

Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales

El agua en el mundo rural

Alguien dijo que la mayoría de los científicos están condenados a llevar una vida urbana. Por mucho que sea nuestro empeño, es forzoso reconocer que esta perspectiva de las cosas está afectada por la vivencia en la urbe, donde los problemas de abastecimiento y potabilización de agua caen bajo la responsabilidad de servicios técnicos especializados, que resuelven el problema con poca, o ninguna, intervención de los usuarios, cuyo papel se limita a disponer a voluntad del líquido que sale por la llave y a pagar una cuota por ello. Sin embargo, la realidad en las zonas rurales es significativamente diferente. El usuario juega un papel mucho más activo, ya que tanto la gestión del recurso como el mantenimiento de los equipamientos recaen forzosamente en la esfera de su responsabilidad, al no haber servicios especializados ni otras autoridades que puedan y/o quieran asumir tales cargas. Conocer, entender, motivar y formar a los usuarios son, por tanto, tareas que deben integrar el listado de objetivos y actividades del proyectista de los abastecimientos de agua en medio rural.

Para enfrentar esta problemática en zonas rurales representativas de México, Marruecos y Argentina, se propuso y llevó a cabo un proyecto de investigación aplicada con la colaboración de instituciones de la Comunidad

Europea y de los países involucrados.

La ejecución de este proyecto “Clean Water with Clean Energy”^{1,2} ha planteado una gran variedad de situaciones reales, cada una con su peculiaridad, pensándose que en su conjunto, estas situaciones son bastante representativas del panorama general de la potabilización de agua en pequeñas comunidades rurales. Por ello, más que intentar un ejercicio de generalización, que sin duda hubiera conducido a una presentación con mayor grado de abstracción y más difícil de asimilar, se optó por presentar de manera sucinta cada experiencia en particular; aunque, eso sí, ordenadamente para garantizar que los aspectos conceptuales mantienen una cierta homogeneidad. En los siguientes apartados se describen algunas experiencias concretas en El Valle del Dra’a (Marruecos), en El Balde del Sur de Chucuma (Argentina), en S. Antonio Aguas Benditas (México) y en el ejido Tres Barrancas (México)³.

El agua como sistema

El abastecimiento y utilización de agua para el consumo humano puede, en la práctica, adoptar configuraciones y técnicas muy diversas: captación de agua de lluvias, almacenamiento en aljibes, perforación de pozos, manantiales, acueductos, tuberías, fuentes públicas, baños, operaciones y procesos de tratamiento, alcantarillas, pozos negros, etc.⁴. Las dificultades para el abastecimiento de agua potable no es un problema reciente ni restrictivo a países en vías de desarrollo. El artillero Diego García de Panes y Abellán, que estudió el camino que unía Veracruz con México en el siglo XVI, nos ha dejado la siguiente descripción (García de Panes, 1503):

“Todas las haciendas y pueblos por donde no pasa río usan de unas balsas que llaman jagüeyes, donde acopian la bebediza para entretiempo de secas; y de esta agua, sin cura de limpieza, es preciso beban las gentes y las bestias; a excepción de tal cual hacienda de rico, que tiene un pequeño aljibe en su casa, pero ésta no la dan a los pasajeros de las ventas de las mismas haciendas; y siendo el terreno de algunos jagüeis salitroso y gredoso, hay más repugnancia en beber el agua. Así sucede en Téchacalco, Santiago de Tsmeluca y demás haciendas de la carrera de los caminos, que aumenta la incomodidad de los pasajeros”

Igualmente antiguas son las técnicas para su tratamiento. El padre jesuita Bernabé Cobo nos proporciona un interesante ejemplo de filtrado por piedras porosas, que se utilizaba en la ciudad portuaria de Arica, en tiempos de las minas del Potosí (Cobo, 1964):

“La piedra de Arica es blanca y buena, así para fábricas como para destilar

agua, y así se hacen de ella muchos morteros grandes o piedras que llamamos de des-tilar, y son muchísimos los que hay en esta ciudad y en otras partes del reino”

Otro interesante procedimiento para quitar la turbidez al agua destinada al consumo humano consistía en echar al agua las hojas carnosas o pencas de las tunas o nopaleras. Así lo recoge el clérigo ilustrado José Antonio de Alzate (Álzate y Ramírez, 1831):

Las lavanderas en tiempos de avenidas, cuando el agua está turbia, la aclaran con las pencas de esta planta (de las nopaleras), quedando el agua sin otro gusto más que el natural”

Y también vienen de viejo las reglamentaciones para que el uso del agua no sea en detrimento de su salubridad. Por ejemplo el Cabildo de Santiago de Chile tomó, en 1612, la siguiente resolución (Acta del Cabildo de Santiago del Nuevo Extremo, 1612):

“..por tanto, se acordó y mandó que ninguna negra, india, ni indio ni negro ni otra persona lave ropa ni otra cosa en el dicho río, desde la calle de Santo Domingo de la iglesia para arriba, sino de allí para abajo, so pena de doscientos azotes y pérdida la ropa que lavaren, la cual se aplica por tercias partes, cámara, juez y denunciador”

La idea del agua como bien público, considerada como un derecho de todos, era ya omnipresente en el mundo clásico. En la época del Renacimiento, Gaspar de Escalona, 1647, escribió lo siguiente:

“No permitieron los romanos que fuese el agua materia impositicia, venal, ni gravosa, ni especie tributaria, sino beneficio común y gratuito, tanto que hablaron con nota y reprehensión de algunas regiones señaladas en que se frecuentó su mercancia. Y si bien los que consiguieron merced del Príncipe, o adquirieron derecho de cogerla y derivarla de los públicos acueductos, la pudieron vender, siempre abominaron gravarles este beneficio, contentándose con la templada y ordinaria contribución destinada a la limpieza y aderezo de los caños”

Sirvan estas referencias históricas, más que como curiosidad, para señalar que las dificultades en la captación, tratamiento y cuidado del agua, lejos de ser características del mundo moderno o achacables exclusivamente al fenómeno del subdesarrollo de muchas zonas rurales, son problemas que persisten en el tiempo. Y esta persistencia debe alertar al diseñador de que, con energías renovables o sin ellas, el abastecimiento de agua potable es siempre un problema de ardua solución.

Lo imprevisible

Es un axioma general que las peores dificultades que han de enfrentarse a la hora de realizar un proyecto son, precisamente, aquellas que el diseñador no tuvo la sagacidad de prever, y que, en consecuencia, se presentan por sorpresa, sin que se hayan preparado los medios necesarios para solventarlas. Por eso, el mayor riesgo que afronta el diseño es ceder a la tentación de la obvedad, y caer en el error de pensar que la solución a un problema de abastecimiento de agua potable puede venir de atender a un único aspecto puntual. Por ejemplo, limitarse a la instalación de un clorador a la salida de un depósito. Con certeza, siempre surgirán otros que vayan en detrimento de los beneficios que reporte aquel, y puedan acarrear el fracaso final del proyecto. Siguiendo con el ejemplo, la utilización de recipientes contaminados para el consumo, o el abandono de la práctica de reponer periódicamente el cloro. Con el ánimo de entender el problema en toda su dimensión, es útil interpretar el “sistema agua potable” como el “todo” de tres elementos bien diferenciados: El *hardware*, o conjunto de medios técnicos con sus características peculiares. El *software*, o conjunto de métodos y procedimientos que rigen el empleo de tales medios técnicos. Y el *orgware*, o estructura organizativa en la que se apoya el mantenimiento del servicio y a través de la cual el sistema interacciona con otros de diferente naturaleza.

Una descripción adecuada del *hardware* se logra correlacionándose al guión de el cuadro 11.1.

Hay que advertir que este cuadro tiene más carácter de recordatorio que de casillero a rellenar, por lo que la sujeción a sus términos no tiene por qué ser muy estricta. Algunos elementos pueden faltar, como, por ejemplo, es el caso del acarreo en los sistemas con distribución a las viviendas. Y habrá quien encuentre otras descripciones alternativas, más ajustadas al gusto de cada cual.

En última instancia, las descripciones basadas en el concepto de sistema no son más que una herramienta que ayuda, por un lado, a plantearse las preguntas correctas en un contexto global, y, por otro, a ordenar sistemáticamente la presentación de la realidad, para que sus matices sean reconocibles por cualquier lector en general. Sin embargo, conviene advertir que todo lo relativo a los sistemas sociales es de naturaleza intrínsecamente compleja, y que, para entenderlos, no hay sustitutos para el sentido común, la mentalidad abierta y la capacidad de observación.

Respecto al *software*, conviene prestar particular atención a la importancia que los usuarios conceden a la calidad sanitaria del agua. Este concepto suele ser más primordial en las modernas sociedades urbanas que en las tra-

Cuadro 11.1

El hardware de un sistema de abastecimiento

Elemento	Definición	Características
Recurso	Pozo, manantial, embalse, etc.	Capacidad, estacionalidad, salubridad
Captación	Extracción manual, bombeo, lluvia	Fiabilidad, complejidad,
Conducción	Acequia, tubería	Ubicación, hermeticidad, calidad
Acumulación	Aljibe, cisterna	Hermeticidad
Distribución	Fuentes públicas, viviendas individuales	Localización, fiabilidad, permeabilidad, fugas
Acarreo	Humano, animal	Capacidad, frecuencia
Tratamiento	Físico, químico, natural	con o sin energía eléctrica.
Evacuación	Natural, red de drenaje	Capacidad, vida útil

dicionales sociedades campesinas, generalmente más preocupadas con la cantidad y fiabilidad del suministro. Esta afirmación puede resultar extraña para los que vivimos en un mundo donde prolifera el agua embotellada y donde el baño diario es una costumbre higiénica muy extendida. Sin embargo, la historia contiene numerosos ejemplos de que la comprensión de la relación agua-salud dista mucho de ser general. Luis Lobera de Ávila, médico del emperador Carlos I en el siglo XVI, escribió (Greve, 1938):

“al tratar del baño no lo estimo de ningún modo conveniente, ya que los caballeros no están acostumbrados a él, pero si le considerase indispensable, por causa de enfermedad, bien puede emplearse aplicando de rodilla para abajo, eso sí, que con la precaución de agregarle al agua algunas flores aromáticas”

De hecho, las buenas costumbres de los romanos, que habían impulsado notablemente la instalación de baños públicos y el exquisito cuidado de la calidad de las aguas, habían desaparecido en Europa mucho antes del Renacimiento - ¡Lavarse era deshonoroso y ponía en duda la virilidad de los caballeros de la Alta Edad Media! - y no se recuperaron hasta mucho tiempo después. Entrado el siglo XIX, ni siquiera las casas de la nobleza europea, incluidas las mansiones reales, poseían bañera. El Palacio Real de Madrid, construido a comienzos del siglo XVIII, no tuvo un cuarto de baño com-

pleto, hasta que José Bonaparte ordenó su instalación a comienzos del siglo XIX. Y cuando la reina Victoria de Inglaterra subió al trono en 1838 no había ni una sola bañera en el Palacio de Buckingham (Celdran, 1995).

No es, por tanto, extraño que la historia, más reciente, de los proyectos que se llevan a cabo en el ámbito del desarrollo rural, contenga muchos y sonoros fracasos en relación con los intentos de modificar las actitudes de los campesinos frente a la calidad sanitaria del agua. Alguno ha sido incluso utilizado como ejemplo paradigmático de las resistencias que debe afrontar todo aquel que quiera, en general, promover nuevas ideas o inducir cambios de mentalidad:

El Servicio Público de Salud en Perú intenta introducir innovaciones entre los campesinos para mejorar su salud y alargar sus vidas. Esta agencia fomenta la instalación de letrinas, la quema de la basura, el control de mosquitos en el interior de las viviendas, el aviso de los casos infecciosos y el hervido de agua para beber... Una campaña intensiva para promover el hervido del agua (como forma de desinfección) llevada a cabo en el poblado de los Molinos durante dos años sólo convenció a 11 de las 200 familias residentes allí. (5% del total), a pesar de que las tres fuentes donde se suministra el poblado están fuertemente contaminadas, y de que las enfermedades infecciosas hacen estragos entre sus habitantes. Sin embargo, los campesinos no entienden la relación entre higiene del agua y enfermedad... ¿Por qué fracasó la campaña del agua hervida en Los Molinos?... debido a las creencias culturales de los campesinos. La tradición local asocia la ingestión de bebidas calientes con enfermedad. Hervir el agua la convierte en menos "fría" y, por tanto, sólo apropiada para enfermos. Por ello, las tradiciones de la comunidad impiden el uso de agua hervida a las personas sanas. De hecho, las familias que adoptaron el cambio eran, de alguna forma, ajenas a la comunidad: los maestros, algunos emigrantes desde otra comunidad, etc. (Rogers, 1995).

En Marruecos, los burros dentro del riachuelo en el que las mujeres acopian agua para llevar a sus casas demuestran el realismo de una situación que los bajísimos índices de salud que la acompañan convierten en dramática.

Por último, en relación con el *orgware*, hay que mencionar la casi segura existencia en toda comunidad de algún mecanismo social -formal o informal- para tomar decisiones en torno al agua, y que, en general, está efectivamente controlado por algunas personas "notables" cuya opinión o autoridad tiene mucha influencia sobre el conjunto del colectivo. Tales personas pueden ser difíciles de detectar si el contacto con la comunidad es poco atento o superficial, ya que, con frecuencia, no coinciden con aquellas que ostentan cargos oficiales o representativos. Todo proyecto debe contar entre

sus consideraciones con la existencia de estas personas que, de sentirse afectadas en sus intereses materiales, o en su statu quo, se convierten en fuente de conflictos, entorpecen la ejecución del proyecto y ponen en riesgo su éxito y su viabilidad.

En definitiva, el sistema agua debe considerarse en su totalidad. Un proyecto de abastecimiento de agua potable a una población rural sólo alcanzará sus objetivos si la calidad sanitaria del agua se cuida desde la fuente hasta el consumo, si los usuarios toman conciencia de los beneficios que les reporta el agua sana, y si quienes allí ejercen alguna autoridad son aquiescentes con el proyecto. Y esto, que dicho así puede parecer una verdad evidente y trivial, es, sin embargo muy difícil de conseguir en la realidad, como claramente han puesto de manifiesto las experiencias concretas realizadas.

Situación del abastecimiento de agua en zonas rurales de América Latina

La cobertura de agua potable en 25 países de América Latina y el Caribe para fines de 1988 (Castro de Esparza, 1997), fue de 291.6 millones de habitantes en áreas urbanas y 124 millones en zonas rurales. Sin embargo, la cobertura registrada corresponde únicamente a un acceso al agua, pero la cantidad real de población que cuenta con agua potable es desconocida. Esta cobertura para las comunidades rurales es aún más incierta, ya que por lo general, este tipo de comunidades se caracteriza por ser muy dispersa y en consecuencia el agua que ingieren tiene un tratamiento deficiente o bien, este proceso es inexistente.

Por otro lado, Vosseler *et al.* (1999) citan que "...todo el mundo tiene el derecho al acceso a agua potable...", declaró la OMS en la conferencia de Mar del Plata en 1977. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo 80% de las epidemias se deben al consumo de agua de mala calidad (OMS, 1980). Así pues es principalmente en las zonas rurales y en los suburbios de las grandes ciudades de países en vías de desarrollo donde se tiene una cobertura de agua potable y saneamiento insuficientes. En América latina, aproximadamente 85 de los 435 millones de habitantes carecen de agua potable, y de estos, 50 millones viven en zonas rurales. De acuerdo con el Banco Mundial (1994), la cobertura del servicio de agua potable en zonas urbanas de América Latina fue de 85%, mientras que para las zonas rurales tan sólo se alcanzó el 50%.

Hoy en día, no existen datos realmente confiables en los países en desarrollo, acerca de los volúmenes requeridos de agua para consumo humano,

es por ello que se piensa que unos cuantos litros /habitante/día son suficientes, sobre todo en aquellas comunidades donde para abastecerse del vital líquido es necesario recorrer varios kilómetros. De acuerdo con la OMS (Organización Mundial de la Salud, 1979), el consumo de agua en ciudades pequeñas y comunidades rurales abastecidas por hidrantes, oscila entre 20 y 40 litros/habitante/día. En las comunidades rurales de Norteamérica, según el US Joint Committee on Rural Sanitation (1961), se evaluó un consumo de 38 l/h/d para casas contando con una bomba de mano, 57 l/h/d cuando existe suministro en la cocina y de 190 l/h/d cuando se tiene acceso al agua fría y caliente (cocina, lavado de ropa, regadera y WC o servicio sanitario).

Para México, el consumo de agua orientado a la satisfacción de las principales necesidades (bebida y cocina) ha sido estimado según el clima y accesibilidad entre 25 y 100 l/h/d, aclarando que de existir consumo de agua para animales domésticos estos valores pueden incrementarse hasta en un 50%.

Situación del servicio de agua potable en México

La salud humana depende no solo de la cantidad de agua suministrada, sino principalmente de su calidad; según la OMS “Casi la cuarta parte de las camas disponibles en los hospitales del mundo están ocupadas por enfermos cuyas dolencias se deben a la insalubridad del agua”.

En México, durante los últimos 60 años, la mortalidad por diarreas ha disminuido en forma sostenida. Sin embargo, las tasas de mortalidad observadas siguen siendo muy elevadas comparadas con países desarrollados. (La tasa de mortalidad por diarreas en países desarrollados es inferior a 1/100 000 ab).

México, al igual que muchos otros países en vías de desarrollo, presenta un número importante de comunidades rurales con necesidades primarias no cubiertas. Entre los servicios elementales inexistentes de estas comunidades rurales, destaca el no tener acceso al agua potable y a la energía eléctrica. En el territorio de la República Mexicana existen 6 714 comunidades rurales menores a 200 habitantes que no disponen de agua potable ni suministro de energía eléctrica y particularmente para el Estado de México hay 95 comunidades en dicha situación (INEGI, 1995).

La población del Estado de México entre 1950 y 1995 ha sido incrementada de 1 392 623 ab. Hasta 12 239 403 hab., lo que significa que en los últimos 45 años la población creció aproximadamente 10 veces. El Estado de México es uno de los estados más importantes de la República Mexicana, debido a su contribución en la economía y “desarrollo”. Sin embargo, estas características también le generan un importante impacto social y me-

dio ambiental. En este Estado existen 3 714 comunidades rurales menores a 2500 habitantes, cantidad que representa el 15.59% de su población. Este importante sector de la población se caracteriza por la carencia de sus servicios básicos.

Por otro lado, en 1990 las enfermedades atribuidas a la mala calidad del agua, presentaron una tasa de morbilidad (Pavón *et al.*, 1997) general del 20/100.000 hab., pero en 1995, la tasa disminuyó hasta 15.1/100.000 hab., lo que representa un decremento del 25%. En cuanto a las tasas de mortalidad general por causa, las enfermedades infecciosas intestinales para 1990 mostraban tasas del 32/100.000 hab., representando un decremento aproximado del 60%.

En el Estado de México, los grupos más vulnerables a las enfermedades principalmente infecciosas, se encuentran entre los niños de un año o menores a esta edad, por lo que según análisis exhaustivos de estadísticas sobre mortalidad infantil por enfermedades intestinales infecciosas, se encontró que para 1990 existían tasas del 576.6/100.000 hab. disminuyendo éstas hasta 224.7/100.000 hab. para 1994. Lo anterior representa una reducción en el período descrito de poco más del 60%.

Sin duda alguna, se puede mencionar que el aporte de agua potable de calidad a la población, es garantía de protección de la salud, reduce los gastos médicos, incrementa la calidad de vida y favorece el desarrollo sustentable de una comunidad.

La experiencia del Valle del Draa, Marruecos (pozo y cloración)

El valle del Draa es una zona desértica con poblados de entre 100 y 2000 habitantes, que se suministran de agua desde pozos artesanos de, típicamente, 150 cm de diámetro y de entre 15 y 30 metros de profundidad.

El proyecto aquí descrito consistió en la instalación, por un lado, de un sistema de bombeo fotovoltaico, almacenamiento y distribución hasta las viviendas y, por otro, de un sistema de cloración. El primero se llevó a cabo en 10 pueblos, mientras que el segundo exclusivamente en dos de ellos, aunque se prevé su generalización posterior. La instalación de los sistemas de aprovisionamiento se realizó en febrero de 1997 en el contexto de un proyecto de cooperación entre una ONG marroquí (Tichka) y dos españolas (CIPIE e ISF). El Instituto de Energía Solar entró en la escena de la evaluación del proyecto a iniciativa propia con el objetivo particular de estudiar el sistema del agua y analizar la provisión y potabilización del agua con medios fotovoltaicos. En este marco, se instalaron los sistemas potabilizadores en septiembre de 1998.

Este sistema “Pozo más cloración” es representativo de regiones sin aguas superficiales donde es necesario recurrir a pozos para el aprovisionamiento de agua para el consumo humano, y donde la principal contaminación es la bacteriológica. En pozos con cierta profundidad, las fuentes de contaminación se suelen localizar principalmente en los sistemas de distribución y acumulación. El sistema de suministro se describe en el cuadro 11.2.

En los pueblos Iferd y Ait Mersid de la provincia de Zagora, al sur de Marruecos, se instalaron sendos sistemas de abastecimiento como el descrito, alimentados por equipos de energía solar fotovoltaica. Iferd tiene 622 habitantes y Ait Mersid 350. Tras el proyecto, ambas tienen un pozo de 150 cm de diámetro considerado como de buen sabor por la población, con una bomba fotovoltaica de 2 y 1,5 kW de potencia respectivamente, y con un depósito de 50 m³ en los dos casos.

Este proyecto supuso una alteración muy notable en el sistema tradicional de agua, tanto en términos de disponibilidad como de usos y costumbres en torno a ella. Este sistema tradicional del agua para uso doméstico estaba constituido a su vez por dos sistemas bien diferenciados asociados a usos finales diferentes: el del consumo humano (bebida, té, cocción de alimentos y fregado de utensilios de cocina) y el de otros usos (higiene personal, abrevaje del ganado, riego de pequeños jardines, etc.). Los pozos para el consumo se eligen atendiendo principalmente a la mejor calidad (sabor) del agua, mientras que la elección de los destinados a otros usos atiende al menor esfuerzo requerido por la extracción y transporte. En este contexto, el consumo de agua variaba entre 5 y 10 litros por persona y día, según fuera invierno o verano, respectivamente.

El bombeo desde los pozos seleccionados por el proyecto y la introducción de llaves en las casas mediante una red de distribución han hecho coincidir el agua de mejor sabor con la más accesible, provocando la fusión de los dos sistemas del uso tradicional del agua. Esto hace que todo el agua pase por un único contador, y obliga a apoyarnos en entrevistas para intentar discernir entre las cantidades consumidas en cada uso en particular. Tomemos, por ejemplo, el caso de Ait Mersid, con un consumo mensual total (según registros de contador) de 447 m³ en verano y 307 m³ en invierno. Nuestros informantes dicen que en el pueblo hay 15 vacas y 400 cabras que beben respectivamente 60 y 7 litros por cabeza en verano y la mitad en invierno, lo que conduce a estimar que el reparto del agua entre personas y ganado es de 75 y 25%, respectivamente. A falta de mejores datos, en los análisis que siguen se utilizarán exclusivamente las cifras de “litros por habitante y día” calculadas como el simple cociente entre consumo total y per-

Cuadro 11.2

Sistemas de suministro

Subsistema	Descripción
Recurso	Agua subterránea alcanzada mediante un pozo (diámetro 15 cm) o un pozo (60 cm < diámetro < 200 cm), a una profundidad de entre 10 y 100 metros, que suministra agua durante todo el año y sin problemas de contaminación química.
Captación	Una moto-bomba de entre 200 y 5000 W de potencia asociada a un sistema de alimentación fotovoltaico (para proporcionar 409 litros por persona y día)
Conducción	Tubería de polietileno con caudalímetro que conecta la salida de la moto-bomba con la entrada del depósito.
Acumulación	Depósito elevado de hormigón con capacidad superior a 3 veces el consumo total diario
Distribución	Tubería de polietileno que conecta la salida del depósito con cada casa (provista de un contador y una distribución interna).
Acarreo	-
Tratamiento	-
Evacuación	Pozos negros y canalizaciones para evitar charcos

sonas, es decir, sin discernir entre los diferentes usos.

El proyecto instaló contadores de agua a la salida de la bomba y a la entrada de cada vivienda. Durante las visitas de los investigadores a los pueblos se solicitó y transcribieron todos los datos existentes tanto de consumos como de agua bombeada con el fin de analizar esta cuestión. Es sobresaliente el hecho de que en cada localidad se encontraran registros detallados con todos estos datos, incluyendo las horas de puesta en marcha y parada de la bomba y comentarios sobre las condiciones meteorológicas de cada día. El análisis de los datos permite percibir unos primeros indicios de estabilización del consumo. Si se toma, por ejemplo, el caso de Iferd, se observa que el consumo total tiene dos niveles bien diferenciados (ver figura X_1): uno en invierno, con un consumo mensual total medio de 388 m³/mes; y otro en verano, con 629 m³/mes de media. Dicho en otras palabras, parece que el consumo se estabiliza en torno a 20,7 litros por persona y día en invierno (6.4 m³/mes por vivienda en media de octubre a marzo), y a 33 litros por persona y día en verano (11.6 m³/mes por vivienda en media de

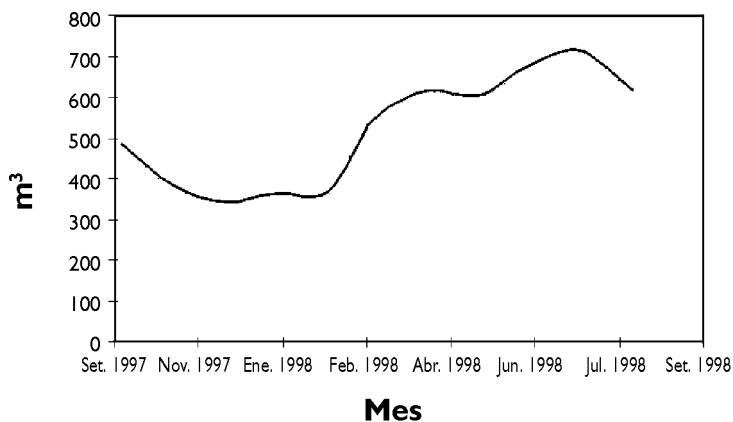
abril a septiembre). En Ait Mersid los valores son ligeramente mayores pero dentro del mismo rango (ver cuadro 11.3). Esta misma tendencia se observa en el resto de pueblos donde el proyecto ha instalado sistemas de abastecimiento.

Finalmente, ni antes de la llegada del proyecto, cuando el aprovisionamiento de agua se realizaba de la manera tradicional, ni después de la instalación de los sistemas fotovoltaicos de bombeo se escucharon preocupaciones respecto a la calidad sanitaria del agua por parte de los usuarios. Ningún pozo disponía de tapa, y ni las cuerdas ni los calderos se guardaban en lugares particularmente limpios, a pesar de que constituían una indudable fuente de contaminación de los pozos. Las preguntas con relación a un posible tratamiento del agua no recibieron más que un cierto aire de extrañeza como respuesta. Parece obligado reconocer que la atención que los habitantes de los poblados prestan a la calidad sanitaria del agua es ínfima, siendo sus prioridades la fiabilidad en el suministro, el buen sabor y la reducción del esfuerzo para el aprovisionamiento.

La experiencia en San Antonio Aguas Benditas,

Figura 11.2

Evolución del consumo global de agua en Iferd.



Cuadro 11.3

Comparación del consumo medio total en la población, y del consumo medio por habitante, en invierno y en verano, para Iferd y Ait Mersid

Período	Iferd		Ait Mersid	
	Consumo Total (m ³ /mes)	Consumo por habitante (l/persona y día)	Consumo Total (m ³ /mes)	Consumo por habitante (l/persona y día)
Invierno	388	20,7	307	29,2
Verano	629	33	447	41,8

Estado de México (manantial y celda electrolítica)

La investigación del funcionamiento de la celda electrolítica CEDAT dentro del marco del proyecto Clean Water with Clean Energy, tenía como meta final su aplicación en zonas rurales operando conjuntamente con un sistema fotovoltaico. Por tal razón fue necesario la búsqueda de una pequeña comunidad con los problemas típicos relacionados con el suministro de agua potable en zonas rurales en países en vías de desarrollo. Se eligió la población de San Antonio Aguas Benditas, que está ubicada a 2 700 m.s.n.m.

Cuadro 11.4

Subsistemas del sistema de potabilización (Iferd y Ait Mersid, Marruecos)

Subsistema	Descripción
Bomba Inyectora	Bomba dosificadora provista de control de frecuencia de inyección, y con capacidad para inyectar la dosis adecuada de cloro para el caudal máximo de bombeo.
Control	Sensor de cantidad de agua bombeada que transmite una señal de control a la bomba inyectora y que regula la cantidad de cloro con que potabilizar el agua.
Interfase	Collarín para la tubería de distribución, donde se adapta el inyector.
Acumulación	Depósito para almacenar el hipoclorito de sodio
Alimentación energética	Sistema de alimentación de electricidad mediante fuente de energía renovable (energía solar fotovoltaica).

en la sierra volcánica central entre Cuernavaca y Toluca a una distancia de 50 km de las dos ciudades. La comunidad cuenta con 150 hab. El consumo de agua es de 10 l/h/d cubriendo las necesidades de bebida y preparación de alimentos. Para lavado de ropa e higiene personal se acude a un río cercano a la población. La fuente de abastecimiento de agua es un manantial que está ubicado 1 km aguas arriba de la población y su conducción hasta la comunidad se efectúa por un canal a cielo abierto. La calidad del agua en el manantial es de excelente calidad, sin embargo, en el camino a la comunidad esta calidad se deteriora significativamente por dejar el acceso libre a la contaminación de origen natural y animal. Como consecuencia existe en la población frecuentes brotes de diarreas y enfermedades intestinales.

La Celda CEDAT es un equipo que genera cloro a partir de sal de mesa. El desarrollo de los dispositivos tipo MOGGOD (Mixed Oxidant Gas Generator On Site For Disinfection) fue propuesto en América Latina desde el año de 1982 por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) para el abastecimiento de comunidades pequeñas o aisladas. Bajo esta misma perspectiva el Centro de Desarrollo y Adaptación de Tecnologías (CEDAT) de la Secretaría de Salud (SSA - México) desarrolló un equipo para la producción de gas cloro generado in situ al interior de una celda electrolítica a partir de sal de mesa (NaCl). En el marco de este proyecto el CEDAT colaboró con el IIE - México en la optimización del funcionamiento de este equipo.

Después del análisis de las necesidades de desinfección y de las circunstancias de operación para la celda, se puede definir los datos base para el cálculo del comportamiento del equipo propuesto con un sistema fotovoltaico para su alimentación eléctrica. Por otro lado, la cantidad de agua potable requerida para los 150 hab. de San Antonio Aguas Benditas es de 3 m³/d bajo una dotación de 20 l/h/d. Aún cuando actualmente se consume sólo la mitad de la dotación, se estima que el consumo de agua se incrementará con la mejora de la calidad del agua. Suponiendo una agregación de 2 mg/l de cloro por litro de agua para garantizar la desinfección y el cloro residual que inhiba la re-contaminación del agua y de acuerdo con los análisis químicos realizados se requieren 6 g de cloro por día.

La experiencia en el Ejido Tres Barrancas, México

La comunidad seleccionada para el estudio de caso ha sido la comunidad del Ejido Tres Barrancas, Almoloya de Juárez, Estado de México, con una población de 200 habitantes. El sistema de recolección de agua de lluvia elegido representa, probablemente, un escenario de los más frecuentes en Mé-

Cuadro 11.5
Sistema de suministro
(San Antonio Aguas Benditas, México)

Subsistema	Descripción
Recurso	Agua de manantial con buena calidad en la fuente, pero deterioro de la misma en el transporte a la comunidad. El agua se usa principalmente para el cultivo de flores y maíz
Captación	Tanque construido con un vertedor para medición de caudales
Conducción	Canal a cielo abierto.
Acumulación	Depósito elevado.
Distribución	Inexistente entre el depósito de almacenamiento y las casas del pueblo.
Acarreo	-
Tratamiento	-
Evacuación	Canalizaciones para evitar charcos

xico. En los párrafos siguientes se describe la técnica y consideraciones de construcción para este tipo de recolección de lluvia. Esta última expresión se emplea para describir el proceso de colectar y almacenar agua de una cuenca natural o de una superficie que ha sido tratada para incrementar el escurrimiento superficial.

El escurrimiento coleccionado de la precipitación, es almacenado en reci-

Cuadro 11.6
Sistema de potabilización
(San Antonio Aguas Benditas)

Subsistema	Descripción
Celda electrolítica	Celda productora de gas cloro in situ a partir de sal de mesa, dispositivo tipo MOGGOD.
Control	Regulador de carga eléctrica.
Acumulación	Depósito para almacenar el agua clorada
Alimentación energética	Sistema de alimentación de electricidad mediante fuente de energía renovable (energía solar fotovoltaica), batería 60 Ah, convertidor de 12V/6V.

piques de tierra o en cisternas. El agua almacenada es, entonces, utilizada fundamentalmente para consumo humano y animal (Velasco-Molina, 1991).

El diagrama del sistema de abastecimiento y potabilización del agua se encuentra en la figura 11.3. Las partes del sistema que a continuación se describen son: El cosechador de agua de lluvia tipo estanque, el mecanismo para uso de agua, la tubería de alimentación de agua a la planta de tratamiento, el sistema de bombeo y el bebedero para ganado.

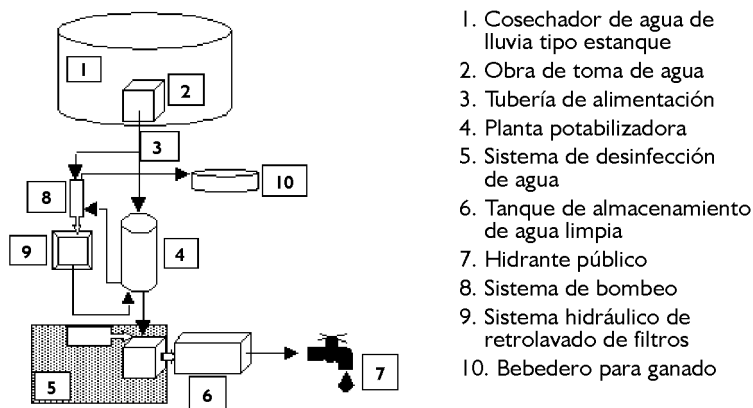
Colector de agua de lluvia tipo estanque

Uno de los sistemas recolectores de agua de supervivencia más comunes es el llamado estanque, dado que las condiciones topográficas que se necesitan para su construcción, son más fáciles de encontrar que las requeridas para otros sistemas recolectores, tales como para las presas de tierra. Los estanques son construidos en terrenos con pendiente, excavando en la superficie donde se va a encontrar el depósito y utilizando la tierra para formar el terraplén o bordo. Es importante destacar que en uno de los extremos del bordo, se requiere la construcción de una obra de desagüe o vertedor de demasías. En la figura 11.4 se muestra la perspectiva y el corte de un estanque o bordo.

El volumen requerido del bordo es la adición del volumen total de agua de consumo durante el año; el volumen de azolves esperado y el volumen

Figura 11.3

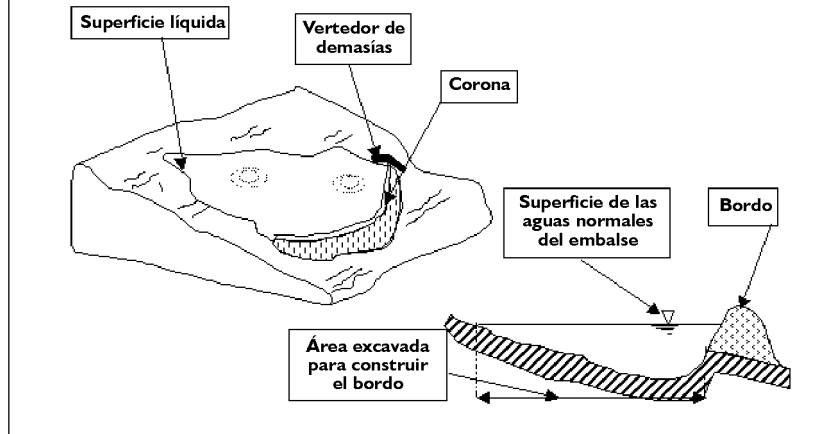
Diagrama del sistema de abastecimiento y potabilización de agua (Ejido Tres Barrancas, México).



Cuadro 11.7
Sistema Tres Barrancas, México

Subsistema	Descripción
Colector de lluvia tipo estanque	La definición de un estanque, jagüey o bordo como se le denomina en el medio rural mexicano, es un recipiente mas o menos circular que intercepta las aguas de escurrimiento, donde la elevación de todos los puntos de la superficie de su corona, es igual a la elevación natural de la superficie del suelo que intercepta en sus extremos.
Obra de toma	El mecanismo instalado como obra de toma de agua del estanque consiste en una caja de 3m por 3m por 3m, ubicada en cercanía con el borde del estanque. De este cubo, en su pared de cara al centro del estanque, se instalaron tubos y válvulas de acceso de agua a diferentes niveles, con el objeto de utilizar siempre las aguas de mejor calidad.
Tubería de alimentación	La tubería utilizada para realizar la alimentación del estanque con la planta potabilizadora y el sistema de bombeo al tanque de retrolavado, consta de tubo PVC de 4"diámetro. La tubería está dotada de válvulas con la finalidad de regular los caudales de entrada a cada una de los componentes con quien está conectada.
Sistema de bombeo	El sistema de bombeo "hidráulico" diseñado, tiene en consideración el empleo de energía limpia, razón por la cual el mecanismo para elevar el agua de una cota inferior a otra superior, sólo requiere de un desnivel suficiente entre el nivel de agua cruda y el nivel de agua tratada. Se ha diseñado una bomba pistón donde el agua cruda transmite su energía al agua tratada, sin mezcla, y se vierte el agua tratada en el tanque de retrolavado ubicado en una cota superior.
Bebedero para ganado	El bebedero es un estanque simple de almacenamiento de agua cruda que proviene de la bomba "hidráulica". Igualmente, se ha instalado una malla perimetral al estanque para evitar que las excretas del ganado contaminen el agua recolectada (figura 11.3).

Figura 11.4
Perspectiva y corte de un estanque o
bordo en un terreno inclinado



de agua que será perdido por evaporación. Aproximadamente, el volumen de agua perdida por evaporación y el volumen esperado de azolves varía entre un 40 – 60% del volumen total requerido, considerando un valor promedio de 50% como valor de diseño.

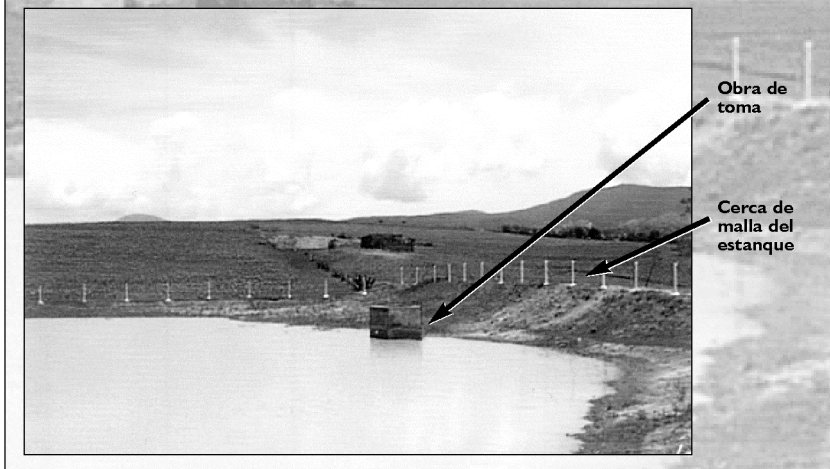
Planta de tratamiento y sistema de desinfección

Antes de iniciar la operación de la planta potabilizadora en la comunidad, se realizaron pruebas de tratabilidad en una planta piloto escala 1:2 con agua cruda procedente del estanque construido con la finalidad de asegurar la calidad y eficiencia de los procesos, así como para determinar las dosis y coagulantes adecuados tomando como base los resultados obtenidos en laboratorio.

El sistema de tratamiento empleado en esta planta de potabilización de agua tiene como base las operaciones y/o procesos unitarios de coagulación – floculación, sedimentación, filtración y desinfección, las cuales deberán realizarse en dispositivos de bajo costo y fácilmente operables. Este proceso debe garantizar la calidad del agua de consumo conforme a las normas nacionales. La figura 11.6 muestra un croquis de la planta en donde se pueden ubicar las partes que integran el sistema (Solís Morelos, 1990).

Figura 11.5

Obra de toma o mecanismo para uso de agua y cerca de malla del estanque.



La experiencia en Balde del Sur de Chucuma, San Juan, Argentina (pozo, bomba dosificadora de cloro y sistema fotovoltaico)

El Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Fgh-ISE) y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) desarrollaron esta cuarta fase del proyecto en donde el objetivo principal fue la instalación de equipo de cloración de agua en los dos lugares del Balde del Sur de Chucuma. Uno de los lugares estratégicos seleccionados fue la escuela de la región y el segundo lugar estratégico fue la comunidad central de la misma región. En la escuela se dotó de equipamiento necesario para potabilizar el agua para consumo humano bajo la construcción de un sistema conformado por una unidad de poder fotovoltaica, un equipo de desinfección por rayos ultravioleta acoplado a un tanque de almacenamiento de agua tratada con capacidad de 1m³. Particularmente en este proyecto se consideró de manera muy significativa la interacción con la aceptabilidad de la nueva tecnología en la comunidad. Para llevar a cabo esta ardua tarea, los investigadores sociales asociados al proyecto desarrollaron y aplicaron técnicas para introducir los conceptos de la nueva tecnología instalada y su correlación con la calidad del agua y sus beneficios en la salud de la comunidad.

Cuadro 11.8

Sistema de potabilización, Tres Barrancas, México

Subsistema	Descripción
Dispositivo de mezcla rápida	Este dispositivo esta constituido por una caja de 40 cm de ancho por 70 cm de largo y 40 cm de altura el cual contiene un tubo de alimentación de pvc de 2.54 cm de diámetro interior, que entra a un recipiente cilíndrico de 20 cm de diámetro por 22 cm de altura, un vertedor de pared delgada de 40 cm de ancho por 8 cm de altura y un tubo de salida.
Floculador	El dispositivo de mezcla lenta empleado en esta planta, esta constituido por un tubo cilíndrico dentro del cual se ha incluido un tubo de alimentación para provocar un flujo helicoidal ascendente, para con esto llevar a cabo un movimiento en el agua y el tiempo necesario para formar el floc.
Sedimentador	Es aquí donde se separan físicamente los sólidos suspendidos del agua por la acción de la fuerza gravitatoria dando como resultado un manto de lodos en la parte baja del sedimentador y un efluente clarificado en la parte superior con un 80 – 90 % de remoción de sólidos. Es importante mencionar que el manto de lodos se forma cuando a la velocidad de ascenso del agua y la de sedimentación de las partículas son iguales, funcionando así como un prefiltro.
Filtros	El sistema de filtrado se introduce en un sistema de potabilización con la intención de retener los flocs que han escapado del proceso de sedimentación, es decir el floc que el dispositivo de sedimentación de alta tasa no pudo retener y algunos sólidos disueltos que serán retenidos gracias a las propiedades de adsorción del medio filtrante.
Sistema de desinfección.	La desinfección del agua se realizará con hipoclorito de sodio, almacenado en un tanque de 100 litros dosificado por goteo a una tubería de 2" que recibe el efluente del sistema de filtros y descarga a una profundidad de 60 cm en un tanque. Con ayuda de unas mamparas se induce un flujo pistón para distribuir el hipoclorito en todo el caudal durante el tiempo de contacto necesario para que se lleve a cabo la desinfección.
Tanque de almacenamiento de agua limpia	Se ha construido un tanque de almacenamiento de agua potable, con capacidad de 22.5 m ³ efectivos. Lo anterior debido a que la planta operará en forma continua y la demanda de la comunidad será de acuerdo con sus necesidades, usos y costumbres.

Cuadro 11.9
Sistema de suministro y potabilización
 (Escuela de Balde del Sur de Chucuma,
 Argentina)

Subsistema	Descripción
Recurso	Agua de pozo
Captación	Sistema de bomba fotovoltaica y tanque elevado
Conducción	tubería.
Acumulación	Depósito elevado.
Equipo de desinfección de rayos ultravioleta	Lampara de generación de rayos ultravioleta de origen alemán y alimentada por energía solar.
Control	Válvula controlada eléctricamente
Acumulación	Depósito para almacenar el agua purificada
Alimentación energética	Sistema de alimentación de electricidad mediante fuente de energía renovable (energía solar fotovoltaica)

Cuadro 11.10
Sistema de suministro y potabilización del
sistema de la comunidad central de
Balde del Sur de Chucuma Argentina

Subsistema	Descripción
Recurso	Agua de pozo
Captación	Sistema de bomba fotovoltaica o bomba accionada por energía eólica y tanque elevado
Conducción	tubería.
Acumulación	Depósito elevado.
Cloración	Bomba dosificadora de hipoclorito de sodio y alimentada por energía solar.
Control	Válvula controlada por el flujo de agua (tipo venturi)
Acumulación	Depósito para almacenar el agua purificada
Alimentación energética	Sistema de alimentación de electricidad mediante fuente de energía renovable (energía solar fotovoltaica o energía generada por viento)

Complementariamente, para la comunidad central de Balde del Sur de Chucuma se diseñó otra unidad de desinfección consistente en un dosificador de hipoclorito de sodio accionado por una bomba eléctrica por energía fotovoltaica adicionando el cloro en la red de distribución de agua potable. Así pues, la comunidad fue dotada de una red de distribución contando igualmente con un medidor de consumo de agua.

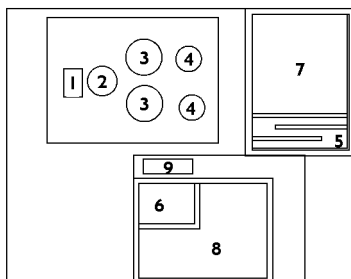
Conclusiones

Las principales conclusiones obtenidas después de haber concluido este proyecto de abastecimiento de agua potable para comunidades rurales pueden resumirse de la siguiente manera:

1. La dotación de agua potable mínima requerida para cubrir las necesidades de bebida y cocina oscilan entre 5 y 10 l/h/d incluso en regiones muy áridas y calientes.
2. Por otro lado, no existe un límite superior para el consumo de agua en comunidades rurales y puede ser tan elevado como en las zonas urbanas dependerá principalmente de la facilidad de acceso al vital líquido.
3. Un ligero rechazo al sabor a cloro fue observado en el desarrollo de las actividades del proyecto, sin embargo este rechazo desaparece cuando la población percibe alguna ventaja adicional del nuevo sistema implantado, tal como un mejor y fácil acceso al agua.

Figura 11.6

Partes que integran la planta de tratamiento.



1. Mezcla rápida
2. Floculador
3. Sedimentador
4. Filtro rápido de arena
5. Sistema de desinfección
6. Tanque de retrolavado
7. Depósito de agua tratada
8. Bodega
9. Sistema de bombeo

4. El proceso de introducción de una diferente manera de vivir con el agua potable implica cambios en los hábitos de una comunidad haciendo necesaria la intervención de sociólogos capaces de introducir nuevos conceptos de salud e higiene a la comunidad.
5. Con respecto a la organización, es importante identificar personas líderes en la comunidad que permitan la introducción de nuevas tecnologías sin afectar la intimidad social de la propia comunidad.
6. La durabilidad de las nuevas instalaciones dependerá de la calidad en la transferencia tecnológica efectuada hacia la comunidad.
7. En realidad no existe una solución única para resolver el problema de abastecimiento de agua potable a comunidades rurales, la solución óptima dependerá de características específicas de cada comunidad.
8. El sistema de abastecimiento de agua potable con base en un recolector de agua de lluvia acoplado a una planta potabilizadora parece ser una solución técnica apropiada para dotar del vital líquido a pequeñas comunidades rurales (200 habitantes) la cual no requiere de energía eléctrica y por lo cual tiene un costo de producción de agua potable menor a 0.05U\$/m³.
9. De acuerdo con los resultados observados los requerimientos de energía para desinfectar 1m³ de agua son menores a 0.2kWh y esta energía puede ser provista bajo el uso de tecnología limpia.
10. Igualmente, el uso de la celda electrolítica productora de gas cloro *in situ*, a partir de sal de mesa, es una tecnología prometedora y de bajo consumo de energía (0.03 kWh/m³) que puede proponerse como solución en algunos casos de desinfección de agua en comunidades rurales.

Finalmente, se señala que aún es necesaria mayor investigación orientada a la mejora de tecnología y de procesos para la optimización de este tipo de soluciones para dotar de agua potable a comunidades rurales.

Referencias

1. Realizado por Carlos Díaz Delgado, Daury García Púlido y Carlos Solís Morelos del *CIRA-UAEM-México*; Klaus Preiser, Orlando Parodi y Petra Schweizer-Ries del *FGb-ISE-Alemania*; Jorge Huacuz, Jaime Agredano y Consolación Medrano del *IIE-UENC-México*, Eduardo Lorenzo, Luis Narvarte, *UPM-IES-España*; Carlos Parera, Alejandro Digeorgis y Elena Hidalgo del *INTA-SJ, Argentina*.
2. Realizado por la Universidad Autónoma del Estado de México, el Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA – UAEM) y el Instituto de Investigaciones Eléctricas, unidad de Energías no convencionales (IIE-UENC), de México; el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de San Juan (INTA-SJ), Argentina; la Universidad Politécnica de Madrid y el Instituto de Energía Solar (IES-UPM) de España, el Fraunhofer – Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung e. V., Institut für Solare Energiesysteme (Coordinadores del proyecto) y FHG.ISE de Alemania y la Red Iberoamericana de Energía Solar (RIES).

3. El presente capítulo reúne las experiencias adquiridas a lo largo de varios años de investigación y particularmente las lecciones aprendidas recientemente bajo la realización del proyecto Clean Water with Clean Energy. Este proyecto de investigación fue patrocinado por la Comisión Europea en el marco del programa INCO (No. IC18-CT960104). En este proyecto participaron instituciones de México, Argentina, España, Alemania e internacionales que unieron esfuerzos para hacer propuestas técnicas tendientes a solucionar el problema de abastecimiento de agua potable en comunidades rurales de países en vías de desarrollo.

4. Para el diseño de sistemas de potabilización de agua en comunidades rurales de países en vías de desarrollo influyen varios factores: ausencia de infraestructuras (por ejemplo caminos), falta de energía eléctrica; dificultad para suministrar piezas de reemplazo e insumos, escasez de recursos financieros; insuficiente capacitación de recursos humanos para la operación y mantenimiento de un sistema complejo; falta de conciencia de los problemas relacionados con la baja calidad del agua; problemas sociales, etc. En consecuencia, se ha intentado abordar el problema desde una perspectiva más global, que ha llevado a comenzar por describir la multitud de aspectos directamente relacionados con el agua potable, y cuya consideración debe incluirse en todo proyecto de potabilización. Lo anterior se ha hecho utilizando el concepto de “sistema”.