

## **Capítulo 2**

# AGUA POTABLE PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES RURALES A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE COLECCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LLUVIA Y PLANTA POTABILIZADORA

### **Resumen**

El objetivo de este trabajo fue desarrollar tecnología propia y apropiada para dotar de agua potable a pequeñas comunidades rurales ( $\leq 250$  habitantes) que carecen de este servicio y de energía eléctrica. Este sistema consiste en un colector de lluvia y una planta potabilizadora que involucra las operaciones siguientes: mezcla rápida, coagulación floculación, mezcla lenta, sedimentación de alta tasa de remoción con manto de lodos, filtración en medio granular, filtración por carbón activo y desinfección con hipoclorito de sodio; ubicados en dispositivos conectados en serie en dos módulos paralelos. Cabe destacar que estas operaciones se realizan con energía limpia, esto es, a través de cargas hidráulicas, incluyendo el equipo de bombeo. Esta planta tiene posibilidades de operar en forma continua con un caudal de 0.3 L/s en condiciones de operación normal y hasta 0.7 L/s en condiciones extremas. Por lo anterior, se adicionó un tanque de almacenamiento que regula la operación en continuo de la planta y la demanda puntual de agua por parte de los usuarios. Los reactivos químicos empleados son cal química y sulfato de aluminio, de fácil acceso en el mercado, los cuales se preparan de forma manual y son dosificados mediante un sistema de goteo, lo que evita sistemas automáticos no recomendados en comunidades rurales. Como resultado de este proyecto, se desarrolló un paquete tecnológico compacto eficiente y de bajo costo que puede ser implementado fácilmente en comunidades rurales pequeñas. Finalmente, se considera que este paquete tecnológico puede brindar en América Latina un beneficio importante a bajo costo.

**Palabras clave:** agua potable, potabilización de la lluvia, recolector de lluvia, comunidades rurales, uso de energía limpia.

### **Introducción**

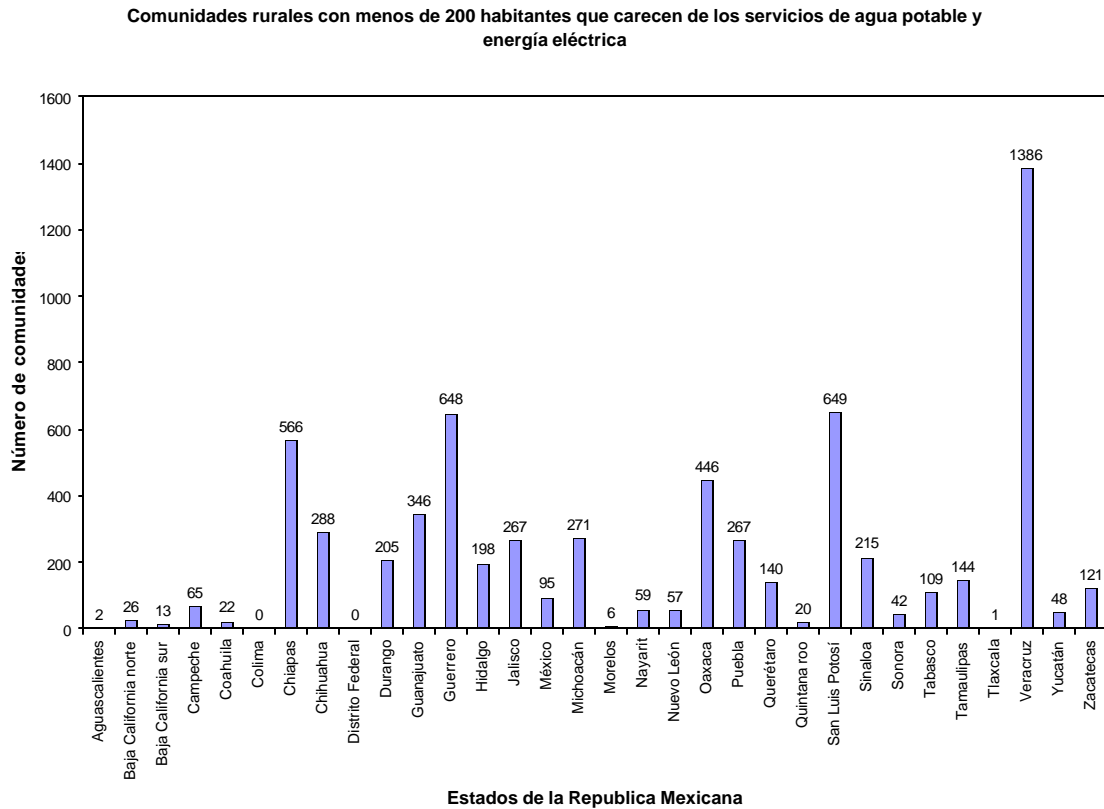
La cobertura de agua potable en 25 países de América Latina y el Caribe para fines de 1988 (Castro de Esparza, 1997), fue de 291.6 millones de habitantes en áreas urbanas y 124 millones en zonas rurales. Sin embargo, la cobertura registrada corresponde únicamente a un acceso al vital líquido, pero la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

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%. Es importante señalar que para el presente caso de estudio se ha estimado un consumo actual de 10 L/h/d ya que para obtener el agua se recorre una distancia mayor a 4 Km. Así mismo, en el diseño de la planta del presente proyecto se ha considerado un consumo de 60 L/h/d.

Por otro lado, es evidente que la salud humana depende no sólo de la cantidad de agua suministrada, sino principalmente de su calidad. 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 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 el no tener acceso al agua potable y a la energía eléctrica. En la República Mexicana existen 6 714 comunidades rurales  $\leq 200$  habitantes que no disponen de agua potable ni suministro de energía eléctrica (Figura 1) y particularmente para el Estado de México aún existen 95 comunidades en dicha situación (INEGI, 1995).

**Figura 1. Comunidades con menos de 200 habitantes sin servicios de agua potable ni energía eléctrica en la República Mexicana: INEGI (1995).**



La población del Estado de México entre 1950 y 1995 ha sido incrementada de 1 392 623 hab. hasta 12 239 403. En el Estado de México existen 3 714 comunidades rurales menores a 2500 habitantes, cantidad que representa el 15.59% de su población. Así pues, 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 Romero *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%.

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente trabajo es presentar una propuesta tecnológica sustentable y de bajo costo para la recolección de agua de lluvia y su proceso de potabilización con el uso de energía limpia orientado a satisfacer la necesidad de agua potable en pequeñas comunidades rurales de países en vías de desarrollo.

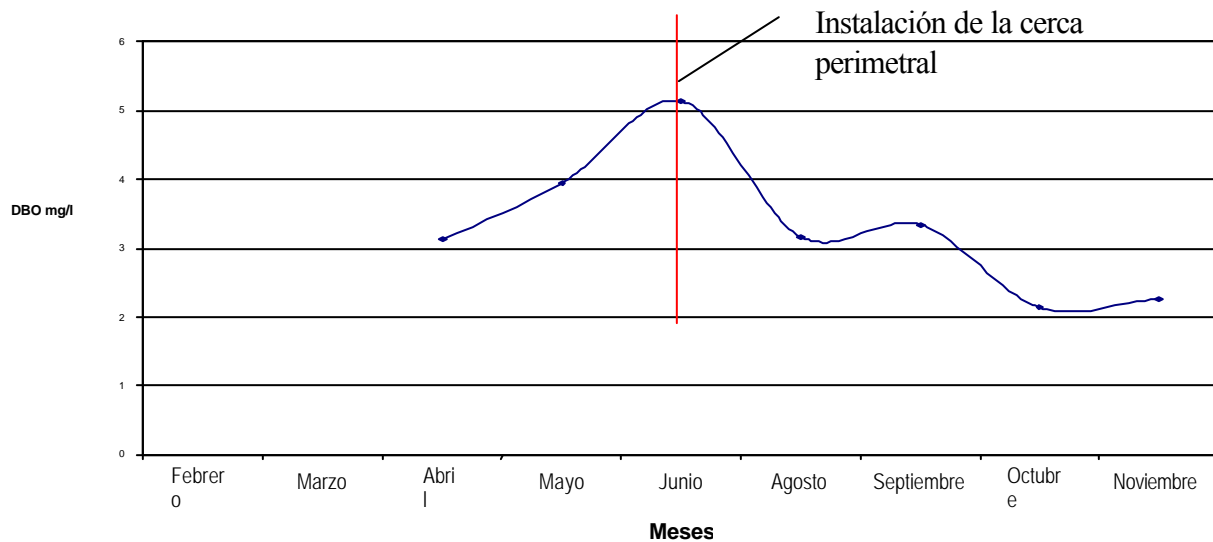
## **Metodología**

A través de una revisión bibliográfica de las estadísticas de población, se seleccionó una comunidad con base en las características consideradas como representativas de una comunidad rural en países en vías de desarrollo, que pueden ser resumidas de la siguiente manera: una población menor o igual a 200 habitantes; no tener acceso a agua potable; no tener acceso a energía eléctrica; contar con la posibilidad de abastecerse de agua superficial y preferentemente contar con condiciones topográficas que minimicen los requerimientos de energía en el proceso de potabilización. La comunidad seleccionada para el desarrollo de este proyecto fue la comunidad denominada: “Ejido Tres Barrancas” en el municipio de Almoloya de Juárez, Estado de México, México. Una vez seleccionada la comunidad, se realizó un análisis de la disponibilidad del agua superficial con que contaba, siendo éste un reservorio de la época de la colonia en malas condiciones por lo que se decidió reconstruir el bordo perimetral con el apoyo de las autoridades municipales.

Es importante mencionar que antes de iniciar la operación de la planta potabilizadora en la comunidad, se realizaron análisis físico-químicos y bacteriológicos del agua cruda del bordo para determinar la calidad de agua con la que se contaba. De acuerdo con la normatividad vigente, se identificaron los parámetros más importantes para llevar un control adecuado del sistema de potabilización, resultando de suma importancia la determinación de alcalinidad, sólidos disueltos y suspendidos totales, coliformes totales y fecales, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos y nitritos. Estos análisis tuvieron una continuidad por un período de 10 meses más con la intención de contar con un control estricto de la calidad que se tiene a lo largo del año en el reservorio, por lo que se analizaron muestras cada semana durante estos meses. Los resultados de estos análisis se compararon con los límites de tolerancia que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 y la OMS para agua potable, para determinar qué contaminantes había que remover y en qué proporción.

Los análisis realizados al agua cruda en el período febrero – junio de 1999 indicaron un incremento importante en las unidades formadoras de colonias de coliformes fecales, en la demanda bioquímica de oxígeno y en los sólidos disueltos y suspendidos; ello coincidió con el uso indebido del agua, ya que los animales entraban a abrevar directamente dentro del reservorio. Lo anterior, motivó a cercar el cuerpo de agua e instalar un abrevadero aguas abajo, evitando con esto un incremento en la contaminación. El efecto que esta medida tuvo, se vio reflejado durante el período de junio a noviembre de 1999 ya que se presentó un decremento importante en los valores de los parámetros de control de la contaminación seleccionados, dichos resultados se muestran en la figura 2.

Con los resultados de los análisis practicados a las muestras de agua cruda y con base en una revisión bibliográfica exhaustiva, se determinó que el sistema de tratamiento empleado en esta planta de potabilización de agua debería tener como base las operaciones y/o procesos unitarios de coagulación – floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Tales deberían realizarse en dispositivos fácilmente operables (ya que éstos se ubicarían en una zona rural donde los habitantes de la comunidad que operarán el sistema cuentan con escasos conocimientos de dichas actividades). Estos procesos deberán presentar escaso o nulo consumo de energía no renovable, pero que garanticen la calidad del agua de consumo conforme con las normas nacionales vigentes.

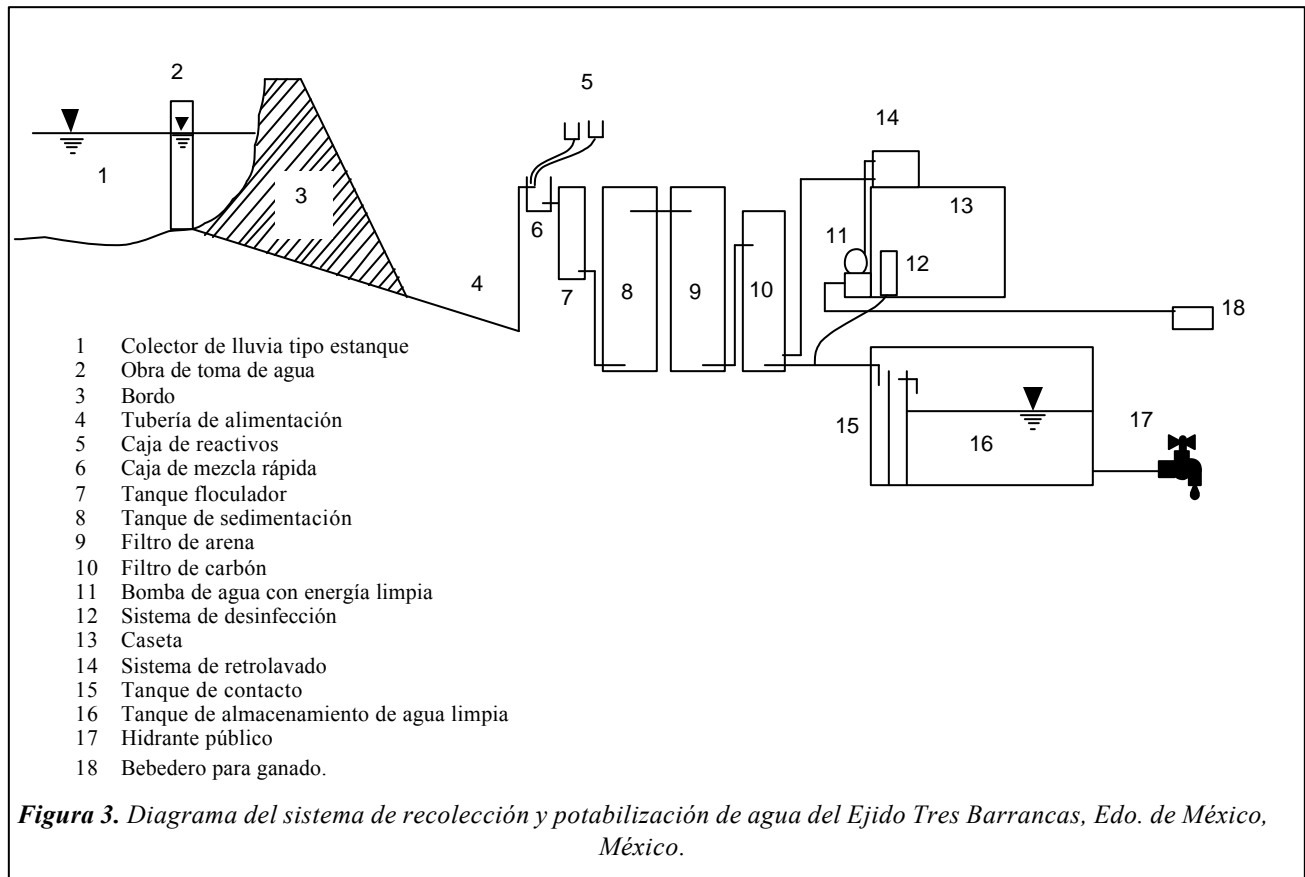


**Figura 2.** Variación de la DBO en el reservorio durante algunos meses del año.

Para determinar cuáles eran los reactivos químicos que permitieran desarrollar adecuadamente el proceso de coagulación-floculación, se elaboraron listas de todos los materiales de origen natural y sintético disponibles en el mercado, que podían servir para llevar a efecto el proceso y se probaron en laboratorio bajo el empleo de la técnica de las pruebas de jarras; de esta manera se inició así la selección y clasificación de estos reactivos. Posteriormente, se realizaron pruebas de tratabilidad en una planta piloto escala 1:2 con agua cruda procedente del estanque construido en la comunidad, con la finalidad de asegurar la calidad y eficiencia de los procesos, así como para determinar las dosis y coagulantes adecuados. Los resultados obtenidos en laboratorio y en la planta piloto, indicaron que los reactivos que mayor eficiencia tuvieron en este caso, fueron el sulfato de aluminio y la cal química.

### Descripción del sistema de colección y almacenamiento de lluvia-planta potabilizadora

El sistema de recolección de agua de lluvia elegido representa, probablemente, un escenario de los más frecuentes en México y en América Latina. El agua de escurrimiento es almacenado en recipientes de tierra o en cisternas. Dicha agua es, entonces, utilizada fundamentalmente para consumo humano y animal (Velasco-Molina, 1991). El diagrama del sistema de abastecimiento y potabilización propuesto se presenta en la figura 3.



### 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. Los estanques son construidos en terrenos con pendiente, excavando en la superficie donde se va a encontrar el depósito y utilizando el mismo material 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. El volumen requerido del bordo es la suma de los volúmenes de agua de consumo durante el año, de azolves esperados y de agua que se pierde 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 50% como valor de diseño.

### Obra de toma y tubería de alimentación

El mecanismo instalado como obra de toma de agua del estanque consiste en una caja de 3m por lado, ubicada en cercanía con el borde del estanque. 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 pulgadas de diámetro (10.16 cm).

**Sistema de bombeo y bebedero para ganado:** El sistema de bombeo diseñado tiene en consideración el empleo de energía limpia, razón por la cual el dispositivo para elevar el agua de una cota inferior a otra superior, sólo requiere de un desnivel suficiente entre los niveles de agua cruda y tratada. El bebedero es un estanque simple de almacenamiento de agua cruda que proviene del dispositivo antes mencionado.

**Planta de tratamiento y sistema de desinfección**

El sistema de tratamiento empleado en esta planta 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.

**El dispositivo de mezcla rápida** está constituido por una caja de 40 cm de ancho por 70 cm de largo y 40 cm de altura, que contiene un tubo de alimentación de PVC de 2.54 cm de diámetro interior. El tubo entra en un recipiente cilíndrico de 20 cm de diámetro por 22 cm de altura, con un vertedor de pared delgada de 40 cm de ancho por 8 cm de altura y un tubo de salida.

**El dispositivo de mezcla lenta (floculador)** empleado está formado por un tubo cilíndrico dentro del cual se incluyó un tubo alimentador para provocar un flujo helicoidal ascendente y llevar a cabo un movimiento circular en el agua y en función del tiempo necesario para formar el floc deseado.

**El sedimentador** utilizado en la planta de tratamiento es de flujo ascendente. Aquí 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 90-95 % de remoción de sólidos.

**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. En este caso se incluyó un filtro rápido de arena, seguido de una batería de dos filtros de carbón activo.

**La desinfección** del agua es realizada con hipoclorito de sodio dosificado por goteo a una tubería de 2” (5.08 cm) que recibe el efluente del sistema de filtros y descarga a una profundidad de 60 cm en un tanque de contacto de cloro constituido por mamparas. Igualmente, se construyó un **tanque de almacenamiento** de agua potable de 22.5 m<sup>3</sup> efectivos.

**Evaluación del sistema de potabilización.**

Para evaluar el sistema se determinó (con base en las pruebas de tratabilidad) tomar como base tres parámetros de control de fácil manejo que son pH, Color y Turbidez, los resultados de la evaluación del sistema en cuanto a la calidad del agua, se resumen en la figura 4.

TIPO DE AGUA	PARÁMETRO		
	pH	Color Unidades Pt/Co	Turbiedad NTU
<i>Agua cruda</i>	7.0	828	102.0
<i>Efluente del sedimentador - prefiltro</i>	7.3	183	22.0
<i>Efluente del filtro de arena</i>	8.5	33	5.0
<i>Efluente del filtro de carbón activo</i>	7.3	32	5.0

**Figura 4.** Resultados finales de los parámetros de control para la evaluación del sistema.

## Conclusiones y Recomendaciones

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 en América Latina y el Caribe.

Es importante mencionar que la inversión inicial y de mantenimiento requeridos no resultan significativos comparados con la perforación y explotación de un pozo profundo. El costo de producción de agua potable, bajo el diseño propuesto, es de menos de 0.04 US\$/m<sup>3</sup>.

Los accesorios propuestos para optimizar los procesos de mezcla lenta, sedimentación y bombeo de agua para retrolavado resultaron ser innovaciones tecnológicas muy eficientes, sencillos de construir, de bajo mantenimiento y fácil operación, con grandes posibilidades de aplicación masiva en plantas de este tipo.

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. Contribuciones al manejo de los recursos hídricos en América latina, acondicionamiento del agua para bebida. CIRA, Facultad de Ingeniería, UAEM. Toluca, México. 1997.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Censo de población de 1995. Estado de México, México. 1995.
- PAVÓN ROMERO, S.H., ROJAS PEDRAL, M., MORALES RODRÍGUEZ, M. PAVÓN ROMERO, J. Contribuciones al manejo de los recursos hídricos en América latina, Enfermedades hídricas. CIRA, Facultad de Ingeniería, UAEM. Toluca, México. 1997.
- VELASCO-MOLINA, H.A. Las zonas áridas y semiáridas, sus características y manejo. Editorial Limusa, primera edición, ISBN: 968-18-3402-X. 1991.