



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**TECNOLOGÍAS PARA LA POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO EN  
PEQUEÑAS COMUNIDADES**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**

PRESENTA:

**ING. ANAYELLY MIRELES GONZÁLEZ**

DIRECTOR DE TESINA: M.I. ALBA BEATRIZ VÁZQUEZ GONZÁLEZ

MÉXICO, D.F.

SEPTIEMBRE 2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y hermano por apoyarme siempre, los amo.

A mis profesores por la motivación y el conocimiento transmitidos.

A la M. I. Alba Beatriz Vázquez González por la asesoría, el tiempo y atención para la realización de este trabajo de tesina.

A mis familiares, amigos y compañeros por formar parte de este camino para alcanzar una meta más.

## Índice

Introducción .....	10
Planteamiento del problema .....	11
Objetivos .....	11
1. Problemática del abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades .....	12
1.1 Recurso hídrico en México .....	13
1.1.1 Disponibilidad y contaminación del agua nacional .....	18
1.2 Cobertura nacional del abastecimiento de agua potable y alcantarillado .....	24
1.3 Pobreza y pueblos indígenas .....	30
1.4 Salud e higiene relacionadas con el agua potable y saneamiento .....	31
1.5 Legislación y normatividad mexicana en materia de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales .....	33
2. Tecnologías de potabilización en pequeñas comunidades .....	37
2.1 Captación de agua de lluvia .....	38
2.1.1 Captación de agua de lluvia en techos .....	38
2.1.2 Captación de agua de lluvia en pisos .....	40
2.2 Tecnologías de potabilización .....	41
2.2.1 Desinfección solar SODIS .....	42
2.2.2 SOLVATTEN® .....	43
2.2.3 Filtración cerámica .....	44
2.2.4 Filtro casero .....	45
2.2.5 Filtración en múltiples etapas .....	46
2.2.6 LifeStraw® .....	48
2.2.7 SkyHydrant™/SkyStation™ .....	49
2.2.8 Mobile Water Maker .....	51
2.2.9 Naïade .....	52
2.2.10 Sobre instantáneo. PUR Purifier of Water™ .....	53
2.2.11 Aireador de bandejas .....	55

2. 2. 12	Hipoclorador de goteo .....	56
3.	Tecnologías de tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades .....	57
3. 1	Reactor anaerobio de biogás.....	57
3. 2	Tanque Imhoff .....	59
3. 3	Tanque séptico.....	60
3. 4	Reactor anaerobio con deflectores (ABR).....	62
3. 5	Filtro anaerobio.....	63
3. 6	Humedales artificiales .....	64
3. 6. 1	Humedal artificial de flujo superficial libre.....	65
3. 6. 2	Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial .....	67
3. 6. 3	Humedal artificial de flujo vertical subsuperficial.....	68
3. 7	Pozo de absorción.....	69
3. 8	Filtro intermitente de arena.....	72
3. 9	Campo de filtrado o zanja de infiltración.....	73
3. 10	BIOSTAR-IMTA .....	74
3. 11	Tecnologías en seco .....	75
3. 11. 1	Cámaras de deshidratación.....	75
3. 11. 2	Cámara de compostaje.....	76
4.	Ejemplos de aplicación .....	78
4.1	Ejemplos de aplicación de las tecnologías de potabilización .....	78
4.2	Ejemplos de aplicación de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales.....	89
5.	Conclusiones y recomendaciones .....	99
	Bibliografía.....	102

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Demanda Mundial de agua (extracción de agua dulce sin considerar el agua pluvial). .....	13
Figura 1.2 Total de los recursos hídricos renovables (m <sup>3</sup> per cápita por año), 2011. ....	14
Figura 1.3 Grado de presión sobre el recurso hídrico. ....	14
Figura 1.4 Localización geográfica de México. ....	15
Figura 1.5 Distribución de la precipitación pluvial anual, 2013. ....	16
Figura 1.6 Distribución mensual de la precipitación media anual. ....	16
Figura 1.7 Regiones hidrológico-administrativas. ....	17
Figura 1.8 Cuerpos de agua en la República Mexicana. ....	17
Figura 1.9. Ríos principales en México. ....	18
Figura 1.10 Disponibilidad en las cuencas hidrológicas. ....	19
Figura 1.11. Condición de los acuíferos en México. ....	19
Figura 1.12 Acuíferos con publicación de disponibilidad en el Diario Oficial de la Federación. ...	20
Figura 1.13 Grado de presión por región hidrológico-administrativa, 2013. ....	20
Figura 1.14 Evolución de la población y disponibilidad media per cápita. ....	21
Figura 1.15 Red nacional de monitoreo de la calidad del agua, 2013. ....	21
Figura 1.16 Cuencas con sitios de monitoreo fuertemente contaminados. ....	22
Figura 1.17 Ubicación de los acuíferos con problemas de calidad, 2007. ....	23
Figura 1.18 Principales problemas de contaminación en las fuentes de agua subterránea. ....	23
Figura 1.19 Porcentaje de la población que obtiene agua de una fuente mejorada, 2010. ....	24
Figura 1.20 Porcentaje de la población que utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, 2010. ....	24
Figura 1.21 Cobertura de agua potable por municipio, 2010. ....	25
Figura 1.22 Resumen del inventario nacional de plantas potabilizadoras, 2013. ....	26
Figura 1.23 Número de plantas potabilizadoras por proceso, 2013. ....	26
Figura 1.24 Eficiencia de cloración por entidad federativa, 2009. ....	27
Figura 1.25 Porcentaje de población con riesgo sanitario relacionado con el agua potable, 2009. .....	28
Figura 1.26 Cobertura de alcantarillado por municipio, 2010. ....	28
Figura 1.27 Resumen del inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales, 2013. ....	29
Figura 1.28 Número de plantas de tratamiento de aguas residuales por proceso, 2013. ....	29

Figura 1.29 Grado de rezago social a nivel estatal, 2010. ....	30
Figura 1.30 Distribución de la población rural en México, 2010. ....	31
Figura 1.31 Porcentaje de fallecimientos atribuibles a enfermedades o daños relacionados con el agua, saneamiento e higiene, 2008. ....	32
Figura 1.32 Porcentaje de viviendas particulares habitadas (VPH) sin agua entubada a la red pública respecto a la mortalidad infantil (muertes por cada 100 mil habitantes relacionadas con enfermedades infecciosas y parasitarias). ....	33
Figura 1.33 Porcentaje de viviendas particulares habitadas (VPH) sin drenaje respecto a la mortalidad infantil (muertes por cada 100 mil habitantes relacionadas con enfermedades infecciosas y parasitarias). ....	33
Figura 2.1 Modelo de captación de agua de lluvia en techos. ....	39
Figura 2.2 Sistema de captación pluvial para viviendas ubicadas en comunidades rurales. ....	40
Figura 2.3 Sistema de captación de agua de lluvia en pisos. ....	41
Figura 2.4 Procedimiento del método SODIS. ....	43
Figura 2.5 SOLVATTEN®. ....	43
Figura 2.6 Sistema de filtro cerámico. ....	44
Figura 2.7 Filtro casero de arena con tubería de PVC. ....	45
Figura 2.8 Los filtros Biosand e Hydraid. ....	46
Figura 2.9 Sistema de filtración en múltiples etapas. ....	46
Figura 2.10 Esquema del filtro de grava dinámico. ....	47
Figura 2.11 Esquema del filtro grueso de grava ascendente. ....	47
Figura 2.12 Esquema del filtro lento de arena. ....	47
Figura 2.13 Esquema del LifeStraw®. ....	49
Figura 2.14 Sistema de ultrafiltración SkyHydrant™. ....	50
Figura 2.15 Sistema SkyStation™. ....	51
Figura 2.16 Mobile Water Maker. ....	51
Figura 2.17 Experimento en laboratorio del funcionamiento de Mobile Water Maker. ....	52
Figura 2.18 Naïade. ....	53
Figura 2.19 Sobre PUR Purifier of Water™. ....	54
Figura 2.20 Procedimiento de purificación de agua del PUR Purifier of Water™. ....	54
Figura 2.21 Aireación por bandejas. ....	55
Figura 2.22 Aireación por bandejas y filtros en serie. ....	55
Figura 2.23 Hipoclorador de goteo. ....	56

Figura 3.1 Reactor anaerobio de biogás.....	58
Figura 3.2 Tipos de reactor anaerobio de biogás.....	58
Figura 3.3 Tanque Imhoff.....	59
Figura 3.4 Fosa séptica.....	61
Figura 3.5 Opción de tratamiento secundario, efluente del tanque séptico.....	61
Figura 3.6 Reactor anaerobio con deflectores.....	62
Figura 3.7 Filtro anaerobio.....	63
Figura 3.8 Biodigestor patentado por Rotoplas®.....	64
Figura 3.9 Tipos básicos de humedales artificiales.....	65
Figura 3.10 Humedal de flujo subsuperficial.....	65
Figura 3.11 Humedal de flujo superficial libre.....	66
Figura 3.12 Humedal artificial de flujo superficial libre.....	66
Figura 3.13 Humedal artificial de flujo superficial.....	66
Figura 3.14 Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial.....	67
Figura 3.15 Detalle de humedal artificial de flujo subsuperficial.....	68
Figura 3.16 Humedal artificial de flujo vertical subsuperficial.....	69
Figura 3.17 Sección de pozo de absorción.....	70
Figura 3.18 Tanque séptico con pozo de absorción.....	71
Figura 3.19 Trampa para grasas con pozo de absorción.....	71
Figura 3.20 Sección de un filtro intermitente de arena típico.....	72
Figura 3.21 Configuración de un sistema de infiltración.....	73
Figura 3.22 Tanque séptico con zanja de infiltración.....	73
Figura 3.23 BIOSTAR-IMTA.....	74
Figura 3.24 Requerimientos del BIOSTAR-IMTA.....	75
Figura 3.25 Cámaras de deshidratación.....	75
Figura 3.26 Cámara de compostaje.....	77
Figura 3.27 Inodoros de compostaje.....	77
Figura 4.1 Sistema de captación pluvial doméstico de Isla Urbana.....	78
Figura 4.2 Usuarios en 2007 de SODIS.....	79
Figura 4.3 Aplicación del método SODIS en una comunidad de Bolivia.....	79
Figura 4.4 Tipos de filtros cerámicos.....	80
Figura 4.5 Filtros cerámicos de la UNICEF en Nicaragua.....	80



Figura 4.6 Mapa con los lugares en donde se han utilizado los filtros de arena.....	81
Figura 4.7 Filtro lento de arena en el municipio Atzalan, Estado de Veracruz.....	81
Figura 4.8 Filtro de arena de flujo ascendente.....	82
Figura 4.9 Filtro de carbón de flujo ascendente de UNICEF.....	82
Figura 4.10 Uso de LifeStraw®.....	83
Figura 4.11 LifeStraw® Community.....	83
Figura 4.12 Ejemplos de instalaciones de SkyHydrant™/SkyStation™ en Asia.....	83
Figura 4.13 Ejemplos de instalaciones de SkyHydrant™/SkyStation™ en África.....	84
Figura 4.14 Ejemplos de instalaciones de SkyHydrant™/SkyStation™ en América.....	84
Figura 4.15 Segundo prototipo de Mobile Water Maker en República Dominicana, 2007.....	84
Figura 4.16 Instalación de las unidades Naïade en Twa, Ghana.....	85
Figura 4.17 Instalación de unidades Naïade en Yunnan, China.....	85
Figura 4.18 Instalación de la unidad Naïade en Punjab, India.....	85
Figura 4.19 Instalación de la unidad Naïade en San Luis Majimachi, Chihuahua, México.....	86
Figura 4.20 Países beneficiados con PUR Purifier of Water™.....	86
Figura 4.21 Proceso de aireación a nivel casero.....	87
Figura 4.22 Aireador combinado con filtros ascendentes en la comunidad Tahari de Bolivia.....	87
Figura 4.23 Fabricación local de solución de hipoclorito de sodio en Haití.....	88
Figura 4.24 Hipoclorador en el municipio boliviano Sica Sica.....	88
Figura 4.25 Digestor de domo fijo en una comunidad del sur de África.....	89
Figura 4.26 Digestor con domo flotante familiar en la India.....	89
Figura 4.27 Digestor tubular en Cuzco, Perú.....	89
Figura 4.28 Tanque Imhoff para 25 m <sup>3</sup> de agua residual doméstica por día.....	90
Figura 4.29 Casos de estudio estatales y locales en Estados Unidos con tanques sépticos.....	90
Figura 4.30 Tanque séptico de dos cámaras.....	91
Figura 4.31 Construcción del reactor anaerobio con deflectores en un mercado público en Negros Oriental, Filipinas.....	91
Figura 4.32 Construcción en el centro islámico de Nawawi, Indonesia.....	92
Figura 4.33 Reactores prefabricados instalados en Java, Indonesia.....	92
Figura 4.34 Sistema de tratamiento de aguas grises en Kuching, Malasia.....	92
Figura 4.35 Sistemas de tratamiento en Ein Al Beida, Jordania.....	93
Figura 4.36 Sistemas de tratamiento en casas del pueblo Bilien, Palestina.....	93

Figura 4.37 Tren de tratamiento en y los alrededores de Kathmandu, Nepal.....	94
Figura 4.38 Sistema de tratamiento en Monteverde, Costa Rica. ....	94
Figura 4.39 Diseño de los pozos de absorción colocados en comunidades de Mali. ....	95
Figura 4.40 Típica instalación de un filtro intermitente enterrado. ....	95
Figura 4.41 Típico sistema de filtro de recirculación intermitente. ....	95
Figura 4.42 Típico filtro intermitente de acceso libre. ....	96
Figura 4.43 Sistema de tratamiento de aguas grises en Djenné, Mali. ....	96
Figura 4.44 Calles de Djenné, Mali antes y después de implementar zanjas de infiltración. ....	96
Figura 4.45 Sistemas de tratamiento de aguas grises en la casa de huéspedes Ivy Banks en Sri Lanka. ....	97
Figura 4.46 Sistema de tratamiento a base de zanjas de infiltración. ....	97
Figura 4.47 Tipos de zanjas de infiltración. ....	97
Figura 4.48 Unidades BIOSTAR instaladas en México. ....	98
Figura 4.49 Sistema de cámaras de deshidratación en Cagayán de Oro, Filipinas. ....	98
Figura 4.50 Construcción de un sistema de cámaras de deshidratación. ....	98



## Introducción

La cobertura de los servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en las zonas rurales es escasa o nula debido al costo elevado de la aplicación de tecnologías convencionales en sistemas centralizados. Debido a ello, existen problemas de salud relacionados con la calidad del agua y la disposición inadecuada de aguas residuales.

Principalmente, en las pequeñas comunidades rurales hay presencia de enfermedades gastrointestinales, las cuales disminuyen si existe abastecimiento de agua potable y si las aguas residuales domésticas son manejadas adecuadamente. Por ello, deben existir tecnologías sostenibles en estos lugares, congruentes con las condiciones de la localidad y las necesidades de su población.

En las localidades rurales, la economía y el conocimiento son escasos. Como consecuencia de esto, son necesarias tecnologías de bajo costo adecuadas a las condiciones económicas de la población local y que además, garanticen buena calidad. También, la tecnología deber ser acorde a los usos y costumbres de la población, y fundamentalmente ser amigable con el ambiente.

Dentro de este trabajo presento la problemática de los servicios de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales en el primer capítulo, con un enfoque nacional. En el segundo capítulo presento algunas de las tecnologías que existen para potabilizar agua en pequeñas comunidades y en el tercer capítulo presento algunas de las tecnologías que existen para tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades. En el cuarto capítulo presento algunos ejemplos de aplicación en el mundo y en México de las tecnologías presentadas en los capítulos dos y tres. Finalmente, concluyo este trabajo con el quinto capítulo en donde presento las conclusiones y recomendaciones obtenidas.



## **Planteamiento del problema**

En muchos lugares del mundo la falta de cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento son principalmente por la escasez de recursos financieros para el diseño, la construcción, operación y mantenimiento; además, la rehabilitación de la infraestructura existente. También influyen los altos costos de energía eléctrica y reactivos químicos para la operación, la falta de capacitación del personal y una cultura deficiente sobre el pago por parte del usuario de los servicios de abastecimiento y saneamiento.

En México, en materia de tratamiento de aguas residuales falta mucho. Inicialmente, dar solución a la subutilización de plantas por falta de las conexiones con las redes de alcantarillado, una gestión deficiente y escasez de recursos económicos por parte de los municipios para su operación. Además, existe un incremento en la contaminación del agua primordialmente por las descargas a los cuerpos receptores de la mayor parte del caudal de aguas residuales sin tratamiento.

También, existe la idea en el país de una solución al problema de cobertura de los servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento con la construcción de grandes obras de infraestructura, lo cual no resulta factible en todos los casos. En las pequeñas comunidades rurales, el gobierno debe promover el acceso a estos servicios, a través de alternativas de solución tecnológicas de bajo costo. Estas comunidades requieren la utilización de tecnologías descentralizadas, alternativas a los sistemas centralizados y que no encarezcan el servicio porque no pueden pagarlo. Prioritariamente, debe existir la consideración de la sociedad para que las tecnologías a emplearse sean adoptadas por los pobladores y funcionen correctamente de acuerdo con sus necesidades.

## **Objetivos**

### **Objetivo General:**

- Analizar la problemática en torno a la potabilización y tratamiento en pequeñas comunidades, y valorar las tecnologías aplicables a estos casos.

### **Objetivos particulares:**

- Identificar las tecnologías de potabilización y tratamiento aplicables a pequeñas comunidades.
- Valorar las ventajas y desventajas de esas tecnologías aplicables a pequeñas comunidades.



## **1. Problemática del abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades**

Todo ser humano requiere tener acceso a los servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento, lo anterior es considerado como un derecho ya que constituye una necesidad primaria. Estos servicios deben darse para todos los seres humanos sin importar clases sociales. La correcta gestión del agua es una deficiencia a nivel global que resulta imperdonable, el recurso hídrico debe ser correctamente administrado para garantizar su uso presente y futuro. Por ello, la comunidad internacional debe dar solución a la carencia en el acceso y disponibilidad del agua y el saneamiento con el fin de proporcionar mayor cobertura en condiciones dignas de estos servicios a millones de personas que actualmente tienen limitaciones.

A nivel internacional, el Informe Meadows (1972) establece por vez primera que el crecimiento poblacional tiene ciertos límites. A partir de ahí comienza la lucha por el derecho humano al agua y por el derecho a un medio ambiente sano, debido a la conciencia de las limitantes del planeta. La Resolución 64/292 de la Asamblea General de las Naciones Unidas del 28 de julio de 2010, reconoce el derecho humano al agua y al saneamiento. Asimismo, establece que el acceso al agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos (López, R., López, E. y Martínez, J., 2014).

Los gobiernos han perdido la capacidad institucional y financiera de actuar debido a la falta de recursos económicos, materiales y humanos capacitados. Además, pierden de vista contar con un enfoque que proteja al medio ambiente y sobre todo, el compromiso de establecer equidad social en el acceso y aprovechamiento al agua. Es en este punto donde está la oportunidad de aplicar tecnologías descentralizadas y es posible la entrada de la participación privada por parte de empresas en el manejo del agua.

En particular, sobre el abastecimiento de agua potable, la gran interrogante es cómo mejorar y ampliar el acceso al agua de buena calidad por parte de las poblaciones de escasos recursos económicos. La solución puede plantearse a partir de un enfoque económico, por una parte las acciones están guiadas por los movimientos en el mercado y por otro las empresas buscan el lucro antes de cubrir la necesidad al agua y saneamiento en lugares excluidos del desarrollo. Aunado a este problema de la cobertura insuficiente en este servicio, una de las causas de la escasez es un fenómeno de aceleración en el incremento poblacional en el que no existe un ciclo natural del agua debido a la velocidad con la que se extrae, consume, usa y regresa.

De acuerdo con la ONU, una de las prioridades para los gobiernos es crear programas relacionados con el agua y el saneamiento a partir de los cuales debe crearse un plan de acción, y establecer un sistema reglamentario para regular los servicios públicos.

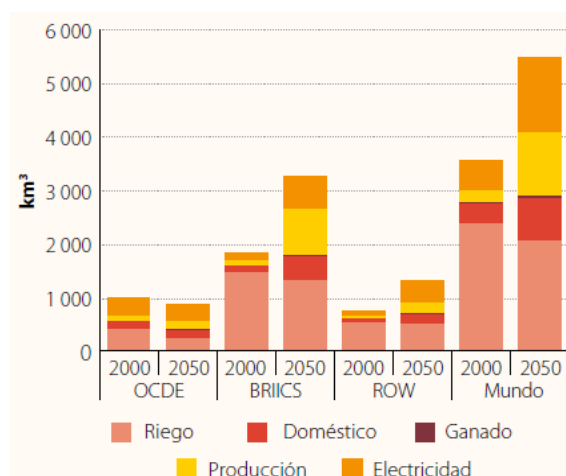


Además, evitará la discriminación en el derecho a estos servicios por lo cual debe incluirse a las comunidades vulnerables como los pueblos indígenas, con lo anterior la ONU propone una asignación equitativa de los servicios dando prioridad a los usos del agua que tienen relación con la higiene, uso doméstico y alimentación (López, R., López, E. y Martínez, J., 2014).

Sobre el tratamiento de aguas residuales, a nivel mundial han planteado la idea de optar por el saneamiento ecológico sostenible descentralizado en vez de construir grandes obras de infraestructura para lograr el derecho humano al saneamiento, es una opción sustentable en los aspectos social y ambiental, lo más importante es que puede aplicarse para aquellos grupos sociales marginados a este derecho. Cubrir la falta de cobertura en los servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento implica acudir a la tecnología para no degradar los recursos naturales debido a la responsabilidad que tiene el ser humano para con la naturaleza, y que existan tecnologías fácilmente aplicables en estos lugares donde requieren el acceso a estos servicios.

### 1.1 Recurso hídrico en México

De acuerdo con el *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2014*, se prevé que para el año 2050 la demanda mundial del agua aumentará cerca de un 55%, esto debido a la creciente demanda (incremento en el consumo doméstico de un 130%), (figura 1.1). Lo anterior representa que la disponibilidad del agua dulce tendrá mayor presión, y cerca de un 40% de la población mundial vivirá en zonas con problemas hídricos (véanse figuras 1.2 y 1.3). Cerca de un 20% de los acuíferos en el mundo están sobreexplotados. Además, existe un deterioro mundial en los humedales naturales lo que evita que los ecosistemas purifiquen el agua.



**Figura 1.1 Demanda Mundial de agua (extracción de agua dulce sin considerar el agua pluvial).**

**Fuente: Agua y energía. Resumen ejecutivo. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2014.**

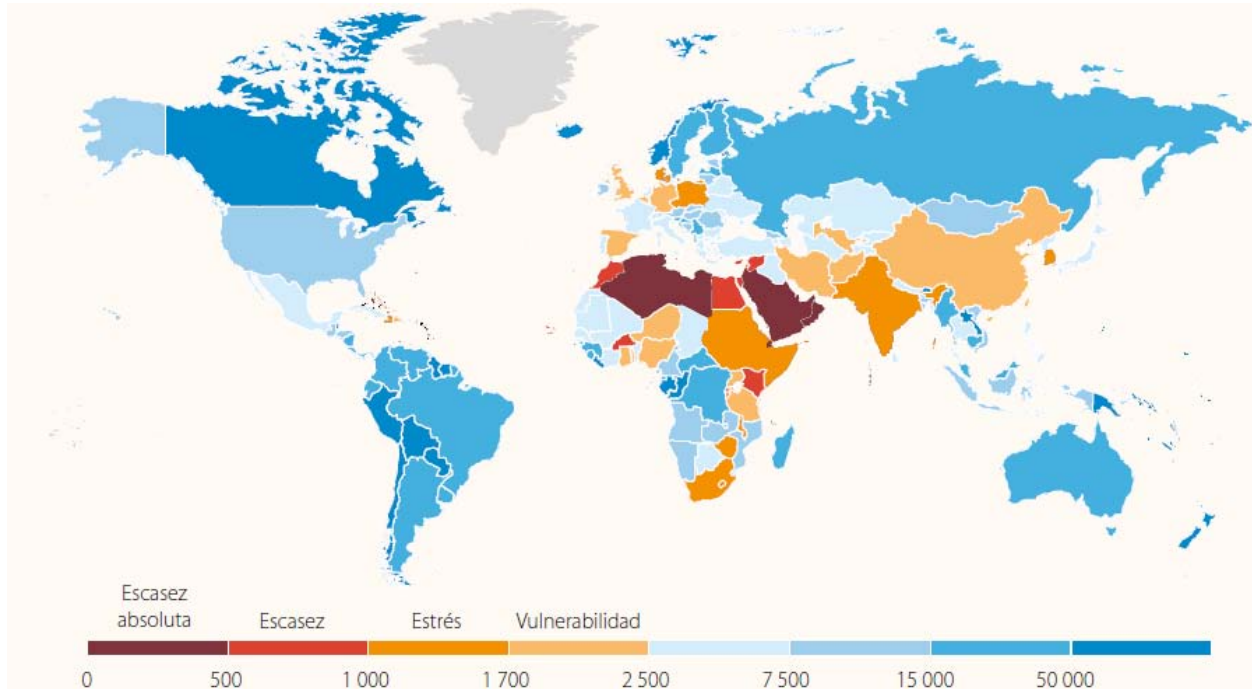


Figura 1.2 Total de los recursos hídricos renovables (m<sup>3</sup> per cápita por año), 2011.

Fuente: Agua y energía. Resumen ejecutivo. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2014.

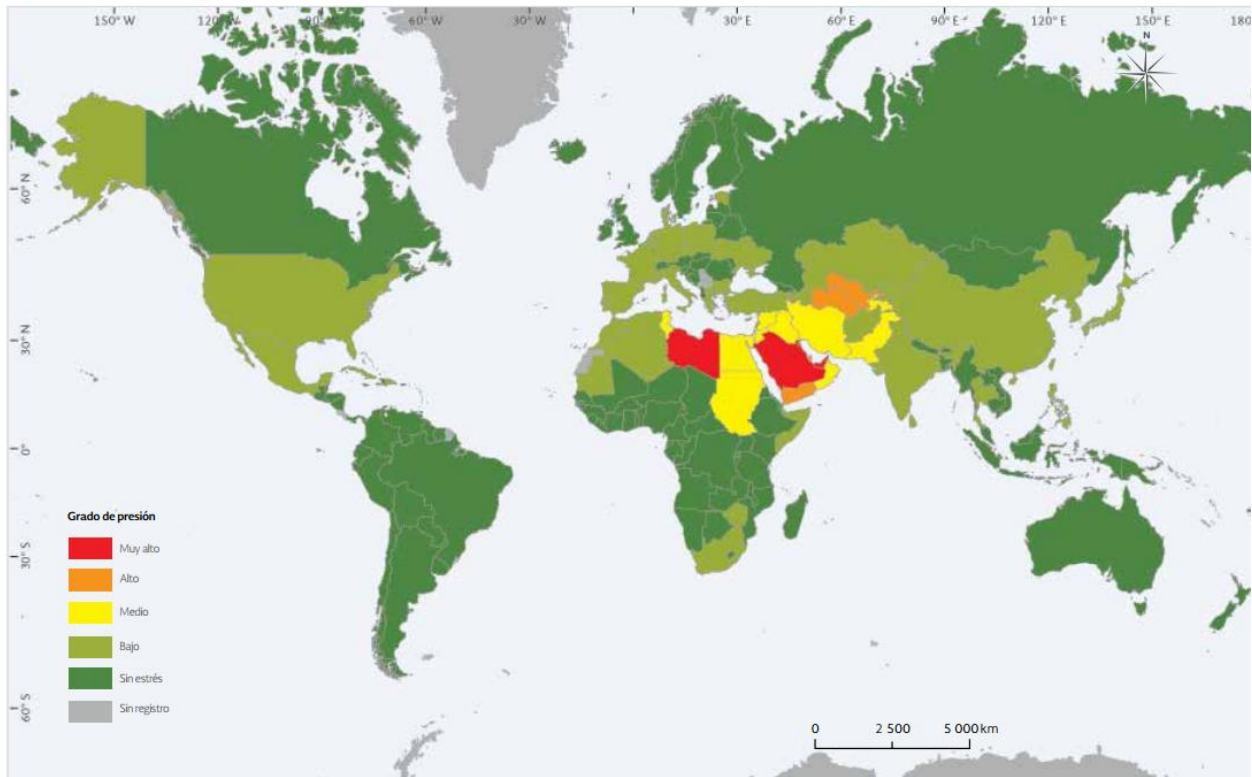
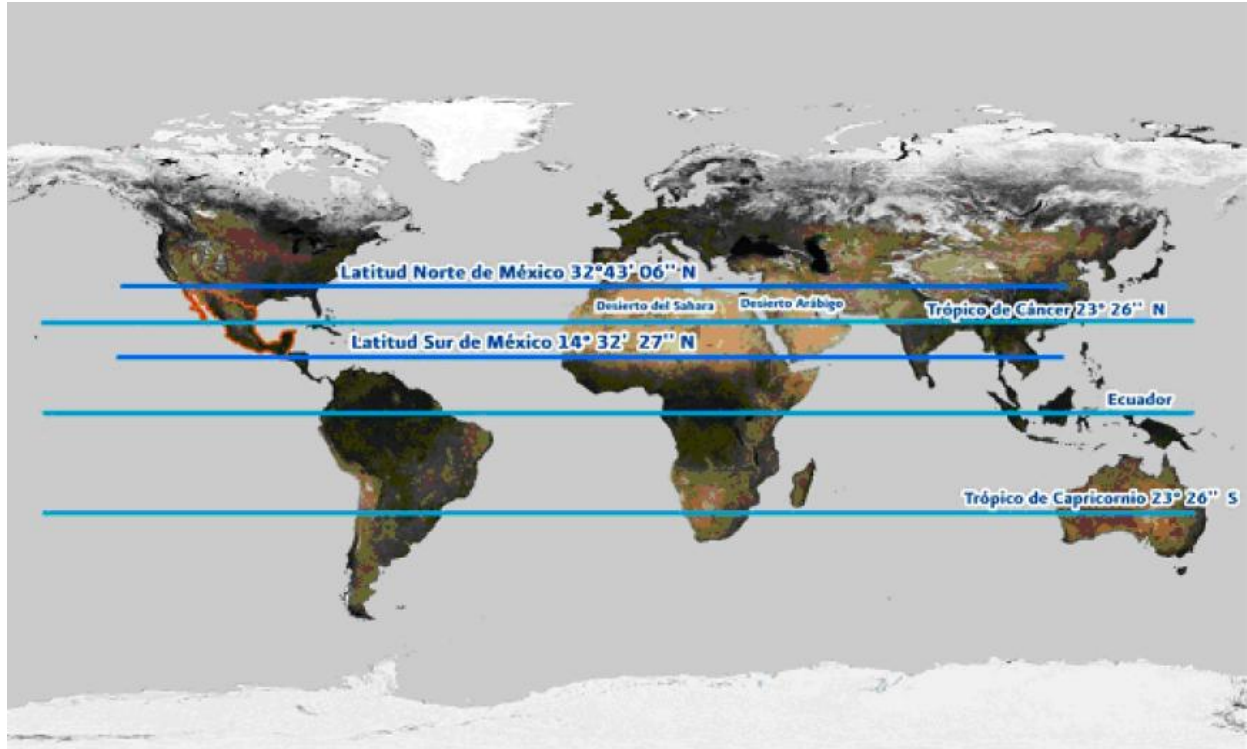


Figura 1.3 Grado de presión sobre el recurso hídrico.

Fuente: Atlas del agua en México 2014.



México tiene una extensión territorial de 1 959 248 km<sup>2</sup>. La localización geográfica que tiene es de importancia porque esto determina su disponibilidad del recurso hídrico (Latitud Norte 32°43'06"N y Latitud Sur 14°32'27"). La parte centro-norte del país es semiárida y árida por estar a la misma latitud que el desierto del Sahara (figura 1.4).



**Figura 1.4 Localización geográfica de México.**

**Fuente: Programa Nacional Hídrico 2014-2018.**

El 52% del territorio nacional tiene un clima árido y en el 31% un clima semiárido. Debido a ello, el país es altamente vulnerable a la sequía en los estados del norte (Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango y Zacatecas). Mientras que en el norte es común la carencia de agua, en el sur existe un exceso del recurso y peligro por inundaciones.

La precipitación es escasa en la zona norte y noreste del país pero abundante en el sureste (figura 1.5), no es constante durante el año, ocurre principalmente entre los meses de junio y septiembre (figura 1.6), a excepción de la península de Baja California en donde acontece en invierno. La precipitación media anual es de 760 mm y entre los meses de junio y septiembre se precipitan 517 mm equivalente al 68% de la media anual.



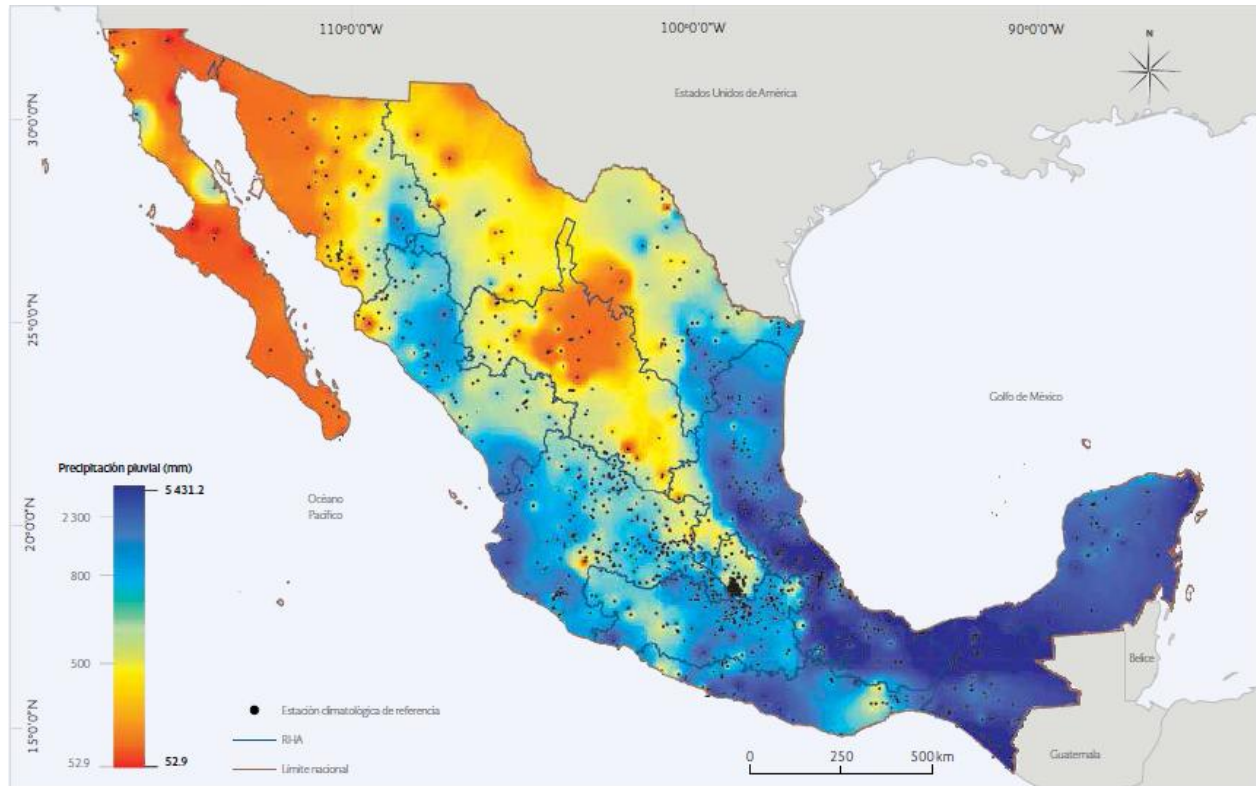


Figura 1.5 Distribución de la precipitación pluvial anual, 2013.

Fuente: Atlas del Agua en México 2014.

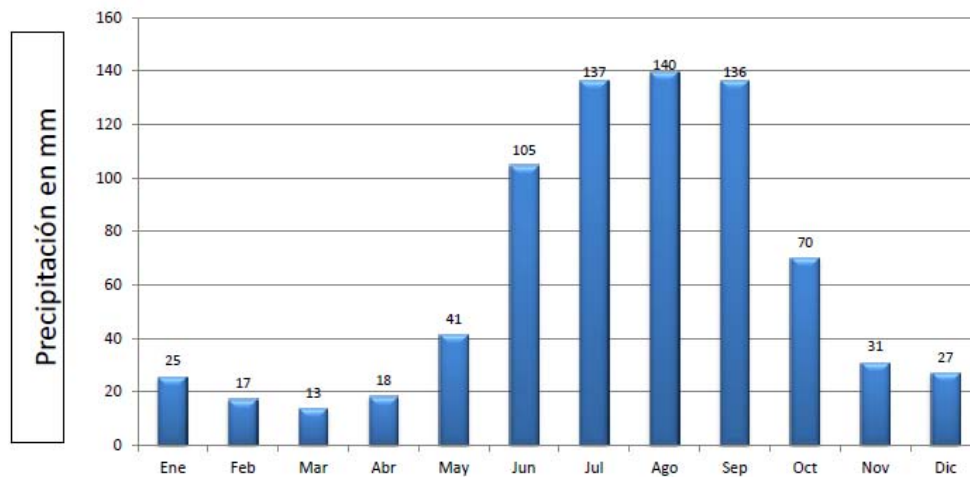


Figura 1.6 Distribución mensual de la precipitación media anual.

Fuente: Programa Nacional Hídrico 2014-2018.

México está dividido en 13 regiones hidrológico-administrativas, las cuales están formadas por cuencas (figura 1.7), el país cuenta con 731 cuencas hidrológicas. En México, las principales fuentes de abastecimiento son presas y ríos que se abastecen del agua de lluvia. La figura 1.8 muestra los principales cuerpos de agua del país.



Figura 1.7 Regiones hidrológico-administrativas.

Fuente: Atlas del agua en México 2014.



Figura 1.8 Cuerpos de agua en la República Mexicana.

Fuente: Atlas del agua en México 2014.



El 87% del escurrimiento superficial del país fluye por los cauces de los 50 principales ríos del país y sus cuencas cubren el 65% del territorio nacional. Los ríos más importantes son: el río Balsas, Santiago, Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Pánuco y Tonalá (figura 1.9).



**Figura 1.9. Ríos principales en México.**

**Fuente: Atlas del agua en México 2014.**

Existe registro de 653 acuíferos, los cuales cubren parte de la demanda de los desarrollos industriales y el 65% del volumen que demandan las grandes ciudades. Estos acuíferos son la principal fuente de abastecimiento de la población rural. Existen 5 000 presas y bordos en el país, únicamente 172 presas representan el 80% del almacenamiento del país. El volumen almacenado depende de la precipitación y los escurrimientos de cada región de México. El volumen de agua concesionado para el uso consuntivo del agua para abastecimiento público está después del volumen concesionado para uso agrícola.

### **1. 1. 1 Disponibilidad y contaminación del agua nacional**

En México, 104 cuencas hidrológicas tienen problemas de disponibilidad (figura 1.10). La sobreexplotación de los acuíferos es otro problema grave, en el 2013 había 106 acuíferos sobreexplotados, principalmente ubicados en las zonas centro y norte del país en particular en la cuenca del río Lerma (Guanajuato y Querétaro), en la región de La Laguna (Coahuila-Durango), en la Península de Baja California, en Aguascalientes, Chihuahua y Sonora (figura 1.11). La disponibilidad de los acuíferos en territorio nacional puede verse en la figura 1.12.



**Figura 1.10 Disponibilidad en las cuencas hidrológicas.**

**Fuente: Atlas del agua en México 2014.**



**Figura 1.11. Condición de los acuíferos en México.**

**Fuente: Atlas del agua en México 2014.**



Figura 1.12 Acuíferos con publicación de disponibilidad en el Diario Oficial de la Federación.

Fuente: Atlas del agua en México 2014.

La relación del agua empleada en los usos consuntivos y la disponibilidad reflejan el grado de presión sobre el recurso hídrico. Como muestra la figura 1.13, en el 2013, el grado de presión en el centro del país era muy alto y en el norte era alto, mientras en el sur era bajo y sin estrés. En México, debido al crecimiento de la población, con el tiempo habrá una mayor presión sobre el recurso hídrico para cubrir los servicios como indica la figura 1.14.

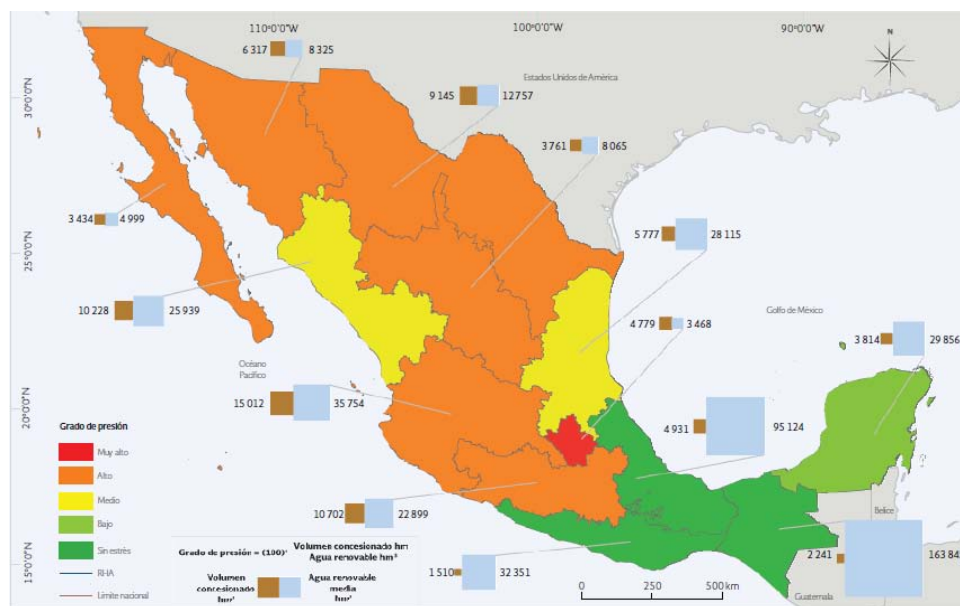


Figura 1.13 Grado de presión por región hidrológico-administrativa, 2013.

Fuente: Atlas del agua en México 2014.

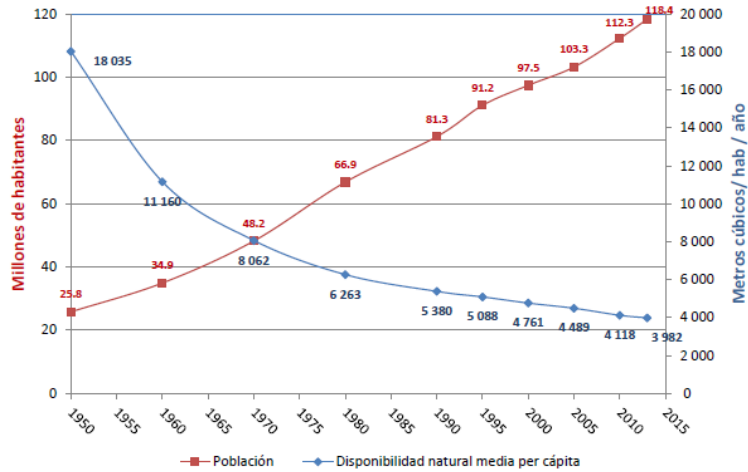


Figura 1.14 Evolución de la población y disponibilidad media per cápita.

Fuente: Programa Nacional Hídrico 2014-2018.

La calidad del agua en México es revisada a través de la Red Nacional de Monitoreo, en 2013 contaba con 5 025 sitios (figura 1.15). Son monitoreados cuerpos de agua superficiales, cuerpos de agua subterráneos, zonas costeras, descargas superficiales y costeras, y hacen estudios especiales en cuerpos de agua superficiales. Los tres principales indicadores para evaluar la calidad del agua que utilizan son la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST). Con los resultados de la evaluación de la calidad del agua 2010-2013, fueron determinados 260 sitios fuertemente contaminados, ubicados principalmente en el centro del país (figura 1.16).



Figura 1.15 Red nacional de monitoreo de la calidad del agua, 2013.

Fuente: Atlas del agua en México 2014.



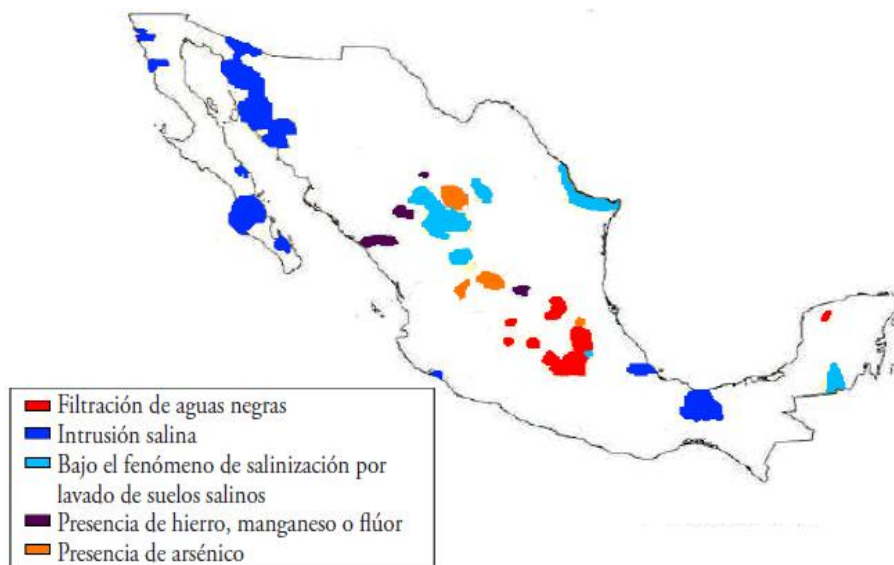


Figura 1.17 Ubicación de los acuíferos con problemas de calidad, 2007.

Fuente: El agua en México: cauces y encauces.

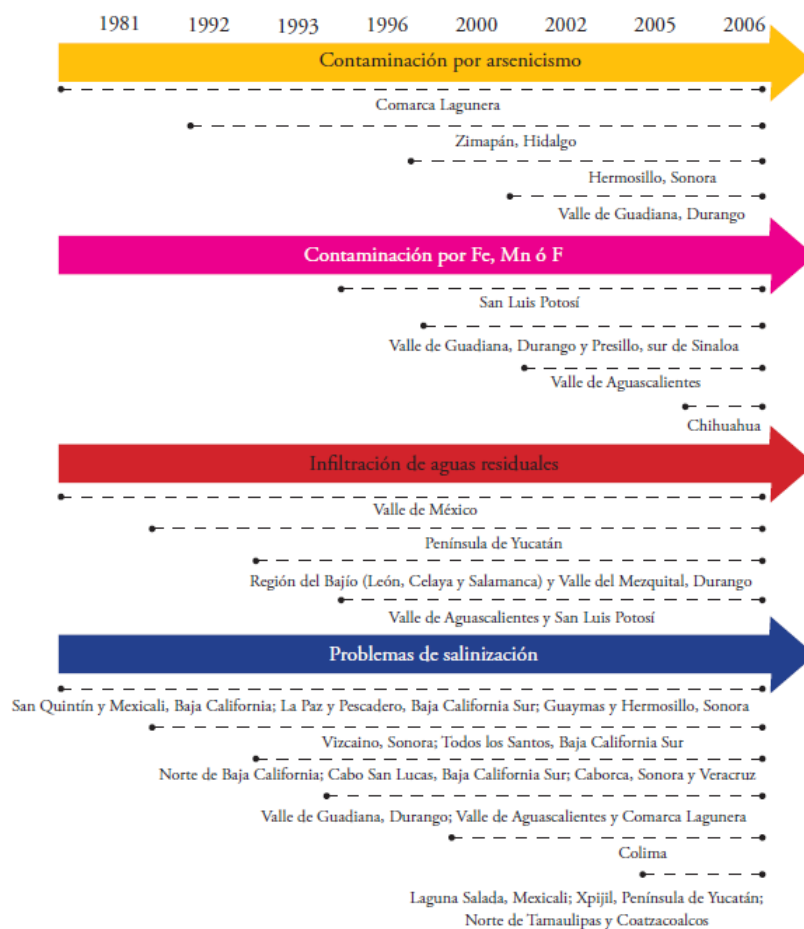


Figura 1.18 Principales problemas de contaminación en las fuentes de agua subterránea.

Fuente: El agua en México: cauces y encauces.



## 1.2 Cobertura nacional del abastecimiento de agua potable y alcantarillado

En el 2010, se estimaba que el 89% de la población mundial utilizaba fuentes adecuadas de agua y el 63% tenía acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas (véanse figuras 1.19 y 1.20). Actualmente a nivel mundial existe la realidad de que 783 millones de personas, un 11% de la población del planeta, no cuenta con acceso a una fuente de agua potable en condiciones adecuadas y que, de acuerdo con predicciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), 2 400 millones de personas carecen del servicio de saneamiento básico.

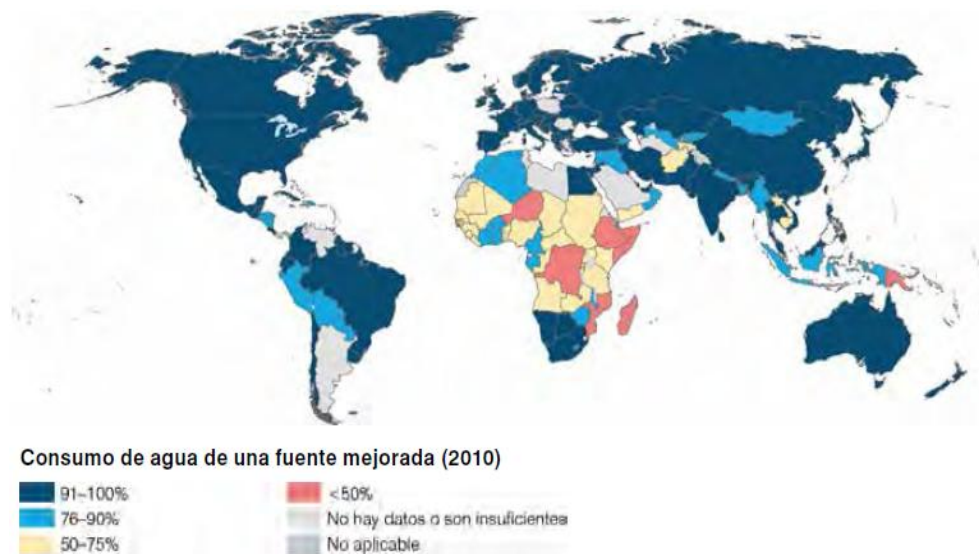


Figura 1.19 Porcentaje de la población que obtiene agua de una fuente mejorada, 2010.

Fuente: Informe del GLAAS de 2012.

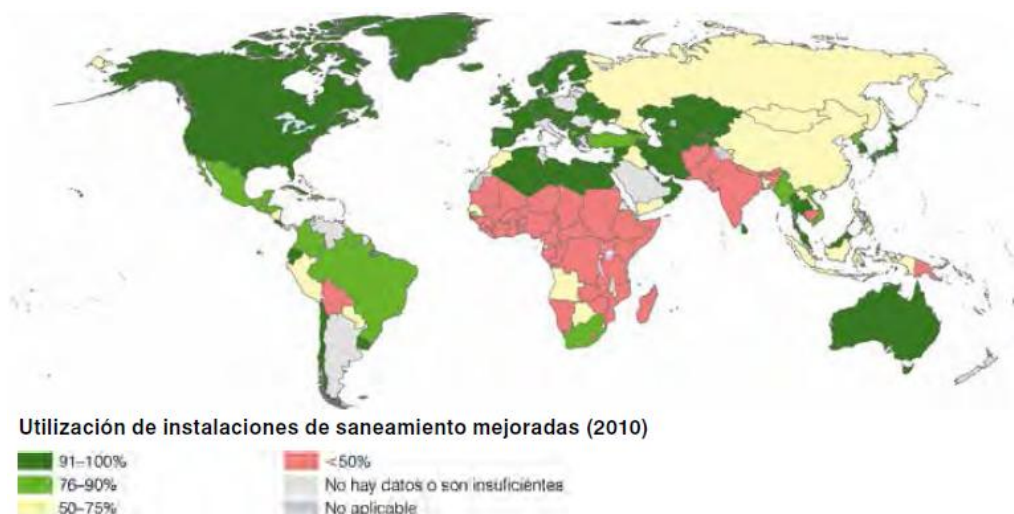


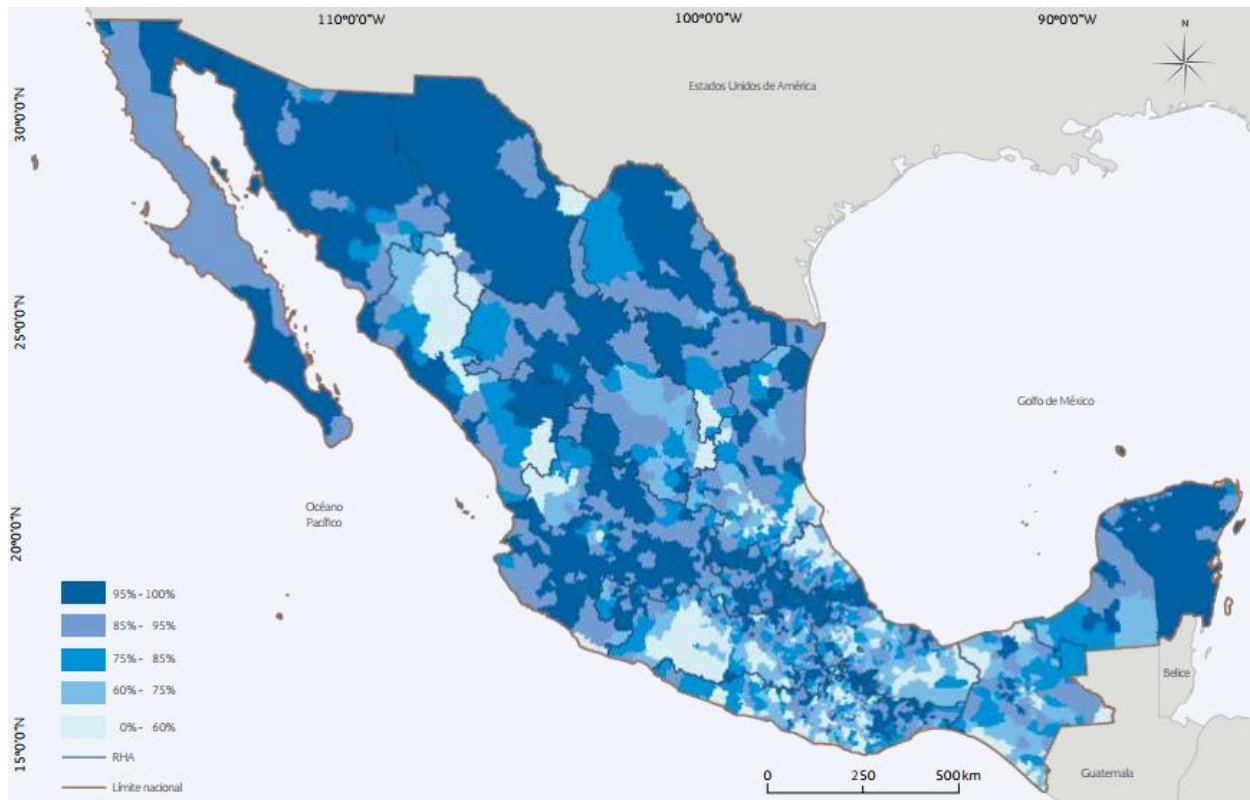
Figura 1.20 Porcentaje de la población que utiliza instalaciones de saneamiento mejoradas, 2010.

Fuente: Informe del GLAAS de 2012.



Existe escasa información sobre gastos en servicios de saneamiento y agua potable a nivel mundial. Con base en el Informe del GLAAS de 2012 (del inglés: Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-water) que emite la OMS, en muchos países es destinado un mayor porcentaje a las zonas urbanas para cubrir los servicios de agua potable y saneamiento a pesar de que la mayor parte de su población está en zonas rurales. Estas zonas no tienen acceso a instalaciones adecuadas de estos servicios, representan población desatendida que recibe poco financiamiento y apoyo técnico para cubrir estos servicios.

En el caso de México, el agua potable debe cumplir con los parámetros de calidad de acuerdo con la NOM-127-SSA1- 1994 y cuyo suministro es responsabilidad de los municipios. Dependiendo de la calidad del agua de la fuente de abastecimiento será el tipo de tratamiento que tendrá el agua para considerarla potable. A finales del 2013, de acuerdo con CONAGUA, la cobertura de agua potable era del 92.3%, con un 95.4% de cobertura en zonas urbanas y 81.6% en zonas rurales (figura 1.21). La cobertura en localidades grandes, con población mayor a 100 mil habitantes, ha incrementado más rápidamente que en las pequeñas. El 97.9% del agua suministrada a las poblaciones es desinfectada con un proceso de cloración. En 2013, en el país había 742 plantas potabilizadoras operando (véanse figuras 1.22 y 1.23).



**Figura 1.21 Cobertura de agua potable por municipio, 2010.**

**Fuente: Atlas del agua en México 2014.**



Estado	No. Plantas	Capacidad Instalada (l/s)	Caudal Potabilizado (l/s)
Aguascalientes	3	44.0	26.0
Baja California	31	12 156.0	6 635.9
Baja California Sur	13	209.0	188.6
Campeche	2	25.0	23.0
Coahuila de Zaragoza	24	2 133.3	1 708.2
Colima	39	11.8	4.8
Chiapas	6	4 662.0	2 588.0
Chihuahua	4	650.0	380.0
Distrito Federal	42	4 620.5	3 681.0
Durango	59	138.7	130.8
Guanajuato	30	679.8	492.5
Guerrero	13	3 548.0	3 186.0
Hidalgo	23	362.0	356.0
Jalisco	30	16 272.0	12 242.0
México	11	22 164.0	16 739.0
Michiacán de Ocampo	5	3 025.0	2 495.0
Morelos	3	5.9	2.5
Nayarit	0	0.0	0.0
Nuevo León	13	14 748.0	4 469.2
Oaxaca	6	1 291.3	771.3
Puebla	5	815.0	514.5
Querétaro de Arteaga	7	1 769.0	1,562.0
Quintana Roo	0	0.0	0.0
San Luis Potosí	14	1 315.0	957.1
Sinaloa	143	9 363.5	8 331.8
Sonora	24	5 577.0	2 293.1
Tabasco	39	9 960.0	8 465.0
Tamaulipas	53	15 088.0	11 892.0
Tlaxcala	0	0.0	0.0
Veracruz Ignacio de la Llave	15	7 162.0	4 643.7
Yucatán	0	0.0	0.0
Zacatecas	85	13.0	12.7
<b>Total nacional</b>	<b>742</b>	<b>137 808.7</b>	<b>94 791.7</b>

Figura 1.22 Resumen del inventario nacional de plantas potabilizadoras, 2013.

Fuente: Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2013.

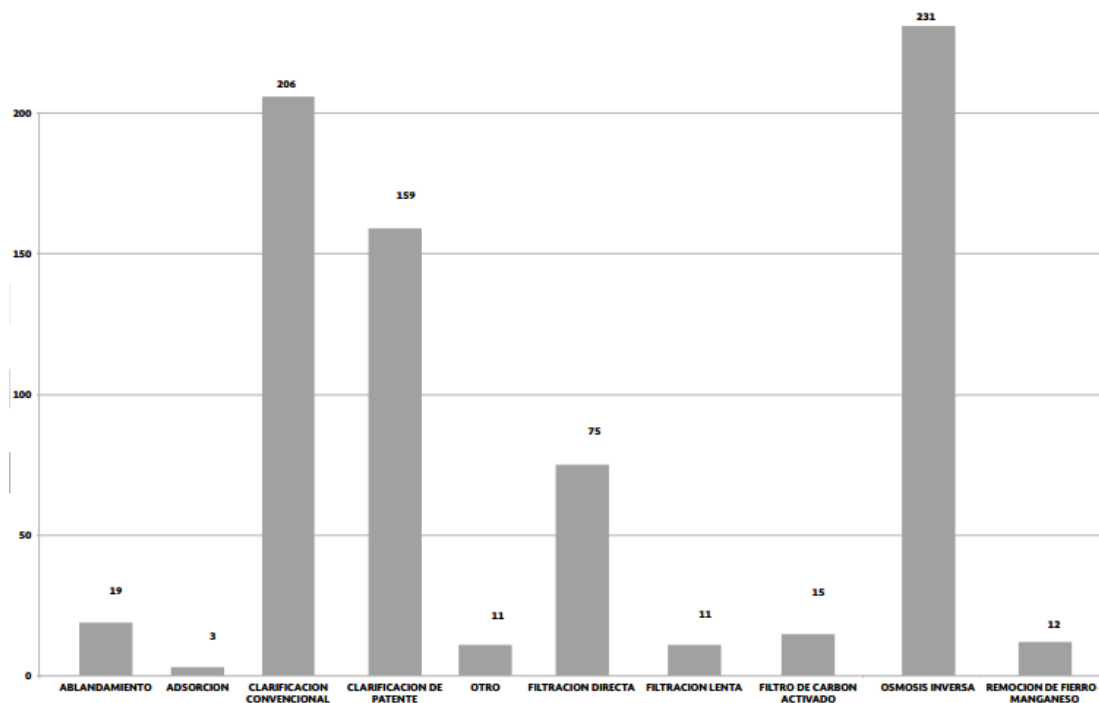


Figura 1.23 Número de plantas potabilizadoras por proceso, 2013.

Fuente: Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2013.



De acuerdo con la Secretaría de Salud, en el 2009, la eficiencia de cloración era del 90.5% en promedio en el país (figura 1.24). Debido a la baja eficiencia en algunos estados del país, la misma secretaría determinó la existencia de riesgo sanitario con relación al agua potable (figura 1.25). Si hay una eficiencia de cloración alta, existe un porcentaje de población menor con riesgo sanitario. Al contrario, si hay una eficiencia baja de cloración, el porcentaje de población con riesgo sanitario es muy grande. La eficiencia en la cloración no es el único factor que incrementa el riesgo sanitario, también depende del mantenimiento de las instalaciones hidráulicas domiciliarias por parte del usuario.

En relación a la cobertura en alcantarillado, de acuerdo con CONAGUA, a finales del 2013 había una cobertura de 90.9% con 96.7% de cobertura en zonas urbanas y 71.2% en zonas rurales (figura 1.26), también es diferencial con respecto a la población de la localidad como en el caso del agua potable. A finales del 2013, operaban 2 287 plantas de tratamiento de aguas residuales que trataron el 50.2% del caudal recolectado en los sistemas formales de alcantarillado (véanse figuras 1.27 y 1.28).

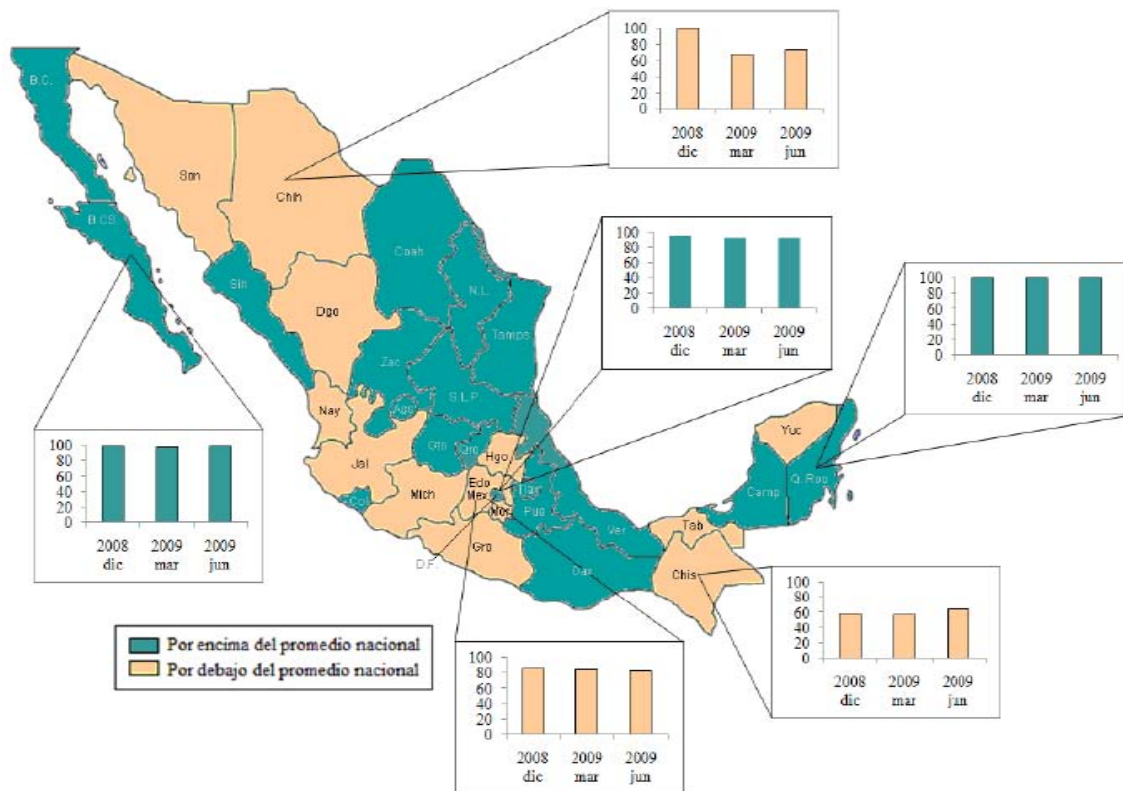


Figura 1.24 Eficiencia de cloración por entidad federativa, 2009.

Fuente: El agua en México: cauces y encauces.

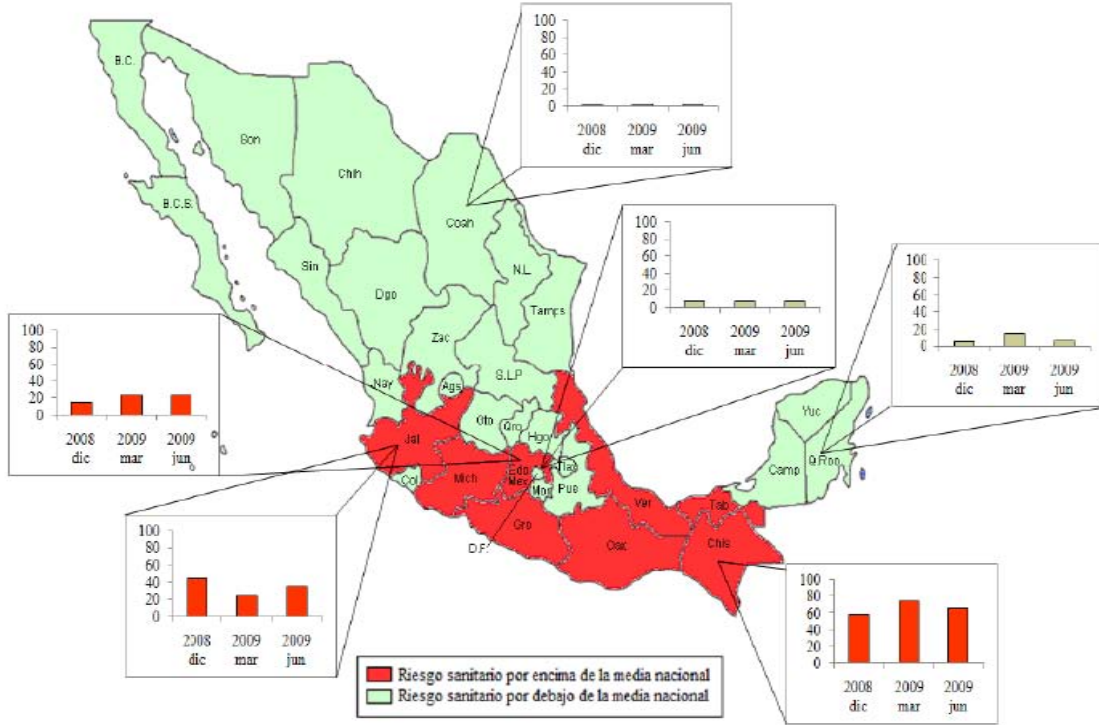


Figura 1.25 Porcentaje de población con riesgo sanitario relacionado con el agua potable, 2009.

Fuente: El agua en México: cauces y encauces.

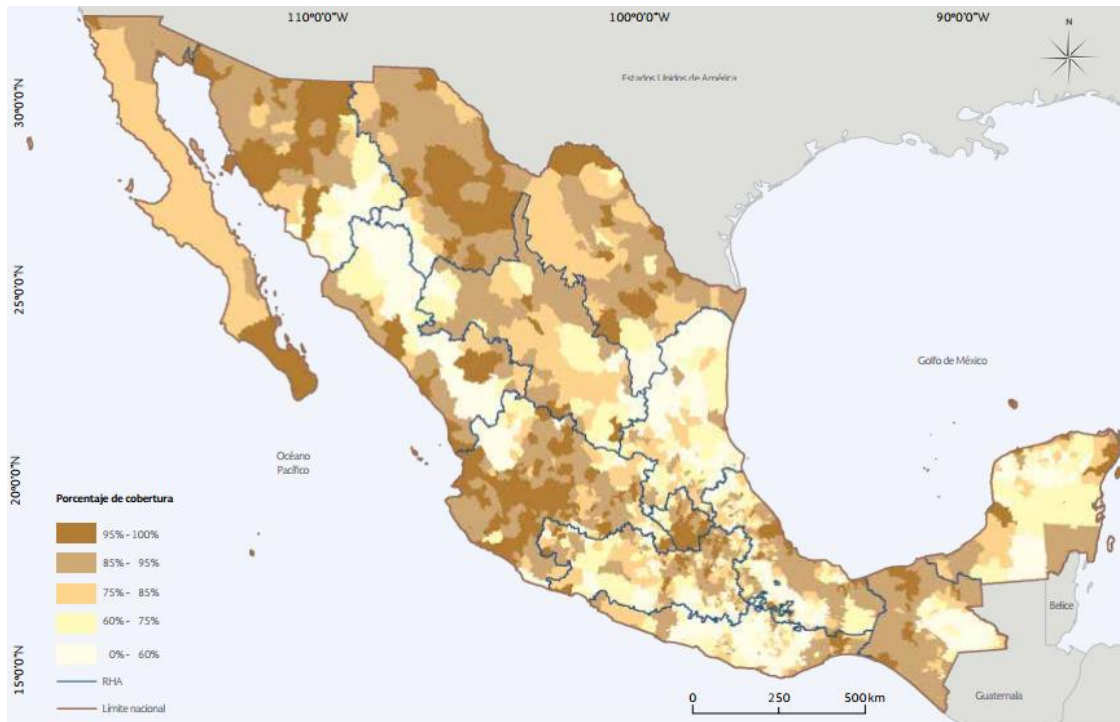


Figura 1.26 Cobertura de alcantarillado por municipio, 2010.

Fuente: Atlas del agua en México 2014.



Estado	No. Plantas	Capacidad Instalada (l/s)	Caudal Tratado (l/s)
Aguascalientes	134	4 662.5	3 162.3
Baja California	37	7 592.1	5 240.1
Baja California Sur	26	1 660.0	1 275.2
Campeche	19	145.0	119.8
Coahuila de Zaragoza	21	4 976.5	3 878.0
Colima	55	2 228.1	1 580.4
Chiapas	33	1 596.6	810.2
Chihuahua	167	9 904.9	6 751.3
Distrito Federal	29	6 820.5	3 112.8
Durango	182	4 519.9	3 425.7
Guanajuato	69	7 377.7	5 651.5
Guerrero	59	4 199.8	3 497.0
Hidalgo	9	158.5	158.5
Jalisco	154	15 435.2	7 797.1
México	142	8 962.0	6 788.9
Mochoacán de Ocampo	38	4 050.5	3 392.6
Morelos	42	2 718.5	1 596.3
Nayarit	68	2 806.8	2 239.3
Nuevo León	60	17 615.0	11 489.3
Oaxaca	69	1 520.5	995.1
Puebla	67	3 202.6	3 237.2
Querétaro de Arteaga	47	2 370.4	1,640.3
Quintana Roo	35	2 380.5	1 734.2
San Luis Potosí	38	2 509.9	2 115.2
Sinaloa	218	6 094.7	4 965.1
Sonora	82	5 407.5	3 650.8
Tabasco	80	2 815.9	1 765.4
Tamaulipas	44	7 797.8	5 692.1
Tlaxcala	55	1 048.3	786.1
Veracruz de Ignacio de la Llave	110	7 271.0	5 612.0
Yucatán	29	535.2	130.3
Zacatecas	69	1,787.7	1 644.8
<b>Total nacional</b>	<b>2 287</b>	<b>152 171.9</b>	<b>105 934.9</b>

Figura 1.27 Resumen del inventario nacional de plantas de tratamiento de aguas residuales, 2013.

Fuente: Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2013.

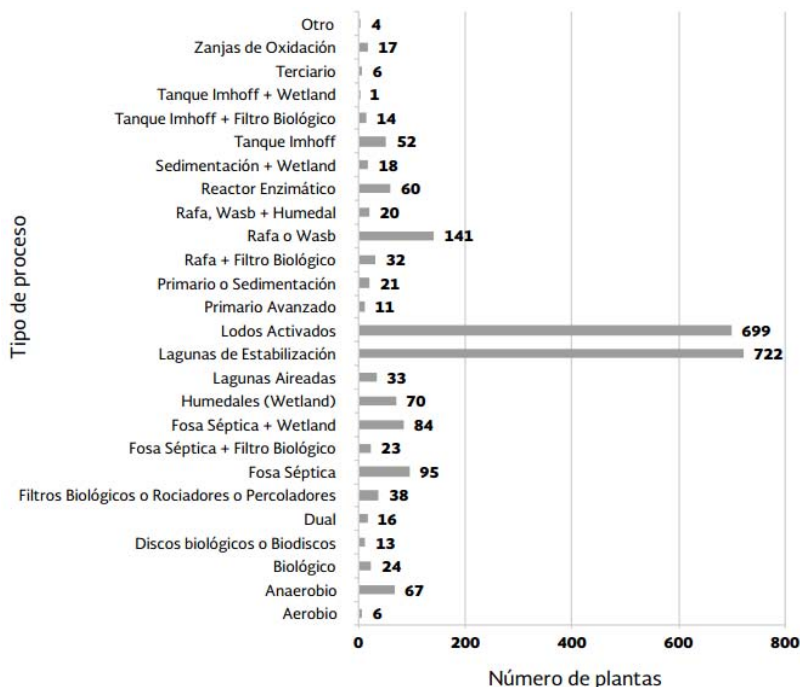


Figura 1.28 Número de plantas de tratamiento de aguas residuales por proceso, 2013.

Fuente: Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2013.

### 1.3 Pobreza y pueblos indígenas

El agua es un recurso fundamental y está presente en todas las actividades humanas. De acuerdo con la OMS y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), 20 litros diarios por persona deben cubrir los requerimientos personales de consumo e higiene básica y deben provenir de una fuente a menos de un kilómetro de la vivienda, esta condición es necesaria para un nivel de bienestar mínimo. Si se consideran el baño diario y el lavado de ropa, el consumo aumenta a 50 litros diarios. En los países desarrollados el consumo diario por persona es mayor a los 300 litros, mientras que en algunos países como Nigeria el consumo es menor a los 50 litros diarios y en otros países como Haití está por debajo de los 20 litros.

Desde el punto de vista de salud pública y equidad social, la relación agua-pobreza es muy importante. La escasez y contaminación del agua afecta de manera diferente a los pobres, esto debido a que tienen viviendas en malas condiciones y el gobierno prioriza la inversión en las zonas más desarrolladas del país. La pobreza puede expresarse en el indicador de rezago social que involucra aspectos de educación, salud y las características de la vivienda, entre ellos las viviendas que no cuentan con agua entubada de la red pública y que tampoco cuentan con drenaje (figura 1.29).

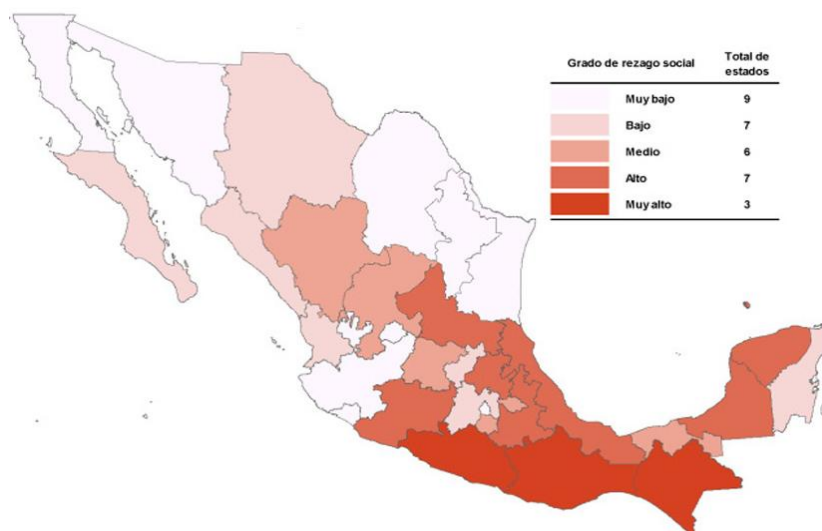


Figura 1.29 Grado de rezago social a nivel estatal, 2010.

Fuente: Estimaciones del CONEVAL.

En México, había 53.3 millones de personas en pobreza en el 2012 de acuerdo con el Informe de Pobreza publicado por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo social (CONEVAL). Estas personas cuentan con carencias en el acceso a los servicios de agua potable y saneamiento, carecer de estos servicios es sinónimo de pobreza. En el mismo año, los estados con mayor afectación de estos servicios fueron San Luis Potosí, Oaxaca, Guerrero y Chiapas. Especialmente en el estado de Guerrero hubo afectación a más de la tercera parte de su población.



Principalmente, las comunidades rurales tienen mayor rezago de los servicios de agua y saneamiento, lo cual genera una demanda permanente. En México, estos asentamientos están regularmente dispersos en el territorio nacional y comúnmente son de difícil acceso. En el país, existe un gran número de comunidades rurales con una población menor a 2 500 habitantes (figura 1.30) y con un nivel de pobreza grande. La población de México en el 2010 era un poco más de 112 336 538 millones de acuerdo con INEGI, de la cual la población rural representa el 23.2%. Cubrir el acceso a este tipo de servicios en estas localidades, como es el caso de comunidades indígenas que son las más afectadas, requiere conocer la dimensión de la población y sus características culturales principales.

Rango de población	No. de localidades	Población total
1 – 249	159 820	5 743 745
249 – 499	13 587	4 829 906
500 – 999	9 265	6 507 589
1 000 – 2 499	5 921	8 976 888
<b>Totales</b>	<b>188 593</b>	<b>26 049 128</b>

**Figura 1.30 Distribución de la población rural en México, 2010.**

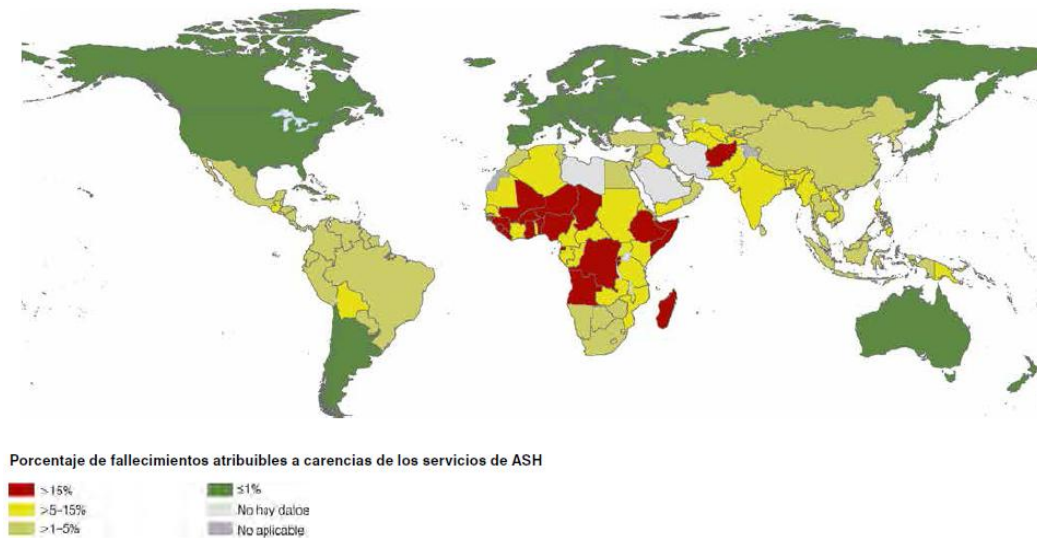
**Fuente: Programa Nacional Hídrico 2014-2018.**

Los estados con mayor población indígena son: Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Yucatán, Estado de México y Puebla; le siguen los estados de Hidalgo, Guerrero, Quintana Roo, San Luis Potosí, Tabasco, Sonora y Chihuahua. Lo anterior indica que los grupos indígenas ocupan una parte importante en el territorio nacional, representan el 14%. Algunos indígenas viven en zonas altas de las sierras y tienen acceso al agua de manantiales, ríos y lagunas. En el caso de las comunidades indígenas, están regidas bajo una normatividad local que los aparta de las políticas federales. En México, la gestión del agua es atendida como un fenómeno preferentemente urbano, enfocado en el abasto de grandes ciudades, actividades industriales y de servicio. No todos los actores sociales son tomados en cuenta por igual, quedan desprotegidos las comunidades indígenas y los pueblos.

#### **1. 4 Salud e higiene relacionadas con el agua potable y saneamiento**

Los servicios de agua potable y saneamiento son un factor en la salud pública. Básicamente, después de garantizar el acceso al agua salubre y a instalaciones sanitarias adecuadas para todos los sectores de la población disminuirán las enfermedades y con ello la mortalidad (figura 1.31), las cuales afectan principalmente a la población infantil.





**Figura 1.31 Porcentaje de fallecimientos atribuibles a enfermedades o daños relacionados con el agua, saneamiento e higiene, 2008.**

**Fuente: Informe del GLAAS de 2012.**

Las principales enfermedades que causa la falta de estos servicios son: hepatitis viral, la fiebre tifoidea, esquistosomiasis, helmintiasis intestinales, cólera, fiebre paratifoidea, cryptosporidiosis, tularemia, yersiniosis, leptospirosis, tuberculosis, tracoma, disentería y otras que causan diarrea. Otras enfermedades tienen relación con contaminantes como el arsénico y el flúor. En el mundo, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), cerca de 133 millones de personas padecen graves infecciones debidas a helmintos intestinales que causan alrededor de 9 400 muertes cada año causadas por el incorrecto acceso a saneamiento y agua potable.

La forma de contagio de las enfermedades transmitidas por el agua influye para determinar las acciones de los gobiernos. Las enfermedades pueden deberse a los hábitos de higiene inadecuados o deberse a agentes nocivos presentes por contaminación, los cuales pueden agravarse por falta de infraestructura. Es más fácil proveer de adecuados servicios de agua y sanidad a cambiar los hábitos de las personas. Por eso, los gobiernos debieran invertir en el sector pobre de la sociedad, debido a que ellos son quienes carecen principalmente de los servicios de agua, como consecuencia de esto, disminuyen las enfermedades por agua contaminada.

La diarrea es la principal enfermedad en México, se calcula que por cada 100 mil habitantes existen 5 521 casos. De acuerdo con la OMS, cada año mueren 1.8 millones de personas por enfermedades diarreicas (incluido el cólera), de las cuales el 90% son niños menores de cinco años. El 88% de las enfermedades diarreicas es por el abastecimiento de agua insalubre y el saneamiento e higiene inadecuados. Mejorar el abastecimiento de agua potable reduce entre el 6% y el 21% las personas enfermas en un sitio por diarrea. La mejora en el saneamiento reduce en un 32% las personas enfermas en un sitio por diarrea.



La relación que existe entre la carencia de los servicios de agua y sanidad con la mortalidad infantil puede verse en las figuras 1.32 y 1.33, los estados de Oaxaca y Chiapas resaltan como los más afectados.

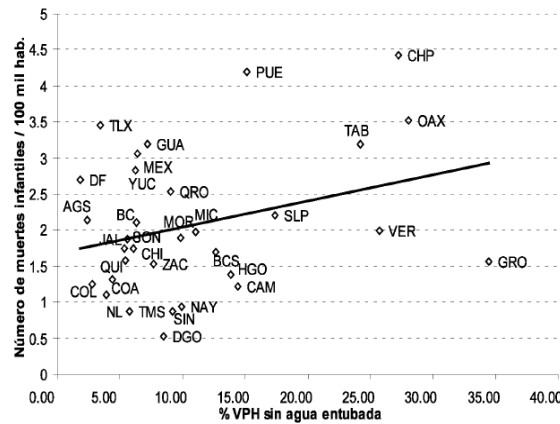


Figura 1.32 Porcentaje de viviendas particulares habitadas (VPH) sin agua entubada a la red pública respecto a la mortalidad infantil (muertes por cada 100 mil habitantes relacionadas con enfermedades infecciosas y parasitarias).

Fuente: El agua en México: cauces y encauces.

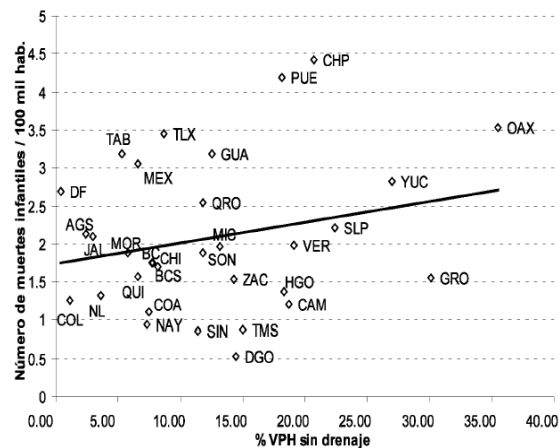


Figura 1.33 Porcentaje de viviendas particulares habitadas (VPH) sin drenaje respecto a la mortalidad infantil (muertes por cada 100 mil habitantes relacionadas con enfermedades infecciosas y parasitarias).

Fuente: El agua en México: cauces y encauces.

### 1.5 Legislación y normatividad mexicana en materia de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Referente a los derechos que tienen los ciudadanos establece en el Artículo 4 lo siguiente:



*“Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines”.*

En el Artículo 27 establece que:

*“La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada”.*

En el Artículo 115, fracción III, inciso C), establece la responsabilidad del municipio: *“Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes: a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales;”.*

- Leyes Federales.

- ✓ Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. Artículo 32bis.

*“A la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, corresponde el despacho de los siguientes asuntos:*

*II. Formular y conducir la política nacional en materia de recursos naturales, siempre que no estén encomendados expresamente a otra dependencia; así como en materia de ecología, saneamiento ambiental, agua, regulación ambiental del desarrollo urbano y de la actividad pesquera, con la participación que corresponda a otras dependencias y entidades;*

*IV. Establecer, con la participación que corresponda a otras dependencias y a las autoridades estatales y municipales, normas oficiales mexicanas sobre la preservación y restauración de la calidad del medio ambiente; sobre los ecosistemas naturales; sobre el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y de la flora y fauna silvestre, terrestre y acuática; sobre descargas de aguas residuales, y en materia minera; y sobre materiales peligrosos y residuos sólidos y peligrosos;*

*V. Vigilar y estimular, en coordinación con las autoridades federales, estatales y municipales, el cumplimiento de las leyes, normas oficiales mexicanas y programas relacionados con recursos naturales, medio ambiente, aguas, bosques, flora y fauna silvestre, terrestre y acuática, y pesca; y demás materias competencia de la Secretaría, así como, en su caso, imponer las sanciones procedentes...”.*

En lo relativo al Reglamento interior de la SEMARNAT. Artículo 2.

*“Para el estudio, planeación y despacho de sus asuntos, la Secretaría contará con los servidores públicos y unidades administrativas siguientes:*



### XXXI. Órganos Desconcentrados:

a) *Comisión Nacional del Agua*

c) *Procuraduría Federal de Protección al Ambiente*”.

Y en su Artículo 118.

*“La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente tendrá las facultades siguientes:*

*I. Vigilar y evaluar el cumplimiento de las disposiciones jurídicas aplicables a ... descargas de aguas residuales a cuerpos de aguas nacionales ...”.*

✓ *Ley de Aguas Nacionales*

En el Artículo 1 establece: *“tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable”.*

✓ *Ley Federal de Derechos. Establece los pagos por los servicios relacionados con el agua y sus bienes públicos inherentes, entre otros.*

✓ *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEEPA).*

El Artículo 117 establece que en la *“prevención y control de la contaminación del agua se considerarán los siguientes criterios:*

*I. La prevención y control de la contaminación del agua, es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país;*

*III. El aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir su contaminación, conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas*

*IV. Las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo”.*

✓ *Ley General de Salud*

En el Artículo 118 establece que corresponde a la Secretaría de Salud:

*“II. Emitir las normas oficiales mexicanas a que deberá sujetarse el tratamiento del agua para uso y consumo humano;”*

▪ *Normas Oficiales Mexicanas.*

*NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes, en las descargas de aguas residuales, en aguas y bienes nacionales.*



*NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.*

*NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.*

*NOM-001-CONAGUA-2011. Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba.*

*NOM-003-CONAGUA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.*

*NOM-004-CONAGUA-1996. Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.*

*NOM-006-CONAGUA-1997. Fosas sépticas prefabricadas. Especificaciones y métodos de prueba.*

*NOM-007-CONAGUA-1997. Requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques para agua.*

*NOM-012-SSA1-1993. Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados.*

*NOM-014-SSA1-1991. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.*

*NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.*

*NOM-179-SSA1-1998, Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.*

*NOM-230-SSA1-2002. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistema de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.*

*NOM-244-SSA1-2008. Equipos y sustancias germicidas para tratamiento doméstico de agua. Requisitos sanitarios.*

- Tratados Internacionales.

La ONU estableció una estrategia denominada Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) que asumieron 189 países. Uno de sus objetivos es la sostenibilidad del medio ambiente y una de sus metas es reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento.



## 2. Tecnologías de potabilización en pequeñas comunidades

Antes de elegir un proceso de potabilización es necesario realizar estudios y análisis previos, entre ellos la caracterización del agua para determinar el tipo de tratamiento que requiere y ver que los costos sean razonables a la situación financiera de la comunidad. Para el suministro de agua potable es común emplear las fuentes subterráneas y superficiales, y tanto en México como en el resto del mundo prefieren potabilizar el agua de acuíferos por estar menos expuestos a contaminantes.

Algunos de los aspectos que deben analizarse son los siguientes:

- Periodo de planeación. Revisar cómo se comportará la población a la que se planea dar el servicio, tomar en cuenta su crecimiento y los cambios en sus actividades económicas.
- Área de abastecimiento. Definir geográficamente la zona que necesita el servicio de agua potable. En este caso se trata de comunidades pequeñas que pueden estar concentradas o dispersas dentro de un territorio.
- Capacidad máxima diaria. Determinar la demanda diaria y futura de la población.
- Crecimiento futuro. Debe realizarse una proyección de la población.
- Fuente de suministro. Elegir un tipo de fuente de abastecimiento, comúnmente superficial o subterránea. En este caso influyen las condiciones climáticas, la calidad del agua, posibilidades de contaminación de la fuente, entre otros.
- Ubicación. Debe existir disponibilidad de área.
- Financiamiento. En este caso, debe ser una alternativa económica.

Una solución a la problemática de abastecer agua potable de calidad a la totalidad de la población, en zonas urbanas y rurales, es desarrollar técnicas innovadoras, eficaces, sostenibles, económicas, fiables y fáciles de manejar, que además sean aceptadas por la comunidad.

Existe gran variedad de sistemas de potabilización descentralizados que pueden ser utilizados en el ámbito doméstico o para colectivos reducidos (sistemas a pequeña escala). Utilizando este tipo de tecnologías el costo por litro de agua es menor que el del agua embotellada. Las tecnologías descentralizadas son una solución a corto y mediano plazo para países en vías de desarrollo en zonas urbanas donde la infraestructura de la red de distribución no es adecuada, pero principalmente en zonas rurales. A continuación, presento algunas alternativas de potabilización de agua aplicables a pequeñas comunidades.



## **2. 1 Captación de agua de lluvia**

Una alternativa de fuente de abastecimiento es el agua de lluvia almacenada. En México, existe un crecimiento en la demanda de agua y un sistema de abastecimiento de agua ineficiente por fugas y por mala calidad del agua que se suministra. La captación de agua de lluvia es una alternativa sustentable al problema del recurso hídrico, en especial en lugares de escasos recursos ya que requiere una menor inversión que una obra hidráulica centralizada.

Además, el agua de lluvia en la mayoría de las ocasiones cumple con una calidad mejor que la de otras fuentes de abastecimiento con ello garantiza que el tratamiento para su potabilización sea sencillo, económico y eficaz. El sistema de captación de agua de lluvia es independiente de cada usuario, por lo que es factible emplearlo en comunidades dispersas. La relación costo-beneficio lo convierte en una alternativa para comunidades donde no es apta una tecnología centralizada.

Es una alternativa sustentable porque permite emplear mano de obra y materiales locales, fácil de construir, no requiere energía para su operación y la operación y el mantenimiento es responsabilidad de cada usuario. Por lo anterior, requiere que la comunidad participe y sea responsable para la efectividad del sistema de captación.

### **2. 1. 1 Captación de agua de lluvia en techos**

La captación de agua de lluvia en techos (figura 2.1) es una alternativa factible que puede resolver la carencia de agua para consumo humano en lugares donde no cuentan con fuentes de abastecimiento. Esta tecnología puede aplicarse en zonas urbanas y rurales (zona rural concentrada o dispersa). Requiere una superficie de techo y sus componentes son:

- Área de captación. Es la superficie en la cual se recolectará el agua de lluvia. En este caso será el techo de la construcción, el cual puede ser de losa de concreto, lámina metálica o plástica, etcétera. La superficie debe estar limpia de óxidos, aceites u otro material. Es recomendable que tenga buena pendiente y área considerable.
- Recolección y conducción. Canaletas horizontales y verticales. Pueden ser de tubería de PVC o polipropileno.
- Interceptor o separador de la primera lluvia. Su función es apartar los primeros litros de agua de lluvia, debido a que son los que traen mayor cantidad de contaminantes. Es un recipiente de plástico o de otro material, incluye una malla que detenga sólidos flotantes y una válvula para el desagüe.
- Almacenamiento. Una estructura que sirve para almacenar el agua de lluvia recolectada. Puede ser una cisterna o un tanque, de plástico o de concreto.



- Posteriormente puede requerir algún tratamiento dependiendo de la calidad del agua recolectada. En este caso, pueden emplearse filtros caseros de sólidos finos, filtro de carbón activado, desinfección con cloro o aplicar algún otro método descentralizado.

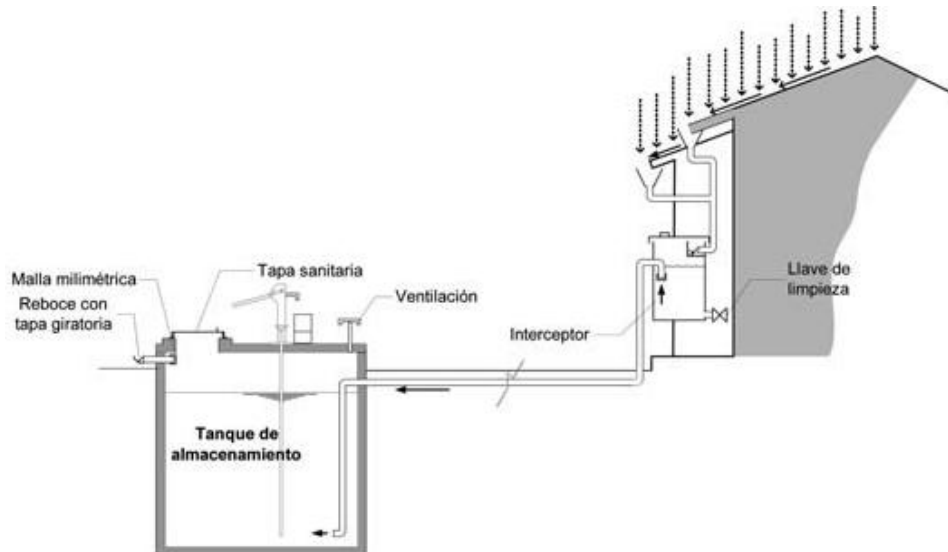


Figura 2.1 Modelo de captación de agua de lluvia en techos.

Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.

El agua almacenada puede tener diferentes usos dependiendo de la calidad de la misma, puede emplearse en riego de áreas verdes, limpieza, inodoros, higiene personal o para beber. No es aplicable cuando los índices de contaminación atmosférica son elevados. Puede aplicarse en zonas áridas con escasez de agua y en zonas de posible inundación, en lugares donde otro tipo de captación no es factible o como alternativa en caso de desastres naturales.

Para el diseño, es necesario contar con series históricas de la precipitación de por lo menos los últimos diez años, en caso de que la comunidad no cuente con una estación meteorológica pueden emplearse los datos de la estación más cercana. Es necesario conocer la demanda del usuario, en el caso de comunidades rurales se consideran 25 l/hab/día. Es recomendable que la superficie del techo sea mayor a 20 m<sup>2</sup>. El dimensionamiento del tanque de almacenamiento debe ser a partir de la determinación de la relación de la oferta y la demanda, puede construirse enterrado, semienterrado o apoyado en el piso, y no debe permitir la contaminación del agua almacenada. El costo dependerá de la capacidad de captación, puede ser de 5 mil a 20 mil pesos.

Las actividades de operación y mantenimiento son: limpiar el techo y las canaletas antes de la época de lluvias, revisar el interceptor en los periodos de lluvia y abrir la válvula para el desagüe de las primeras lluvias y limpiar el tanque de almacenamiento antes del periodo de lluvias.





Entre las ventajas de este sistema están: mitigar la escasez de agua, es un sistema de agua independiente por lo que puede aplicarse en viviendas alejadas y dispersas, el agua obtenida puede ser empleada en varios usos y es fácil de operar y mantener. Las desventajas que tiene este tipo de captación son: requiere una inversión inicial considerable, deben vigilarse las instalaciones para no tener problemas de contaminación, es importante la precipitación del lugar, dependiendo de la calidad del agua puede ser necesario incluir un tipo de tratamiento de agua adicional y en caso de emplear el agua recolectada en actividades dentro de la construcción requerirá algunos cambios en las instalaciones de la misma.

La empresa Rotoplas® ha creado un sistema de captación pluvial para viviendas ubicadas en comunidades rurales (figura 2.2), el cual está compuesto de una cisterna pluvial (la empresa ofrece capacidades de 5 mil a 10 mil litros), un filtro pluvial y el kit de canaletas. Es un diseño de fácil instalación y con un costo por arriba de 15 mil pesos.



**Figura 2.2 Sistema de captación pluvial para viviendas ubicadas en comunidades rurales.**

**Fuente: Soluciones para mejora de saneamiento. Sistema de captación pluvial para viviendas ubicadas en comunidades rurales. Manual de instalación. Rotoplas®.**

### **2. 1. 2 Captación de agua de lluvia en pisos**

Otra opción de captación de agua de lluvia es con un sistema de captación en pisos (figura 2.3). En este caso, requiere de una superficie de piso libre de posible contaminación. Los componentes de este sistema son los siguientes:

- Captación. Es una superficie de un material impermeable a través de la cual es recolectada y conducida el agua de lluvia para su almacenamiento. Esta área debe estar libre de aceites y óxidos, debe tener una cerca perimetral y puede ser de concreto, geomembrana o empedrado.
- Cámara de sedimentación. Recibe las primeras lluvias y remueve los materiales en suspensión. Para el futuro mantenimiento deben instalarse dos válvulas de control.
- Tanque de almacenamiento. Estructura para almacenar el agua recolectada.

- Dependiendo de la calidad del agua, posteriormente requerirá un tratamiento pequeño a base de filtros, desinfección con cloro u otro tratamiento descentralizado de potabilización.

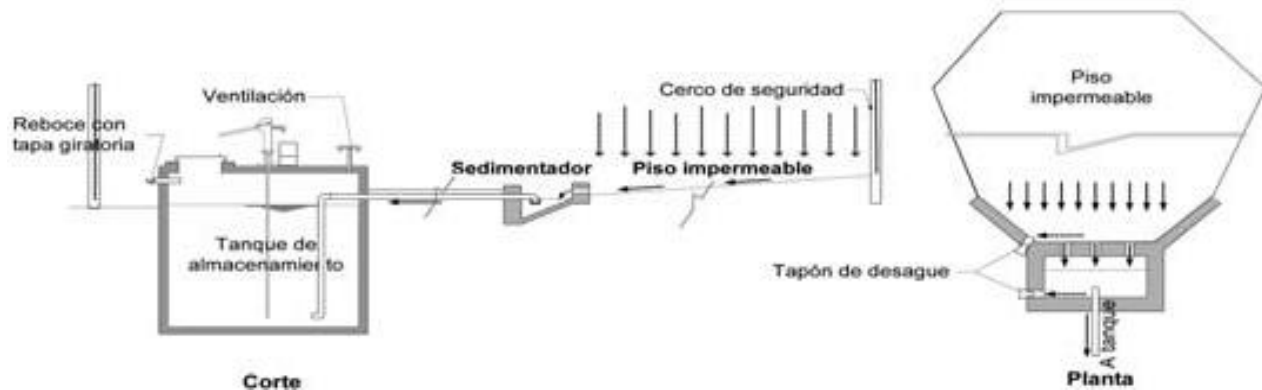


Figura 2.3 Sistema de captación de agua de lluvia en pisos.

Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.

Esta tecnología es usada en lugares donde es difícil conseguir agua para consumo doméstico. En caso de que exista riesgo de contaminación en el lugar debe evitarse el consumo doméstico. Para el diseño de este sistema, deben seguirse las mismas recomendaciones de la captación en techos. En el caso del diseño del sedimentador, considerar la superficie de recolección y asumir una precipitación de 2 mm/d. Los costos de esta tecnología son los mismos a los de captación en techos, de 5 mil a 20 mil pesos. El mantenimiento debe hacerse antes de la época de lluvias, el cual consiste en limpiar la superficie impermeable, el sedimentador y el tanque de almacenamiento.

Las ventajas que tiene este sistema son: mitiga la escasez de agua, es un sistema de agua independiente de cada vivienda por lo que puede emplearse en comunidades dispersas, emplea mano de obra y materiales locales, y es fácil de mantener. Las desventajas que tiene son: requiere un costo inicial elevado; necesita un mantenimiento regular, depende de la temporada de lluvias de la zona y para consumo humano requiere adicionalmente un tratamiento.

## 2.2 Tecnologías de potabilización

Existen varias tecnologías para potabilizar el agua. En esta sección presento algunas tecnologías aplicables en pequeñas comunidades, las cuales son alternativas a la decantación y ebullición empleadas comúnmente. En general, estas tecnologías pueden usarse en localidades carentes de cobertura en los servicios de agua, no obstante son empleadas principalmente en países en desarrollo.



### 2. 2. 1 Desinfección solar SODIS

La tecnología SODIS (“Solar Water Desinfection”) consiste en desinfectar agua para beber a partir de los rayos del sol. Es una alternativa para prevenir la diarrea en países en desarrollo. En la aplicación este método solamente son necesarios los rayos del sol y botellas de PET. Las personas del lugar pueden utilizar ellos mismos esta tecnología para obtener agua potable. Es una solución simple, de bajo costo y ambientalmente sostenible. Utiliza la radiación UV-A y la infrarroja, la primera con un efecto germicida y la segunda para elevar la temperatura, y depende de la cantidad de luz solar disponible.

Esta tecnología es aplicable cuando el agua de la fuente de abastecimiento no sea muy turbia (<30 UTN) y es recomendable que las botellas sean de 10 cm de diámetro, debido a que la radiación ultravioleta reduce con el aumento de la profundidad del agua. El tratamiento consiste en los siguientes pasos (figura 2.4):

1.- Lavar con jabón las botellas de PET cuidando de no rayarlas, es recomendable que sean de este material por ser ligeras, fáciles de conseguir, no se rompen y no contienen sustancias peligrosas para la salud. También, pueden ser botellas de vidrio o bolsas especiales. Las botellas de PET deben ser transparentes y sin color, tampoco deben estar maltratadas. La capacidad de las botellas no debe ser mayor a tres litros.

2.- Llenar y cerrar la botella bien. Debido a que la turbiedad es importante en este método, una prueba para verificar si el agua puede usarse para aplicar el método SODIS es colocar una hoja de un periódico debajo de la botella y si pueden verse las letras de la hoja a través del agua entonces puede aplicarse este método.

3.- Colocar las botellas con agua en un lugar donde reciban los rayos solares. Debido a que la nubosidad afecta la efectividad de este método, el tiempo de exposición de las botellas al sol varía. Cuando exista nubosidad, dejar las botellas por dos días y si no existe nubosidad, las botellas deben dejarse en el sol seis horas. Con este tiempo el método SODIS mata a los microorganismos patógenos. En temporada de lluvia este método no es aplicable.

4.- El agua tratada con el método SODIS preferentemente debe tomarse de la botella o pasarse a un recipiente limpio, con el fin de evitar su contaminación nuevamente.

La Organización Mundial de la Salud, la UNICEF y la Cruz Roja han recomendado el método SODIS como una forma de tratamiento de agua en los países en desarrollo. Además, han desarrollado investigaciones en las que se demuestra que este método mata bacterias (*E. coli*, *shigella flexneri*, *vibrio cholerae*, *salmonella typhi*, *salmonella enteritidis*), virus (rotavirus) y parásitos (*criptosporidium parvum*, *giardia lamblia*). Con este método se evitan enfermedades como la diarrea, polio, hepatitis, cólera, disentería, etcétera.

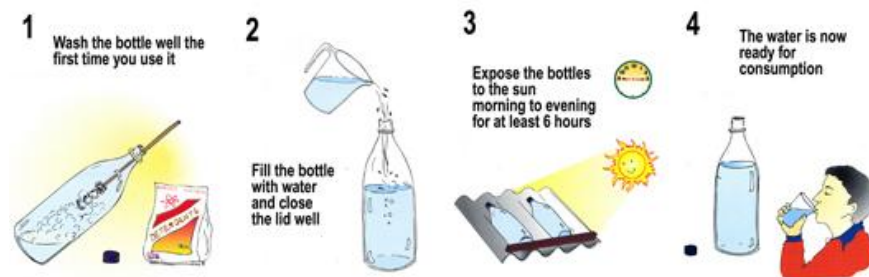


Figura 2.4 Procedimiento del método SODIS.

Fuente: SODIS. Safe drinking water for all. [http://www.sodis.ch/methode/anwendung/index\\_EN](http://www.sodis.ch/methode/anwendung/index_EN)

Las ventajas de esta tecnología son: emplea materiales fáciles de conseguir, es gratuita, no requiere energía ni combustible y la calidad del agua es confiable. Las desventajas que tiene son: la turbiedad del agua para aplicar este método debe ser menor a 30 UTN, las condiciones de las botellas de PET son importantes, depende de las condiciones climáticas, pequeña capacidad y requiere un tiempo considerable para la desinfección del agua.

### 2.2.2 SOLVATTEN®

SOLVATTEN® (figura 2.5) es una tecnología portable de tratamiento de agua. Su diseño fue pensado para usuarios pobres, pensado en caso de recorrer distancias grandes para llegar a la fuente de abastecimiento y volver al lugar donde está la vivienda. Es de plástico y tiene una vida útil de 10 años. No necesita energía, baterías, químicos ni partes de repuesto.



Figura 2.5 SOLVATTEN®.

Fuente: SOLVATTEN®. <http://www.solvatten.se/>

Esta unidad está formada por dos contenedores de cinco litros cada uno y puede abrirse como un libro, pesa 2.7 kg. Cada contenedor debe llenarse a través de una abertura que contiene un filtro con poros de 35  $\mu\text{m}$ , el cual puede ser cambiado por una tela en caso de dañarse. Este filtro elimina las partículas de mayor tamaño.

El plástico con el que están hechos los contenedores permite penetrar los rayos UV-B (rayos de onda media), los cuales destruyen los microorganismos como los parásitos y la bacteria *Escherichia coli*. Esta tecnología cumple con la calidad de agua potable que indica la Organización Mundial de la Salud (OMS).



El funcionamiento consiste en llenar los contenedores y después colocarlos directamente al sol de 2 a 6 horas. Además de purificar el agua, esta unidad calienta el agua a una temperatura de hasta 75°C. SOLVATTEN® tiene un dispositivo que indica si el agua está lista, es una carita que cambia de color rojo a verde.

Esta tecnología ha sido empleada en varios países donde carecen del servicio de agua potable, los usos que tiene el agua tratada son: higiene, lavar alimentos y consumo humano. Es recomendable consumir el agua tratada en menos de 24 horas después emplear esta unidad para evitar recontaminación.

Depende del clima, en un día soleado funciona perfectamente limpiando 10 litros de agua rápidamente. En cambio, cuando hay días nublados baja su eficiencia y no puede emplearse en días con lluvia intensa.

El mantenimiento consiste en cambiar los filtros, aunque puede emplearse tela. También deben limpiarse los contenedores, con agua y sin detergentes. El costo de esta unidad es superior a los mil pesos.

Las ventajas que tiene son: fácil operación y mantenimiento, facilita su desplazamiento, no necesita baterías ni químicos, es eficiente y durable. Las desventajas son: debe importarse desde Suecia, al costo se deben sumar los costos del transporte y el agua puede volver a contaminarse si no se consume rápidamente.

### 2. 2. 3 Filtración cerámica

Esta tecnología es utilizada desde hace mucho tiempo, pueden ser instalaciones fijas o móviles. Comúnmente, en países en desarrollo los filtros cerámicos son fabricados localmente. Su funcionamiento consiste en llenar el filtro cerámico superior (figura 2.6) con agua, la cual fluye a través del filtro hacia un recipiente de almacenamiento.

Este tipo de filtros cerámicos son impregnados con plata coloidal para prevenir el crecimiento de bacterias en el filtro, también actúa como desinfectante eliminando las bacterias en el agua. Estos filtros son efectivos en la eliminación de bacterias (99.9999%), virus (90%) y protozoarios. Reduce los casos de diarrea entre el 60% y 70%. La construcción de estos filtros tiene un precio entre 100 y 500 pesos.



Figura 2.6 Sistema de filtro cerámico.

Fuente: Centers for Disease Control and Prevention. <http://www.cdc.gov/safewater/household-water.html>



Las ventajas del uso de esta tecnología son: fácil construcción y operación, para su construcción pueden emplearse materiales locales, bajo costo, reduce bacterias y protozoarios, tiene aceptabilidad y reduce las enfermedades diarreicas. Las desventajas son: no es muy eficiente en eliminación de virus, puede producirse recontaminación, los filtros son frágiles y pueden romperse con el tiempo, es para caudales entre 1 y 3 l/h, debe limpiarse el filtro y no es apto para aguas muy turbias.

#### 2. 2. 4 Filtro casero

Este tipo de filtro es una tecnología casera (figura 2.7), aplicable para aguas poco turbias (< 10 UTN). Es una filtración lenta. Puede construirse de concreto o de plástico. Consta de un recipiente con varias capas de grava y arena, con una altura de 1 m y una base de 0.15 a 0.6 m de diámetro o ancho. El nivel del agua debe mantenerse 5 cm arriba de la última capa de arena. El usuario vierte el agua de la parte superior, el agua pasa por las capas del medio filtrante y es recogida de la tubería de salida. La capa filtrante consiste en una capa de 5 cm de grava, de 5 a 10 cm de arena gruesa y una capa de arena fina. El costo está entre 100 y 500 pesos. Para el mantenimiento puede lavarse el filtro con la misma agua filtrada. Es aplicable en zonas rurales concentradas y dispersas.

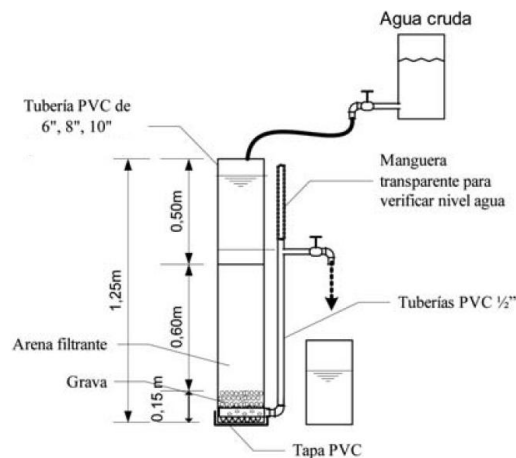


Figura 2.7 Filtro casero de arena con tubería de PVC.

Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.

El filtro Biosand y el Hydraid son una adaptación comercial de esta tecnología (figura 2.8). Están hechos con una estructura de concreto y el otro de plástico respectivamente. Ambos, tienen en la base un tubo perforado para la captación del agua filtrada, el cual está soportado por una capa de grava. Anterior a esta capa, está otra de grava más fina y una capa de arena fina que remueve microorganismos patógenos. Arriba de ésta última está una biocapa (1-2 cm de espesor) en donde vive una comunidad de microorganismos y arriba hay una placa difusora que protege las capas filtrantes de ser dañadas cuando se vierte el agua.

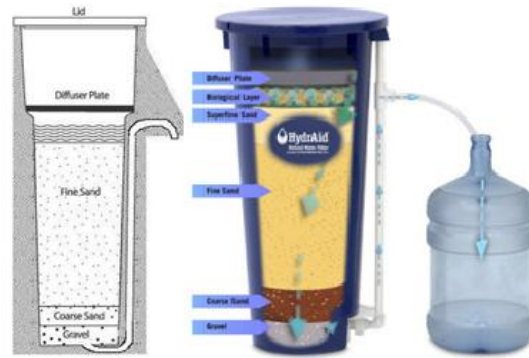


Figura 2.8 Los filtros Biosand e HydrAid.

Fuente: Centers for Disease Control and Prevention. <http://www.cdc.gov/safewater/household-water.html>

Las ventajas que tiene esta tecnología son: la simplicidad para construirla (pueden emplearse materiales locales), económica, la operación y mantenimiento son simples, no requiere reactivos químicos ni energía eléctrica. Las desventajas son: no es aplicable en caso de agua muy turbia y la arena fina no es común encontrarla en las localidades.

### 2. 2. 5 Filtración en múltiples etapas

Es un sistema de tratamiento de agua para consumo humano, el cual permite la remoción de contaminantes de manera progresiva. No utiliza químicos, es fácil operarlo y mantenerlo. Esta tecnología fue desarrollada por la Universidad del Valle, Colombia. Es aplicable en pequeñas comunidades rurales concentradas. Está formada por tres unidades de tratamiento (figura 2.9):

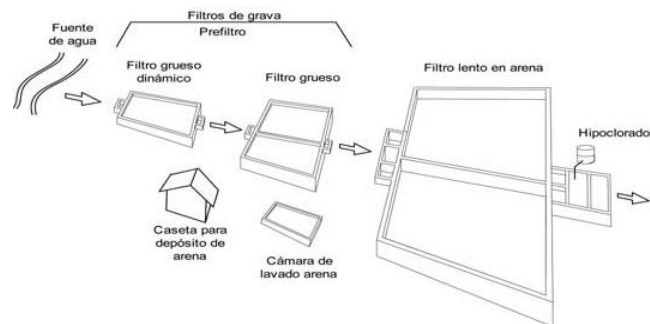


Figura 2.9 Sistema de filtración en múltiples etapas.

Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.

- Filtro grueso de grava dinámico. Está formado por gravas de tamaño variable, la gruesa al fondo y la fina en la superficie. El agua pasa a través del material filtrante, se recolecta y conduce a la siguiente etapa. Tiene la función de quitar el material suspendido. En la figura 2.10 están las componentes de esta unidad de tratamiento.

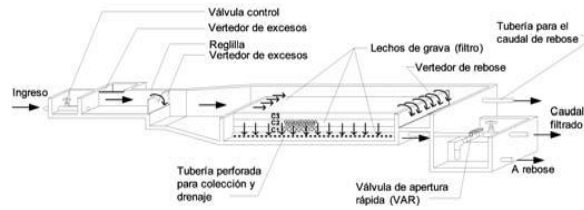


Figura 2.10 Esquema del filtro de grava dinámica.

Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.

- Filtro grueso de grava ascendente. Unidad de material filtrante, formada por capas de grava de diferentes tamaños, en el fondo gruesa y en la superficie fina. Por ser de flujo ascendente, el material grueso se queda en el fondo. Debe incluir válvulas de regulación y control. La figura 2.11 muestra el esquema del filtro grueso de grava ascendente.

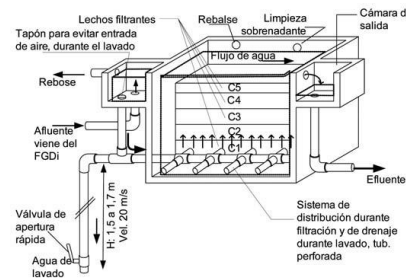


Figura 2.11 Esquema del filtro grueso de grava ascendente.

Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.

- Filtro lento de arena. Unidad que consta de tuberías perforadas de PVC en el fondo para la recolección del agua filtrada, las cuales son soportadas por grava gruesa de diferentes diámetros y encima de ésta, una capa de arena fina con diámetro entre 0.15 y 0.35 mm. Esta unidad tiene de profundidad 1m, en la figura 2.12 está el esquema de este filtro.

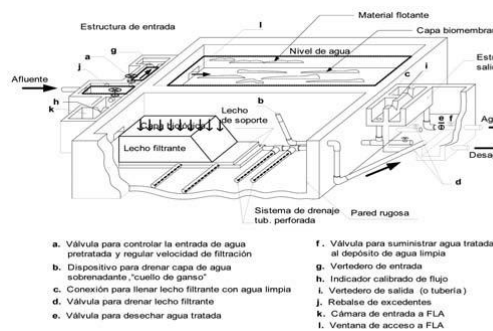


Figura 2.12 Esquema del filtro lento de arena.

Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.





Estas etapas de tratamiento se diferencian por las distintas granulometrías. Primero son removidas las partículas de mayor tamaño y conforme va avanzando el agua en el proceso se van removiendo las partículas de menor tamaño. Al final del tratamiento debe existir una desinfección con cloro.

Para aplicar esta tecnología es necesario tomar en cuenta la turbiedad, color y coliformes fecales del agua de la fuente de abastecimiento. Además, en la zona donde se piensa aplicar debe existir el tipo de material filtrante que se utilizará. También, es recomendable que los tanques sean de concreto armado y la tubería de ingreso, drenaje y limpieza sea de PVC. Debe construirse una caseta para almacenar el material filtrante de reemplazo y un depósito para el lavado de arena filtrante que se retira en el proceso de limpieza de los filtros. En cuanto al mantenimiento, debe existir un control del flujo de entrada a cada filtro y retirar el material sobrenadante. También es necesario hacer un lavado de los filtros. Además, debe existir un control de la turbiedad en cada filtro y llevar un registro de esa información.

Entre las ventajas de esta tecnología están: fácil construcción y aprovechamiento de los materiales de la comunidad, no requiere personal especializado para su operación, fácil de mantener y aplicable en zonas rurales. Las desventajas de este sistema son: la turbiedad elevada puede perjudicar su funcionamiento, puede que la arena fina del filtro lento no esté presente en la localidad, para su construcción requiere un área de terreno mayor, costo mayor, el gasto que requiere es mayor a 10 l/s, y no es aplicable para altas concentraciones de hierro y manganeso.

### **2. 2. 6 LifeStraw®**

Esta tecnología fue inventada por el danés Vestergaard Frandsen, consiste en un tubo de plástico que pesa 57 g, tiene 3 cm de diámetro y 22 cm de longitud a través del cual pasa el agua por filtros (figura 2.13). Es una forma de potabilización individual. Inicialmente, en el 2005, esta tecnología era empleada en desastres naturales y actualmente se usa en viajes, deportes de aventura, en campamentos y para emergencias. Permite filtrar mil litros de agua, lo que satisface el consumo de agua anual de una persona y el filtro debe cambiarse cada mil litros.

Primero el agua pasa por un pre filtro con poros de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro, después pasa por otro filtro con poros de 15  $\mu\text{m}$ . A continuación, el agua pasa por una cámara de cuentas saturadas de yodo, finalmente pasa por una capa de carbón activado. Para su funcionamiento deben quitarse las tapas de los extremos del tubo y sumergir el extremo sin boquilla en el agua, mientras que de la boquilla debe succionarse el agua con la boca como si fuera un popote.

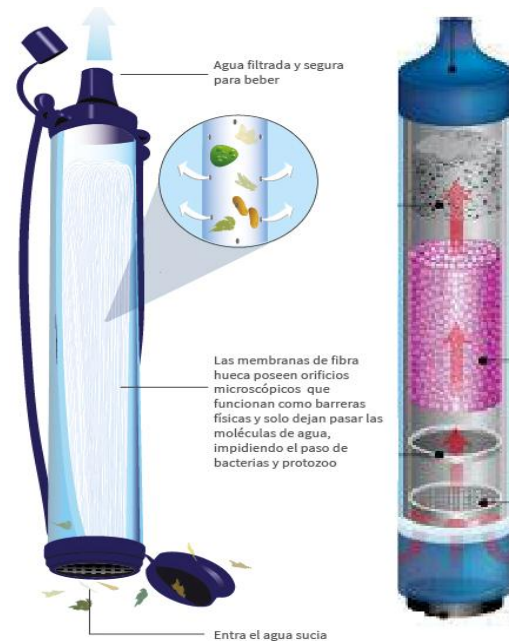


Figura 2.13 Esquema del LifeStraw®.

Fuente: LifeStraw®. <http://buylifestraw.com/es/productos/lifestraw-personal-spanish>

Con esta tecnología pueden removerse del agua el 99.999% de bacterias, entre ellas la *Escherichia coli*, *campylobacter*, *vibrio cholerae*, *pseudomonas aeruginosa*, *Shigella* y *Salmonela*. Retiene el 99.9% de protozoarios como *Giardia lamblia* y el *cryptosporidium parvum*. También retiene virus y remueve el 99.6% de turbiedad.

Este producto cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-244-SSA1-2008, mencionada en el capítulo anterior. Tiene un costo de 385 pesos, actualmente en México solo puede comprarse por internet. El mantenimiento consiste en remover el filtro cuando sea pertinente y verificar que no tenga obstrucciones.

Las ventajas que tiene esta tecnología son: simple, fácil operación y mantenimiento, comodidad para el desplazamiento, el agua puede beberse directamente de la fuente de abastecimiento, eficiencia en la calidad del agua, no necesita energía para operar y por la eficiencia en la remoción de turbiedad con la filtración permite tratar agua de muy mala calidad. Las desventajas que tiene son: poca capacidad por ser de uso individual, el costo es elevado y no es fácil adquirirlo.

### 2. 2. 7 SkyHydrant™/SkyStation™

El SkyHydrant™ (figura 2.14) es un sistema de ultrafiltración, emplea un tipo de filtración que usa membranas con un poro muy fino, las cuales están colocadas en forma capilar y son de materiales plásticos semipermeables. La membrana de ultrafiltración que emplea tiene poros de 0.04  $\mu\text{m}$ . No necesita energía ni químicos, el filtro es compacto, fácil y rápido de instalar, fácil de operar y tiene bajo costo por mantenimiento ya que no necesita filtros de repuesto.



**Figura 2.14 Sistema de ultrafiltración SkyHydrant™.**

**Fuente:** SkyJuice Foundation. <http://www.skyjuice.com.au/skyhydrant.htm>

Esta tecnología permite tratar agua de lluvia, superficial y subterránea no salina. Remueve turbiedad, color y microorganismos del agua. El agua fluye a través del sistema pasando por las fibras, el agua tratada está libre de sólidos en suspensión, bacterias (E.coli), virus, helmintos, coliformes fecales y totales. Con lo anterior garantiza el uso del agua para servicios sanitarios, consumo humano, preparación de alimentos e higiene.

El filtro debe ser instalado en un lugar protegido del sol, del viento y de la lluvia, donde esté seguro y con espacio para su operación y mantenimiento. El mantenimiento consiste en una limpieza diaria y un mantenimiento preventivo mensual, es necesario hacer retrolavados. Los filtros pueden ser instalados en cualquier zona rural, que tenga acceso a una fuente hídrica no tratada. Con esta tecnología pueden ser tratados hasta 1 000 l/h, lo cual abastece el consumo de 800 personas.

Para aumentar la capacidad pueden articularse varios filtros, por ello existe la unidad SkyStation™ (figura 2.15) que puede funcionar con varios filtros con una capacidad de 10 000 l/d. Estos filtros funcionan por gravedad, necesitan un tanque a 2 m de altura de agua proveniente de la fuente de abastecimiento (mil litros de capacidad), la dirección del flujo en los filtros es de abajo hacia arriba y pasa a otro tanque de mil litros de capacidad que almacena el agua tratada. Un sistema SkyStation™ requiere una bomba, la cual puede ir enterrada, funciona con energía solar por lo que adicional a los tanques y filtros tiene un panel solar.



**Figura 2.15 Sistema SkyStation™.**

**Fuente:** SkyJuice Foundation. <http://www.skyjuice.com.au/skyhydrant.htm>

Este sistema, SkyStation™, tiene un costo mayor a los 50 mil pesos, y una vida útil de 10 años, igual que los filtros. Al ser una unidad autónoma puede emplearse en comunidades que carecen del servicio de agua potable. Las ventajas que tiene son: no necesita energía ni químicos, es manual y fácil de operar, remueve parásitos y bacterias. Las desventajas son: no se emplea con turbiedad alta, no remueve sal, minerales y químicos disueltos en el agua, y es muy costoso inicialmente.

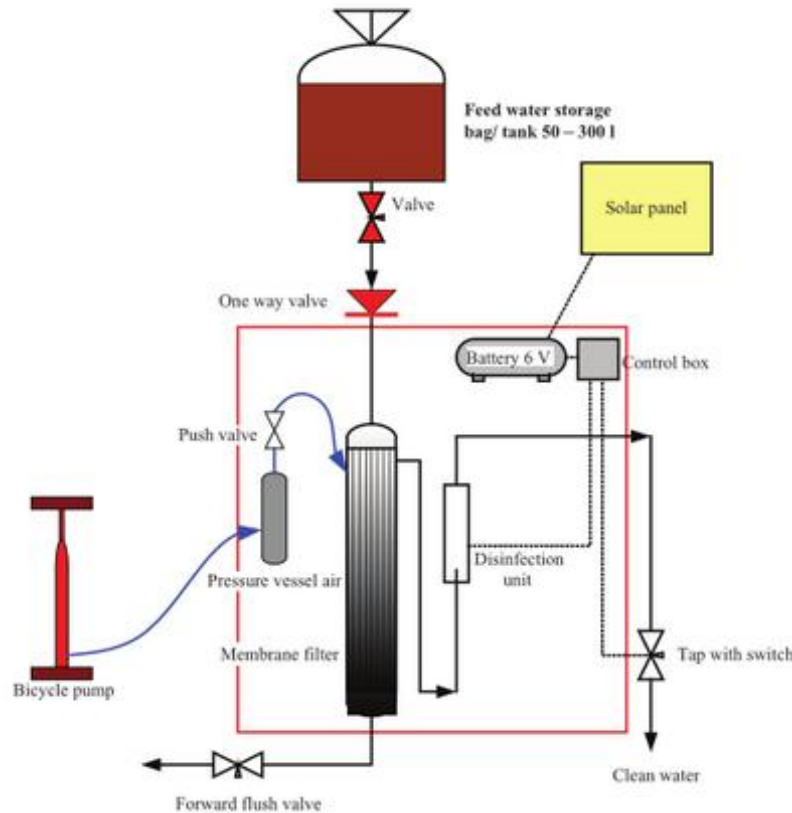
### **2. 2. 8 Mobile Water Maker**

Esta tecnología es una unidad portable de tratamiento de agua, tiene una capacidad de producir 500 l/d (figura 2.16). La operación de esta unidad es independiente, no necesita energía. Para tratar el agua utiliza una membrana cerámica tubular combinada con una desinfección por medio de una oxidación anódica (el contaminante se oxida), utiliza un panel solar (figura 2.17).



**Figura 2.16 Mobile Water Maker.**

**Fuente:** Brightspark. [http://www.brightspark.nl/mobile\\_water\\_maker.html](http://www.brightspark.nl/mobile_water_maker.html)



**Figura 2.17 Experimento en laboratorio del funcionamiento de Mobile Water Maker.**

**Fuente: Development of a mobile water maker, a sustainable way to produce safe drinking water in developing countries.**

Las membranas deben limpiarse con un simple lavado sin el uso de productos químicos, no requiere cambiar los cartuchos de filtros contaminados. Este dispositivo puede eliminar bacterias (E.coli), parásitos protozoarios, helmintos, coliformes fecales y totales. Pero no es eficiente con los virus. Remueve hierro y manganeso. El costo de esta tecnología es superior a 20 mil pesos.

Las ventajas de este método son: fácil operación, tiene durabilidad, costo inicial alto, respetuoso con el medio ambiente por no usar productos químicos, buena calidad del agua. Las desventajas que tiene son: bajo caudal de agua tratada, en caso de almacenar el agua tratada puede ser recontaminada y el filtro requiere constante mantenimiento.

### **2. 2. 9 Naïade**

La empresa holandesa NEDAP desarrolló la unidad Naïade (figura 2.18), consiste en un innovador dispositivo de purificación de agua. Este sistema utiliza la tecnología UV para el tratamiento de agua. Naïade ha demostrado ser fiable y una solución rentable para los problemas de agua potable en las zonas rurales.



**Figura 2.18 Naiade.**

**Fuente: NEDAP. <http://www.nedap-naiade.com/>**

Naiade remueve bacterias, virus y helmintos. De acuerdo con una investigación realizada por la UNESCO-IHE, Delft, Holanda en 2004, este sistema tiene gran efectividad para remover coliformes fecales y la bacteria E.coli.

Es fácil de instalar (está lista en 30 minutos) y operar, actividades que pueden realizar los habitantes de la localidad. La unidad puede ser utilizada durante la noche debido a la batería que utiliza, instalada en la base de la unidad, es cargada con el panel solar. Los filtros requieren un lavado periódico, solamente incluye un repuesto de la lámpara UV que tiene una vida útil de 3 años. Este sistema tiene un precio mayor a los 70 mil pesos.

Las ventajas que tiene son: fácil instalación, operación y mantenimiento, eficiente y útil para un abastecimiento de una localidad de 400 personas. Las desventajas que tiene son: costo inicial elevado, debe importarse desde Holanda y el agua queda expuesta si no es utilizada rápidamente.

### **2. 2. 10 Sobre instantáneo. PUR Purifier of Water™**

La empresa Procter & Gamble, en conjunto con los Centros para la Prevención y Control de Enfermedades (Centers for Disease Control and Prevention – CDC), desarrolló el PUR Purifier of Water™ (figura 2.19). Son sobres de 4 g que contienen un floculante (sulfato férrico) y un desinfectante (hipoclorito de calcio). Los producen en Pakistán y son distribuidos por ONG´s en todo el mundo, tienen un costo aproximado de 2 pesos cada sobre. En situaciones de emergencia es distribuido de forma gratuita.



Figura 2.19 Sobre PUR Purifier of Water™.

Fuente: P&G. Children's Safe Drinking Water. <http://www.csdw.org/csdw/pur-packet-technology.shtml>

El procedimiento consiste en que los usuarios abran el sobre y agreguen el contenido a un recipiente con 10 litros de agua, agiten por 5 minutos, dejen que los sólidos asienten para posteriormente pasar el agua a otro recipiente a través de una tela de algodón y esperar 20 minutos a que el hipoclorito de calcio inactive a los microorganismos (figura 2.20).

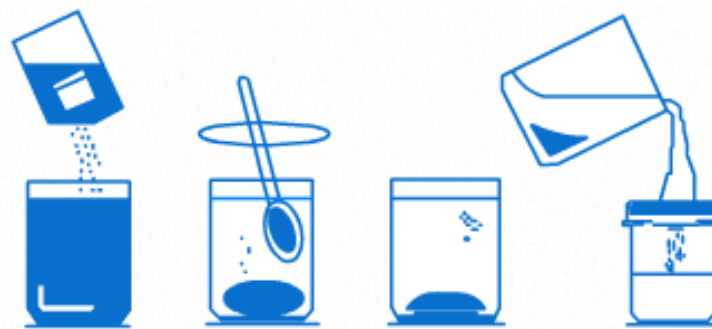


Figura 2.20 Procedimiento de purificación de agua del PUR Purifier of Water™.

Fuente: Centers for Disease Control and Prevention. <http://www.cdc.gov/safewater/household-water.html>

Este floculante/desinfectante funciona para eliminar el 99.99999% de bacterias, 99.99% virus y 99.9% protozoarios. Es efectivo en aguas turbias. Elimina metales pesados como el arsénico y contaminantes como los pesticidas. Es usado en países en desarrollo, en zonas rurales y urbanas. También es usado en situaciones de emergencia y en campamentos de refugiados.

Las ventajas de esta tecnología son: reduce los virus, protozoarios y bacterias, también reduce metales pesados y pesticidas, deja una protección residual evitando la recontaminación, mejora visual del agua, se transporta fácilmente y tiene larga vida útil. Las desventajas son: requiere una demostración previa del procedimiento, es más apropiado en lugares donde el agua tiene alta turbiedad y el costo por litro es mayor al de las otras tecnologías.

## 2. 2. 11 Aireador de bandejas

Esta es una tecnología para remover hierro y manganeso, es aplicable en comunidades rurales concentradas para fuentes de abastecimiento subterráneas (figura 2.21). Funciona a base de aireación con aireadores de bandeja, puede aplicarse en conjunto con filtros de arena (figura 2.22). Es fácil de operar y mantener.

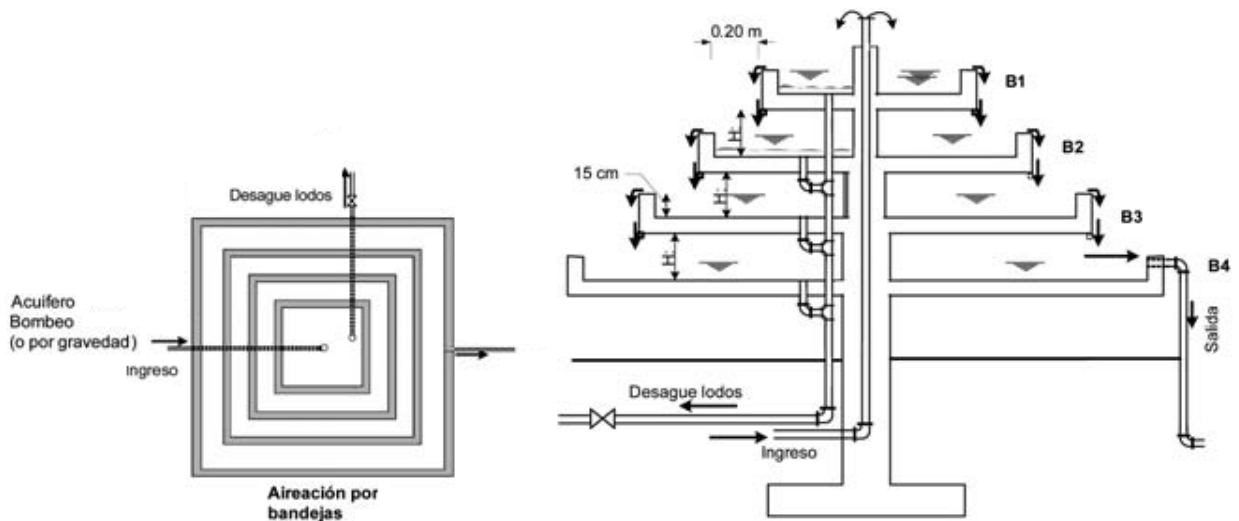


Figura 2.21 Aireación por bandejas.

Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.

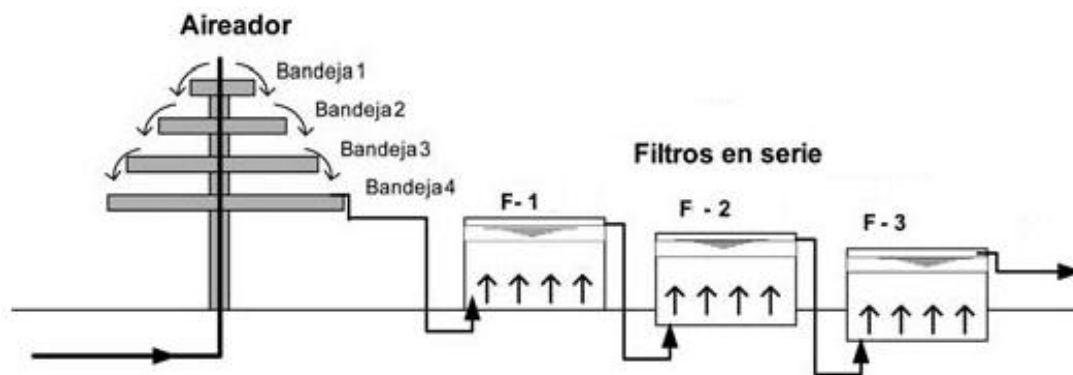


Figura 2.22 Aireación por bandejas y filtros en serie.

Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.

El agua pasa por bandejas aireadoras que pueden ser cuadradas, rectangulares o circulares. Son recomendables de 3 a 4 bandejas de tamaño variable y separadas entre 0.25 y 0.5 m. El flujo del agua es en caída. El aireador puede ser construido de concreto, las bandejas deben ser delgadas. Debe tener una pendiente para facilitar la recolección del lodo formado (flocs de hierro y manganeso).



La aireación facilita el contacto del agua con el oxígeno del aire, lo que incrementa el contenido de oxígeno disuelto, para precipitar los iones de hierro y manganeso. Es aplicable cuando la concentración de hierro y manganeso es baja y el caudal es menor a 10 l/s. Requiere un pH entre 6.5 y 7.2 para garantizar la eficiencia del proceso. Es necesario tener control del caudal que entra al sistema y monitorear el pH, el mantenimiento consiste en el lavado de las bandejas y abrir la válvula para el drenado de los lodos.

Las ventajas de este sistema son: es de fácil construcción, no necesita reactivos químicos, simple operación y mantenimiento, bajo costo y es aplicable en zonas rurales. Las desventajas que tiene son: no es apto para altas concentraciones de hierro y manganeso, solo es aplicable para aguas subterráneas y funciona para caudales pequeños.

## 2. 2. 12 Hipoclorador de goteo

Es un equipo sencillo para desinfectar agua, el hipoclorador es de carga constante (figura 2.23). Consiste en dos recipientes, uno en el que está la solución (hipoclorito de calcio) y otro con el dosificador, éste tiene una salida por goteo de la solución. Es aplicable en sistemas a gravedad, para caudales entre 0.3 y 0.8 l/s, turbiedad menor a 5 UTN y pH entre 6.2-7.8. Se emplea en zonas rurales concentradas.

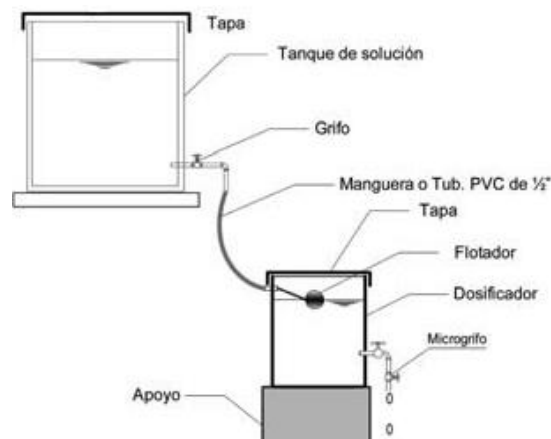


Figura 2.23 Hipoclorador de goteo.

**Fuente:** Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.

Necesita un tiempo de contacto de 30 minutos. El volumen del recipiente con la solución debe ser de 100 litros y el del dosificador de 20 litros y tiene un flotador conectado a la manguera de alimentación de la solución madre. Es recomendable que los recipientes y accesorios sean de plástico. Requiere cuidado en la dosificación. Las ventajas de este sistema son: bajo costo y emplea materiales accesibles. Las desventajas son: necesita capacitación para su manejo y requiere adquirir el hipoclorito de calcio.



### **3. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades**

En México, todavía existe un manejo inadecuado de aguas residuales, debido a que en muchas localidades aún existen descargas puntuales en cuerpos de agua naturales. El sistema de alcantarillado centralizado consiste en recolectar las aguas residuales y de lluvia por medio de una red de alcantarillado, no en todos los casos la instalación de un tratamiento y vertido controlado del agua tratada.

Debido a condiciones económicas, geográficas y topográficas no es factible tener un alcantarillado en todo el país. En las comunidades rurales con población dispersa no disponen de una red de alcantarillado y vierten directamente las aguas residuales a los cuerpos de agua, los cuales son afectados en su calidad por las descargas de estas aguas, ya que la tasa de vertido supera la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua receptores.

Como una alternativa viable a esta problemática fueron creados los sistemas descentralizados. Estos sistemas consisten en captar y tratar el agua residual en el lugar donde es generada. Las características principales de estos sistemas son: la reutilización del agua tratada y otras sustancias (lodos y biogás), nulo o bajo costo energético, empleo de materiales de la localidad y el empleo de tecnologías sencillas y efectivas. Además, son sistemas sostenibles debido a que protegen y promueven la salud humana, no generan degradación ambiental ni el agotamiento de recursos, son técnicamente apropiados, económicamente viables y socialmente aceptables.

Es indispensable pensar en otras alternativas al sistema actualmente usado en el país, con el fin de satisfacer la necesidad de la población en torno al saneamiento. En muchas ocasiones, los sistemas descentralizados representan una solución congruente con las necesidades reales de la localidad y su población, permiten tratar aguas residuales domésticas cerca de la fuente de origen en zonas rurales y en pequeñas comunidades en la periferia de las grandes ciudades.

A continuación, presento algunas de estas tecnologías de tratamiento descentralizadas. Es recomendable que estas tecnologías sean aplicadas a nivel hogar o compartido en comunidades con una población menor a 2 000 habitantes.

#### **3. 1 Reactor anaerobio de biogás**

El reactor anaerobio de biogás (figura 3.1) es una tecnología de tratamiento anaerobio, produce lodo digerido y biogás. Esta tecnología es aplicable en una vivienda o un conjunto de viviendas, permite la degradación anaerobia de las aguas negras. El reactor puede conectarse directamente a los inodoros y tener otro punto para agregar material orgánico adicional.

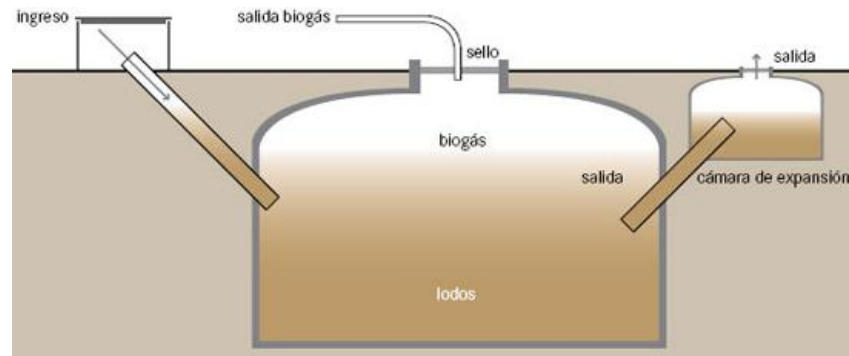


Figura 3.1 Reactor anaerobio de biogás.

Fuente: Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento.  
<http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias.html>

Después de que entran las aguas negras en la cámara de digestión, el lodo es sedimentado y son generados gases por fermentación, los cuales ascienden y son colectados en la parte de arriba. Es recomendable que el tiempo de retención hidráulica en el reactor sea mínimo de 15 días en lugares de clima cálido y de 25 días en clima templado, no es recomendable en lugares con clima frío debido a que la generación de biogás no es factible a menos de 15 °C.

Este tipo de digester puede ser construido enterrado o por encima del suelo. Puede construirse de ladrillos o ser prefabricado. Los tipos de reactor anaerobio de biogás pueden verse en la figura 3.2, son construidos de domo fijo o con domo flotante. En el primero, el volumen del reactor es constante y al generarse presión por los gases generados, el lodo se mueve hacia la cámara de expansión y regresan a la cámara de digestión cuando sale el gas. En el segundo caso, el domo puede expandirse con la producción de gas y descende con la remoción del gas.

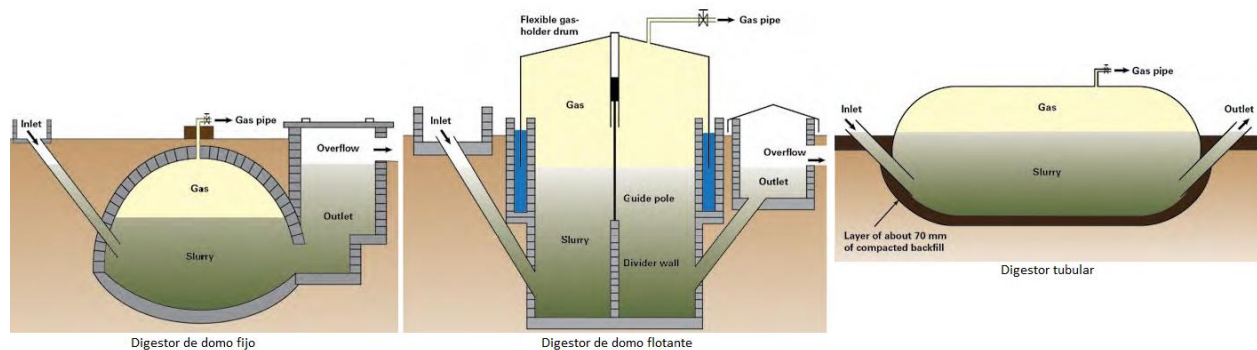


Figura 3.2 Tipos de reactor anaerobio de biogás.

Fuente: Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries: Practical Information and Case Studies.

El reactor debe vaciarse cada 6 meses a 10 años. El lodo generado en el proceso es casi inodoro y parcialmente desinfectado. Es recomendable agregar material orgánico biodegradable mientras lo usa solamente una vivienda. También debe removerse el

material una vez por semana manualmente para un proceso uniforme. Es importante tener cuidado con el manejo del gas generado y revisar el equipo para evitar fugas de gas. Para arrancar el reactor es necesario lodo activado.

Las ventajas de esta tecnología son: bajo costo, genera una fuente de energía, larga vida útil, construcción con materiales locales, requiere poco espacio y no requiere energía eléctrica. Las desventajas son: requiere un diseño de expertos, cuidado con el manejo del gas, los lodos y el efluente requieren un tratamiento adicional.

### 3.2 Tanque Imhoff

El tanque Imhoff (figura 3.3) es un tipo de tanque de sedimentación, tiene la finalidad de remover sólidos suspendidos (50%-70%). Es apto para localidades con una población entre 50 y 20 mil habitantes. Es un tratamiento al que le precede un proceso para retirar grasas y aceites, y después de él puede ir otro tratamiento. Es de fácil operación y no requiere partes mecánicas, es mejor aplicarlo en lugares con clima cálido debido a que facilita la digestión de los lodos aunque también pueden aplicarse en lugares con clima frío, sin embargo es menos eficiente.

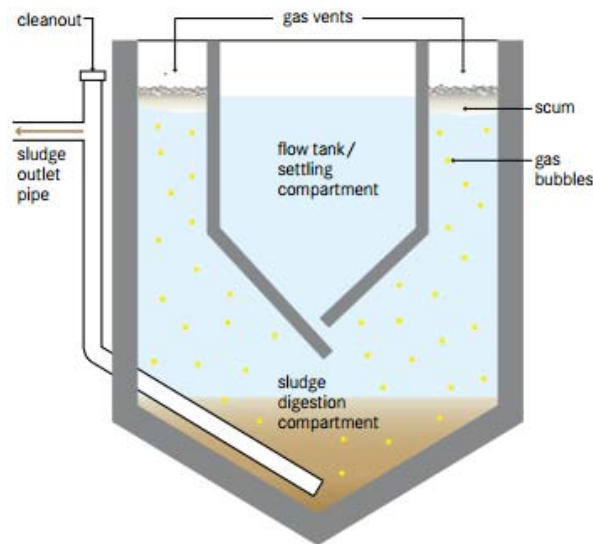


Figura 3.3 Tanque Imhoff.

Fuente: *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd revised edition.

La descomposición de las aguas residuales es de forma anaerobia. El tratamiento es llevado a cabo en dos cámaras, una superior que hace la separación sólido-líquido y otra inferior donde ocurre la digestión anaerobia de los sólidos sedimentados. Además, está la acumulación de gases en la parte de arriba.

El tanque Imhoff puede tener forma rectangular o circular. La efectividad de este sistema depende de la forma del tanque, con lo cual los sólidos sedimentan en menor



tiempo y la inclinación de la cámara inferior permite que los gases de la digestión vayan hacia arriba.

Este tipo de tanque puede construirse de concreto armado bajo tierra o estar por encima del nivel del suelo, en este caso el lodo es retirado por gravedad. También existen tanques Imhoff prefabricados en el mercado. Las medidas que debe tener el tanque Imhoff son: una profundidad de la parte líquida de 7 a 9.5 m, la abertura de la ranura pueden ser de 150 a 300 mm de ancho con inclinaciones de 1.25 vertical a 1 horizontal y las paredes del compartimento de la digestión de lodos deberá tener una inclinación de 45°. Es recomendable instalar un tubo y una bomba para sacar el lodo generado.

Estos tanques tratan alta carga orgánica y el espacio que requieren es poco, no deben construirse en lugares propensos a inundarse. El efluente es casi inodoro, aunque los gases producidos general mal olor. Es necesario tener un control de la operación y el mantenimiento semanalmente. Debido a que es un tipo de tratamiento primario, es recomendable un tratamiento posterior para el efluente y los lodos.

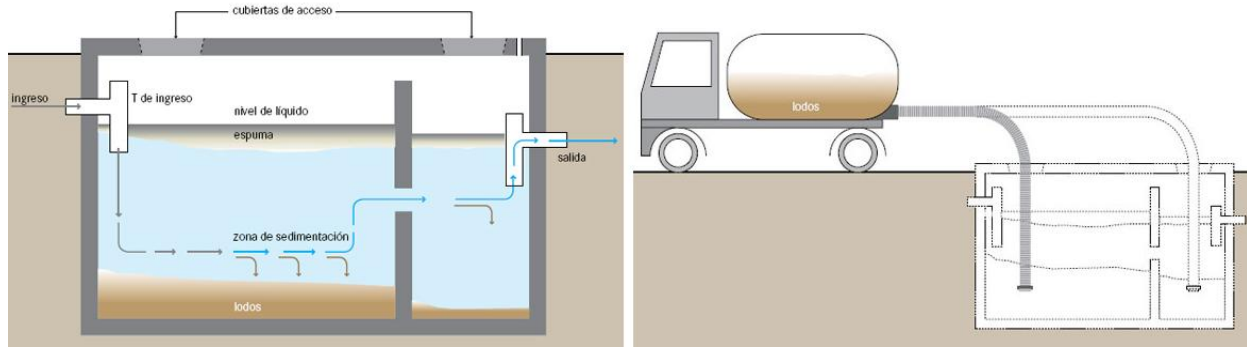
Las ventajas de esta unidad son: requiere poco espacio y es de bajo costo. Las desventajas que tiene son: el efluente y el lodo generados requieren otro tratamiento, requiere control del mantenimiento y necesita expertos para su diseño y construcción.

### **3. 3 Tanque séptico**

La fosa o tanque séptico es una estructura enterrada que recibe las aguas residuales de las viviendas. Es un tratamiento individual de aguas negras y grises aplicable en cualquier lugar en donde no exista un sistema de tratamiento centralizado, es apto para una casa o un grupo de casas. La vida útil de un sistema séptico es de 20 años aproximadamente. Es recomendable para zonas de climas cálidos y no inundables.

El tanque séptico debe ser impermeable y construido de un material duradero, resistente a la corrosión y a la descomposición (concreto, fibra de vidrio, PVC o plástico). El proceso consiste en recolectar el agua residual generada en la vivienda o conjunto de viviendas y transportarla al tanque séptico, en donde ocurre una separación sólido-líquido. Los sólidos sedimentan, las grasas y natas flotan en la superficie, y ocurre una digestión anaerobia limitada de la materia orgánica.

Una fosa séptica (figura 3.4) debe tener dos cámaras como mínimo. Cuando son dos cámaras, la primera de ellas debe tener 2/3 de la longitud total y en caso de ser más cámaras, la primera cámara debe tener el 50% de la longitud total. Lo anterior con el fin de que en la primera cámara sean sedimentados la mayoría de los sólidos. El separador entre cámaras sirve para evitar el paso de sólidos y espuma, y la tubería en forma de T en el ingreso ayuda a que el agua residual se dirija hacia abajo dentro del tanque y a la salida previene el paso de la nata.

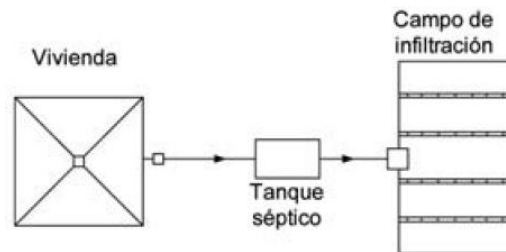


**Figura 3.4 Fosa séptica.**

**Fuente: Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento.**  
<http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias.html>

La tasa de acumulación es mayor a la tasa de descomposición de los sólidos, por tal motivo es conveniente que el tanque sea vaciado cada 2 a 5 años. No es conveniente que solventes, productos tóxicos y otros productos químicos caseros sean descargados al sistema séptico.

Para un tratamiento moderado, el tiempo de retención debe ser de 48 horas. Con esta tecnología la eliminación de patógenos no es muy alta, son eliminados el 50% de sólidos y entre 30-40% de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno). Un indicador de que está funcionando correctamente es que el sistema no genera olores. El efluente del tanque séptico requiere un sistema de disposición final como un pozo de absorción o un campo de filtrado (figura 3.5), los cuales describiré más adelante en este capítulo.



**Figura 3.5 Opción de tratamiento secundario, efluente del tanque séptico.**

**Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.**

Las ventajas de esta tecnología son: puede construirse con materiales locales, tiene una larga vida útil, no hay problema de moscas y olores, no requiere energía eléctrica, necesita poco terreno y es de bajo costo. Las desventajas son: requiere un efluente constante de agua, el efluente y lodos necesitan un tratamiento posterior y tiene una baja reducción de sólidos, patógenos y materiales orgánicos.

### 3.4 Reactor anaerobio con deflectores (ABR)

Esta tecnología puede aplicarse a una sola vivienda o un vecindario pequeño. Un reactor anaerobio con deflectores (figura 3.6) es una adaptación mejorada de una fosa séptica. El tiempo de retención es mayor, está entre 48 y 72 horas. Al inicio del reactor son eliminados la mayoría de los sólidos y con ayuda del flujo ascendente, provocado por una serie de deflectores que obligan a las aguas residuales a pasar por debajo de ellos, mejora la digestión de la materia orgánica. Requiere de 2 a 3 cámaras de flujo ascendente. El tanque necesita ventilación como consecuencia de los gases generados en el proceso.

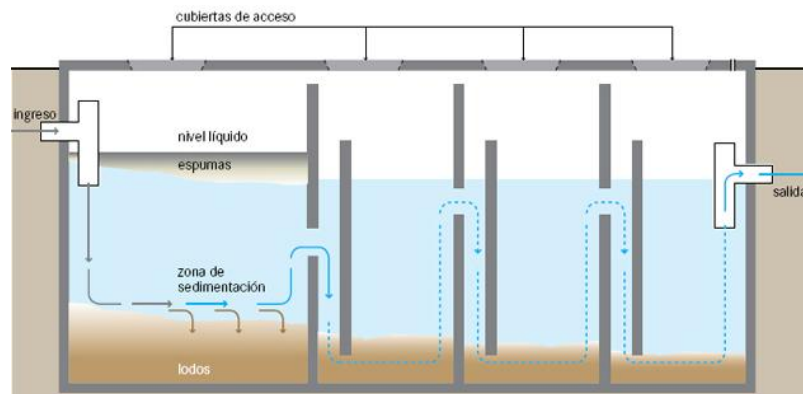


Figura 3.6 Reactor anaerobio con deflectores.

Fuente: Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento.  
<http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias.html>

El mantenimiento consiste en un desazolve cada 2 a 3 años. Es recomendable su uso cuando la descarga de aguas residuales es constante. Puede construirse bajo tierra, por ello no es recomendable en lugares con nivel freático superficial y es necesario asegurarse de que el reactor es impermeable. La eficiencia de esta tecnología disminuye en lugares con clima frío.

Debe considerarse que el arranque de esta tecnología no es inmediato, pueden usarse lodos activados para acelerar el proceso de la digestión anaerobia. Los lodos y el efluente del proceso aún tienen una gran cantidad de patógenos por lo que requieren un tratamiento adicional.

Las ventajas del reactor anaerobio con deflectores son: no requiere energía eléctrica, maneja aguas negras y grises, mientras la operación es adecuada no hay olores, reduce la materia orgánica y dependiendo del número de usuarios tiene un costo moderado. Las desventajas son: requiere un caudal constante de aguas residuales, el arranque del proceso no es inmediato, los productos del sistema necesitan un tratamiento adicional y requiere un diseño y construcción especializados.



### 3.5 Filtro anaerobio

El filtro anaerobio es una tecnología de tratamiento que consiste en un tanque de sedimentación y una o más cámaras de filtración (figura 3.7). Las aguas residuales entran al tanque de sedimentación en donde los sólidos sedimentan y las natas flotan en la superficie, el agua pasa por un deflector a la cámara de filtración en donde el filtro atrapa las partículas y degrada la materia orgánica por la biomasa que está adherida al material del filtro.

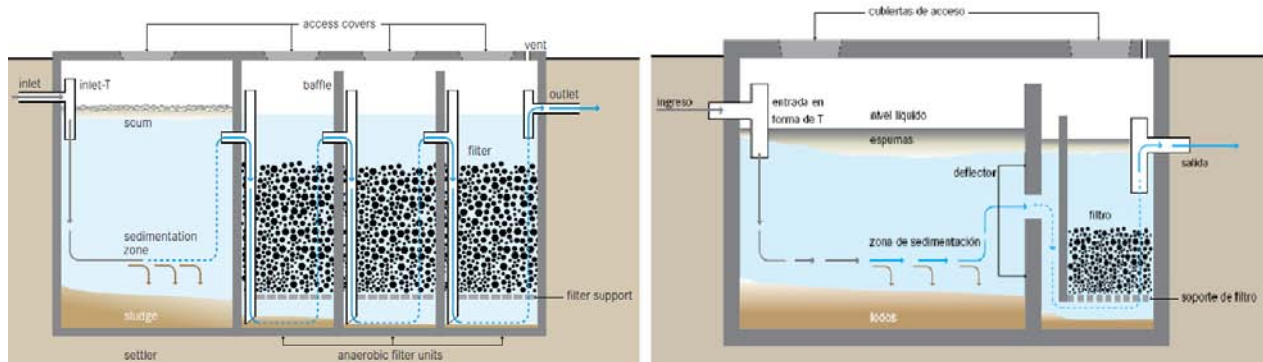


Figura 3.7 Filtro anaerobio.

Fuente: Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd revised edition.

El filtro está formado comúnmente por gravas o piezas de plástico especiales, estos materiales deben tener un diámetro entre 12 y 55 mm. El flujo que pasa por el filtro puede ser en dirección ascendente o descendente, aunque es recomendable que sea ascendente para que la biomasa no sea arrastrada con las aguas residuales. El tiempo de retención hidráulico de este sistema debe estar entre 0.5 y 1.5 días.

Esta tecnología es aplicable en una vivienda o a un conjunto de viviendas que estén en lugares sin riesgo a inundarse y en donde el nivel freático no es superficial. La eficiencia de este sistema disminuye en clima frío. Puede construirse bajo tierra o a nivel del suelo. Requiere ventilación para los gases que produce. Este proceso genera olores que pueden molestar a los usuarios, por lo tanto debe estar en un lugar alejado.

El flujo de aguas residuales debe ser constante y la biomasa necesita tiempo para estabilizarse debido a ello el arranque del sistema es lento. Esta tecnología elimina los sólidos suspendidos y reduce la DBO al 50%, sin embargo el efluente requiere un tratamiento adicional porque no elimina los organismos patógenos. Para mantener el filtro en óptimas condiciones necesita un retrolavado cuando baja la eficiencia, el cual consiste en un funcionamiento inverso. Además, requiere un desazolve adecuado con las medidas de seguridad apropiadas.

Las ventajas de esta tecnología son: no requiere energía eléctrica, puede construirse con materiales de la localidad, larga vida útil (de 10 a 20 años), costo moderado y reduce DBO y sólidos. Las desventajas que tiene son: requiere un flujo constante de



aguas residuales, el efluente necesita un tratamiento adicional, el proceso no arranca rápidamente y necesita un diseño y construcción de expertos.

La marca Rotoplas® patentó un biodigestor autolimpiable y lo colocó en el mercado. Como muestra la figura 3.8, en este sistema el agua entra por un tubo hasta el fondo en donde los sólidos sedimentan y empieza la descomposición, después el flujo asciende a través del filtro que retiene otras partículas y finalmente, el efluente sale por otro tubo. Adicionalmente, el biodigestor necesita un registro de lodos y un pozo de absorción.

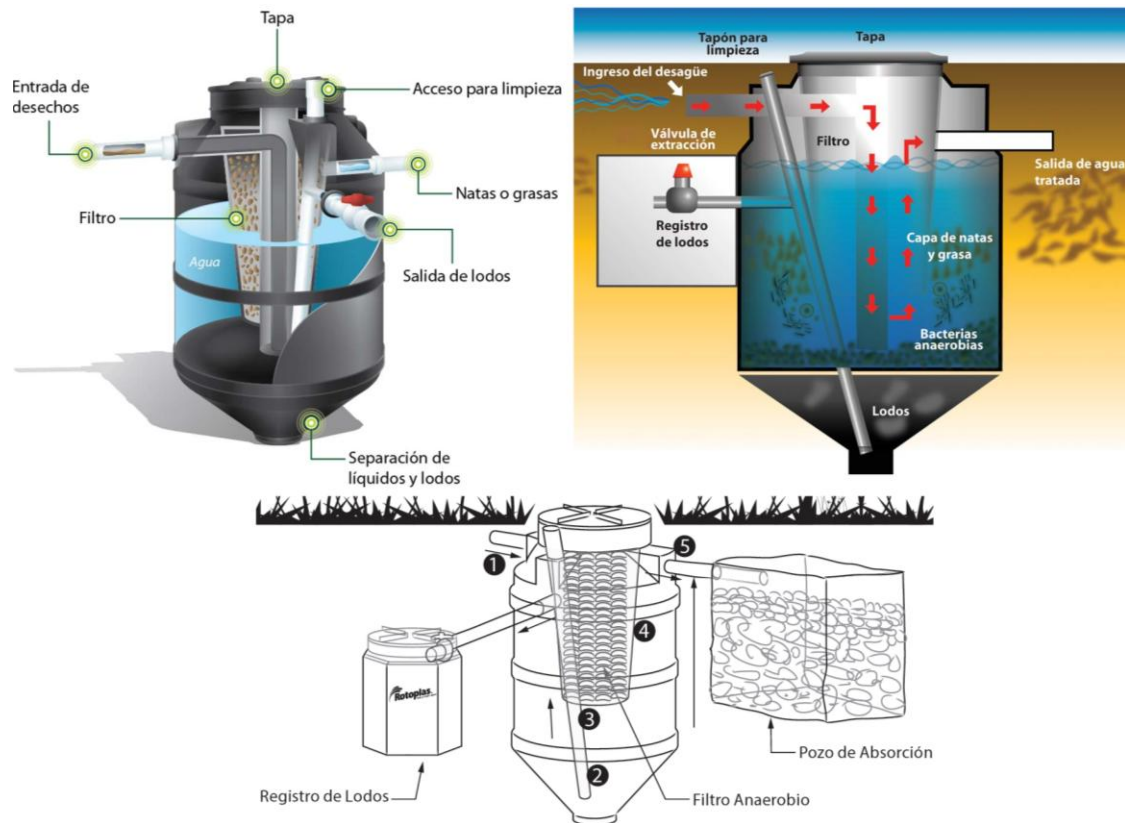
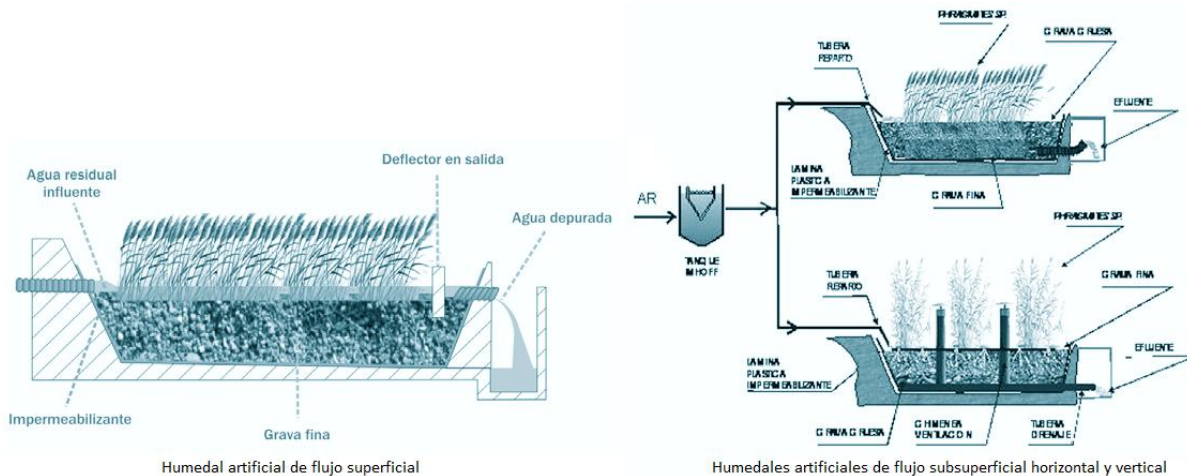


Figura 3.8 Biodigestor patentado por Rotoplas®.

Fuente: Rotoplas®. <http://www.rotoplas.com/productos/saneamiento/biodigestor-autolimpiable/>

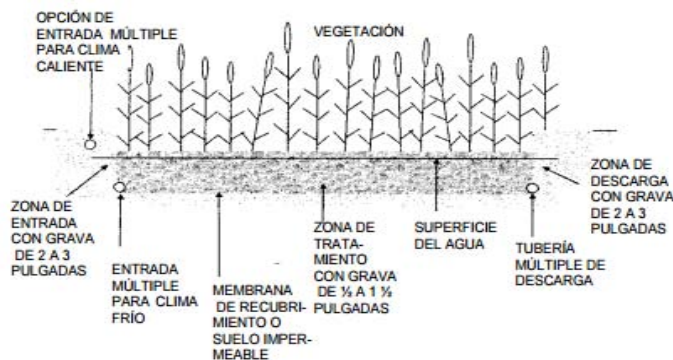
### 3.6 Humedales artificiales

Esta tecnología reproduce artificialmente las condiciones de los humedales naturales, los cuales remueven contaminantes lentamente. Como consecuencia de la presencia de agua, existe vida vegetal y el desarrollo de comunidades microbianas. Existen dos tipos básicos de humedales artificiales: los humedales de flujo superficial y los humedales de flujo subsuperficial (véanse figuras 3.9 y 3.10). En los primeros, las aguas circulan a través de los tallos de las plantas emergentes implantadas en el humedal y en los segundos, las aguas discurren a través de un sustrato filtrante que sirve de soporte a la vegetación sin ser visible el agua.



**Figura 3.9 Tipos básicos de humedales artificiales.**

**Fuente: Manual de depuración de aguas residuales urbanas.**



**Figura 3.10 Humedal de flujo subsuperficial.**

**Fuente: Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de flujo subsuperficial. Environmental Protection Agency (EPA).**

Las características de los humedales artificiales son la impermeabilización del vaso y su construcción mecánica, también emplean sustratos diferentes al terreno original para el enraizamiento de las plantas que van a colonizar el humedal, las cuales son plantas acuáticas que se desarrollan en aguas poco profundas y son conocidas como emergentes porque están arraigadas al suelo y una parte de la planta crece fuera del agua y otra dentro.

### 3. 6. 1 Humedal artificial de flujo superficial libre

En este tipo de humedales artificiales (véanse figuras 3.11 y 3.12) el agua está expuesta directamente a la atmósfera y al sol, circula a través de los tallos de las plantas. En este caso, el agua fluye por la superficie del suelo con vegetación desde la entrada hasta la salida. Al circular las aguas residuales lentamente por los canales que forman el humedal las partículas son asentadas, los sólidos se filtran, los microorganismos patógenos son eliminados y las plantas usan los nutrientes.

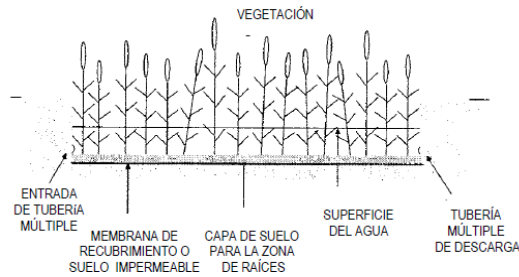


Figura 3.11 Humedal de flujo superficial libre.

Fuente: Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de flujo libre superficial. Environmental Protection Agency (EPA).

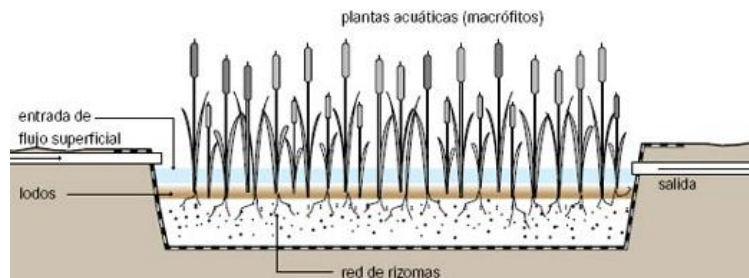


Figura 3.12 Humedal artificial de flujo superficial libre.

Fuente: Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento.  
<http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias.html>

Los humedales artificiales de flujo superficial libre son los más parecidos a los humedales naturales. En Estados Unidos emplean los humedales artificiales de flujo libre como un tipo de tratamiento secundario o terciario, por lo que reciben como influentes aguas tratadas previamente.

Los humedales artificiales de este tipo consisten en uno o más canales de poca profundidad (menor a 1 m), los cuales tienen una barrera impermeable (arcilla o un geotextil) y encima de ésta se colocan gravas y una capa de suelo para la vegetación seleccionada, comúnmente son seleccionadas una o dos especies para la siembra y pueden ser aneas, juncos o carrizos. Los canales están inundados a una profundidad de 10 a 45 cm por encima del nivel del terreno. Estos humedales tienen estructuras de entrada y descarga adecuadas para asegurar una distribución uniforme del agua residual vertida y su recolección (figura 3.13).

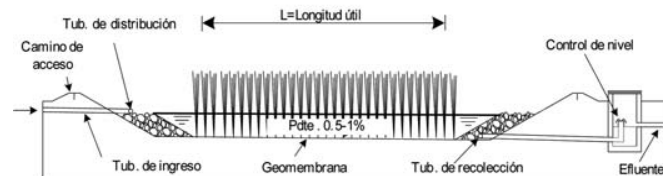


Figura 3.13 Humedal artificial de flujo superficial.

Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.

Estos humedales son aptos para tratamiento de aguas negras y grises, es recomendable un pretratamiento de sedimentación. Remueven gran cantidad de sólidos suspendidos y eliminan patógenos y nutrientes moderadamente. Esta tecnología es recomendable para zonas rurales con climas cálidos. Necesita una gran extensión de terreno. El mantenimiento consiste en quitar las ramas caídas y la basura que obstruya el paso de las aguas residuales, en caso de un mal manejo existen mosquitos. El efluente puede requerir una desinfección adicional, esto depende de la eficiencia del proceso.

Las ventajas que tienen estos humedales artificiales son: no requieren equipo mecánico, electricidad ni operadores especializados; costo menor en comparación con otros procesos mecánicos, no producen lodos residuales, estéticamente agradables, elevada remoción de sólidos suspendidos y DBO, reducción regular de microorganismos patógenos, buena remoción de metales pesados y pueden construirse con materiales locales. Las desventajas de este sistema son: necesita un terreno grande, largo tiempo de arranque, en clima frío baja su eficiencia, puede atraer vectores (mosquitos y aves) y no remueve eficientemente coliformes fecales.

### 3. 6. 2 Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial

Esta tecnología requiere un pretratamiento de sedimentación, por ejemplo un tanque de sedimentación como los tratados anteriormente, con el fin de evitar la colmatación del filtro y tener un tratamiento eficiente. El humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial (figura 3.14) consiste en un canal relleno de grava (3-32 mm de diámetro) y arena, y con vegetación acuática como carrizos, juncos, etcétera. La profundidad del humedal debe ser menor a 1 m. En este caso, el humedal es inundado entre 5 y 15 cm por debajo del material filtrante para un flujo horizontal sumergido.

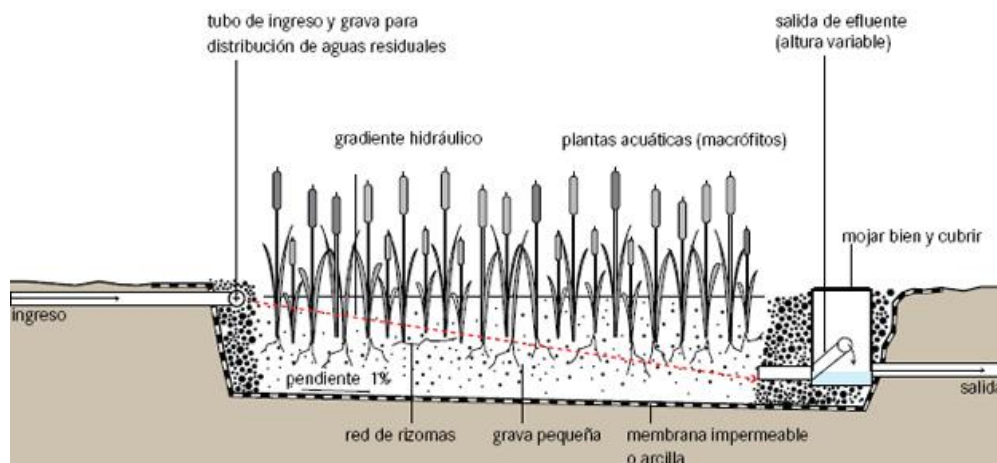
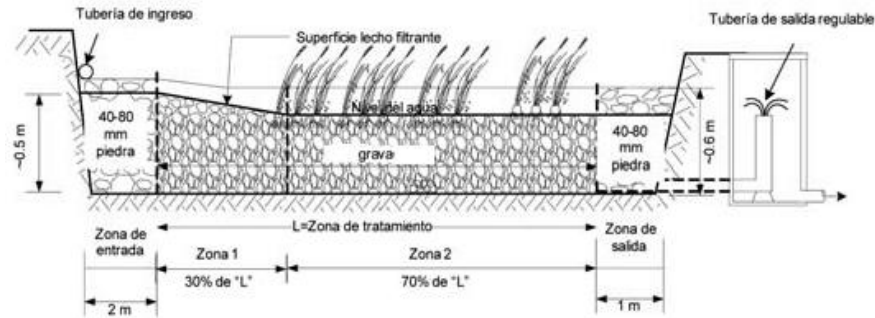


Figura 3.14 Humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial.

Fuente: Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento.

<http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias.html>

Este humedal artificial (figura 3.15) necesita un recubrimiento impermeable con una capa de arcilla o un geotextil. Requiere menor terreno que los humedales artificiales de flujo superficial, limita el desarrollo de mosquitos y no genera malos olores. Esta tecnología es aplicable en zonas rurales y comunidades pequeñas, son apropiados para sistemas descentralizados a nivel domiciliario o colectivo.



**Figura 3.15 Detalle de humedal artificial de flujo subsuperficial.**

**Fuente:** Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.

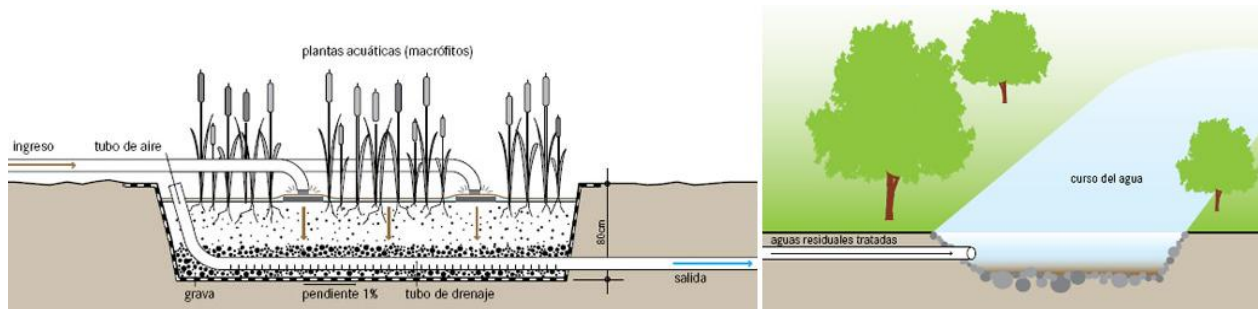
Este sistema funciona como un filtro grueso de flujo horizontal, en el cual las aguas negras y grises fluyen por el canal, las partículas son filtradas y la materia orgánica es degradada. Es eficiente en la remoción de materia orgánica (80%-90%) y sólidos suspendidos (80%-90%), y la reducción de organismos patógenos es parcial. Remueve en menor cantidad los nutrientes (20%-40%) y metales pesados.

Las estructuras de entrada y salida de estos sistemas deben ser adecuadas para asegurar la correcta distribución de aguas residuales, de ello depende en gran parte la eficiencia del tratamiento. Es recomendable que el tiempo de retención hidráulico sea de 3 a 4 días. El mantenimiento consiste en cortar y podar la vegetación, y retirar los sedimentos en la zona de entrada.

Las ventajas de esta tecnología son: agradable estéticamente, puede construirse de materiales locales, no hay problema de olores, no requiere equipos mecánicos, el flujo subsuperficial evita el acercamiento de vectores, la remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica es eficiente y los costos de operación y mantenimiento son bajos. Las desventajas son: requiere diseño de expertos, necesita un pretratamiento eficiente y requiere una superficie de terreno mayor para caudales grandes.

### **3. 6. 3 Humedal artificial de flujo vertical subsuperficial**

En el humedal artificial de flujo vertical (figura 3.16) la descarga y dosificación del agua residual es desde arriba de la superficie del humedal por medio de un sistema mecánico, por ello el flujo de aguas negras y grises es vertical hacia el filtro. En esta tecnología existen condiciones aerobias y anaerobias debido a la dosificación intermitente, lo cual permite que el filtro pase de saturado a insaturado.



**Figura 3.16 Humedal artificial de flujo vertical subsuperficial.**

**Fuente: Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento.**

**<http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias.html>**

La construcción del humedal puede ser a nivel del suelo o enterrado. Requiere impermeabilización y la instalación de una red de drenaje para recolectar el efluente. El filtro está compuesto de una capa de grava de 20 cm para drenar y capas de arena y grava fina. El medio filtrante permite eliminar los sólidos, plantar la vegetación y que las bacterias sean adheridas. Las plantas proporcionan el hábitat para los microorganismos.

Para aplicar esta tecnología es necesaria una extensión de terreno grande y un tratamiento primario como un tanque de sedimentación. Requiere personal calificado, una fuente de energía y piezas de repuesto. Es recomendable en lugares con clima cálido. Si existe una correcta operación, el efluente puede ser descargado sin tratamiento adicional. Una opción que no requiere tratamiento primario es combinar dos humedales artificiales de flujo vertical subsuperficial acomodados en serie, trabajan con dos fases cada uno, la fase de alimentación (3-4 días) y la fase de reposo (6-8 días).

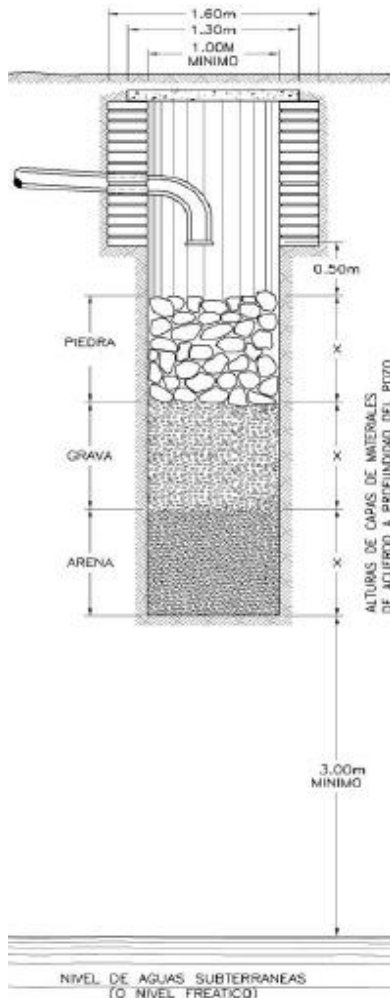
El material de filtrado puede obstruirse, por ello requiere limpiarse y reemplazarse cada 5 a 8 años. Este tipo de humedal artificial necesita mayor experiencia técnica y mantenimiento que los otros tipos de humedal artificial. Este tratamiento es eficiente en reducción de DBO, sólidos y patógenos.

Las ventajas de este tipo de humedal son: agradable a la vista, no presenta problema de mosquitos, requiere menos espacio que el humedal artificial de flujo superficial y produce alta reducción de sólidos, DBO y patógenos. Las desventajas de este sistema son: necesita energía, requiere diseño y supervisión de expertos, el costo es moderado y requiere un pretratamiento.

### **3.7 Pozo de absorción**

El pozo de absorción (figura 3.17) es una cámara cubierta en la que el efluente, proveniente de una tecnología como las mencionadas anteriormente en este capítulo, pasa por un tratamiento a través de materiales pétreos (grava y arena) previo a la disposición final en el suelo. Para la correcta funcionalidad del pozo, los materiales

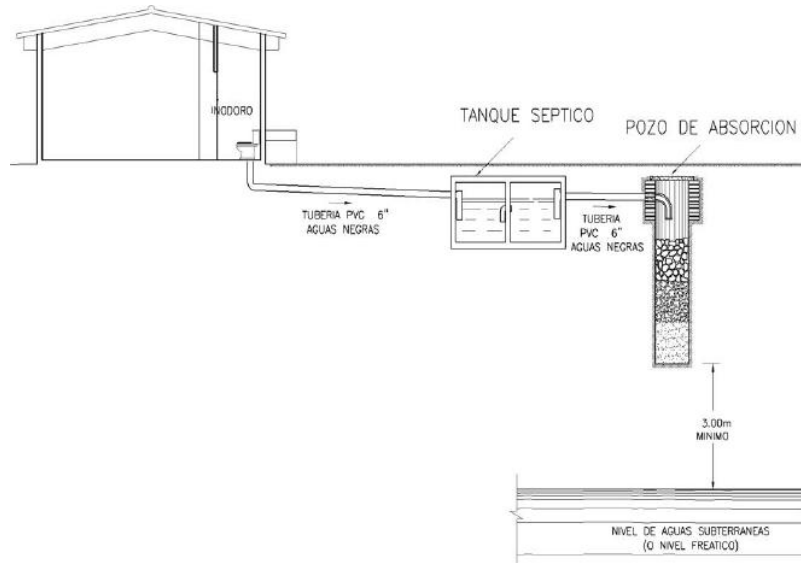
filtrantes son colocados por capas, del fondo del pozo hacia arriba hay una capa de arena para ayudar a dispersar el flujo. Posteriormente, sobre la capa de arena es colocada una capa de grava y encima piedras grandes para dar estabilidad a las paredes y permitir el paso de las aguas residuales. El espesor de las capas depende de la profundidad del pozo, la cual debe estar entre 1.5 y 4 m. Tiene una vida útil de 3 a 5 años.



**Figura 3.17** Sección de pozo de absorción.

**Fuente:** Guía técnica sanitaria para la instalación y funcionamiento de sistemas de tratamiento individuales de aguas negras y grises, 2009.

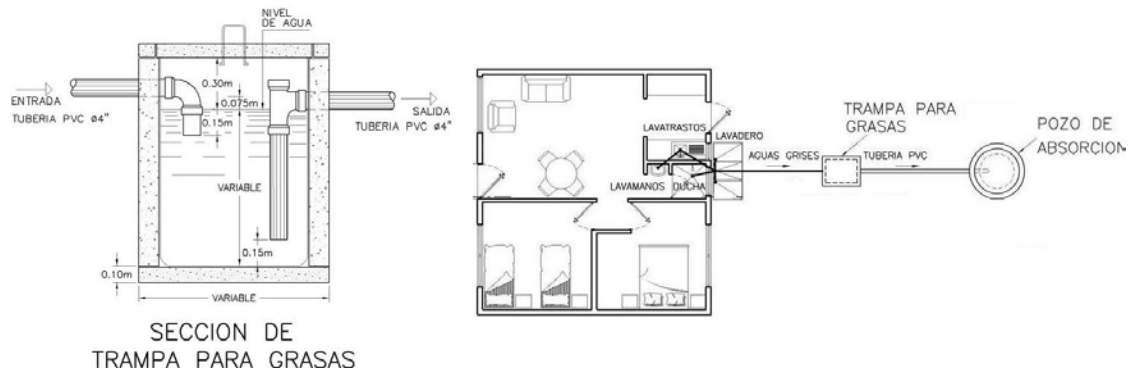
Esta tecnología requiere espacio y condiciones hidrogeológicas favorables, necesita que la distancia del fondo del pozo al nivel freático sea mayor a 3 m en vertical. En caso de colocarse pozos en serie o en paralelo, la distancia mínima entre pozos debe ser tres veces el diámetro del pozo. Son recomendables para localidades rurales que no tengan suelos arcillosos o rocosos. No son adecuados para zonas inundables o con nivel freático superficial. Requiere un tratamiento previo (figura 3.18) para que el filtro no se tape rápidamente.



**Figura 3.18 Tanque séptico con pozo de absorción.**

**Fuente: Guía técnica sanitaria para la instalación y funcionamiento de sistemas de tratamiento individuales de aguas negras y grises, 2009.**

Además, deberá colocarse una tapa para el mantenimiento y cuando baje el desempeño del pozo puede cambiarse el material filtrante. Debe estar alejado de una fuente de agua potable, la distancia mínima es de 30 m. Las personas no deben tener contacto con el efluente. En caso de existir únicamente una trampa para grasas, el efluente puede pasar directamente al pozo de absorción como se muestra en la figura 3.19.



**Figura 3.19 Trampa para grasas con pozo de absorción.**

**Fuente: Guía técnica sanitaria para la instalación y funcionamiento de sistemas de tratamiento individuales de aguas negras y grises, 2009.**

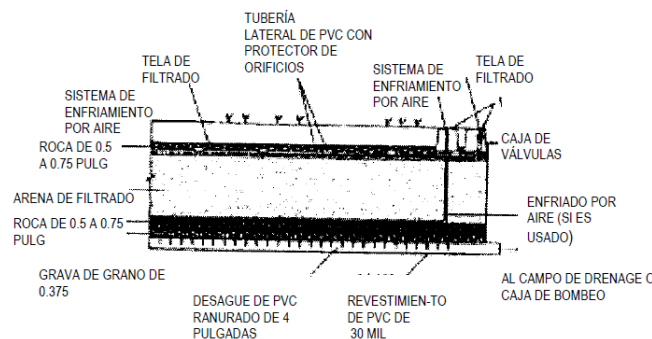
Las ventajas de esta tecnología son: puede construirse y mantenerse con materiales locales, ocupa una pequeña área de terreno, bajo costo y fácil operación. Las desventajas son: requiere un tratamiento previo y produce contaminación, puede afectar negativamente las propiedades del terreno y de acuíferos.



### 3. 8 Filtro intermitente de arena

Los filtros intermitentes son construidos con capas de diversos materiales, los cuales pueden ser arena, antracita, residuos de la minería, cenizas del fondo de incineradores, etcétera. Sin embargo, la arena es el medio filtrante más utilizado. El lecho de arena debe tener una profundidad de 0.6 m. En este sistema, el agua residual entra por la parte superior de forma intermitente, pasa por el material filtrante con diámetro de 0.25-0.75 mm, finalmente es recolectada en un drenaje inferior para conducirse a un tratamiento adicional o ser llevada a disposición final.

Este tipo de tecnología comúnmente está construida debajo del nivel de terreno, puede requerir un geotextil para impermeabilizarlo o construirse sin fondo y descargar directamente el efluente al suelo. También puede construirse por encima del terreno. El drenaje inferior es una tubería perforada, está rodeado por una capa de grava y requiere ventilación. Necesita una válvula para el lavado del material filtrante. La profundidad del filtro debe ser menor a 1 m. Existen muchas configuraciones de estos filtros, en la figura 3.20 se observa un filtro intermitente de arena típico.



**Figura 3.20 Sección de un filtro intermitente de arena típico.**

**Fuente: Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Filtros intermitentes de arena. Environmental Protection Agency (EPA).**

Al igual que el pozo de absorción, necesita un pretratamiento como los mostrados anteriormente para evitar que el filtro se tape rápidamente. El efluente resultante es de alta calidad, reduce la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos aunque no elimina bacterias. Puede aplicarse en lugares de clima frío o caliente, sin embargo disminuye su eficiencia en lugares con clima frío. No es recomendable para lugares con nivel freático superficial. Tiene una larga vida útil. El mantenimiento consiste en reemplazar el material filtrante cuando baje la eficiencia.

Las ventajas de este sistema son: produce un efluente de alta calidad, fácil operación y monitoreo, no requiere compuestos químicos y pueden usarse materiales locales para su construcción. Las desventajas de esta tecnología son: necesita equipo mecánico para la dosificación intermitente de aguas residuales, requiere energía eléctrica, el costo es moderado y reduce su eficiencia en climas fríos.

### 3.9 Campo de filtrado o zanja de infiltración

La zanja de infiltración (véanse figuras 3.21 y 3.22) es utilizada para descargar al suelo el efluente proveniente de un pretratamiento, como los tanques de sedimentación. La aplicación de esta tecnología requiere espacio y condiciones hidrogeológicas idóneas. No es recomendable en lugares con nivel freático superficial. El campo de filtrado está compuesto por zanjas subterráneas.

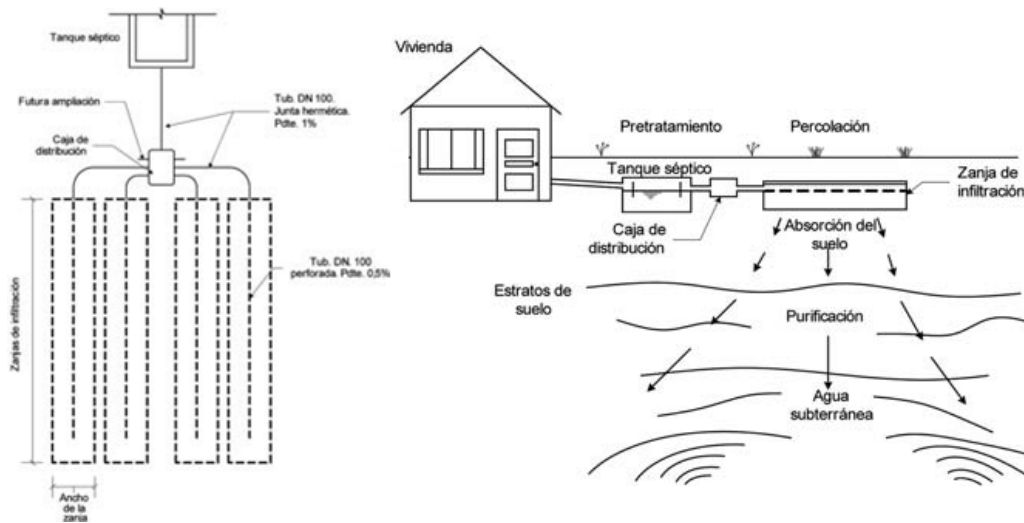


Figura 3.21 Configuración de un sistema de infiltración.

Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.

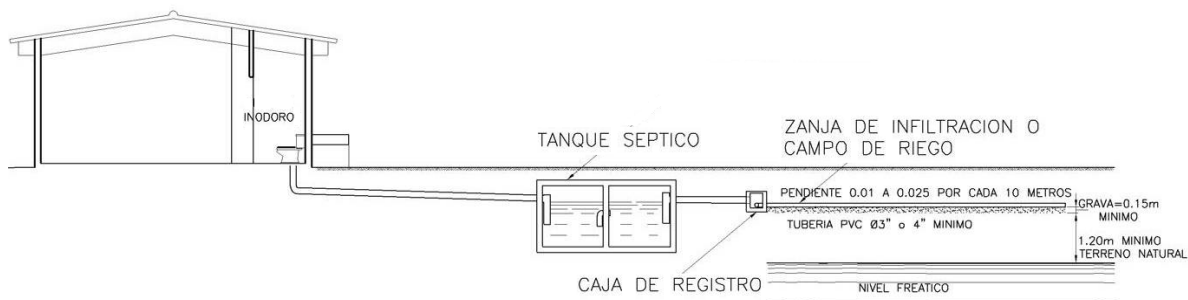


Figura 3.22 Tanque séptico con zanja de infiltración.

Fuente: Guía técnica sanitaria para la instalación y funcionamiento de sistemas de tratamiento individuales de aguas negras y grises, 2009.

El efluente del pretratamiento es conducido a una caja de distribución, es distribuido a las tuberías para filtrarse al suelo. Son necesarias dos líneas de tuberías como mínimo. La profundidad de cada zanja debe ser de 0.3 a 1.5 m y 0.3 a 1 m de ancho, con separaciones de 1 a 2 m. La longitud máxima de las tuberías será de 20 m. En el fondo de la zanja es colocada una capa de grava de 15 cm, sobre ella va la tubería con perforaciones, después otra capa de grava y encima un geotextil para evitar que la tubería se tape. Finalmente, debe colocarse una capa de arena para rellenar la zanja.

El campo de filtrado debe localizarse a una distancia mínima de 30 m de una fuente de agua potable. No debe haber vegetación con raíces profundas cerca del campo de filtrado que obstruya su funcionamiento. No es recomendable en lugares donde caiga nieve y en lugares con inundaciones. Es apto en viviendas y vecindarios pequeños en localidades rurales. Requiere un área grande de terreno. Puede taparse con el tiempo y requerirá cambio de tubería.

Las ventajas de esta tecnología son: con la operación adecuada puede tener una vida útil mayor a 20 años, sirve para el tratamiento de aguas negras y grises, es una solución de tratamiento in situ y es de bajo costo de construcción, operación y mantenimiento. Las desventajas son: requiere estudios del suelo, necesita un área grande, requiere pretratamiento y afecta las propiedades del suelo.

### 3. 10 BIOSTAR-IMTA

En el mercado existen varias marcas ofreciendo diferentes modelos a escala reducida de grandes plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales necesitan un caudal grande y gastan mucha energía. Por ello, estas plantas paquete tienen un costo elevado y algunas de ellas ocupan mucho espacio.

Con el objetivo de obtener un sistema sustentable de tratamiento de aguas residuales descentralizado, el Instituto Mexicano de Tecnología del agua (IMTA) creó y patentó un sistema de tratamiento, BIOSTAR (figura 3.23). Esta tecnología cumple con las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997. Este sistema requiere un área mínima de 9 m<sup>2</sup>, un cárcamo de bombeo, trampa de sólidos y grasas, alimentación eléctrica, una línea de alimentación y una línea de descarga de agua tratada.

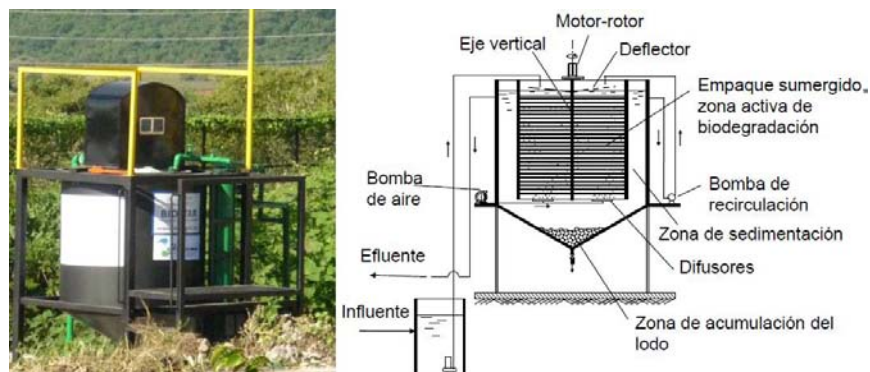


Figura 3.23 BIOSTAR-IMTA.

Fuente: Sistemas descentralizados para el tratamiento de aguas residuales. BIOSTAR-IMTA.

El BIOSTAR convencional (figura 3.24) remueve el 77% de materia orgánica medida como Demanda Química de Oxígeno (DQO), el 71% de nitrógeno amoniacal y el 60% de nitrógeno total. El sistema convencional trabaja con un filtro sumergido con biopelícula en un medio móvil con una zona aerobia. El efluente de este reactor puede usarse en sistemas para reúso urbano e industrial, recarga de acuíferos y descarga a

cuerpos receptores. Puede instalarse en escuelas y vecindarios. El costo es mayor a 300 mil pesos. El IMTA continúa con el proyecto de investigación para mejorar el prototipo.

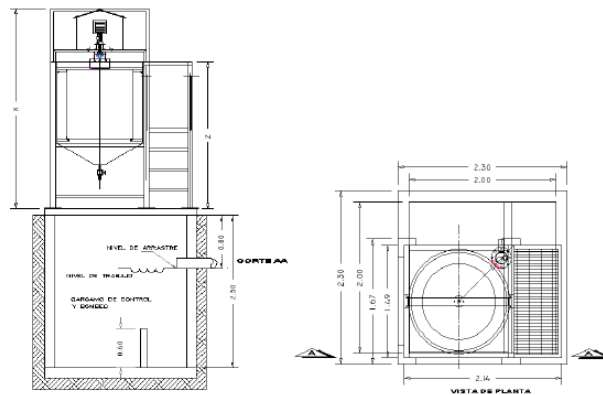


Figura 3.24 Requerimientos del BIOSTAR-IMTA.

Fuente: Sistemas descentralizados para el tratamiento de aguas residuales. BIOSTAR-IMTA.

Las ventajas de este sistema son: ocupa un área reducida, bajo consumo energético, el efluente cumple con la normatividad para descarga y reúso, fácil operación, bajo costo de operación y mantenimiento, portátil, no requiere retrolavados y es una excelente opción para tratar caudales pequeños. Desventajas: requiere una inversión inicial alta, utiliza equipo mecánico y requiere energía eléctrica.

### 3. 11 Tecnologías en seco

#### 3. 11. 1 Cámaras de deshidratación

Las cámaras de deshidratación (figura 3.25) recolectan, almacenan y deshidratan las heces. Esta tecnología es aplicable en las viviendas de zonas rurales donde carecen del servicio de agua porque ocupan poco espacio, generan pocos olores y son fáciles de operar. También pueden emplearse en lugares con riesgo de inundación, esto debido a que son impermeabilizadas. Requiere un retrete seco con separador de orina.

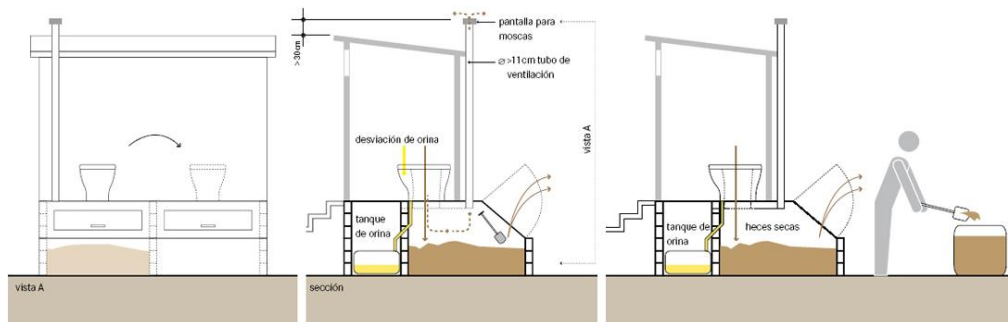


Figura 3.25 Cámaras de deshidratación.

Fuente: Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento.  
<http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias.html>



El funcionamiento de esta tecnología consiste inicialmente en separar las heces y la orina para facilitar el secado. Posteriormente, deben llenarse alternadamente las cámaras con heces. Mientras las heces se secan en una cámara, la otra se llena. Con este proceso el volumen de las heces reduce únicamente un 75%, el residuo es rico en carbón y nutrientes pero no se eliminan los patógenos. Para que las heces secas puedan tener un uso deben ser almacenadas entre 2 y 20°C por un periodo de dos años y permanecer en un lugar en el que permanezcan secas.

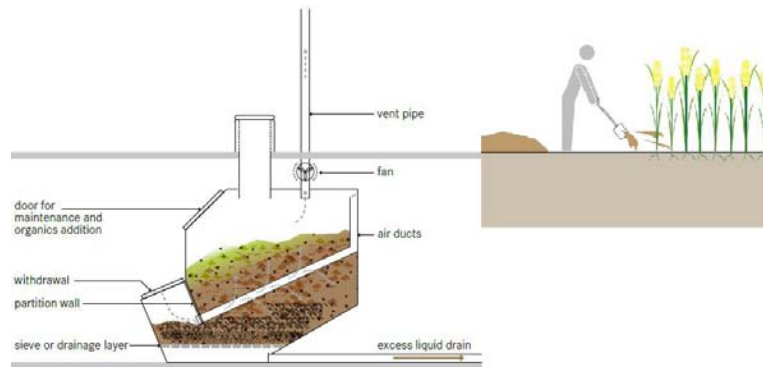
En el diseño de las cámaras debe hacerse la consideración de que una persona requiere almacenar 100 litros de heces cada seis meses. Además, las cámaras deben tener un espacio adicional para el flujo de aire y considerando usuarios adicionales. Es recomendable que las dos cámaras operen en un tiempo de seis meses cada una. También debe incluirse una ventila para control de olores y moscas. Para evitar mal olor se puede verter tierra o cal después de cada uso. Al vaciar cada cámara deben usarse pala, guantes y cubre bocas.

La orina, una vez separada de las heces, puede almacenarse en una cubeta para posteriormente tirarla en un terreno por ser una fuente concentrada de nutrientes. No puede aplicarse directamente en las plantas, debe mezclarse con el terreno antes de plantar, puede verterse en surcos alejados de las raíces de las plantas o diluirse antes de usarse.

Las ventajas que tiene son: construcción con materiales disponibles en la localidad, larga vida útil, aplicable en zonas propensas a inundación, requiere poco espacio, no requiere de agua y su costo es bajo. Las desventajas son: requiere un retrete especial, las heces una vez secas deben sacarse manualmente, necesita una fuente de tierra o cal y requiere un lugar para depositar la orina y las heces secas.

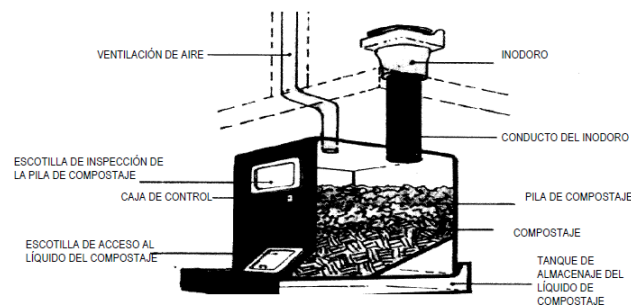
### **3. 11. 2 Cámara de compostaje**

Esta tecnología está formada por un reactor o cámara de almacenamiento, la ventilación, un sistema de recolección de lixiviados y una puerta para sacar el producto estabilizado (véanse figuras 3.26 y 3.27). Requiere de un retrete seco. En este proceso las heces son descompuestas biológicamente por microorganismos convirtiéndose en composta. La cámara de compostaje procesa excrementos, papel higiénico, materiales que contienen carbono y en ocasiones desechos de comida. El material resultante de este proceso puede mezclarse con el terreno como un mejorador de suelo.



**Figura 3.26** Cámara de compostaje.

**Fuente:** Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd revised edition.



**Figura 3.27** Inodoros de compostaje.

**Fuente:** Folleto de tecnología del uso eficiente del agua. Inodoros de compostaje. Environmental Protection Agency (EPA).

La cámara de composta puede construirse por encima del terreno o bajo tierra. Para el diseño de la cámara debe considerarse una generación de 300 litros/persona/año. Este tipo de tecnología no es fácil de operar por las condiciones que deben controlarse, como el suficiente oxígeno, el contenido de humedad entre el 45-70%, la temperatura interna entre 40-50°C y la relación de carbono-nitrógeno (agregar viruta de madera, restos vegetales o papel higiénico). Si está bien diseñada no produce olores.

Esta tecnología es recomendable para zonas rurales donde carecen del servicio de agua y tienen clima cálido. También puede emplearse en lugares de clima frío pero debe construirse en el interior. No es apta para aguas grises. Puede ser diseñada para vaciarse cada 2 o 10 años, para eliminar patógenos y reducir virus es recomendable el almacenamiento de 1 año. El costo de este sistema para una vivienda con una familia de dos adultos y dos niños está entre 1 200 y 6 000 pesos aproximadamente.

Las ventajas de esta tecnología son: los materiales para su construcción son de la localidad, son aplicables en construcciones en sitios remotos, la composta resultante puede usarse como mejorador de suelo, larga vida útil, no requiere una fuente de agua y es de bajo costo. Las desventajas que tiene son: se emplea para retretes secos, el lixiviado que se genera debe ser recolectado para un posible tratamiento posterior o una descarga segura y requiere un diseño especializado y una supervisión adecuada.

## 4. Ejemplos de aplicación

### 4.1 Ejemplos de aplicación de las tecnologías de potabilización

- Captación de agua de lluvia

Debido a la creciente demanda actual del agua y a la exigencia medio ambiental en el mundo, la captación y reúso del agua pluvial es una solución a la problemática. En los países europeos están creando alta tecnología al respecto. Por ejemplo, Alemania ha instalado grandes sistemas de captación como en el aeropuerto de Frankfurt, creó normatividad al respecto y estableció estímulos para utilizar la captación de agua de lluvia doméstica.

Los países asiáticos, como India y China, además de un clima extremo se enfrentan a la sobrepoblación. Estos países también han optado por la captación pluvial como una solución. En Australia, la población de las zonas rurales es la más afectada por ubicarse en lugares remotos. El continente africano es el más afectado por el tipo de clima cálido y la falta de precipitación en el año, por ello resulta inconveniente emplear la captación de lluvia.

En el caso de México el proyecto Isla urbana, del Instituto Internacional de Recursos Renovables A.C. y la Fundación Temo, nació en 2009 y logró instalar sistemas de captación pluvial como el de la figura 4.1 en las zonas periféricas del Distrito Federal con problemas de bajos recursos. Este proyecto también trabaja con comunidades rurales dentro de la República Mexicana y actualmente están trabajando con una comunidad Huichol de Jalisco.

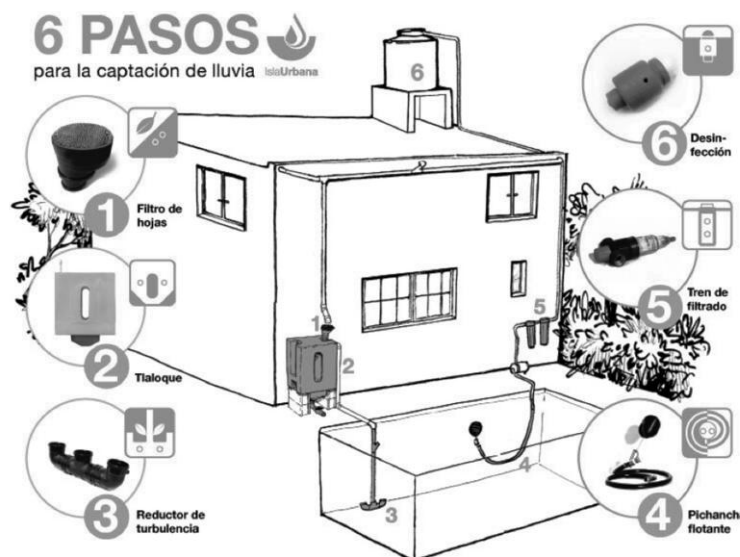


Figura 4.1 Sistema de captación pluvial doméstico de Isla Urbana.

Fuente: Viabilidad y barreras para el ejercicio del derecho humano al agua y saneamiento en México.



- Desinfección solar

Esta tecnología comenzó a investigarse en los 80's antes de conocer otras tecnologías que existen actualmente. La figura 4.2 muestra los usuarios de desinfección solar en el mundo a finales del 2007. Actualmente, más de 5 millones de personas utilizan el método SODIS para limpiar su agua en países de América Latina, África y Asia. Este método es recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por organizaciones no gubernamentales (ONG's). En Bolivia existe en las comunidades rurales ubicadas en lugares remotos (figura 4.3)

País	ONG	No. de usuarios*	Total no. de usuarios
América Latina	Fundación SODIS		360 000
Asia			1 420 293
	Noreste de India	AU	158 085
	Sur de India	LEAD India	236 025
	Sri Lanka	Comunidad de autodepuración	10 740
	Pakistán	Proceso de llamamientos unificados	483 140
	Nepal	ENPHO	139 530
	Uzbekistán	Socios de desarrollo conjunto	94 395
	Camboya	Agencia adventista de desarrollo y recursos asistenciales	4 550
	Indonesia	Fundación del pueblo Dian	180 000
	Vietnam	Helvetas	73 835
	Filipinas	Helvetas	29 605
	Bután	Helvetas	10 388
África			344 565
	Kenia	KWAHO	168 750
	Kenia	Estrategia de cooperación con el país	28 810
	Sudáfrica	Mattcomm	10 810
	República Unida de Tanzania	Agua y desarrollo en Dodoma	2 155
	Uganda	Comp. Canadá	15 000
	Benín	Centro regional para agua y saneamiento	100
	Guinea	Centro regional para agua y saneamiento	3 200
	Camerún		15 000
	República Democrática del Congo		8 890
	Zimbabue		83 125
	Senegal	Subcomité de la fundación del distrito	8 725
<b>Número total de usuarios de desinfección solar</b>			<b>2 124 858</b>

\*Suposición: cinco personas por familia

**Figura 4.2 Usuarios en 2007 de SODIS.**

Fuente: Traducción de *Scaling Up Household Water Treatment Among Low-Income Populations*. World Health Organization (WHO).



**Figura 4.3 Aplicación del método SODIS en una comunidad de Bolivia.**

Fuente: *Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.*

La tecnología SOLVATTEN® ha sido utilizada en países africanos como Kenia y Uganda. También se utilizó como apoyo a las víctimas del huracán en Filipinas en 2013. En el caso de México esta tecnología no existe debido a que requiere importación.



- Filtros cerámicos

Los filtros cerámicos fueron introducidos por primera vez en 1827 por John Doulton, un mercante británico. Actualmente, muchos de estos sistemas funcionan todavía por gravedad y otros instalan bombas portátiles. En países desarrollados estos filtros ya son comercializados aunque las organizaciones no gubernamentales y gobiernos siguen apoyando con capacitación a poblaciones de ingresos bajos. Diversas organizaciones recomiendan esta tecnología como la UNICEF (figura 4.4), la Cruz Roja, Save the Children y Médicos Sin Fronteras.

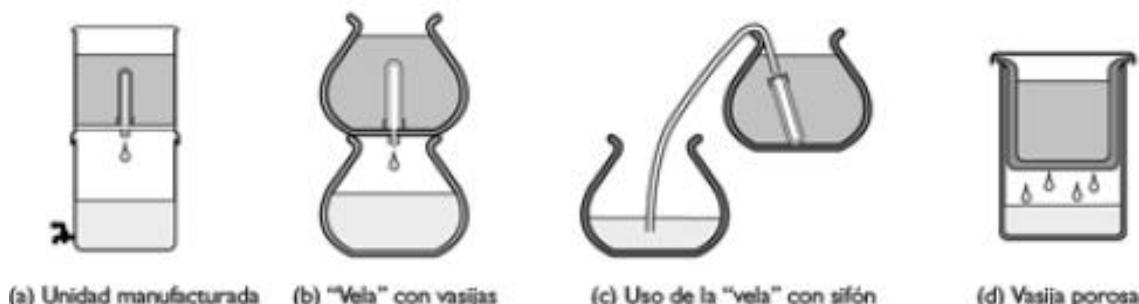


Figura 4.4 Tipos de filtros cerámicos.

Fuente: Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo. <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/5-AguaConsumo.pdf>

En países como México, Guatemala, Honduras, Nicaragua (figura 4.5), Haití, Cuba, Indonesia, India, Bangladesh, Ghana, Camboya y Vietnam existen talleres para crear este tipo de filtros. De acuerdo con la OMS, países como India y México han comercializado exitosamente este tipo de filtros, sin embargo los productos de países asiáticos han inundado el mercado. En el caso de México han empezado a comercializarse desde hace unos 30 años y actualmente se está implantando en comunidades rurales de Guanajuato.



Figura 4.5 Filtros cerámicos de la UNICEF en Nicaragua.

Fuente: Video ¡el agua es vida!-filtros de cerámica. UNICEF. <https://www.youtube.com/watch?v=ZjVJXpmNkoE>

- Filtros de arena

Los filtros lentos de arena tienen aplicación desde hace más de un siglo, estos filtros basan su tratamiento en mecanismos físicos y biológicos. Esta tecnología es construida de manera casera en comunidades rurales. También, este tipo de filtros han sido mejorados y patentados, para posteriormente ser comercializados.



Algunos de los países en Asia y el medio oriente que aplicaron este sistema son: Afganistán, Bangladesh, Camboya, China, India, Indonesia, Iraq, Nepal, Pakistán, Filipinas, Tailandia y Vietnam. En el continente africano lo han utilizado: Angola, la República Democrática de Congo, Etiopía, Ghana, Guinea, Liberia, Mali, Mozambique, Namibia, Nigeria, Ruanda, Sudáfrica, Tanzania, Uganda, Zambia y Zimbabue. En América, esta tecnología la han usado países como: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, el Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Nicaragua y México (figura 4.6).



**Figura 4.6** Mapa con los lugares en donde se han utilizado los filtros de arena.

**Fuente:** Centre for Affordable Water and Sanitation Technology. <http://www.cawst.org/es/where-we-work>

En el caso de México, el Centro de Desarrollo Rural Quetzalcóatl A.C. construye filtros lentos de arena en comunidades rurales y marginadas del municipio de Atzalan, Estado de Veracruz (figura 4.7). También la organización Amigos de la Tierra A.C. apoya con esta tecnología a la población rural indígena del Estado de Chiapas.



**Figura 4.7** Filtro lento de arena en el municipio Atzalan, Estado de Veracruz.

**Fuente:** Centro de Desarrollo Rural Quetzalcóatl A.C.  
[http://quetzalcoatlMexico.org/es/ver\\_tecnologias?id=8](http://quetzalcoatlMexico.org/es/ver_tecnologias?id=8)

Además, existen los filtros de arena de flujo ascendente como el de la figura 4.8, el cual recomienda la Organización Mundial de la Salud.

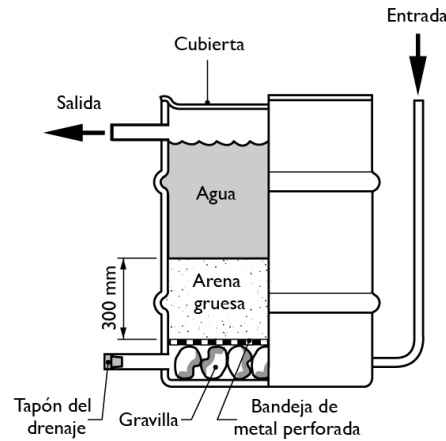


Figura 4.8 Filtro de arena de flujo ascendente.

Fuente: Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo. <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/5-AguaConsumo.pdf>

- Filtros de carbón

Los filtros de carbón remueven olor y color. Son muy efectivos pero requieren cambiar con frecuencia el carbón para evitar las bacterias nocivas. Un ejemplo de estos filtros es el mostrado en la figura 4.9, el cual recomienda UNICEF.

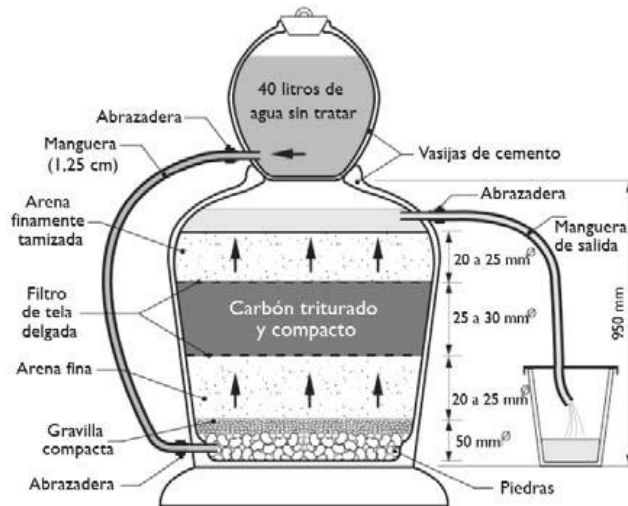


Figura 4.9 Filtro de carbón de flujo ascendente de UNICEF.

Fuente: Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo. <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/5-AguaConsumo.pdf>

La tecnología LifeStraw® personal tiene una capa de carbón activado combinado con mallas y yodo, esta unidad se vende en México en línea con un costo superior a los 300 pesos y puede usarse en viajes, deportes de aventura (figura 4.10), campamentos y en emergencias.



Figura 4.10 Uso de LifeStraw®.

Fuente: LifeStraw®. <http://buylifestraw.com/es/productos/lifestraw-personal-spanish>

▪ Filtración con membranas

La tecnología LifeStraw® ha sido aplicada en lugares con alto índice de marginación por medio de tanques bebederos purificadores microbiológicos (figura 4.11), los cuales son utilizados en albergues y escuelas. En México los están usando en los estados de Chiapas, Chihuahua, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, San Luis Potosí, Tabasco, Tlaxcala, Oaxaca, Veracruz y Zacatecas.



Figura 4.11 LifeStraw® Community.

Fuente: Alternativas en Salud Pública y Medio Ambiente (ASPYMA).  
<http://www.aspyma.mx/lifestraw-community/>

La tecnología SkyHydrant™/SkyStation™ es utilizada en países asiáticos (figura 4.12) como: Bangladesh, China, India, Indonesia, Nepal, Pakistán, Filipinas y Tailandia. Los países africanos en donde la han utilizado son (figura 4.13): Kenia, Ghana, Madagascar, Nigeria y Uganda. En América se ha empleado en Colombia, Perú y Haití (figura 4.14).



Figura 4.12 Ejemplos de instalaciones de SkyHydrant™/SkyStation™ en Asia.

Fuente: SkyJuice Foundation. <http://www.skyjuice.com.au/where.htm>



**Figura 4.13 Ejemplos de instalaciones de SkyHydrant™/SkyStation™ en África.**

**Fuente: SkyJuice Foundation. <http://www.skyjuice.com.au/where.htm>**



**Figura 4.14 Ejemplos de instalaciones de SkyHydrant™/SkyStation™ en América.**

**Fuente: SkyJuice Foundation. <http://www.skyjuice.com.au/where.htm>**

Referente a la tecnología Mobile Water Maker, una unidad de fue usada por primera vez en octubre de 2006 en una comunidad de República Dominicana, a partir de la instalación de este prototipo ha sido posible mejorar esta tecnología (figura 4.15).



**Figura 4.15 Segundo prototipo de Mobile Water Maker en República Dominicana, 2007.**

**Fuente: Development of a mobile water maker, a sustainable way to produce safe drinking water in developing countries.**

▪ Rayos UV

La tecnología Naïade es distribuida en países como Ghana. En el poblado de Twa antiguamente las personas tenían que caminar 1 200 m para recoger agua del río y ahora trabajan tres de estas unidades (figura 4.16). También ha sido usada en emergencias como en la provincia de Yunnan en China, en el 2014 un terremoto destruyó 66 mil casas y provocó que el agua fuera contaminada por los restos de los



derrumbes, fueron instaladas unidades Naïade para apoyar a las personas afectadas (figura 4.17). Otro ejemplo de aplicación es en el estado de Punjab en India, la fundación IFFCO instaló unidades Naïade (figura 4.18) y demostró que esta tecnología es eficiente en obtener agua segura para beber.

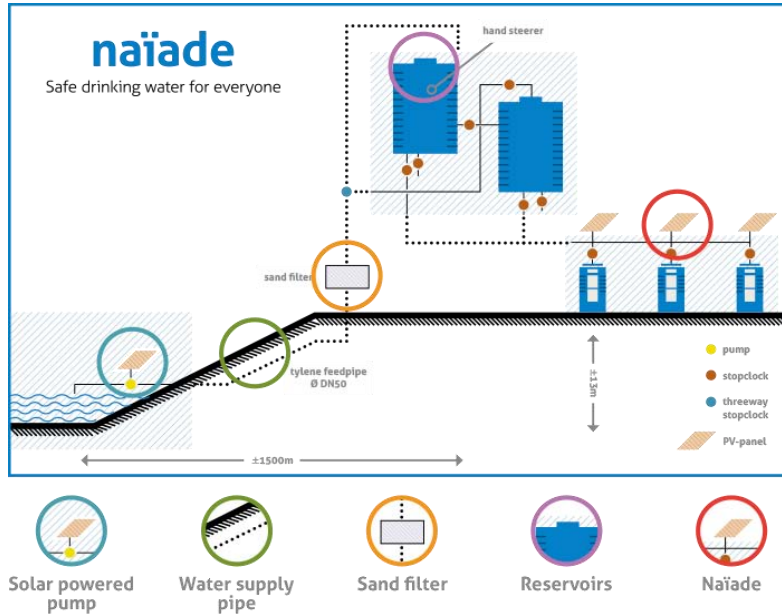


Figura 4.16 Instalación de las unidades Naïade en Twa, Ghana.

Fuente: Naïade. <http://www.nedap-naïade.com/naïade-projects/>



Figura 4.17 Instalación de unidades Naïade en Yunnan, China.

Fuente: Naïade. <http://www.nedap-naïade.com/naïade-projects/>



Figura 4.18 Instalación de la unidad Naïade en Punjab, India.

Fuente: Naïade. <http://www.nedap-naïade.com/naïade-projects/>



En México, esta unidad tecnológica fue instalada en el Estado de Chihuahua en la comunidad San Luis Majimachi del municipio de Bocoyna (figura 4.19), esta comunidad de indígenas Tarahumaras recibió el apoyo financiero de una ONG de Holanda para instalar una unidad Naïade en una escuela primaria. Otros países en donde utilizan esta tecnología en América son: Brasil, Bolivia, Guatemala y Haití.



Figura 4.19 Instalación de la unidad Naïade en San Luis Majimachi, Chihuahua, México.

Fuente: <http://www.nedap-naiade.com/naiade-projects/>

▪ Productos de Floculación/Desinfección

Este tipo de tecnología de potabilización de agua ha sido empleado desde hace más de dos décadas en el continente africano, está basada en los procesos empleados en las grandes plantas de tratamiento. El programa Children’s safe drinking water de la empresa Procter & Gamble, ha apoyado con su tecnología PUR Purifier of Water™ a muchas comunidades en todo el mundo como se observa en la figura 4.20. Actualmente, son beneficiados 75 países y han sido repartidos más de 700 millones de paquetes de Purifier of Water™.



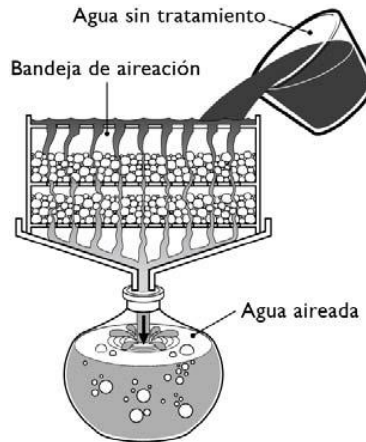
Figura 4.20 Países beneficiados con PUR Purifier of Water™.

Fuente: P&G. Children’s Safe Drinking Water. <https://www.csdw.org/csdw/Blog-reaching-the-7-billion-liter-milestone-one-liter-for-every-person-on-the-planet-and-expanding-csdw-in-latin-america-with-childfund-brazil-2662>



- Aireación

Este tipo de tecnología la recomienda la Organización Mundial de la Salud (OMS) a nivel casero. Una opción es llenar parcialmente un recipiente con agua y agitar por cinco minutos, después dejar reposar 30 minutos para que las partículas sedimenten en el fondo del recipiente. La OMS también recomienda emplear bandejas perforadas con piedras pequeñas como muestra la figura 4.21, a través de las piedras pasa el agua sin tratamiento para ser colectada en un recipiente en el cual reposa para que las partículas sedimenten.



**Figura 4.21 Proceso de aireación a nivel casero.**

**Fuente: Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo. <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/5-AguaConsumo.pdf>**

Otro ejemplo de aplicación de esta tecnología está en la localidad de Tahari en Achacachi, Bolivia donde construyeron un aireador combinado con filtros ascendentes (figura 4.22). En México, la remoción de hierro y manganeso se hace a gran escala en 12 plantas que existen en el país.



**Figura 4.22 Aireador combinado con filtros ascendentes en la comunidad Tahari de Bolivia.**

**Fuente: Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.**





- Cloración

A partir de 1990 comenzó a usarse este tipo de tratamiento, utilizando hipoclorito de sodio para combatir el cólera. Posteriormente, se comercializaron productos de hipoclorito de sodio en países como Filipinas y México, también varias ONG's apoyan áreas rurales en países como Bangladesh, Haití, Kenia y Uganda. Además, han empleado esta tecnología en emergencias como en el tsunami de Indonesia del 2004 y en epidemias de cólera en África y Haití (figura 4.23).



**Figura 4.23** Fabricación local de solución de hipoclorito de sodio en Haití.

**Fuente:** Centers for Disease Control and Prevention. <http://www.cdc.gov/safewater/household-water.html>

En otros países como Bolivia también han instalado hipocloradores contruidos con materiales de la localidad (figura 4.24). México comercializa productos para clorar el agua en las casas y como una parte final del proceso en las plantas potabilizadoras, en donde dejan un residual en el agua para evitar su futura contaminación.



**Figura 4.24** Hipoclorador en el municipio boliviano Sica Sica.

**Fuente:** Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas, 2010.



## 4.2 Ejemplos de aplicación de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales

- Reactor anaerobio de biogás

Este tipo de tecnología ha sido aplicada al sur de África, la figura 4.25 muestra un biodigestor con domo fijo construido con ladrillos. La India es otro país en donde aplican esta tecnología, la figura 4.26 presenta un biodigestor con domo flotante familiar hecho de plástico reforzado. En América han construido biodigestores tubulares en Perú (figura 4.27) y Costa Rica.



Figura 4.25 Digestor de domo fijo en una comunidad del sur de África.

Fuente: Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries. Practical Information and Case Studies.



Figura 4.26 Digestor con domo flotante familiar en la India.

Fuente: Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries. Practical Information and Case Studies.



Figura 4.27 Digestor tubular en Cuzco, Perú.

Fuente: Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries. Practical Information and Case Studies.



En países como Brasil, Colombia, China, India y México los biodigestores anaerobios son usados para tratar aguas residuales domésticas al igual que aguas residuales industriales. En México, esta tecnología comenzó a construirse a partir de 1987.

- Tanque Imhoff

Esta tecnología no es moderna, la emplean comúnmente como parte de los procesos de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales aunque también tienen un uso doméstico (figura 4.28). En algunos países como Perú, han empleado el tanque Imhoff en plantas de tratamiento como en Santa María de Nieva y en comunidades rurales. En el caso de Guatemala, algunas plantas de tratamiento también usan este tipo de tanques. En México, a finales del 2013, de acuerdo con el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación existían 52 plantas con tratamiento a base de tanques Imhoff y 15 plantas utilizaban el tanque Imhoff con otro tipo de tratamiento.

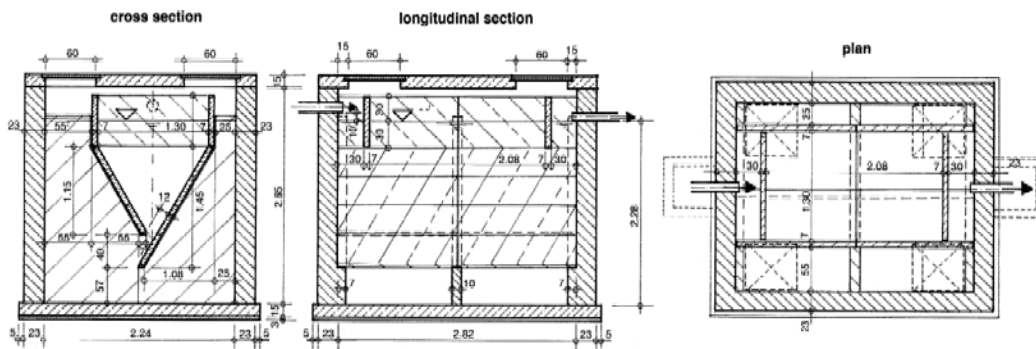


Figura 4.28 Tanque Imhoff para 25 m³ de agua residual doméstica por día.

Fuente: Decentralized wastewater treatment in developing countries.

- Tanque séptico

En Estados Unidos estos sistemas son muy usados en comunidades y empresas, la figura 4.29 presenta los estados en donde existe tecnología descentralizada, algunas comunidades son: Fairfax County, Jamestown, Hamilton County, Peña Blanca, Blacksburg, Phelps County, etcétera.



Figura 4.29 Casos de estudio estatales y locales en Estados Unidos con tanques sépticos.

Fuente: Case studies of individual and clustered (decentralized) wastewater management programs. <http://water.epa.gov/infrastructure/septic/upload/Decentralized-Case-Studies-2012.pdf>



La fosa séptica es muy empleada en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en México, en especial en los estados de Sinaloa, Aguascalientes y Jalisco. En el país, a finales del 2013, de acuerdo con el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación existían 95 plantas con tratamiento a base de fosa séptica y 107 plantas utilizaban la fosa séptica con otro tipo de tratamiento. En el *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento* de la Comisión Nacional del Agua, en el apartado Saneamiento Rural están publicadas las consideraciones para el diseño de los tanques sépticos (figura 4.30).

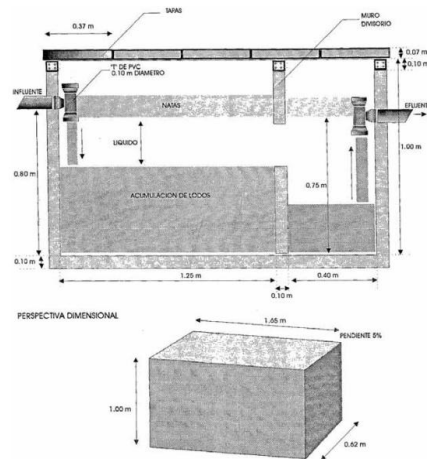


Figura 4.30 Tanque séptico de dos cámaras.

Fuente: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Saneamiento Rural. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

- Reactor anaerobio con deflectores

A nivel municipal en un mercado público en Negros Oriental, Filipinas fue aplicada esta tecnología (figura 4.31), en este caso el agua residual tenía alto contenido de sólidos suspendidos, contaminantes orgánicos, aceites y grasas. El agua residual primero pasa a un tanque de sedimentación, posteriormente a un reactor anaerobio con deflectores, después a un filtro anaerobio y finalmente a un humedal artificial.



Figura 4.31 Construcción del reactor anaerobio con deflectores en un mercado público en Negros Oriental, Filipinas.

Fuente: Decentralized wastewater treatment system.

[http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/BORDA%202008%20Decentralized%20Wastewater%20Treatment%20System%20-DEWATS%20Manjuyod%20Public%20Market.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BORDA%202008%20Decentralized%20Wastewater%20Treatment%20System%20-DEWATS%20Manjuyod%20Public%20Market.pdf)



También en el centro islámico de Nawawi, Indonesia existe un sistema de tratamiento con esta tecnología (figura 4.32). Primero, el agua residual pasa por un digestor, después por un sedimentador, inmediatamente pasa al reactor anaerobio con deflectores y el efluente es descargado al río. En Java, Indonesia fueron instalados este tipo de reactores prefabricados (figura 4.33) como consecuencia de la emergencia debida al terremoto de 2006.



Figura 4.32 Construcción en el centro islámico de Nawawi, Indonesia.

Fuente: Community based sanitation.

[http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/BORDA%202007%20Community%20Sanitation%20Centre.%20Islamic%20Centre%20An%20Nawawi%20,%20Purworejo,%20Central.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BORDA%202007%20Community%20Sanitation%20Centre.%20Islamic%20Centre%20An%20Nawawi%20,%20Purworejo,%20Central.pdf)



Figura 4.33 Reactores prefabricados instalados en Java, Indonesia.

Fuente: EmSan-Emergency Sanitation.

[http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/BORDA%202009%20EmSan%20\\_%20Emergency%20Sanitation.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BORDA%202009%20EmSan%20_%20Emergency%20Sanitation.pdf)

También en Malasia aplicaron esta tecnología, en Kuching construyeron un sistema de tratamiento de aguas grises domésticas para viviendas unifamiliares, el cual fue construido en un parque adyacente y operó desde diciembre de 2003, la figura 4.34 muestra el sistema de tratamiento.

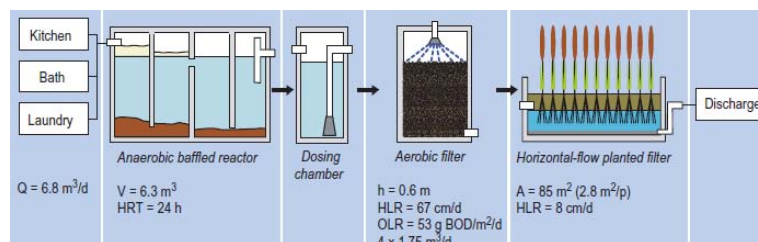


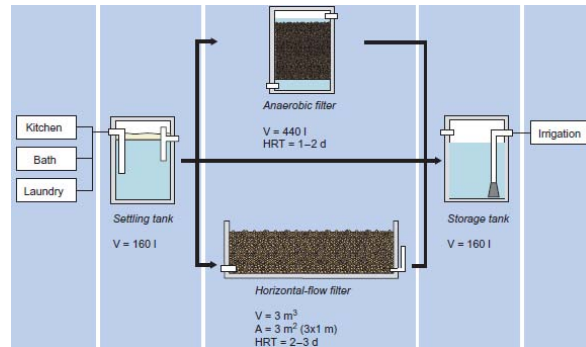
Figura 4.34 Sistema de tratamiento de aguas grises en Kuching, Malasia.

Fuente: Graywater management in low and middle-income countries.

- Filtro anaerobio

Esta tecnología puede aplicarse en conjunto con otras como el reactor anaerobio con deflectores o con un tanque séptico. Es usada cuando el agua residual tiene alto contenido de sólidos suspendidos. Este sistema es utilizado actualmente en países como Tailandia, en donde lo emplean para viviendas que no tienen acceso a una planta centralizada de tratamiento. El filtro anaerobio es fácil construirlo por lo que muchas compañías en Tailandia comercializan estas unidades de tratamiento. En México existe la comercialización de productos como el biodigestor autolimpiante de la empresa Rotoplas®.

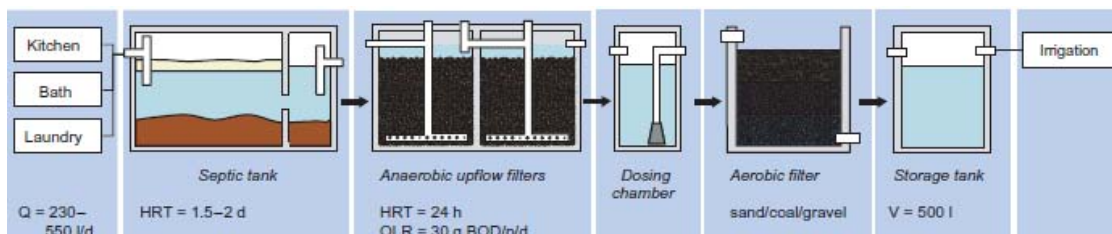
En Jordania, país con un grave estrés hídrico, se implantó un sistema de tratamiento de aguas grises con reúso en 25 hogares de bajos recursos en el pueblo de Ein Al Beida. En este poblado fueron instalados tres diferentes sistemas de tratamiento (figura 4.35), uno conformado por un tanque de sedimentación y un tanque de almacenamiento, otro compuesto por un tanque de sedimentación, un filtro anaerobio y un tanque de almacenamiento; y otro que incluye un tanque de sedimentación, un filtro de flujo horizontal y un tanque de almacenamiento.



**Figura 4.35** Sistemas de tratamiento en Ein Al Beida, Jordania.

**Fuente:** Graywater management in low and middle-income countries.

Muchas comunidades rurales en el occidente de Palestina no tienen acceso a suficiente agua para cubrir sus necesidades, debido a que estas comunidades tenían sistemas sépticos inadecuados, en casas del pueblo Bilien comenzaron a instalarse sistemas como el de la figura 4.36.



**Figura 4.36** Sistemas de tratamiento en casas del pueblo Bilien, Palestina.

**Fuente:** Graywater management in low and middle-income countries.

- Humedales artificiales

Los humedales artificiales como sistema de tratamiento han sido utilizados ampliamente en Estados Unidos, Gran Bretaña, Dinamarca, Alemania, Bélgica, Francia, República Checa y España. En América los han aplicado en Colombia, Bolivia, Chile y México. En Katmandú, Nepal han instalado sistemas de tratamiento que incluyen humedales artificiales y tratan aguas grises domésticas (figura 4.37).

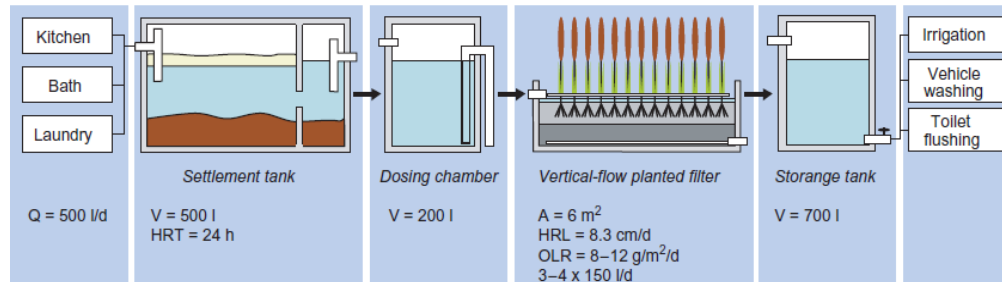


Figura 4.37 Tren de tratamiento en y los alrededores de Kathmandu, Nepal.

Fuente: *Graywater management in low and middle-income countries*.

En Costa Rica se instaló un sistema de tratamiento para cuatro casas en Monteverde (figura 4.38). Las aguas grises son colectadas en un tanque de sedimentación, después pasan a dos humedales artificiales de flujo horizontal en serie y finalmente pasan a un estanque poco profundo con plantas y peces.

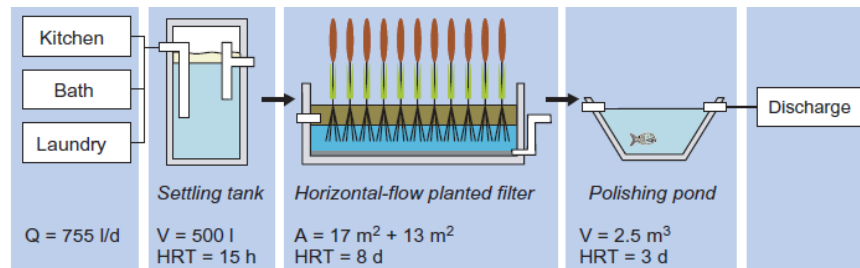


Figura 4.38 Sistema de tratamiento en Monteverde, Costa Rica.

Fuente: *Graywater management in low and middle-income countries*.

En México esta tecnología es usada en el Estado de Sonora en el poblado de Vícam en el municipio de Guaymas, el cual cuenta con población de la etnia Yaqui (Rivas, A. y Paredes, D., 2014).

- Pozo de absorción

Esta tecnología la han aplicado en Mali, en donde construyeron pozos de absorción en comunidades rurales y urbanas (figura 4.39). En el caso de México, existen estos pozos para la infiltración de agua pluvial y de agua residual tratada. En la zona sur del Distrito Federal fueron construidos pozos de absorción para absorción pluvial.

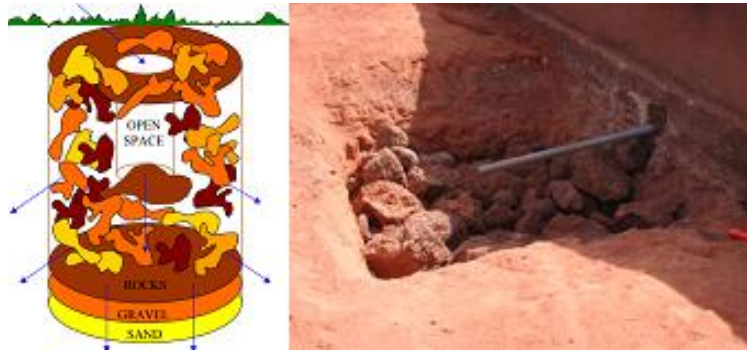


Figura 4.39 Diseño de los pozos de absorción colocados en comunidades de Mali.

Fuente: A Comparison of Wash Area and Soak Pit Construction: The Changing Nature of Urban, Rural, and Peri-Urban Linkages in Sikasso, Mali.

- Filtro intermitente de arena

Los filtros intermitentes de arena han sido construidos en Estados Unidos para las urbanizaciones, casas individuales o conjuntos de casas, lotes de casas móviles, escuelas rurales y pequeñas comunidades. Esta alternativa de tratamiento es utilizada en casas campestres ubicadas a gran altura en California, Estados Unidos. Estos filtros pueden ser enterrados (figura 4.40), de recirculación (figura 4.41) o filtros de acceso libre (figura 4.42).

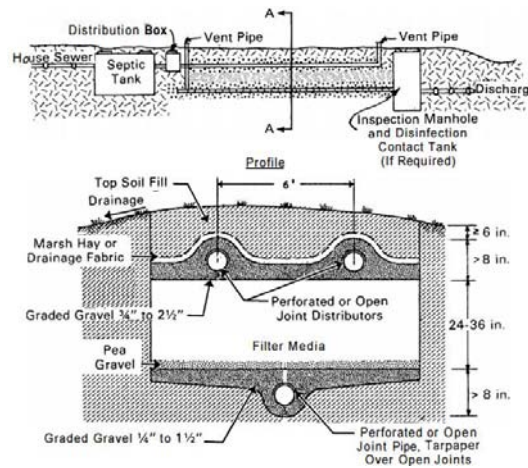


Figura 4.40 Típica instalación de un filtro intermitente enterrado.

Fuente: Design Manual. Onsite wastewater treatment and disposal systems.

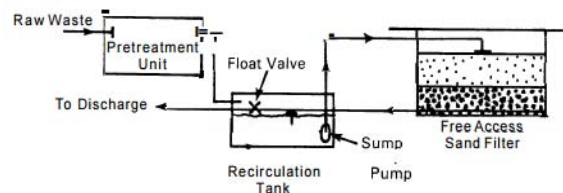


Figura 4.41 Típico sistema de filtro de recirculación intermitente.

Fuente: Design Manual. Onsite wastewater treatment and disposal systems.



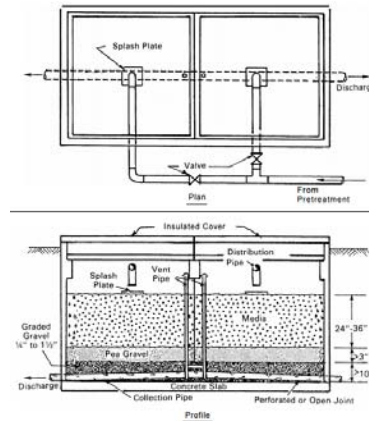


Figura 4.42 Típico filtro intermitente de acceso libre.

Fuente: Design Manual. Onsite wastewater treatment and disposal systems.

- Zanja de infiltración

Esta tecnología es usada en países como Mali, en donde fueron instalados en el 2004 sistemas de infiltración de aguas grises domésticas en aproximadamente 600 casas en el poblado de Djenné (figura 4.43). Las aguas grises generadas en las casas de adobe son conducidas por una tubería de PVC a una trampa para grasa y finalmente el efluente pasa a la zanja de infiltración. El beneficio de implantar esta tecnología en Djenné está reflejado en la limpieza de las calles como lo muestra la figura 4.44.

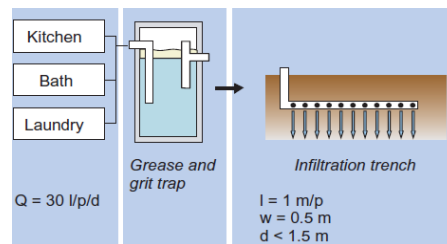


Figura 4.43 Sistema de tratamiento de aguas grises en Djenné, Mali.

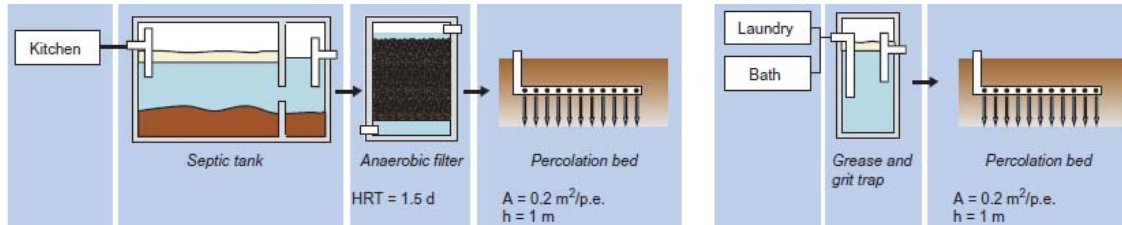
Fuente: Graywater management in low and middle-income countries.



Figura 4.44 Calles de Djenné, Mali antes y después de implementar zanjas de infiltración.

Fuente: Graywater management in low and middle-income countries.

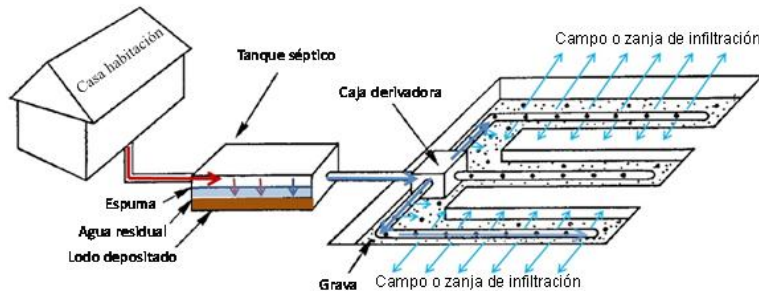
La pequeña casa de huéspedes Ivy Banks en Sri Lanka construyó dos sistemas de tratamiento de aguas grises con esta tecnología, uno de ellos trata el agua residual proveniente de la cocina y el otro, el agua proveniente de la lavandería y del baño como los trenes de tratamiento de la figura 4.45.



**Figura 4.45** Sistemas de tratamiento de aguas grises en la casa de huéspedes Ivy Banks en Sri Lanka.

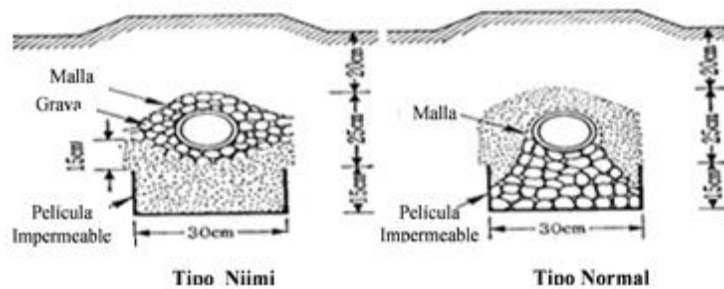
**Fuente:** Graywater management in low and middle-income countries.

En Japón han desarrollado y mejorado sistemas de tratamiento con el propósito de descargar las aguas tratadas de manera higiénica, por ejemplo el de las zanjas de infiltración para tratar los efluentes de tanques sépticos como una alternativa para mejorar la calidad de las aguas residuales en pequeñas comunidades. En Japón han usado esta tecnología en un arreglo como el de la figura 4.46 y las zanjas tipo Niimi inventadas por el Dr. Tadashi Niimi son las más comunes (figura 4.47). En México y otros países occidentales usan comúnmente la zanja de tipo normal.



**Figura 4.46** Sistema de tratamiento a base de zanjas de infiltración.

**Fuente:** Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón.



**Figura 4.47** Tipos de zanjas de infiltración.

**Fuente:** Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón.



- Biostar-IMTA

La planta paquete del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) cumple con la normatividad mexicana y puede emplearse en zonas habitacionales, escuelas y fraccionamientos. La empresa HITECMA S.A. de C.V., Hidráulica y Tecnología del Medio Ambiente, se alió con el IMTA para comercializar este sistema de tratamiento. Actualmente, hay una planta BIOSTAR en las instalaciones del Colegio Nacional de Educación Profesional y Técnica (CONALEP) en Tepoztlán, Estado de Morelos. También existe otra unidad de tratamiento en el Parque Bicentenario en la Ciudad de México (figura 4.48).



**Figura 4.48 Unidades BIOSTAR instaladas en México.**

**Fuente: Congreso IMTA 2013.**

- Tecnologías en seco

Las cámaras de deshidratación se han aplicado en países como Etiopía y Filipinas. En Cagayán de Oro, Filipinas instalaron un sistema de composta, aprovechan la orina y hacen composta con las heces secas (figura 4.49). También en áreas rurales de la Ciudad de Bayawan, Filipinas se instaló este tipo de tecnología seca (figura 4.50). En el caso de México, este tipo de tecnología se ha aplicado en los estados de Michoacán y Morelos.



**Figura 4.49 Sistema de cámaras de deshidratación en Cagayán de Oro, Filipinas.**

**Fuente: UDD toilets with reuse in allotment gardens Cagayan de Oro, Philippines.**



**Figura 4.50 Construcción de un sistema de cámaras de deshidratación.**

**Fuente: Urine-diversion dehydration toilets in rural areas Bayawan City, Philippines.**



## 5. Conclusiones y recomendaciones

Las zonas rurales con pequeñas comunidades tienen rezago en los servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales debido a su ubicación geográfica y topografía desfavorable, la dispersión de viviendas y baja disponibilidad de recursos económicos. Además de la poca o nula información relativa a los servicios de agua.

En México, el tratamiento de aguas residuales es insuficiente, por ello la población rural vierte el agua residual a cuerpos de agua naturales, a accidentes topográficos naturales y al suelo, lo cual incrementa la contaminación, produce insalubridad, es fuente de enfermedades gastrointestinales, causa malos olores y presencia de vectores; además, lo anterior agrava el problema de la insuficiencia del recurso hídrico. La población que no está conectada a la red de abastecimiento de agua potable requiere consumir el agua en el sitio de uso, por ello puede existir peligro de recontaminación en el traslado y en el almacenamiento del agua. Como una alternativa de solución se requieren sistemas de agua y saneamiento sostenibles que puedan usarse en pequeñas poblaciones.

Las tecnologías in situ consideran sistemas descentralizados para el manejo del agua potable y aguas residuales en el lugar donde se generan, lo que implica inversiones pequeñas, accesibilidad, sencillez de operación y la posibilidad de beneficiar a más sectores de la población con estos servicios. Las tecnologías descentralizadas permiten responder a las necesidades reales de las comunidades locales y de la población en general, son una opción a corto y mediano plazo para zonas rurales y urbanas donde el servicio de agua potable no es adecuado y donde no hay un sistema de manejo de aguas residuales domésticas.

Existe gran variedad de tecnologías para la potabilización descentralizada de agua para utilizarse a nivel doméstico o pequeña escala; en este trabajo se presentaron algunas de estas tecnologías existentes, las cuales son muy eficaces en la obtención de agua de alta calidad.

Comúnmente en los hogares las personas emplean la ebullición y la cloración para la potabilización del agua; sin embargo, la elección de una tecnología adecuada depende de las características del agua de la fuente de abastecimiento. Actualmente, en el mercado existen varias unidades combinando las diferentes tecnologías de potabilización como las presentadas en este trabajo y de las cuales, las más eficientes son las que utilizan filtración con membranas y floculación/desinfección.

La movilidad de estas tecnologías de potabilización hace posible su aplicación en contingencias naturales y en lugares remotos de difícil acceso. Algunas tecnologías como SOLVATTEN® y SkyHydrant™/SkyStation™ no han sido utilizadas en México



debido a que son tecnologías extranjeras y tienen que importarse, por ello son costosas. En cambio, los filtros de arena y los filtros cerámicos pueden construirse en las comunidades con materiales locales. Por otro lado, el método SODIS es gratuito y eficiente aunque depende del clima, en México podría aplicarse en los estados del norte.

Las tecnologías para potabilización como la desinfección por luz ultravioleta y la desinfección por ozono son muy eficientes y modernas; sin embargo, el costo a pequeña escala es muy alto todavía. Estas tecnologías las han aplicado en plantas de tratamiento.

Asimismo, el acceso a los servicios de agua es un tema de salud. Por ello, el gobierno debe prestar mayor atención a los grupos más desfavorecidos. Con los ejemplos de aplicación en este trabajo, puede observarse como ha mejorado la calidad de vida en donde utilizan estas tecnologías de potabilización y el éxito de la disminución en enfermedades, principalmente las gastrointestinales. En esos lugares las personas ahora cuentan con agua para su higiene personal, lavar alimentos y cocinar.

Las pequeñas comunidades que carecen de agua potable también son afectadas por la falta de tratamiento de aguas residuales domésticas, al verterlas sin tratamiento los constituyentes de las aguas residuales perjudican la calidad de los cuerpos de agua. En este caso, los sistemas descentralizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas son una opción técnica, económica y ambiental factible. Además, en zonas rurales y regiones áridas donde carecen del recurso hídrico las aguas grises son percibidas como un recurso valioso y comúnmente las usan sin tratamiento para irrigación.

Las tecnologías de tratamiento presentadas en este trabajo utilizan procesos físicos, químicos y biológicos. Son simples y sostenibles, y una excelente opción para los países en vías de desarrollo. Estas tecnologías permiten alta remoción de materia orgánica, sólidos, nutrientes y organismos patógenos. Es muy recomendable combinar las tecnologías para lograr una mejor calidad del efluente. Como tratamiento primario son altamente recomendables por su eficiencia los tanques sépticos y otros tanques de sedimentación. Los filtros anaerobios son recomendables para tratamiento secundario.

Para reusar el agua tratada es necesario aplicar desinfección, lo cual incrementará el costo por lo que en países con escasos recursos no es recomendable el reúso. En los lugares en donde sufren estrés de agua como al sur del Sahara en África es conveniente el reúso y en lugares como al sureste de Asia, en donde cuentan con abundante agua dulce, puede aplicarse la infiltración.

Operar incorrectamente alguna de las tecnologías de tratamiento presentadas dentro de este trabajo constituye un posible riesgo de contaminación del suelo, aguas superficiales y acuíferos. Además, el manejo incorrecto del efluente, y en algunos casos



lodos generados, representa un riesgo a la salud. Los sistemas de tratamiento descentralizados requieren supervisión y una correcta operación y mantenimiento, el usuario debe responsabilizarse de la instalación.

El costo exacto de estas tecnologías descentralizadas de tratamiento no puede determinarse, esto depende de los materiales empleados en su construcción y de la capacidad de diseño. Sin embargo, los costos de implementación de estas unidades a pequeña escala tienden a ser más bajos que los sistemas centralizados. El tratamiento descentralizado de aguas residuales puede proporcionar a largo plazo una solución costo-efectividad para las pequeñas comunidades debido a que reduce los costos de operación y mantenimiento, y promueve las oportunidades de empleo.

Japón está desarrollando nuevas tecnologías de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades, está mejorando tecnologías existentes descentralizadas y adaptando nuevas a plantas de tratamiento de aguas residuales pequeñas. Un ejemplo de esto es la tecnología simplificada de Dooyo Yookasoo, una variante del proceso de lodos activados por contacto fijo sumergido.

En la selección de las tecnologías para la potabilización y el tratamiento en las pequeñas comunidades influye el confort, la conveniencia y el costo. Es importante tener en cuenta la aceptación social, las capacidades de la comunidad, los riesgos higiénicos, los impactos a la salud pública, los riesgos ambientales y las consideraciones económicas y financieras.

Los sistemas descentralizados pueden proteger el medio ambiente, la salud pública y la calidad del agua en los hogares y las comunidades. Actualmente, las tecnologías descentralizadas proporcionan seguridad y fiabilidad porque ofrecen ventajas económicas y medioambientales, además de los beneficios para las comunidades en donde son empleadas.

En caso de introducir mejoras a las tecnologías propuestas en este trabajo, es recomendable que no impliquen complicaciones con el fin de evitar introducir equipo mecánico, contar con técnicos especializados para la operación y contratar gran cantidad de personal. Finalmente, es importante considerar que todavía existen muchas pequeñas comunidades en México, las cuales son económicamente débiles y por ello no pueden cubrir los costos de operación y conservación de grandes plantas potabilizadoras y de tratamiento de aguas residuales, por ello son necesarias alternativas viables capaces de cubrir el acceso a estos servicios.



## Bibliografía

- ABOITES, Luis et al. *El agua en México: cauces y encauces*. 1a ed. México, Academia Mexicana de Ciencias, 2010, 702 p.
- AHRENS, Brooke. *A Comparison of Wash Area and Soak Pit Construction: The Changing Nature of Urban, Rural, and Peri-Urban Linkages in Sikasso, Mali* (Tesis de Maestría). Estados Unidos, Michigan Technological University, 2005, 81 p. <http://www.mtu.edu/peacecorps/programs/civil/pdfs/brooke-ahrens-thesis-final.pdf>
- Alianza por el agua. *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. (18 de abril, 2015: <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>).
- Alternativas en Salud Pública y Medio Ambiente S.A. de C.V. México. (13 de junio, 2015: <http://www.aspyma.mx/lifestraw-community/>).
- BORDA (editor). *Community based sanitation. Islamic centre an Nawawi, Purworejo, Central Java Province*. Indonesia, 2007. (11 de julio, 2015: [http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/BORDA%202007%20Community%20Sanitation%20Centre.%20Islamic%20Centre%20An%20Nawawi%20,%20Purworejo,%20Central.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BORDA%202007%20Community%20Sanitation%20Centre.%20Islamic%20Centre%20An%20Nawawi%20,%20Purworejo,%20Central.pdf)).
- BORDA (editor). *Decentralized wastewater treatment system-SANIMAS. Manjuyod Public Market*. Filipinas, 2008. (11 de julio, 2015: [http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/BORDA%202008%20Decentralized%20Wastewater%20Treatment%20System%20-DEWATS%20Manjuyod%20Public%20Market.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BORDA%202008%20Decentralized%20Wastewater%20Treatment%20System%20-DEWATS%20Manjuyod%20Public%20Market.pdf)).
- BORDA (editor). *EmSan-Emergency Sanitation*. 2009. (11 de julio, 2015: [http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/BORDA%202009%20EmSan%20\\_%20Emergency%20Sanitation.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BORDA%202009%20EmSan%20_%20Emergency%20Sanitation.pdf)).
- BOURGUETT, Víctor (editor). *Congreso IMTA 2013*. México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2013, págs. 38-44. [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/congreso-imta-2013/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/congreso-imta-2013/files/assets/common/downloads/publication.pdf)
- Brightspark. Holanda, 2012. (4 de abril, 2015: [http://www.brightspark.nl/mobile\\_water\\_maker.html](http://www.brightspark.nl/mobile_water_maker.html)).
- Centre for Affordable Water and Sanitation Technology. Canadá. (13 de junio, 2015: <http://www.cawst.org/es/where-we-work>).
- Centers for Disease Control and Prevention. Household water treatment. Estados Unidos, 2015. (28 de marzo, 2015: <http://www.cdc.gov/safewater/household-water.html>).



- Centro de Desarrollo Rural Quetzalcóatl A.C. México, 2015. (13 de junio, 2015: [http://quetzalcoatl-mexico.org/es/ver\\_tecnologias?id=8](http://quetzalcoatl-mexico.org/es/ver_tecnologias?id=8)).
- CLASEN, Thomas. *Scaling Up Household Water Treatment Among Low-Income Populations*. Suiza, World Health Organization, 2009, 72 p. (7 de febrero, 2015: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/70049/1/WHO\\_HSE\\_WSH\\_09.02\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/70049/1/WHO_HSE_WSH_09.02_eng.pdf)).
- Comisión Nacional del Agua. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Saneamiento Rural*. México, 2007, 84 p.
- Comisión Nacional del Agua. *Norma Oficial Mexicana NOM-003-CONAGUA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos*. México, 2009, 9 p.
- Comisión Nacional del Agua. *Norma Oficial Mexicana NOM-004-CONAGUA-1996. Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general*. México, 1997, 11 p.
- Comisión Nacional del Agua. *Norma Oficial Mexicana NOM-006-CONAGUA-1997. Fosas sépticas prefabricadas. Especificaciones y métodos de prueba*. México, 1999, 24 p.
- Comisión Nacional del Agua. *Norma Oficial Mexicana NOM-007-CONAGUA-1997. Requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques para agua*. México, 1999, 7 p.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. *Medición de la pobreza. Índice de rezago social 2010 a nivel municipal y por localidad*. (15 de marzo, 2015: <http://www.coneval.gob.mx/Medicion/IRS/Paginas/%C3%8Dndice-de-Rezago-social-2010.aspx>).
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. México. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Constitucion/cn16.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA). *EPA 625/1-80-012. Design Manual. Onsite wastewater treatment and disposal systems*. Estados Unidos, 1980, 391 p. (17 de julio, 2015: [http://water.epa.gov/infrastructure/septic/upload/septic\\_1980\\_osdm\\_all.pdf](http://water.epa.gov/infrastructure/septic/upload/septic_1980_osdm_all.pdf)).
- Environmental Protection Agency (EPA). *EPA 832-F-00-023. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de flujo subsuperficial*. Estados Unidos, 2000. (7 de febrero, 2015: [http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2003\\_07\\_10\\_mtb\\_cs\\_00\\_023.pdf](http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2003_07_10_mtb_cs_00_023.pdf)).
- Environmental Protection Agency (EPA). *EPA 832-F-00-024. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Humedales de flujo libre superficial*. Estados





Unidos, 2000. (7 de febrero, 2015: [http://water.epa.gov/infrastructure/septic/upload/cs\\_00\\_024.pdf](http://water.epa.gov/infrastructure/septic/upload/cs_00_024.pdf)).

Environmental Protection Agency (EPA). *EPA 832-F-99-066. Folleto de tecnología del uso eficiente del agua. Inodoros de compostaje*. Estados Unidos, 1999. (7 de febrero, 2015: <http://www.epa.gov/npdes/pubs/cs-99-066.pdf>).

Environmental Protection Agency (EPA). *EPA 832-F-99-067. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Filtros intermitentes de arena*. Estados Unidos, 1999. (7 de febrero, 2015: [http://water.epa.gov/infrastructure/septic/upload/septic\\_fs\\_intermittent\\_sp.pdf](http://water.epa.gov/infrastructure/septic/upload/septic_fs_intermittent_sp.pdf)).

Environmental Protection Agency (EPA). *EPA-832-R-12-002. Case studies of individual and clustered (decentralized) wastewater management programs*. Estados Unidos, 2012. (7 de febrero, 2015: <http://water.epa.gov/infrastructure/septic/upload/Decentralized-Case-Studies-2012.pdf>).

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). *¡El agua es vida!-Filtros de cerámica* (videograbación). UNICEF Nicaragua, 2013. (1:27 minutos). (13 de junio, 2015: <http://www.youtube.com/watch?v=ZjVJXpmNkoE>).

GROENDIJK, L. y H. E. de Vries. "Development of a mobile water maker, a sustainable way to produce safe drinking water in developing countries", en *Desalination*. Núm. 248, 2009, p. 106-113.

HOLMER, Robert et al. *UDD toilets with reuse in allotment gardens Cagayan de Oro, Philippines*. Sustainable Sanitation Alliance, 2009, 10 p. (24 de julio, 2015: [http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/URINE%20SCALE%20SCALE%20Cagayan%20de%20Oro%20Philippines.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/URINE%20SCALE%20SCALE%20Cagayan%20de%20Oro%20Philippines.pdf)).

*Ley de Aguas Nacionales*. Diario Oficial de la Federación. México, 11 de agosto de 2014.

*Ley Federal de Derechos*. Diario Oficial de la Federación. México, 11 de agosto de 2014.

*Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Diario Oficial de la Federación. México, 09 de enero de 2015.

*Ley General de Salud*. Diario Oficial de la Federación. México, 20 de abril de 2015.

*Ley Orgánica de la Administración Pública Federal*. Diario Oficial de la Federación. México, 13 de mayo de 2015.

LifeStraw® by VESTERGAARD. 2014. (28 de marzo, 2015: <http://buylifestraw.com/es/productos/lifestraw-personal-spanish>).



- LIPKOW, Ulrike. *Urine-diversion dehydration toilets in rural areas Bayawan City, Philippines*. Sustainable Sanitation Alliance, 2009. (24 de julio, 2015: [http://www.sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/LIPKOW%202009%20Urine%20Diversion%20Dehydration%20Toilets%20in%20Rural%20Areas%20Bayawan%20City%20Philippines.pdf](http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/LIPKOW%202009%20Urine%20Diversion%20Dehydration%20Toilets%20in%20Rural%20Areas%20Bayawan%20City%20Philippines.pdf)).
- LÓPEZ, Ricardo et al. *Viabilidad y barreras para el ejercicio del derecho humano al agua y saneamiento en México*. 1a ed. México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2014, 204 p. [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/viabilidad-barreras-edhasm/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/viabilidad-barreras-edhasm/files/assets/common/downloads/publication.pdf)
- MIJAYLOVA, Petia. “Sistemas descentralizados para el tratamiento de aguas residuales. BIOSTAR-IMTA”, conferencia. Mini Foro Cyted Iberoeka: Innovaciones en la gestión del agua en Iberoamérica, 12 de julio de 2011. <http://www.aneas.com.mx/contenido/PresMiniF/TARD.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (editor). *Guía técnica de diseño y ejecución de proyectos de agua y saneamiento con tecnologías alternativas*. Bolivia, 2010, 480 p. <http://saludpublica.bvsp.org.bo/textocompleto/bvsp/boxp68/guia-tecnica-agua.pdf>
- MOREL, Antoine y Stefan Diener. *Graywater management in low and middle-income countries. Review of different treatment systems for households or neighbourhoods*. Suiza, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2006, 96 p.
- NEDAP. Naïade. Safe drinking water for everyone. Holanda, 2015. (10 de abril, 2015: <http://www.nedap-naiade.com/>).
- NEDAP. Naïade. Safe drinking water for everyone. Holanda, 2015. (10 de abril, 2015: <http://www.nedap-naiade.com/naiade-projects/>).
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. *Agua y energía. Resumen ejecutivo. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2014*. 2014, 12 p.
- Organización Mundial de la Salud. *Informe del GLAAS de 2012: análisis y evaluación mundiales del saneamiento y el agua potable de ONU-Agua: el reto de ampliar y mantener los servicios*. Suiza, 2013.
- Organización Mundial de la Salud/Organización Panamericana de la Salud. *Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud. Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo*. 2009, 4 p. (7 de febrero, 2015: <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/5-AguaConsumo.pdf>).
- Procter & Gamble. P&G. Children’s Safe Drinking Water. Estados Unidos, 2013. (10 de abril, 2015: <http://www.csdw.org/csdw/pur-packet-technology.shtml>).



- Procter & Gamble. P&G. Children's Safe Drinking Water. Estados Unidos, 2013. (10 de abril, 2015: <https://www.csdw.org/csdw/Blog-reaching-the-7-billion-liter-milestone-one-liter-for-every-person-on-the-planet-and-expanding-csdw-in-latin-america-with-childfund-brazil-2662>).
- Reglamento interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Diario Oficial de la Federación. México, 26 de noviembre de 2012.
- RIVAS, Armando y Diego Paredes (coordinadores). *Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua*. 1a ed. México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2014, 189 p. (31 de julio, 2015: [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/sistemas-de-humedales/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/sistemas-de-humedales/files/assets/common/downloads/publication.pdf)).
- Rotoplas®. Biodigestor autolimpiable. México, 2013. (11 de abril, 2015: <http://www.rotoplas.com/productos/saneamiento/biodigestor-autolimpiable/>).
- Rotoplas®. *Soluciones para mejora de saneamiento. Sistema de captación pluvial para viviendas ubicadas en comunidades rurales. Manual de instalación*. 1a ed. México, 2013, 20 p. (21 de marzo, 2015: [http://www.rotoplas.com/productos/01\\_Almacenamiento/03\\_Sistema\\_Captacion\\_Pluvial/Instructivo\\_Captacion\\_Pluvial.pdf](http://www.rotoplas.com/productos/01_Almacenamiento/03_Sistema_Captacion_Pluvial/Instructivo_Captacion_Pluvial.pdf)).
- SAADE, Vivian et al. *Guía técnica sanitaria para la instalación y funcionamiento de sistemas de tratamiento individuales de aguas negras y grises*. El Salvador, Dirección de regulación-Ministerio de salud pública y asistencia social, 2009, 63 p. <http://www.alianzaporelagua.org/saneamiento/publicaciones/25-guia-tecnica-sanitaria-para-la-instalacion-y-funcionamiento-de-sistemas-de-tratamiento-individuales-de-aguas-negras-y-grises>.
- SASSE, Ludwig. *Decentralized wastewater treatment in developing countries*. India, BORDA, 1998, 160 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. Diciembre 2013. México, 2014, 306 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón*. México, 2013, 71 p. (17 de julio, 2015: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/SGAPDS-3-13.pdf>).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Norma Oficial Mexicana NOM-001-CONAGUA-2011. Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba*. México, 2012, 35 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de*



*contaminantes, en las descargas de aguas residuales, en aguas y bienes nacionales.* México, 1997, 35 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.* México, 1998, 18 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.* México, 1998, 17 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Plan Nacional Hídrico 2014-2018.* México, 2014, 143 p.

Secretaría de Salud. *Norma Oficial Mexicana NOM-012-SSA1-1993. Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados.* México, 1994.

Secretaría de Salud. *Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1991. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.* México, 1994.

Secretaría de Salud. *Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.* México, 2000, 7 p.

Secretaría de Salud. *Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-1998. Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.* México, 2001, 7 p.

Secretaría de Salud. *Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistema de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.* México, 2005, 12 p.

Secretaría de Salud. *Norma Oficial Mexicana NOM-244-SSA1-2008. Equipos y sustancias germicidas para tratamiento doméstico de agua. Requisitos sanitarios.* México, 2009, 15 p.

SkyJuice Foundation. Safe water for every child. Australia, 2013. (4 de abril, 2015: <http://www.skyjuice.com.au/skyhydrant.htm>).

SkyJuice Foundation. Safe water for every child. Australia, 2013. (4 de abril, 2015: <http://www.skyjuice.com.au/where.htm>).



- SODIS. Safe drinking water for all. Suiza, 2015. (27 de marzo, 2015: [http://www.sodis.ch/methode/anwendung/index\\_EN](http://www.sodis.ch/methode/anwendung/index_EN)).
- SOLVATTEN®. Suecia, 2015. (21 de marzo, 2015: <http://www.solvatten.se/>).
- TILLEY, Elizabeth et al. *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. 3a ed. Suiza, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2010, 162 p. <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias.html>
- TILLEY, Elizabeth et al. *Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd revised edition*. Suiza, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2014, 175 p. [http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium\\_2nd\\_pdfs/Compendium\\_2nd\\_Ed\\_Highres\\_1p.pdf](http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/sesp/CLUES/Compendium_2nd_pdfs/Compendium_2nd_Ed_Highres_1p.pdf)
- VELÁZQUEZ, Luz et al. *Atlas del agua en México 2014*. México, Programa Editorial del Gobierno de la República, 2014, 142 p.
- VÖGELI, Yvonne et al. *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries: Practical Information and Case Studies*. Suiza, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2014, 135 p. [http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/Anaerobic\\_Digestion/biowaste.pdf](http://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/Anaerobic_Digestion/biowaste.pdf)