la fricción en sus paredes es menor; y el terrocemento es el revestimiento más adecuado en este caso. Para colocar materiales delgados como plástico o geomembrana se necesita construir el canal con lados inclinados.



Los tres canales son del mismo tamaño pero el canal semicircular lleva más agua.



Canal semicircular revestido de terracemento, Mercedes Cadena, Guamote, Ecuador.

Para evitar taponamientos o contaminación en la conducción del agua, una tubería tal vez sea la solución más económica. Pero, si el caudal es muy grande, un canal cubierto será más barato. Constrúyanlo con paredes verticales revestidos de ladrillo, piedra u hormigón y coloquen como cubierta tapas prefabricadas de hormigón o piedra laja.

El hormigón y los ladrillos tienen un alto costo de acarreo a los lugares donde no hay acceso vehicular. Para el terracemento se

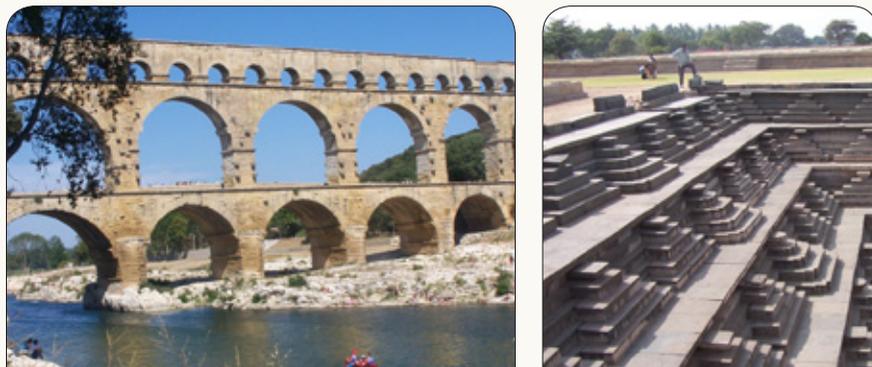
puede usar cualquier tipo de tierra seca, que es el material más fácil de conseguir. La porción de cemento que se mezcla no es muy alta, cerca de 5 % del volumen de tierra (cemento: tierra - 1:20). Si existen bastantes piedras cerca del canal, el costo del revestimiento con piedras también se reduce.



Canal de riego revestido de piedras bajo técnicas ancestrales por la Asociación Andina Cusichaca, Pampachiri, Apurímac, Perú.

Si el canal fluye con alta velocidad, los mejores materiales para revestir serán bloques de piedras, hormigón o geomembrana. El terracemento y la mampostería de ladrillo resisten velocidades medianas.

Considerando la durabilidad, mucha gente prefiere el revestimiento de hormigón, pero ese argumento tiene una falla grave. Si el canal queda seco varios días seguidos, el hormigón se comienza a fisurar por las diferencias de temperatura entre día y noche, especialmente en el altiplano tropical. Su reparación es sumamente costosa. En cambio, el revestimiento de bloques de piedra sin cemento, como usaron los incas –por ejemplo– nos ha demostrado su larga durabilidad (Kendall, 2008). El terracemento tiene la ventaja de que cualquier desgaste o fisura se puede reparar rápidamente, sin mayor costo. La exposición al sol por largo tiempo también destruye rápidamente el plástico y la geomembrana.



IZQ: Acueducto romano construido de bloques de piedra, en Roman Gaul, Francia.
DER: Reservorio público, revestido de bloques de piedra, del siglo XV, en Hampi, Karnataka, India.

Acerca de las pérdidas de agua que ocurren en un tanque, ya conversamos en detalle en el Capítulo 5. Antes de construirlo, se debe tomar una decisión sobre la necesidad o no de su revestimiento. Y, si se desea revestirlo, con qué material. Investigar previamente sobre el tipo de suelo en el fondo también ayudaría mucho. El espejo de agua del tanque, su profundidad y la inclinación de sus taludes, todo se determina según esa decisión. Porque después de construido, sus opciones de revestimiento son muy limitadas y pueden ser muy costosas.

La mayor pérdida de agua en un sistema ocurre en el proceso de distribución. En los sistemas de agua de consumo humano, los diseños raramente logran una repartición equitativa y justa entre los diferentes sectores: altos y bajos, lejanos y cercanos, ricos y pobres. Logran una equidad de distribución al inicio, pero la acelerada urbanización no planificada la desequilibrará pronto. Entonces, ocurren muchas roturas y robos en las conducciones que resultan en pérdidas enormes de agua.

Esta situación es un reto para los diseñadores, porque tienen que sobredimensionar las tuberías y sus controles en las redes principales aunque los presupuestos siempre están ajustados. Por lo tanto, cualquier expansión del sistema debe ir acompañada de incentivos por reducir el consumo domiciliario y multas por su desperdicio.

En el regadío, raramente repartimos el agua según la necesidad de cada sector de cultivo. El requerimiento de agua de una planta varía según la calidad del suelo, el tipo de cultivo y su estado de madurez. Ella puede extraer solamente las gotas que están cerca de sus raíces y todo el resto se pierde por infiltración.



Regadío por inundación en andenes del Valle del Colca, Chivay, Arequipa, Perú.

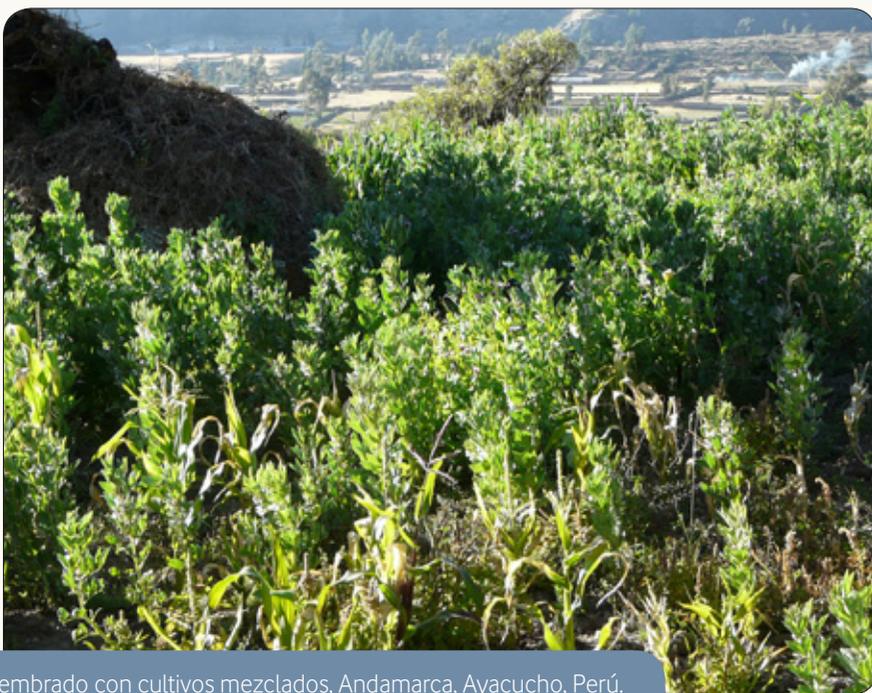


Detalle.

Una opción es dividir la cama de cultivo en varios sectores, regar uniformemente cada sector y sembrar allí un solo tipo de cultivo. En Mesoamérica, se divide un tablón (una cama), mediante pequeños bordos en varios cajetes (algunos no más de 50 cm x 50 cm), donde el regadío se realiza manualmente (Wilken, 1987). En Cabanaconde, Valle de Colca, en Perú, los lotes están divididos en cochas, planicies delimitadas con bordos de piedra. El regadío se realiza inundando toda la cocha, pero cada 90 días. El maíz que se siembra en estas cochas ha adquirido una suavidad y un sabor único y sus productores ya tienen un nicho especial en el mercado.

Los regantes de andenes (terrazas) de Andamarca, Ayacucho, Perú, usan otra estrategia: sembrar varios cultivos en el mismo andén, colocando las semillas según su requerimiento de agua. Al pie de cada

muro del andén siempre se puede esperar mayor humedad, porque inmediatamente detrás del muro hay buen drenaje. Allí siembran las habas. El calor que emiten las piedras de los muros también las protege de heladas. La arveja, que no requiere mucha humedad, se siembra en la cabecera (filo) del muro. El maíz y otros productos se siembran en el medio. Se organiza el tiempo de cada siembra de tal manera que el riego (de cada 45 días aproximadamente) provea lo que necesitan todos los cultivos, aunque se encuentran en diferentes estados de madurez.



Andén sembrado con cultivos mezclados, Andamarca, Ayacucho, Perú.

Melanio Huamaní

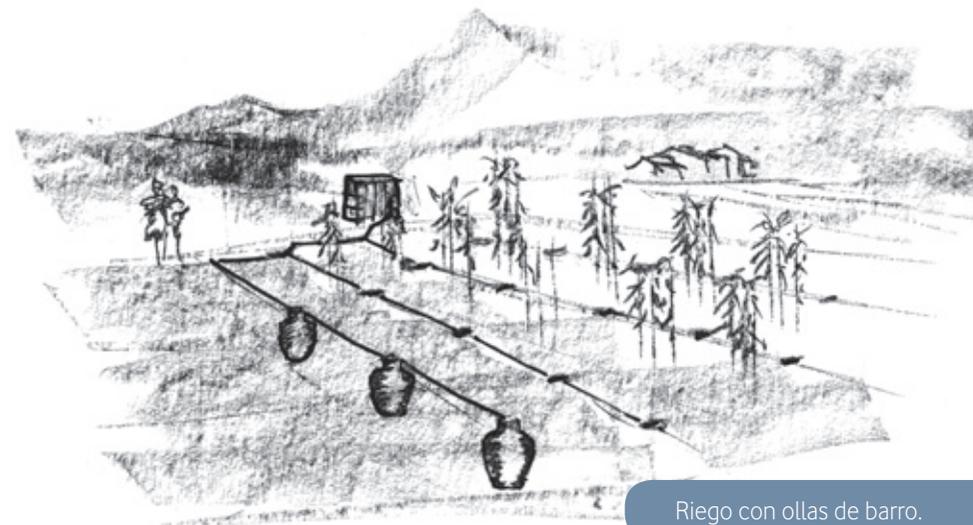
Andamarca, Ayacucho, Perú.



En el andén sembramos mezcladito: habas, arveja, vicia, quinua... porque hay años en que puede haber perdidas... En la parte ribera sembramos arveja, después sembramos maíz al voleo, y en el rincón ponemos habas, porque el haba necesita mucha agua... Allí filtra agua del andén anterior... Y cuando se desarrolla el andén, se ve lindo.

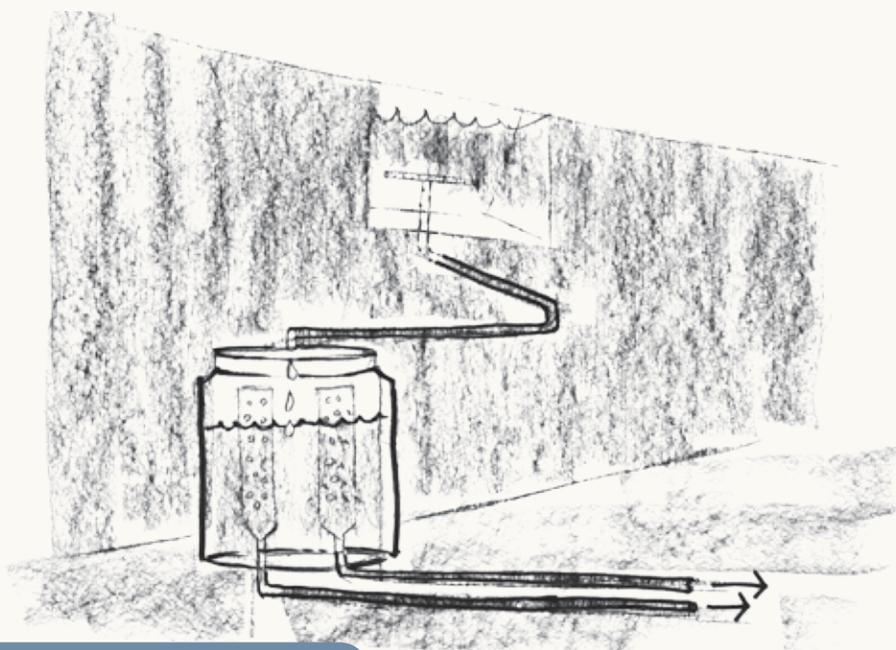
Existen diferentes formas de regadío que se pueden aplicar sin desperdiciar el agua, si disponemos de mano de obra y tiempo. En Guatemala, el riego manual con recipientes como cántaros es muy popular. Eso puede ser económico especialmente para plantas frutales. Asperjar el agua sobre los cultivos usando una pala o una palangana de calabaza, desde un canal o un charco, es otra práctica bastante común (Wilken, 1987).

En siembras distanciadas, también se puede colocar agua en una olla de barro, enterrada entre un círculo de plantas, lo cual minimiza las pérdidas por infiltración y evaporación. El mismo mecanismo se puede ampliar sembrando una serie de ollas conectadas entre sí, mediante tuberías. Un tanque puede mantener las ollas siempre llenas, si se coloca una llave de regulación en su salida (UNEP, 1997).



Riego con ollas de barro.

El riego por goteo permite entregar agua en cantidades bien calculadas y controladas. Por eso, requiere menos de una quinta parte del agua que gasta el riego por inundación. Aunque es costoso, en tiempos de escasez, el goteo logra el mejor provecho económico y productivo del agua. Al costo de las tuberías y de sus goteras, hay que agregar el costo de almacenar el agua, porque el regadío debe ser muy frecuente, dependiendo del estado de madurez de la planta. Además, se requiere una filtración fina del agua para evitar el bloqueo de las goteras. Este sistema funciona con una presión baja, entre 5 y 10 m de altura de agua.



Filtración rústica de agua para goteo.



Riego por goteo y filtro moderno para goteo, San Ignacio, Toacaso, Cotopaxi, Ecuador.



Cuando se dispone un poco más de presión de agua, se puede organizar una variación criolla del goteo. Podemos conducir el agua a cada cama con una tubería flexible de $\frac{1}{2}$ " , cerrada en un extremo, se entrega agua mediante perforaciones hechas con un clavo, más o menos a cada metro. Este sistema ofrece más agua al grupo de plantas alrededor de cada perforación, y por lo tanto, no se requieren riegos muy frecuentes. No se necesita un alto nivel de filtración de

agua tampoco porque las perforaciones son más grandes. Las pérdidas por evaporación e infiltración pueden ser mayores que en un goteo fino, pero son mucho menores que el riego por inundación.



Una versión criolla de goteo, Santa Lucía de Tembo, Guano, Ecuador.

Regar por aspersión requiere una presión mayor. Cuando los aspersores son grandes, se necesita una presión alta y un caudal mayor. El área que cubre cada aspersor se incrementa, pero también el porcentaje de pérdida de agua. Aspersores pequeños necesitan agua con un nivel de filtración cercano al de goteo. En general, se estima que el riego por aspersión requiere casi el doble de volumen de agua que el de goteo, en contraste, su instalación y mantenimiento cuestan menos de la mitad. La desventaja de la aspersión es que no podemos usarla en un tiempo muy soleado, porque estaríamos creando un ambiente parecido al efecto de lancha. Asperjar agua en las noches de heladas, en cambio, puede prevenir los daños en los cultivos.

M. Marcial Sulca

Coporaque, Arequipa.

Estamos buscando las formas de usar agua mejor. Aquí, me parece, que lo más efectivo es riego por goteo, porque en esta zona hay vientos muy fuertes. (Usando aspersión,) ¿qué hago contra el viento?



Regadío por aspersión, Santa Lucía de Tembo, Guano, Ecuador.

No contaminar el agua

Como dijimos al inicio de este capítulo, el agua puede tener varios ciclos de uso (reciclaje); cada vez, en una actividad que tolera agua de menor pureza. Sin embargo, en las casas usamos muchos productos químicos contaminantes como

aceites y jabón, que no nos permiten reciclar esa agua. El empleo de productos que no contaminan tanto (o biodegradables) o el uso cuidadoso de los productos químicos podría evitar el desperdicio del agua usada.

Los artesanos también ocupan diferentes productos químicos, que tal vez mejoran la calidad de sus productos y aumentan sus ganancias, pero contaminan más nuestra agua, nuestro suelo y hasta nuestra propia vida. La misma situación prevalece en las grandes industrias, pero con un nivel de contaminación mucho mayor, debido a sus altas descargas. Si todos hacemos un esfuerzo consciente y tenemos más cuidado de no contaminar el agua, podríamos ahorrar grandes volúmenes y, por ende, muchísimo dinero.

La agricultura actual ocupa químicos muy contaminantes y hasta peligrosos para la salud del productor y del consumidor. El agua que se drena de un lote, no puede ser usada por el vecino de más abajo, por miedo de que contamine su cultivo. Eliminar estos residuos químicos es muy costoso. En cambio, si todos ocupamos productos orgánicos (o naturales) en nuestros cultivos, todos podemos beneficiarnos de las aguas de drenaje. Los beneficios para nuestra salud vienen por añadidura.

Las técnicas agroecológicas intentan crear un ambiente sano, diverso y holístico en el campo, como era en los tiempos antiguos (Infante y Fuentes, 2004). Si recuperamos los conocimientos de nuestros mayores sobre cómo controlar las plagas y aumentar la producción, podemos obtener comidas sanas, contaminando menos nuestra agua y nuestro ambiente.

Melanio Huamaní

Andamarca, Ayacucho, Perú.

Todo nuestro cultivo no vendemos, es para nuestra alimentación todo el año. Nosotros cultivamos con majada de alpaca y llama, y usamos semillas nativas. No han aparecido plagas en la comunidad... Hay Biol para fumigar las plagas de la papa.



La contaminación causada por la producción pecuaria también es muy significativa. Antes, conversamos acerca de la importancia de no permitir que sus animales beban agua en pozas naturales. Construir un abrevadero al lado, le permitirá ocupar esa misma agua por más tiempo y también mantener sus animales sanos.

El lavado de los establos agrega grandes concentraciones de nutrientes a los cursos de agua, causando proliferación de malezas que reducen su nivel de oxígeno disuelto. Si dejamos de ocupar químicos en la crianza de los animales, todo el lavado podríamos convertir en abono. Podemos atrapar los sólidos y limpiar el agua usando plantas acuáticas, sin mayor costo.

Si no puede evitar el uso de químicos en el establo, existen otras estrategias para no contaminar el agua. Algunos animales como los chanchos, no necesitan un establo grande, solo una madriguera para su descanso. Colocando una madriguera móvil en un corral abierto, se soluciona el problema de contaminación de agua y, al mismo tiempo, se logra abonar el lote (Haro, 2012). Si desea mantenerlos en un corral techado, se puede colocar tierra u hojarasca seca en el piso (Proyecto Río Ceibas, 2012). Así evitamos usar y contaminar agua en su limpieza.



Gallinero móvil en CET BIOBIO, Yumbel, Concepción, Chile.

Las piscinas acuícolas descargan sus desperdicios continuamente, y en grandes cantidades, a los cursos de agua. Actualmente existen productos orgánicos para la producción acuícola. Esto permite limpiar y reciclar el agua dentro de las mismas piscinas, ahorrando mucho dinero para el productor. El uso continuo de productos químicos contaminantes en acuicultura es una irresponsabilidad.

Iván Correa
Lorica, Colombia.



El agua de la ciénaga era apta para tomar. Utilizábamos tinajas grandes hechas en barro... Antes de almacenarla la tratábamos para bajar la materia en suspensión. Utilizábamos tunas, las partíamos en pedazos... Y esos pedazos recogen las partículas de sólidos... La dejaba clara el agua y daba un sabor especial. Y ahora no hay agua potable...

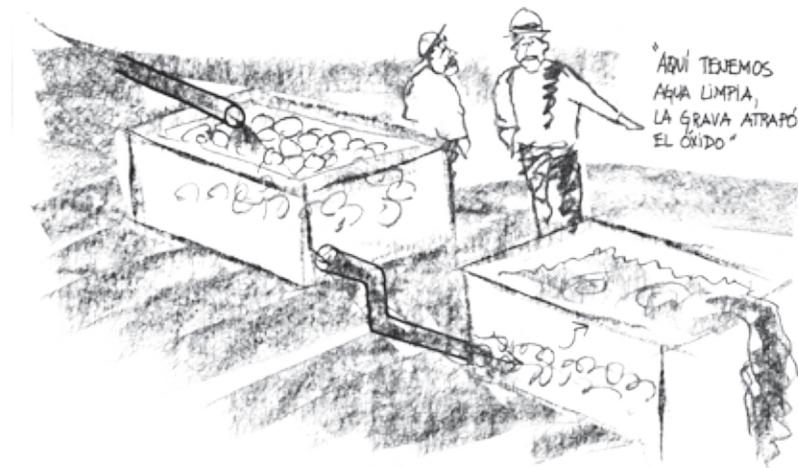
7.2 Descontaminar el agua. Reciclar el agua usada

En zonas donde no hay otras fuentes de agua, nos toca limpiar el agua contaminada. El agua contaminada con el hierro (como vimos en la Sección 1.3) se puede limpiar con más oxigenación. Cuando el agua corre largas distancias saltando y chocando contra las piedras, el hierro se oxida mejor. Después, en un tanque de filtración con arena, podemos atrapar el hierro oxidado y limpiar esa agua. La otra forma es oxigenar el agua artificialmente, por ejemplo, con cloro.



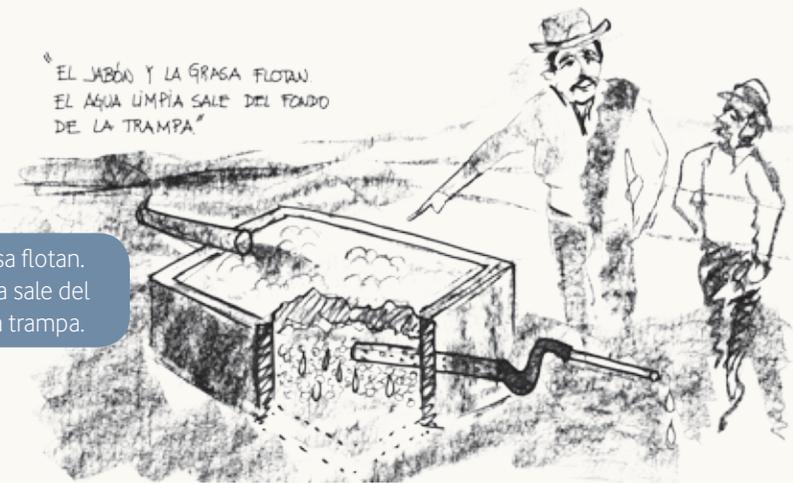
Mira, el agua, al chocar contra las piedras, hace espuma. Así se oxigena.

Aquí tenemos agua limpia, la grava atrapó el óxido.

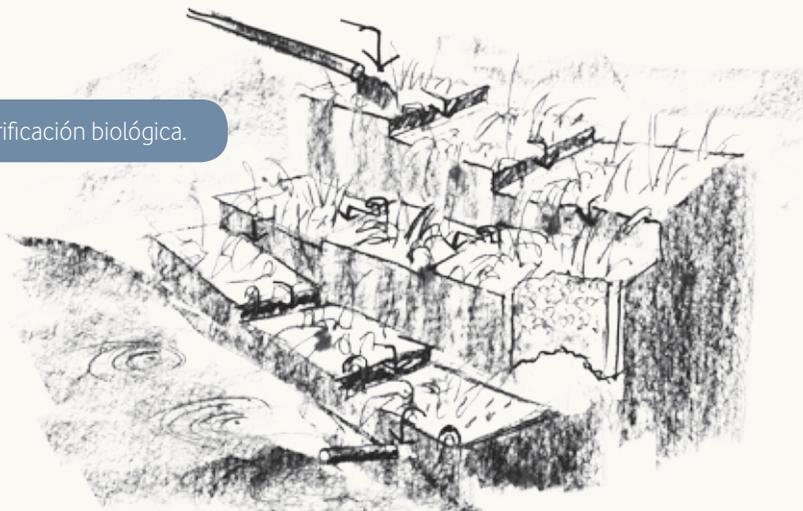


La oxigenación natural o artificial combinada con filtración puede ser suficiente para limpiar el agua con ciertos niveles de contaminación. Cuando está muy contaminada con tóxicos desconocidos, se debe

buscar apoyo técnico para diseñar un mecanismo económico y seguro de limpiar el agua, especialmente para el consumo humano. Si separamos el agua usada, según su nivel de contaminación, nos ayuda a reducir los costos de su limpieza. En una casa, el agua de la cocina, la ducha y el lavarropas (**aguas grises**), puede ser reutilizada sin mayores gastos, si tomamos el cuidado de no contaminarla innecesariamente. La espuma del jabón, las grasas y otros desperdicios se pueden atrapar en un cajón.



El jabón y la grasa flotan. El agua limpia sale del fondo de la trampa.



Tanques de purificación biológica.

Después, podemos dirigirla hacia una serie de tanques con plantas acuáticas para purificarla biológicamente. Llenamos los tanques a más de la mitad con material filtrante como grava y sembramos las plantas encima. Aquí se puede usar cualquier planta acuática que

crece bien en su zona. Se deja caer el agua que ingresa sobre la capa de grava. Pero el agua que sale de cada tanque debe ser recuperada desde el fondo de la capa de grava, mediante un tubo.

El jabón y los detergentes que usamos en la casa pueden contener ciertos minerales en cantidades que dañan a los seres vivos acuáticos, destruyendo el sistema de purificación biológica. Si deseamos reusar las aguas grises, debemos esforzarnos para usar jabones y detergentes biodegradables (que no dejan contaminantes al final del tratamiento biológico). Si no, se los debe usar en cantidades mínimas. El cloro y los suavizantes de ropa no se deben usar en el agua que se recicla.

El volumen total de los tanques debe ser suficiente para que el agua que ingresa demore, al menos, unos 3 a 4 días antes de salir. De esta manera, el agua reciclada tendrá una calidad aceptable para regar el jardín o el huerto.

Elio Cantos

Membrillo, Ecuador.



Tenemos 5 a 6 meses de sequías en Membrillo. Yo hago el reciclaje de aguas. Tenemos una planta donde reciclo el agua de los baños y lavabos, y esa agua me sirve para el huerto y el cacao.

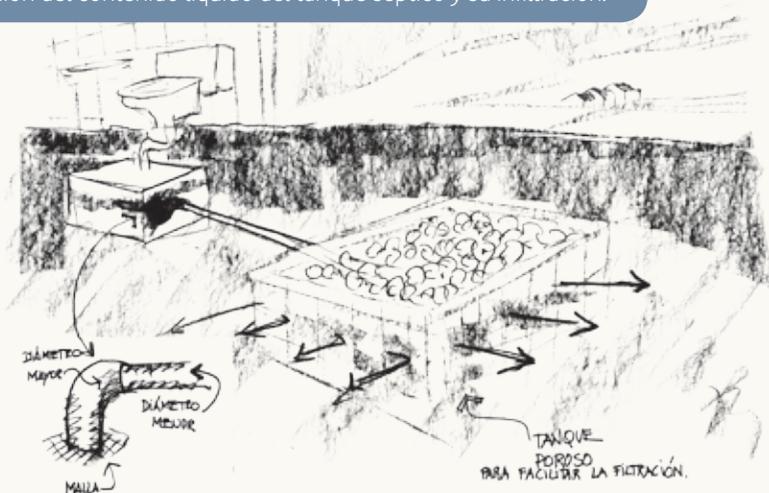
El agua que se descarga del inodoro de la casa se denomina **agua negra**, para diferenciarla del agua gris. En las ciudades, no se separan estas dos aguas y todas se descargan en el colector que llamamos **de aguas servidas**. Sin embargo, en los barrios marginales y en las comunidades rurales, existe la posibilidad –y la necesidad– de separarlas y reciclarlas, porque no hay colectores. En estas localidades, disponemos muchas veces de un tanque séptico para recoger las aguas negras. Los tanques sépticos convencionales son muy problemáticos en lugares donde el agua subterránea es alta, porque se llenan pronto, y tenemos que reemplazarlos.

Se puede modificar un tanque séptico para que tenga una vida mucho más larga. Necesitamos, para eso, excavar otro tanque al

lado y conectarlo a media altura del tanque existente, mediante un tubo de desagüe. Justo en la entrada de este tubo, debemos colocar una trampa para impedir que entren sólidos al tanque nuevo.

En una zona seca con suelo arenoso, podemos permitir que ese líquido se infiltre desde la base del tanque nuevo, cuidando de que no exista un manantial a 25m de distancia. En este caso el tamaño del tanque debe ser lo suficientemente grande para que infiltre todo el caudal que entra. En el piso se puede colocar una capa de arena y encima ripio, para que los sólidos finos que logran ingresar al tanque nuevo no bloqueen la infiltración con el tiempo.

Separación del contenido líquido del tanque séptico y su infiltración.



Hay situaciones donde la infiltración de aguas negras no es viable: nivel freático alto, suelo muy compacto o existencia de manantiales cercanos. Allí, se puede optar por purificar biológicamente esa agua. El segundo tanque ahora se debe revestir para que funcione solamente como una trampa para los sólidos finos. El agua que sale filtrada se conduce a un canal lleno de plantas acuáticas.

Este canal debe ser de poca pendiente para que las plantas tengan suficiente tiempo de absorber los nutrientes. Y la longitud del canal debe ser tal que el agua que sale sea apta para el regadío o para descargarla en un cuerpo de agua. El inicio del canal debe estar lejos de los manantiales para que la filtración de aguas negras no afecte su calidad. Cuando no se permite el ingreso de los sólidos del tanque séptico al canal, no se producen malos olores.

Este tipo de tanques de filtración, o canales de purificación biológica, también puede ser usado para descontaminar las descargas de los establos o de las piscinas acuícolas (Pedraza *et al.*, 2008). Las descargas de los establos tienen muchos sólidos que necesitarán una descomposición fuerte antes de utilizar los sistemas de filtración o de purificación biológica. Por eso se recomienda utilizar biodigestores de flujo continuo (Chará, 2002; Pedraza y otros, 2002), que además produce gas natural que se puede aprovechar en la cocina.

Sandra Giraldo

El Dovio, Colombia.



Para descontaminar el agua, hicieron un canal, porque el correteo largo es el que permite que se vaya quedando el material de manera paulatina. Lo que hacen las plantas es tomar los nutrientes. Hay un porcentaje alrededor del 95 % de descontaminación.



Canal de purificación biológica y su sección.

7.3 Conservar la humedad en los cultivos

En el Capítulo 5 conversamos sobre cómo atrapar el agua en el suelo mediante infiltración. El agua así almacenada se quedará más tiempo en la zona de las raíces de los cultivos, si acondicionamos adecuadamente la capa vegetal del suelo.

Un suelo más arenoso tiene muchos poros entre sus partículas y deja escapar fácilmente al agua, por arriba como vapor; o por abajo, mediante infiltración. Un suelo más arcilloso, en cambio, retiene más agua, pero sus partículas muy compactas pueden formar charcos y ahogar las raíces. También pueden impedir el paso de las gotas hacia las raíces y secar las plantas.

Una consistencia intermedia del suelo, entre arena y arcilla, con más material fibroso, produce una capa vegetal óptima para la retención de agua. La incorporación de materia orgánica, además de aumentar los nutrientes en el suelo, ayuda a retener el agua. La majada de animales, abonos verdes de plantas leguminosas, compost, humus, todos sirven como materia orgánica de fácil incorporación.

Manuel Vidal

Camachal, Ecuador.



Tiempo de antes nuestros padres hacían sus eras (huerto) en alto... Ponemos en las eras la tierra de cacao como abono orgánico... nosotros decimos tierra de montaña.

Las terrazas que se forman por la acumulación de escorrentía son buenos retenedores de agua, porque atrapan suelo arenoso o limoso. Pero, si dejamos empozar mucho tiempo la escorrentía, se deposita más arcilla.

Las terrazas de tipo escalinata, se construyen rellenándolas con materia orgánica y tierra limosa. A pesar de la columna de material filtrante que se coloca pegado a su pared, estas terrazas conservan mucho tiempo la humedad.

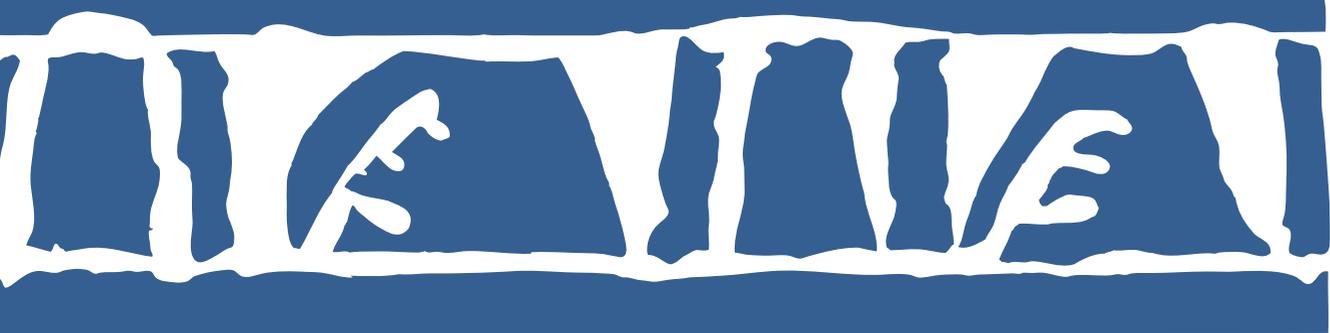
Para conservar la humedad en el suelo, se debe reducir también la evaporación. Como vimos anteriormente, el viento la acelera. Largas filas de árboles estratégicamente ubicadas sirven como cortinas rompeviento. Para aumentar su efectividad se deben incluir arbustos en estas filas, porque reduce el movimiento del aire cerca del suelo. En las camas de cultivo, puede mejorarse este efecto sembrando filas de plantas variadas, de diferentes alturas.



Barreras rompeviento con arbustos y árboles en Santa Lucía de Tembo, Guano, Ecuador.

La temperatura del suelo también controla la evaporación. Cubriendo el suelo entre los sembríos se logra disminuir el calentamiento por el sol y mantener alta la humedad cerca de la superficie. La siembra de rastreras como zambo o zapallo entre los cultivos altos cubre el suelo del sol sin afectar a la producción principal. También pueden usar hojarasca, aserrín, cascara de arroz y hasta grava, cualquier material que esté disponible en cantidades suficientes en la localidad y que no afecte negativamente a los cultivos (Infante y Fuentes, 2004).

Todas las técnicas, ancestrales y modernas, que hemos descrito en este capítulo, nos ayudarían a sacar el mejor provecho del agua captada, en el campo agrícola y también en su uso urbano. Hemos recomendado el uso de ciertos materiales y tecnologías específicas para cada aspecto del aprovechamiento del agua con el fin de facilitar la explicación, sin embargo, reiteramos que analice todas las ventajas y desventajas que trae un material o una tecnología en todo su proceso de aprovechamiento de agua, antes de decidir en su uso final. El agua es el elemento esencial para la vida. Entonces, la armonía con el ambiente y la sociedad y la economía en los recursos disponibles deben primar en su decisión sobre cómo aprovecharla mejor.



CAPÍTULO 8

Adaptémonos al cambio

Como dijimos al inicio de esta guía, para adaptar nuestra forma de vivir a los tiempos de cambio necesitamos investigar y observar, realizar experimentos y aprender de los resultados. No tiene sentido copiar una práctica que ha dado resultados en otros lugares u otros tiempos, porque el clima va a variar. Ustedes dirán: *¿Investigar? ¿Hacer experimentos? Son tareas para los técnicos, después tienen que enseñarnos. Nosotros no somos profesionales, somos campesinos.*

Todos los que cultivamos, somos profesionales del campo. Somos buenos para observar e investigar. Si una planta no está creciendo bien o un animal no está comiendo bien, no vamos a correr buscando al técnico enseguida. Primero intentamos acordarnos de experiencias similares y buscamos cómo ayudar a la planta o al animal. Si no recordamos nada, conversamos con un vecino. Eso es investigar. Eso es realizar experimentos. No necesitamos títulos para realizarlos.

En los capítulos anteriores hemos visto cómo nuestros antepasados superaron condiciones climáticas difíciles sin ninguna de las herramientas de las que disponemos hoy. No necesitamos retroceder tanto para buscar ejemplos: los pescadores y agricultores de ASPROCIG, de Lorica, Colombia, nos pueden enseñar cómo ellos se están adaptando a un cambio climático no menos drástico que el que todos tememos.

Las autoridades colombianas decidieron asesinar al río Sinú, en 1999, a pesar de las numerosas protestas populares: para satisfacer los pedidos de unos pocos y poderosos, bloquearon su paso con la Represa URRRA I (Yapa, 2003). Esto, de la noche a la mañana, causó un cambio total en las vidas de todos los pobladores del bajo Sinú. Muchas familias fueron forzadas a seguir el camino típico: desplazamiento, hambre y miseria.

Unas pocas, como los socios de ASPROCIG, decidieron resistir, sobrevivir y superar la crisis. Desde entonces, estas familias están en

un proceso continuo de aprendizaje, con experimentos de prueba y error. Los constantes cambios –sin aviso– del nivel del río, el secamiento de las ciénagas y las invasiones frecuentes de aguas salinas son algunos de los problemas que enfrentan diariamente.

Iván Correa

Lorica, Colombia.



Los estudios para la URRRA I no tomaron en cuenta el pescador. Para ellos, la ciénaga no era sustentable para las comunidades. El Proyecto URRRA definió que los humedales no producían nada. Para nosotros la ciénaga era la vida... De eso ha quedado desolación... Ahora no existen los senos familiares por el desplazamiento masivo de mujeres a los centros urbanos a trabajar... Sufrimos mucho. Esperábamos que el gobierno liberara tierra. Fueron los terratenientes los que tomaron más tierras porque tenían más posibilidades para desecar la tierra y nosotros tomábamos las tierras más bajas que no se secan pronto

La erosión de la ribera que pelagra las viviendas de la Vereda Playón, Lorica, Colombia.



Piscinas acuícolas y camellones agrícolas de ASPROCIG, Vereda Playón, Lorica, Colombia.

La voracidad y codicia infinita de los poderes oscuros detrás de todos estos sucesos, les obligan a ser innovadoras en sus procesos de adaptación.

Iván Correa

Lorica, Colombia.

Nosotros buscamos alternativas... Somos propositivos... En el espejo de agua (de piscinas) hacemos acuicultura y en los camellones la agricultura. El agua de piscicultura renovada va al riego. Manejamos seis clases de plantas para la alimentación. El excedente va hacia una tienda y se comercializa a precios por debajo del mercado. Son 100 % sin químicos.

Nosotros hacemos tertulias donde se maneja el diálogo de saberes. Cada uno comenta qué abonos usa... Es un proceso investigativo que se lleva más allá de las experiencias. Aquí el trabajo hace toda la familia... Se juega un papel importante con niños y adolescentes. Hay intercambios de experiencia entre una comunidad y la otra, y nos fortalece más para ir adaptándonos a estos cambios bruscos.

En los años 1990, la grave crisis de agua que experimentaron las familias de la vereda Bellavista del municipio El Dovio, Valle del Cauca, Colombia, no fue en la misma escala de los de ASPROCIG, tampoco fue por culpa de agentes externos (Giraldo *et al.*, 2005). Tal vez, por la misma razón, necesitaban asumir retos mayores para superarla: cambiar cada uno su comportamiento y actitud frente a la naturaleza. Lograron reforestar la microcuenca de su fuente de agua, implementar sistemas de cosecha de agua de lluvia y descontaminar las aguas servidas de las fincas, buscando soluciones a largo plazo.



Bosque recuperado en la cuenca alta de la Vereda Bellavista, El Dovio, Valle del Cauca, Colombia.

Después de 20 años, disfrutaron los resultados de sus acciones positivas pero siguen innovando y experimentando con nuevas prácticas sin mucho apoyo externo. La mayor ganancia que ha obtenido la vereda Bellavista de su crisis, es el espíritu investigador inculcado en sus futuras generaciones. Los niños que participaron en las aventuras de supervivencia de sus padres, lograron pulir y reforzar sus conocimientos caminando, observando y experimentando junto con los investigadores externos. Ahora estos niños **herederos del planeta** son los que definen el rumbo de la vereda.



Captación de agua del paisaje (Cortesía de Lina y Sandra Giraldo, vereda Bellavista).

Para apropiarnos de las prácticas de crianza de agua y para poder adaptarlas a nuestro ambiente, es fundamental tener conocimientos básicos sobre cómo nos llega el agua y las formas de su aprovechamiento. En el primer capítulo aprendimos acerca del ciclo del agua: la lluvia, la infiltración, la evaporación-transpiración y cómo el vapor forma las nubes antes de convertirse en lluvia de nuevo. Después, conocimos las dificultades en predecir el clima y sus cambios que podemos esperar en el futuro.

Con estos conocimientos podemos apreciar lo que pasa con el clima alrededor nuestro. Las técnicas de crianza de agua que presentamos en los capítulos 4 a 7 prenderán luces en nuestras cabezas cuando observemos con detenimiento nuestro propio predio y el cielo que lo cubre. Si estamos preocupados sobre un problema, nuestras cabezas siempre relacionan soluciones anteriores con lo que estamos observando. No debemos descartar ninguna idea *loca* que se nos ocurra.

Aprovechando lo que hemos aprendido o repasado, debemos hacer una prueba de esa idea —un experimento—. Como mencionamos antes, no habrá ningún salvador, ningún experto que salve a su cultivo o a su familia, si uno mismo no hace el esfuerzo. Debemos

poner en práctica nuestro experimento, observar lo que ocurre, analizar los resultados y sacar nuestras propias conclusiones.

Esperamos que esta guía sirva como abono para que nazca la semilla del investigador que está dentro de cada uno de nosotros. Ese sería el mejor homenaje póstumo a los mejores investigadores del campo: nuestros antepasados.

Bibliografía:

- ALBA-TERCEDOR, JAVIER (1996) "Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos", IV simposio del agua de Almería, España, Vol II: 203-213.
- ANDERSON, SHANNAH (2011) "De gris a verde: manejando de forma natural el agua lluvia en áreas urbanas. Caso de estudio - infraestructura ecológica en Portland" Presentado en el Foro 'Infraestructura verde en ciudades', EMAAP-Q, Quito, Ecuador. http://www.emaapq.gob.ec/index.php?option=com_content&view=category&id=70&Itemid=298
- ANTÚNEZ DE MAYOLO R., SANTIAGO E. (1986) "Hidráulica costera prehispánica" ALLPANCHIS, #27, Cuzco, Perú, P 11-37
- ARROYO MÁRQUEZ, CLODOMIRO (2010) "Ordenamiento ancestral y permanencia cultural" compilador: Jesús Ortiz Rodríguez, COSMOS, Medellín, Colombia.
- BECKER, C. DUSTIN, et al (2005) "Community-based monitoring of fog capture and biodiversity at Loma Alta, Ecuador, enhance social capital and institutional cooperation" Biodiversity and Conservation, 14:2695–2707, Springer.
- BIOANDES (2010) "Sabidurías locales: zonas bioculturales Uru Chipaya, Inquisivi y Tapacari", CD interactivo, AGRUCO, coordinación regional-BioAndes, Cochabamba, Bolivia.
- BOUCHEKIMA, BACHIR (2002) "A solar desalination plant for domestic water needs in arid areas of South Algeria" Desalination 153: 65-69.
- BRUNNER, UELI (2000) "Sharing Water" presentado en el symposio 'The place of ancient agricultural practices and techniques in Yemen today: problems and perspectives', Sanaa, Yemen, Jun 18-20.
- CACHIGUANGO, LUIS ENRIQUE "KATSA" Y JULIÁN PONTÓN (2010) "Yaku-Mama: La crianza del agua— la música ritual del Hatun Puncha Inti Raymi en Kotama, Otavalo" Ministerio de Cultura del Ecuador, junio.
- CALLAÑAUPA QUISHPE, WILBERT (2011) "Los alcaldes varayoc de la comunidad campesina de Yanacóna", Tesis de licenciatura de antropología, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.
- CENTELLA, ABEL Y ARNOLDO BEZANILLA (2008) "Escenarios de Cambio Climático en Ecuador utilizando el Sistema de Modelado Regional PRECIS" Instituto meteorológico de Cuba, Informe para PACC-Ecuador y Ministerio de Ambiente, Julio.
- CHARÁ, JULIAN (2002) "Biodigestores plásticos de flujo continuo: Investigación y transferencia en países tropicales" Editor, Fundación CIPAV, Cali, Colombia.
- CHOQUEHUANCA Z., JORGE LUIS (1997) "El agua y las estrategias para organizar la producción agropecuaria en Koani Pampa" Tesis de grado, Fac. de Agronomía, Universidad Mayor San Andrés, La Paz, Bolivia.
- CHUYMA ARU (2007) "Señas y secretos de crianza de la vida" Asociación Chuyma de Apoyo Rural, Puno, Perú.
- CIPAV (S/F) "Monitoreo de la calidad del agua con Macroinvertebrados de la zona Andina Colombiana - Guía de campo", Cali, Colombia. www.cipav.org.co
- DENEVAN, WILLIAM M. (2001) "Cultivated landscapes of native amazonia and the Andes", Oxford U. Press, UK.
- DRYNET (2008?) "Utilizando una Flor para Combatir la Desertificación: Proyecto del Azafrán en Çütlük" <http://www.dry-net.org/index.php?page=3&successstoryId=24&Language=es>
- DRYTOILET (s/f) "Guía de los baños secos" http://www.drytoilet.org/pdf/guide_esp.pdf
- ERICKSON, CLARK L. (2000) "The Lake Titicaca Basin: A Pre-Columbian Built Landscape", en 'Imperfect Balance: Landscape Transformations in the Precolumbian Americas', ed: David Lentz, pp. 311-356. Columbia University Press, New York. <http://www.sas.upenn.edu/anthropology/people/erickson>
- EVANARI, MICHAEL, LESLIE SHANAN AND NAPHTALI TADMOR (1982) "The Negev: the challenge of a desert" 2nd ed., Harvard U Press, Cambridge.
- FAIRLEY JR., JERRY P. (2003) "Geologic water storage in pre-Columbian Peru" Latin American Antiquity 14(2): 193-206.
- FARRINGTON, I. S. (1980) "Un entendimiento de sistemas de riego prehistóricos en Perú" América Indígena, 40(4) pp 691-711.
- FLORES, JORGE A. Y PERCY PAZ FLORES (1983) "El cultivo en qocha en la puna sur Andina", en Evolución y tecnología de la agricultura andina, ed: Ana María Fries, IICA/ILU, Cuzco, p 44-85.
- GIRALDO, LINA PAOLA, JULIAN CHARÁ Y ENRIQUE MURGUEITIO (2005) "Protección de microcuencas y conservación del agua en

comunidades rurales de Colombia" en: 'Memorias de la XI reunión nacional y I de América Latina y el Caribe sobre sistemas de Captación y aprovechamiento del agua de lluvia: Base para el Desarrollo Sustentable de Microcuencas', Gobierno del Estado de Jalisco/ IRCSA/ UNCCD, Autlán, Jalisco, México, Julio 25-27.

- GOLDSMITH, EDWARD AND NICHOLAS HILDYARD (1984) "The qanats of Iran" en 'The Social and Environmental Effects of Large Dams: Volume 1. Overview' Wadebridge Ecological Centre, Worthyvale Manor Camelford, Cornwall PL32 9TT, UK.
- GÓMEL APAZA, ZENÓN P. (2000) "Crianza del agua en la cultura Pukara contemporánea" en "Manos sabias para criar la vida: tecnología Andina" Simposio de 49 Congreso Internacional de Americanistas, Ediciones Abya-Yala/ IECTA, Quito, Ecuador, pp 93-106. <http://www.iecta.cl/libros.htm>
- GUTIÉRREZ PÉREZ, ZULEMA (2006) "Riego campesino y diseño compartido: Gestión local e intervención en sistema de riego en Bolivia" WALIR/ Instituto de Estudios Peruanos, Lima.
- HARO, MARCELO (2012) comunicación personal, Penipe, Ecuador.
- HOFER, THOMAS AND MESSERLI, B. (2006) "Floods in Bangladesh: history, dynamics and rethinking the role for the Himalayas", United Nations University Press, Tokyo.
- HOMBURG, JEFFREY A. AND JONATHAN A. SANDOR (2002) "Ancient Agricultural Soils of a Gridded Field Complex in the Safford Basin" en 'Quaternary stratigraphy and tectonics and Late prehistoric agriculture of the Stafford Basin (Gila and San Simon valleys), Graham County, Arizona', ed: B. B. Houser, P. A. Pearthrec, J. A. Homburg y L. C. Thrasher, pp 52-68, Friends of the Pleistocene Rocky Mountain Cell, 46th Arizona Geological Society Fall Field Trip, October, U.S. Geological Society, Tucson.
- INFANTE L., AGUSTÍN Y KARINA SAN MARTIN FUENTES, (2004) "Manual de agroecología" Centro de Educación y Tecnología, www.corporacioncet.cl, Chile, Mayo.
- INTERCOOPERATION-PROSUKO (2008) "Suka Kollus: una tecnología ancestral para el tiempo actual" Programa suka kollus PROSUKO, PROSUKO/ COSUDE, La Paz, Bolivia.
- INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP (1988) "Solar Distillation - Developing appropriate technologies in Peru" Waterlines Journal, Vol. 7 No 2.
- JANICK, JULES (2005) "Ancient Egyptian Agriculture and the Origins of Horticulture". <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/history/default.html>
- KENDALL, ANN (2008) "Tecnología tradicional andina: rehabilitación agrícola y ambiental para el desarrollo rural del sector comunal" Asociación Andina Cusichaca, Andahuaylas, Apurímac, Perú, 2ª ed.
- KONG, YUEWEI (2008) "Rainwater recycling on green roofs for residential housing - Case Studies in Richmond, British Columbia; San Antonio, Texas; and Toronto, Ontario" MS Thesis, Landscape Architecture, Faculty of Graduate Studies, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- LUMMERICH, ANNE AND KAI TIEDEMANN (2009) "Fog farming: linking sustainable land management with ecological renaturation in arid areas by means of reforestation" Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development, Tropentag, Universidad de Hamburgo, Octubre.
- MAMANI, ELIAS (2012), comunicación personal, Bolivia.
- MARCOS, JORGE G. (2004) "Las Albarradas en la Costa del Ecuador: Rescate del conocimiento ancestral del manejo de la biodiversidad" "Coordinador, CEAA/ESPOL". Guayaquil, Ecuador.
- MARENCO, JOSÉ A. et al (2011) "Climate Change: Evidence and future scenarios for the Andean region", en 'Climate Change and biodiversity in the tropical Andes', ed: Herzog, Sebastian K. et al, Inter-American Institute for Global Change Research/ Scientific Committee on Problems of the Environment, pp 110-127, USA.
- MARTOS, DAVID SIMÓN (2009) "Estudio sobre la captación pasiva de agua de niebla y su aplicabilidad", Tesis de maestría de Ingeniería de agua, Universidad de Sevilla, España.
- MATHENY, RAYMOND T (1982) "Ancient lowland and highland maya water and soil conservation strategies", en 'Maya Subsistence', Ed. Kent V Flannery, Academic Press, NY. Pp 157-178.
- MEINZER, OCAR E. (1927) "Plants as indicators of groundwater", Water supply paper 577, US Geological Survey, Washington D.C., USA.
- MOHAJERI, SOHEIL (2010) "SIRAF- A Successful Traditional Way of Water Harvesting in Iran" a Drynet science and technology expertise, Science and Technology University of Boshahr, Iran, Jan. <http://www.dry-net.org/>
- MORRISON, ANTHONY E. et al (2009) "On the analysis of a cloud seeding dataset over Tasmania", Journal of Applied Meteorology and Climatology, 48: 1267–1280.
- NEELY, JAMES A. (2001) "Prehistoric agriculture fields and water management technology of the Safford valley, southeastern Arizona" Antiquity, vol. 75, #290, pp 681-2. AT Dept of Anthropology, UT Austin.
- ONGLEY, E.D. (1997) "Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos", Estudio sobre Riego y Drenaje – 55, FAO. <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s00.htm#Contents>
- ORTIZ R., JESÚS (2005) "Tratados e historias primitivas/ Universo Arhuaco – Mamos Arhuacos de la Sierra Nevada de Santa Marta", Compilador, Ediciones Mestizas, Medellín, Colombia.
- ORTLOFF, CHARLES R, ROBERT A FELDMAN Y MICHAEL E. MORSELEY (1985) "Hydraulic engineering and historical aspects of the pre-Columbian intravalley canal systems of the Moche valley, Peru" Journal of Field Archaeology, 12:77-97.
- PARSONS, JEFFREY R. Y NORBERT P. PSUTY (1985) "Chacras hundidas y subsistencia prehispánica en la costa del Perú" en 'La tecnología en el mundo andino', ed: Heather Lechtman y Ana Maria Soldi, UNAM, Mexico, pp 51-89.
- PAULSEN, ALLISON C. (1974) "The thorny oyster and the voice of god: Spondylus and Strombus in Andean prehistory", American Antiquity, 39(4), pp 597-607.

- PEDRAZA, GLORIA, JULIAN CHARÁ Y LINA PAOLA GIRALDO (2008) "Contaminación puntual de aguas en fincas ganaderas" Carta Fedegan: Ganadería y Ambiente, vol 104, Cali, Colombia.
- PEDRAZA, GLORIA, JULIAN CHARÁ, NATALIA CONDE, SANDRA GIRALDO Y LINA PAOLA GIRALDO (2002) "Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino" Livestock Research for Rural Development: vol 14, #1, Feb. <http://www.lrrd.org/lrrd14/1/Pedr141.htm>
- PLAZAS, CLEMENCIA, ANA MARÍA FALCHETTI, JUANITA SÁENZ SAMPER Y SONIA ARCHILA (1993) "La sociedad hidráulica Zenu" Museo del Oro, Banco de la República, Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- PROSUCO (2012) "Pachagrama – cuaderno de registro agroclimático"; PROSUCO/Min. Desarrollo Rural y Tierras-Bolivia/PRRD/COSUDE, La Paz, Bolivia. www.prosucu.org.bo
- PROULX, DONALD A. (2008?) "Nasca Puquios and Aqueducts" <http://www-unix.oit.umass.edu/~proulx>
- PROYECTO RIO CEIBAS (2012) "Cama profunda: Ceba agroecológica de Cerdos" Video preparado por el Proyecto Cuenca Rio Ceibas, Convenio UTF Col/030/Col. FAO, Neiva, Huila, Colombia. http://www.youtube.com/watch?v=b6P6FENf5yg&feature=em-share_video_user
- RIVERA J. H. Y SINISTERRA J. A. (2006) "Uso Social de la Bioingeniería para el Control de la Erosión Severa", CIPAV, Cali, Colombia. www.cipav.org.co
- ROACH, JOHN (2001) "Cloud forests fading in the mist, their treasures little known", National Geographic News, Ago 13.
- ROBERT, FRANCOIS (2001) "The Origin of Water on Earth", Science, 10 August 2001: Vol. 293, no. 5532, pp. 1056-1058.
- SCHJELLERUP, INGE R. (2009) "Sunken fields in the desert of Peru" The Egyptian journal of environmental change, vol 1:1, pp 25-33, Oct. <http://www.envegypt.com/EJEC/uploads/30.pdf>
- SENAMI (2009) "Escenarios de Cambio Climático en la cuenca del río Urubamba para el año 2100 - resumen técnico", Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Perú.
- STOTHERT, KAREN, (1995) "Las albarradas tradicionales y el manejo de aguas en la Península de Santa Elena", Miscelánea Antropológica Ecuatoriana, Boletín del Área Cultural del Banco Central del Ecuador, 8:131-160, Guayaquil.
- TANWAR, VIKAS (2007) "Bridging water demand-supply gap: through rainwater in public green spaces of Delhi, India", MS Thesis, Landscape Architecture, Faculty of Graduate Studies, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- TONKINSON, ROBERT (1972) "Da'Wajil, a western desert aboriginal rainmaking ritual", PhD thesis, Anthropology and Sociology Dept, Universidad de British Columbia, Vancouver, Canada, marzo.
- TOPIC, JOHN R. AND THERESA L. TOPIC (1992) "The rise and decline of Cerro Amaru: an Andean shrine during the early/intermediate period and middle horizons" en 'Ancient images, ancient thought: the archaeology of ideology', ed: A. Sean Goldsmith et al, Univ. of Calgary archaeological association, Calgary, Canada, p 167-180.
- UNEP (1997) "Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean" United Nations Environmental Program, International Environmental Technology Center, Osaka, Japan.
- URIBE, JOSÉ (2012) comunicación personal, Yumbel, Octava Región, Chile.
- URAGODA, C. G. (2000) "Traditions of Sri Lanka", Vishva Lekha, Ratmalana, Sri Lanka.
- VUILLE, MATHIAS (2007) "Climate change in the tropical Andes – Impacts and consequences for glaciation and water resources" Informe preparado para CONAM y World Bank, Amherst, MA, USA.
- WILKEN, GENE C. (1987) "Good farmers: traditional agricultural resource management in Mexico and Central America", Univ. of California Press, Berkeley, USA.
- YAPA, KASHYAPA A. S. (2003) "El asesinato ceremonial del Río Sinú: una catástrofe ambiental en Córdoba, Colombia" <http://kyapa.tripod.com/urra/asesinatoceremonial.htm>
- YAPA, KASHYAPA A. S. (2011) "La represa de Río Grande es la peor solución para las inundaciones en Chone, Ecuador" <http://kyapa.tripod.com/rgrande/riogrande-sp2.html>
- YEOMANS, P. A. (1958) "The Challenge of Landscape: the development and practice of keyline" Waite and Bull. Pty limited, Sydney, Australia. <http://www.soilandhealth.org/01aglibrary/010126yeomansll/010126toc.html>
- ZAPATA PERAZA, RENÉE LORELEI (1989) "Los Chultunes: sistemas de captación y almacenamiento de agua pluvial" Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.

Agradecimientos

Este libro no es mío. Es de todos quienes abrieron mis ojos para ver -no solo mirar; quienes afinaron mis oídos para escuchar -no solo oír; quienes afilaron mi cerebro para entender -no solo grabar; y quienes adiestraron mis dedos para comunicar -no solo escribir. También es de todos quienes me contaron sus historias, quienes me prestaron sus bibliotecas, quienes me alojaron en sus casas, y quienes me abrieron sus corazones y me hicieron sentir el mundo como mi casa. Son miles de amigos: de Sri Lanka, EE.UU., Canadá, México, Belice, Honduras, Nicaragua, Cuba, Panamá, Colombia, Venezuela, Trinidad, Guyana, Surinam, Brasil, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile, Alemania, Francia, España, Inglaterra, Suiza, India, entre otros. (Les recompensaremos el día que yo sea ¡el Rey del Mundo!) Entonces, auto-agradecimiento no tiene sentido; todos felicitémonos por un trabajo bien hecho, por un deber bien cumplido con el mundo. Bueno, a mí me tocó la ardua, pero grata tarea de recopilar toda la información facilitada generosamente por numerosos informantes, para, en nombre de todos ellos, presentarla al mundo para que quienquiera que no sea tan privilegiado como yo, también pueda disfrutar de estos maravillosos conocimientos.

Por ello, mis sentidos agradecimientos son para usted, por tener en sus manos este libro para adentrarnos en el mundo mágico de la crianza de agua, y para contribuir generosamente a conservar el agua.

Muchos colegas me animaron y ayudaron en el proceso de escribirlo. Ricardo Tapia, con FAO-Ecuador en ese entonces, confiaba en mi capacidad para recopilar esta información y me alentaba en el proceso de la consultoría con el PNUD-Ecuador. Cuando preparé el borrador, lo envié a cientos de amigos y amigas y tuve la gran alegría de recibir de vuelta el documento amorosamente macheteado con correcciones, observaciones, comentarios y sugerencias. Sí, era una alegría saber que, en este mundo de corre-corre, aún hay personas que encuentran tiempo para ayudar al otro, sin esperar nada a cambio. Por sus aportes valiosos, agradezco a: Federico Koelle, Jorge Sánchez Paucar, Enrique Cachiguango, Galo Plaza Nieto, Manuel Suquilanda, Cristóbal Cobo, Carlos Cali, Boris Zambrano, Mario Rosero, Paúl Benalcazar y Marco Zarria de Ecuador; Helio Mamani, Néstor Chambi y Buenaventura Gerundas de Perú; Lina Giraldo, Sandra Giraldo, Renato Ramírez y Henry Jiménez de Colombia; Walter Roca de Bolivia; Daniel Callo-Concha en Alemania; José Alejandro Delgado en Suiza; Thomas Hofer en Italia; y Bert de Biebre en Ecuador. También recibí del PNUD, aportes importantes para mejorar el texto.

Era un reto escribir un libro en mi tercera lengua, y tenía que hacerlo con frases cortas, sencillas y atractivas, para que una campesina tenga gusto e interés de leerlo, entendiéndolo sin enredarse en tecnicismos. Esa parte de la tarea era lo más difícil, pero tenía mis salvadores en los radialistas populares: Marco Martínez, con sus preguntas precisas e incisivas para enderezar mis desvíos, y Martha Bravo, con sus inagotables energías que le permitía leer y releer cada párrafo cuantas veces que sean necesarias hasta afinar cada palabra y cada coma.

El siguiente reto era buscar cómo invitarle a la campesina a abrir el libro, mantener pegadas sus ojos en lo escrito y motivarle para hacer los experimentos de crianza de agua en su casa o en la comunidad. Hoy la televisión encandila con sus imágenes multicolores, los ojos del

más iliterato, pobre o joven; queríamos reproducir la misma técnica pero con imágenes más apegadas a la realidad del campo. Melanio Huamaní -el entonces yaku alcalde de Andamarca, Ayacucho, Perú, sin saberlo, me dio la inspiración para crear ese personaje en el libro, quien ayuda al lector a entender los conceptos técnicos y relacionarlos al campo. Y Carlos Trujillo, entre sus dibujos rápidos y descansos largos, logró plasmar en ilustraciones didácticas lo que yo estaba soñando con el yaku alcalde.

La mayor parte de las fotos que se encuentran en el libro fueron tomadas por mi persona, pero debo agradecer a todos los seres vivos quienes aparecen en ellas y también a quienes construyeron y mantienen esas obras tan maravillosas y tan bellas, por permitirme tomar las fotos y usarlas. Algunas fotos fueron facilitadas por mis amigos, especialmente por Marco Martínez, Juan Piminchumo, Melanio Huamaní, Cristobal Cobo, Yadira Cordero, Clark Erickson, José Chancay, Michael Muse y Stephan Rostain. Shanna Anderson facilitó el uso de fotos de la ciudad de Portland y El Museo de Oro de Colombia permitió el uso de fotos del libro "La Sociedad Hidráulica Zenú." El taller organizado con apoyo del PNUD y del Ministerio de Ambiente del Ecuador, congregó cerca de 30 campesinos andinos para compartir sus experiencias sobre la crianza de agua, y eso nos ayudó enormemente para limar las asperezas, reducir los tecnicismos y mejorar la presentación del libro. (Gracias a ese intercambio, esperamos en el futuro, disponer de un video introductorio al libro.)

Enrique Cachiguango gentilmente accedió a preparar la presentación del libro, desde su visión de campesino otavaleño y yachak. Patricio Hernandez de Ecuador nos ayudó con bosquejos de la portada del libro. También agradecemos a Nora Dias y Jesús Ortiz, de Manizales, Colombia, por permitirme usar extractos de su libro "Tratados e historias primitivas" para prologo y epilogo de nuestro libro.

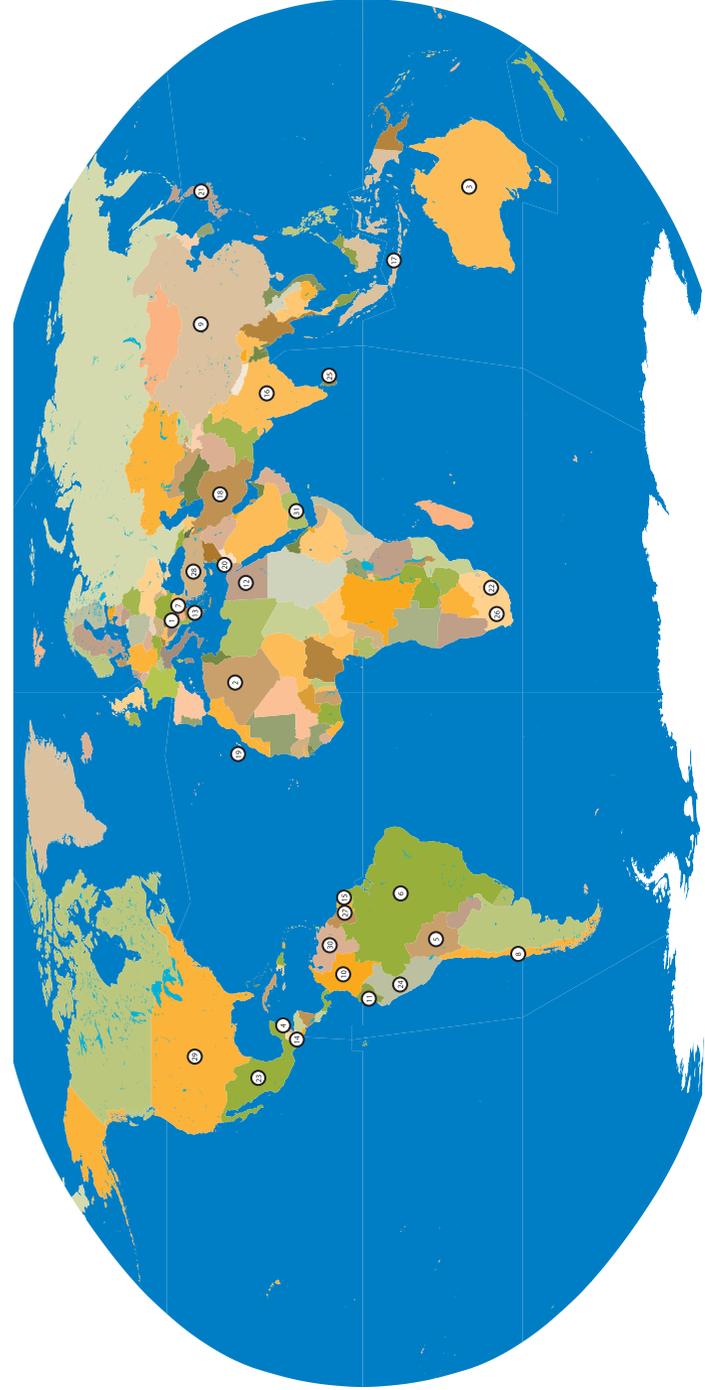
Debo agradecer el apoyo financiero de la Cooperación Belga al Desarrollo conjuntamente con PNUD-Ecuador a través de los proyectos ejecutados por la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y el Ministerio de Ambiente; en las fases de escritura, preparación de ilustraciones y publicación del libro; además del apoyo moral de sus funcionarios, especialmente de Nury Bermúdez. También agradecemos por la ayuda del equipo de Manthra Editores en dar a la luz un producto acorde a nuestra expectativa.

Finalmente, un agradecimiento especial a mi esposa, Lilian Cruz U., por su constante apoyo desde que nos conocimos, en la preparación de las diapositivas, en los experimentos de crianza de agua en nuestra finca y en la redacción de los escritos. Además, por su comprensión en las tareas domesticas durante mis largas ausencias.

Esperamos que este esfuerzo colectivo, la minga para la crianza de agua, tenga su recompensa en la medida de que todos vayamos aportando con nuestra gota de sudor a prevenir la autodestrucción de la raza humana y de este planeta.

Kashyapa A. S. Yapa,
Riobamba, Ecuador, febrero 2013.

Lista de sitios mencionados en esta guía de campo

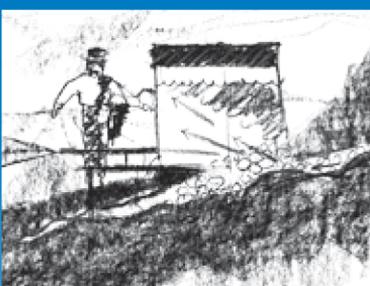
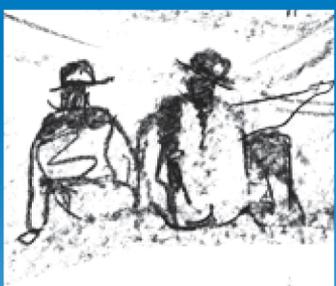
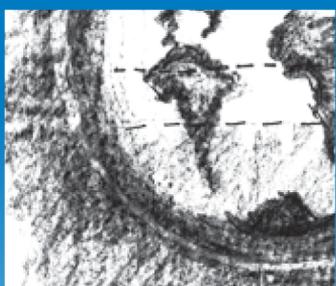


- | | | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------------|--|
| 1. Antigua Yugoslavia (actual Serbia) | 16. India | 25. Perú, Ayaviri, Puno | Perú, Tambomachay y Tipón, Cuzco |
| 2. Argelia | 17. Indonesia, Java | Perú, Cabanaconde, Arequipa | Perú, valle de Chicha-Sorras, Apurímac |
| 3. Australia | 18. Irán, Siraf | Perú, Chanchán, Libertad | 25. Sri Lanka, Jaffna |
| 4. Belice | 19. Irán, Teheran | Perú, Chinchero, Cuzco | 26. Sri Lanka, Polonnaruwa |
| 5. Bolivia, Chipaya, Oruro | 19. Islas Canarias | Perú, Coporaque, Arequipa | 26. Sudáfrica |
| Bolivia, Colón Sud, Tarija | 20. Israel, Negev | Perú, Ichupampa, Arequipa | 27. Suriname |
| Bolivia, Mojos, Beni | 21. Japón | Perú, lago Titicaca, Puno | 28. Turquía |
| Bolivia, Vinto, Potosí | 22. Lesotho | Perú, Lima | EE. UU., Arizona |
| 6. Brasil, Noreste | 23. México, El Tajín, Veracruz | Perú, Lima | EE. UU., Ilanura de Mississippi |
| 7. Bulgaria | México, Guerrero | Perú, Marchuamachuco, Libertad | EE. UU., Zuni pueblo, New Mexico |
| 8. Chile, Yumbel, Concepción | México, Purrón, Tehuacán | Perú, Nazca | 29. Venezuela, río Apure |
| 9. China | México, Xochicalco, México | Perú, Paqchay, Cuzco | 30. Yemen |
| 10. Colombia, Bogotá | México, Yucatán | Perú, río Nupe, Huanuco | |
| Colombia, Desierto La Tatacoa, Huila | 15. Guyana Francesa | Perú, río Vilcanota, Yucay, Cuzco | |
| Colombia, El Dovio, Valle del Cauca | | | |
| Colombia, Lórica, Córdoba | | | |
| Colombia, Mompo | | | |
| Colombia, Neiva, Huila | | | |
| Colombia, Sierra Nevada, Santa Marta | | | |
| Colombia, Tumaco, Nariño | | | |
| Ecuador, Bajo Guayas | | | |
| Ecuador, Balsas, Santa Elena | | | |
| Ecuador, Cayambe | | | |
| Ecuador, Cotopaxi | | | |
| Ecuador, Daule-Peripa | | | |
| Ecuador, Juncos, Manabí | | | |
| Ecuador, Kotama, Imbabura | | | |
| Ecuador, La Esperanza, Caiceta | | | |
| Ecuador, La Segua, Chone | | | |
| Ecuador, La Tolita, Esmeraldas | | | |
| Ecuador, Loma Alta, Santa Elena | | | |
| Ecuador, Paján de Colimes, Manabí | | | |
| Ecuador, Paute, Azuay | | | |
| Ecuador, Península de Santa Elena | | | |
| Ecuador, Quito | | | |
| Ecuador, San Pablo, Imbabura | | | |
| Ecuador, Sta Lucía de Tembo, Chimborazo | | | |
| 11. Ecuador, San Pablo, Imbabura | | | |
| Ecuador, Sta Lucía de Tembo, Chimborazo | | | |
| 12. Egipto | | | |
| 13. Grecia | | | |
| 14. Guatemala | | | |
| 15. Guyana Francesa | | | |



“Nuestras reflexiones están dirigidas a mantener el equilibrio de todo cuanto existe. Ningún elemento natural para nosotros es malo, todo es bueno. Quien hizo que todo se volviese malo fueron las leyes de los hermanos menores, que se confundieron de camino y están acelerando su autodestrucción. La ley natural es una ley simple, de humildad, de mensajes de imitar lo natural. Es mantener una riqueza de equilibrio tanto espiritual como material”.

Mamo Arhuaco Arwa Viku
Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia



**LA COOPERACIÓN BELGA
AL DESARROLLO**



*Al servicio
de las personas
y las naciones*

