

Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales por medio de un sistema de colección de lluvia-planta potabilizadora

CARLOS DÍAZ DELGADO, DAURY GARCÍA PÚLIDO Y CARLOS SOLÍS MORELOS*

Recepción: 20 de septiembre de 1999

Aceptación: 02 de diciembre de 1999

Drinking Water Supply in Small Rural Communities Trough a System of Rainfall Collection-Treatment Plant

Abstract. *In this paper is showed the design of a system of drinking water supply for small rural communities trough rainfall collection-treatment plant. The design of the developed treatment plant considers a consumption of 60 l/h/d. In this work the following characteristics have been retained as the representatives for a rural community: ≤ 200 inhabitants; lack of potable water and electrical energy; to count on the possibility of supplying themselves of surface water under specific topographical conditions that they diminish the requirements of energy in the purification process. The rainwater harvesting represents a frequent scene in Latin America, and the proposed process of purification considers devices of low cost and easily operation.*

Introducción

La cobertura de agua potable en 25 países de América Latina y el Caribe para fines de 1988 fue de 291.6 millones de habitantes en áreas urbanas y 124 millones en zonas rurales (Castro de Esparza, 1997). Sin embargo, la cobertura registrada corresponde únicamente a un acceso al vital líquido, 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 gene-

ral, este tipo de comunidades se caracteriza por ser muy dispersa y, en consecuencia, el agua ingerida tiene un tratamiento deficiente o en algunos casos inexistente.

Por otro lado, no hay 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 Organización Mundial de la Salud (OMS, 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 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).

* Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México. Cerro de Coatepec s/n, Toluca, Estado de México, México, C. P. 50130. Correo electrónico: cdiaz@coatepec.uaemex.mx

Este proyecto de investigación ha sido posible gracias al financiamiento otorgado por la Comisión DGXII de la Comunidad Europea, Contrato No.: ERBIC 18CT960104 y cuyo responsable es el Dr. Carlos Díaz Delgado. Los autores desean expresar su agradecimiento al personal de apoyo técnico y administrativo del CIRA y a los estudiantes que han participado en alguna etapa de este proyecto.

Para México, el consumo de agua orientado a la satisfacción de las principales necesidades (bebida y cocina) se ha estimado según el clima y accesibilidad entre 25 y 100 l/h/d, con la aclaración de que si existe consumo de agua para animales domésticos, estos valores pueden incrementarse hasta en un 50%. Es importante señalar que para el presente caso de estudio, se ha estimado un consumo actual de 10 l/h/d, debido a que para obtener el agua se recorre una distancia mayor a 4 km. Asimismo, en el diseño de la planta aquí propuesto se ha considerado un consumo de 60 l/h/d; sin duda alguna, y atendiendo orientaciones sociológicas, la dotación deberá otorgarse con incrementos paulatinos para evitar desperdicios.

El presente proyecto se desarrolla en Almoloya de Juárez, municipio del Estado de México, México. La comunidad seleccionada lleva el nombre de Ejido Tres Barrancas. El proceso de selección se realizó con base en las características, consideradas como representativas, de una comunidad rural en países en vías de desarrollo, que se resumen en: población ≤ 200 habitantes; no tener acceso a agua potable, ni a energía eléctrica; contar con la posibilidad de abastecerse de agua superficial y, preferentemente, con las condiciones topográficas favorables que minimicen los requerimientos de energía en el proceso de potabilización.

I. Situación del servicio de agua potable en México

La salud humana depende no sólo de la cantidad de agua suministrada, sino de su calidad; según la OMS (1979), “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 aún son muy elevadas comparadas con países desarrollados (la tasa de mortalidad por diarreas en países desarrollados es inferior a 1/100,000 hab).

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 la falta de 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; particularmente, en el Estado de México hay 95 comunidades en dicha situación (INEGI, 1995).

Entre 1950 y 1995, la población del Estado de México se incrementó de 1'392,623 a 12'239,403 habitantes, lo que significó que en los últimos 45 años la población creció aproximadamente 10 veces. Además, se consideró que es uno de los estados más importantes del país, debido a su contribución en la economía. Sin embargo, estas características también le generan un importante impacto social y ambiental; existen 3,714 comunidades rurales menores a 2,500 habitantes, cantidad que representa el 15.6% de su población que se caracteriza por la carencia de servicios básicos.

Por otro lado, en 1990 las enfermedades atribuidas a la mala calidad del agua presentaron una tasa de morbilidad general de 20/100,000 hab, pero en 1995 la tasa disminuyó hasta 15.1/100,000 hab, lo que representó una caída del 25% (Pavón *et al.*, 1997). En cuanto a las tasas de mortalidad general por causa de enfermedades infecciosas intestinales, para 1990 mostraban tasas de 32/100,000 hab, lo que equivalió a un decremento aproximado del 60%.

En el Estado de México uno de los grupos más vulnerables a las enfermedades infecciosas son los niños menores de un año, por lo que, según análisis exhaustivos de estadísticas sobre mortalidad infantil por enfermedades intestinales infecciosas, se encontró que en 1990 existían tasas de 576.6/100,000 hab, las cuales disminuyeron hasta 224.7/100,000 hab para 1994. Lo anterior representa una reducción en el periodo descrito de poco más del 60%.

Si se duda alguna, el suministro 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.

II. Sistema de colección y almacenamiento de lluvia-planta potabilizadora

La comunidad seleccionada para el estudio de caso ha sido el Ejido Tres Barrancas, Almoloya de Juárez, Estado de México, con una población de 200 habitantes. Además, en el abastecimiento de agua hubo de considerarse la existencia de ganado vacuno, bovino y asnal; como característica complementaria, la comunidad desarrolla actividades agrícolas con riego de temporal y cultivo de maíz principalmente.

El sistema de recolección de agua de lluvia elegido representa, probablemente, un escenario de los más frecuentes en México. En los párrafos siguientes se describe la técnica y consideraciones de construcción para este tipo de *recolección de lluvia*.¹

1. El término *recolección de lluvia* 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 recipientes 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 1. 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.

1. 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 (las presas de tierra, por ejemplo).

La definición de un estanque, *jagüey* o bordo, como se le denomina en el medio rural mexicano, es un recipiente más 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.

Los estanques son construidos en terrenos con pendiente, excavando en la superficie donde se ubicará 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 2 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 de agua que se perderá por evaporación. Aproximadamente el volumen de agua perdida por evaporación y el volumen esperado de azolves varía entre un 40 y 60% del volumen total requerido, considerando un valor promedio de 50% como valor de diseño.

2. Obra de toma

El mecanismo instalado como obra de toma de agua del estanque consiste en una caja de 3·3·3 m, ubicada cerca del borde del estanque. En la pared de este cubo, 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 (ver figura 3).

3. Tubería de alimentación

La tubería utilizada para realizar la alimentación del estanque con la planta potabilizadora y el sistema de bombeo al

FIGURA 1. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y POTABILIZACIÓN DE AGUA DEL EJIDO TRES BARRANCAS, ESTADO DE MÉXICO.

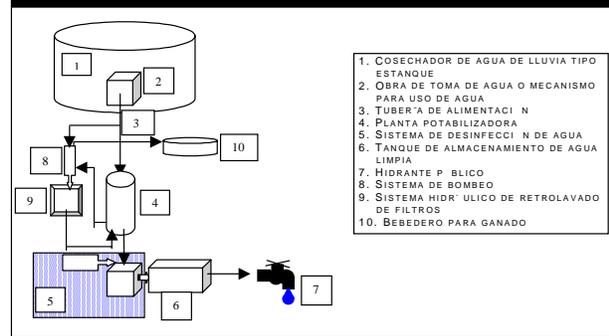


FIGURA 2. PERSPECTIVA Y CORTE DE UN ESTANQUE O BORDO EN UN TERRENO INCLINADO.

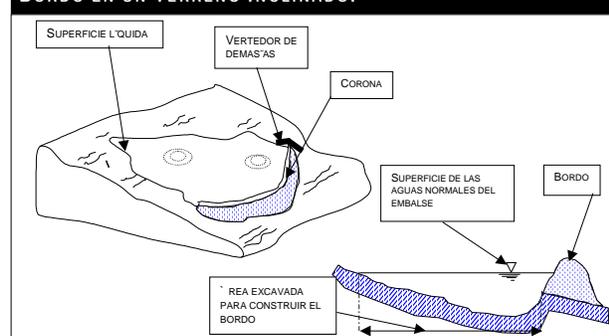
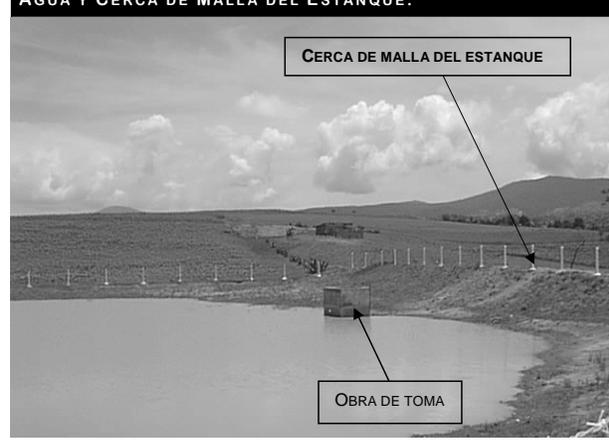
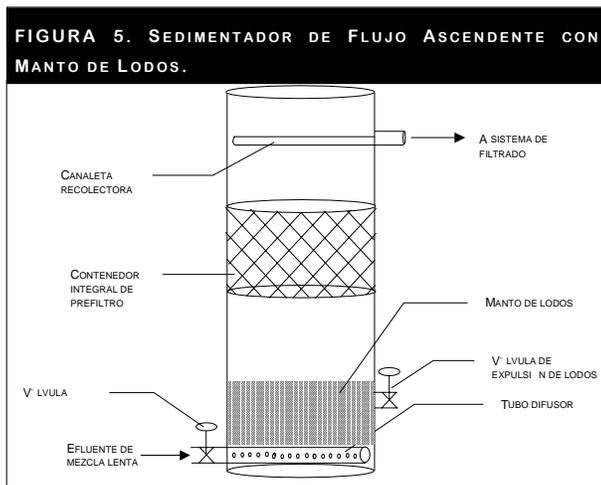
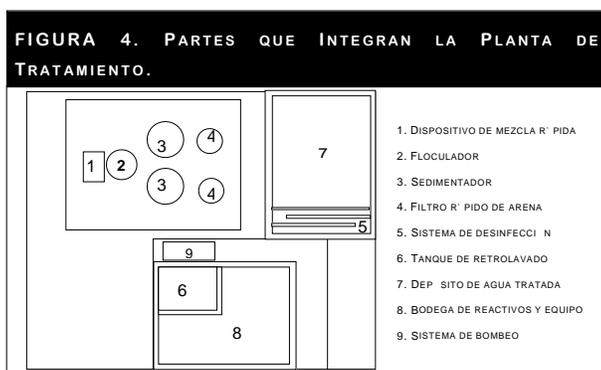


FIGURA 3. OBRA DE TOMA O MECANISMO PARA USO DE AGUA Y CERCA DE MALLA DEL ESTANQUE.



tanque de retrolavado, consta de tubo PVC de 4" de diámetro. La tubería está dotada de válvulas con la finalidad de regular los caudales de entrada a cada uno de los componentes a los que está conectada.



4. 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 a la tratada, sin mezcla, y se vierte el agua tratada en el tanque de retrolavado ubicado en una cota superior.

5. Bebedero para ganado

El bebedero es un estanque simple de almacenamiento de agua cruda que proviene de la bomba “hidráulica”. Además, se ha instalado una malla perimetral al estanque para evitar que las excretas del ganado contaminen el agua recolectada (figura 3).

III. 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 determinar las dosis y los coagulantes adecuados, a partir de 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, los cuales deberán realizarse en dispositivos de bajo costo y fácilmente operables. Este proceso debe garantizar la calidad del agua de consumo conforme las normas nacionales. La figura 4 muestra un croquis de la planta donde se pueden ubicar las partes que integran el sistema (Solís Morelos, 1990).

1. Dispositivo de mezcla rápida

Este dispositivo está constituido por una caja de 40 cm de ancho por 70 cm de largo y 40 cm de altura, 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, además de un vertedor de pared delgada de 40 cm de ancho por 8 cm de altura y un tubo de salida.

2. Floculador

El dispositivo de mezcla lenta empleado en la planta está constituido por un tubo cilíndrico dentro del cual se ha incluido un tubo de alimentación para provocar un flujo helicoidal ascendente con el fin de llevar a cabo un movimiento en el agua y obtener el tiempo necesario para formar el floc.

3. Sedimentador

Es aquí donde se separan físicamente los sólidos suspendidos del agua por la acción de la fuerza gravitacional, 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 la velocidad de ascensión del agua y la de sedimentación de las partículas son iguales, por lo que funciona como un prefiltro (figura 5).

4. 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 dejó pasar y algunos sólidos disueltos que serán retenidos gracias a las propiedades de adsorción del medio filtrante (figura 6).

5. 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 (figura 7).

6. Tanque de almacenamiento de agua limpia

Adicionalmente se ha construido un tanque de almacenamiento de agua potable, con capacidad de 22.5 m³ efectivos, debido a que la planta operará en forma continua y la demanda de la comunidad estará de acuerdo con sus necesidades, usos y costumbres; es decir, con demandas pico que ocasionarán aglomeraciones de gente en algunas horas del día. Para solucionar esta problemática, se propuso este tanque de almacenamiento de agua limpia, al cual se instaló un sistema de hidrantes públicos como sistema de distribución de agua para servir simultáneamente a varios usuarios. Este tanque está dotado de tubería de demasías, de limpieza y de ventilación.

IV. Análisis de costo de producción de agua potable y comparación con un sistema convencional

El análisis de costos de inversión inicial, de operación y mantenimiento de la planta potabilizadora se resumen en la tabla 1.

En esta tabla se observa que, si bien el costo en la inversión inicial de un pozo profundo es superior al de la construcción de un colector de lluvia, el caudal que puede aportar es mayor, por lo que resulta poco práctico comparar los costos de inversión inicial; sin embargo, en lo que se refiere a los costos de operación y mantenimiento, y según los datos de la tabla 1, se observa que el costo del m³ de agua potable disponible es considerablemente menor en el sistema de colección de lluvia-planta potabilizadora que en el pozo profundo.

Conclusiones y recomendaciones

1. El sistema de abastecimiento de agua potable aquí propuesto, 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).

2. Asimismo, es importante mencionar que la inversión inicial y de mantenimiento requeridos no resultan significativos comparados con la perforación y explotación de un pozo

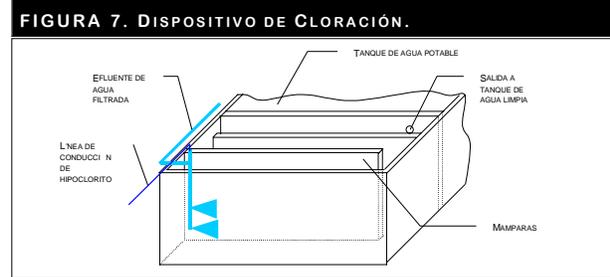
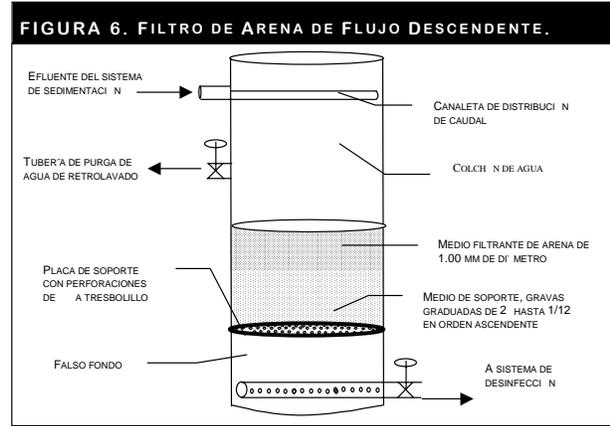


TABLA 1

COMPARACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL Y DE OPERACIÓN ENTRE EL SISTEMA DE COLECCIÓN DE LLUVIA-PLANTA POTABILIZADORA Y UN POZO PROFUNDO (SISTEMA CONVENCIONAL)

	COLECCIÓN DE LLUVIA-PLANTA POTABILIZADORA	POZO PROFUNDO (200 M, SUELO MIXTO)*
INVERSIÓN INICIAL	CONSTRUCCIÓN DEL ESTANQUE	PERFORACIÓN DEL POZO
	\$ 450,000	\$ 1 200,000
	OBRA ACCESORIAS	EQUIPO ELECTROMECÁNICO
	\$ 100,000	\$ 800,000
CONSTRUCCIÓN DE PLANTA POTABILIZADORA	\$ 350,000	EQUIPO DE CLORACIÓN
		\$ 120,000
		OBRA COMPLEMENTARIAS
		\$ 250,000
COSTOS DE OPERACIÓN		LÍNEA DE CONDUCCIÓN MÍNIMO 1.5 KM
	REACTIVOS QUÍMICOS	\$ 300,000
	0.32 \$/m ³	TOTAL
	MANTENIMIENTO	\$ 2 670,000
0.10 \$/m ³		
ENERGÍA		
0.00 \$/m ³		
TOTAL	0.42 \$/m ³	TOTAL
		16.36 \$/m ³
CONTRIBUCIÓN DE LA COMUNIDAD	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA 4 HR/DÍA	NINGUNA

* DATOS PROPORCIONADOS POR LA DIRECCIÓN DE OBRAS PÚBLICAS DEL H. AYUNTAMIENTO DE ALMOLOYA DE JUÁREZ, ESTADO DE MEXICO.

profundo. Esta última es solución muy frecuente en zonas semiáridas del país.

3. El costo de producción por metro cúbico de agua potable a través del sistema aquí propuesto ($0.42 \text{ \$/m}^3$) representa aproximadamente el 2.6% del costo de producción a través de un sistema de pozo profundo ($16.36 \text{ \$/m}^3$).

4. Los accesorios propuestos para optimizar los procesos de mezcla lenta, sedimentación y bombeo de agua para

retrolavado resultaron ser innovaciones tecnológicas muy eficientes, sencillas de construir, de bajo costo de mantenimiento y fácil operación, con grandes posibilidades de aplicación masiva en plantas potabilizadoras de este tipo.

5. 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 plantas potabilizadoras. ☺



BIBLIOGRAFÍA

- Castro de Esparza, M. L. (1997). "Contribuciones al manejo de los recursos hídricos en América latina", en *Acondicionamiento del agua para bebida*, conferencia. CIRA, Facultad de Ingeniería, UAEM. Toluca, México.
- INEGI (1995). *Conteo de población de 1995*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Estado de México, México.
- OMS (1979). *Public Standpost Water Supplies, a Design Manual Technical Paper Series*. No. 14, Organización Mundial de la Salud.
- Pavón Romero, S. H.; Rojas Pedral, M.; Morales Rodríguez, M. y Pavón Romero, J. (1997). "Contribuciones al manejo de los recursos hídricos en América Latina", en *Enfermedades hídricas*, conferencia. CIRA, Facultad de Ingeniería, UAEM. Toluca, México.
- US Joint Committee on Rural Sanitation (1961). *Approvisionnement en eau des zones rurales et des petites agglomérations*. Organisations Mondiale de la Santé, Geneve.
- Velasco-Molina, H. A. (1991). *Las zonas áridas y semiáridas, sus características y manejo*. Editorial Limusa.
- Solís Morelos, C. (1990). *Plantas compactas potabilizadoras accionadas con cargas hidráulicas*. Reporte Técnico final, UAEM, CONACYT, México.