

# PARA EL TECNOLOGÍAS APROPIADAS ACCESO SOSTENIBLE AL AGUA EN EL MEDIO RURAL MARGINADO



MÉXICO  
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



SEMARNAT  
SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES

IMTA  
INSTITUTO MEXICANO  
DE TECNOLOGÍA  
DEL AGUA





**PARA EL** **TECNOLOGÍAS APROPIADAS**  
**ACCESO SOSTENIBLE**  
**AL AGUA EN EL MEDIO RURAL MARGINADO**



634.907    Cervantes Gutiérrez, Erick Oliver  
C16        *Tecnologías apropiadas para el acceso sostenible al agua en el medio rural marginado* / Erick  
             Oliver Cervantes Gutiérrez... *et al.* -- Jiutepec, Mor. : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,  
             2017-2018.  
             143 p.

ISBN: 978-607-9368-98-2 (obra digital)

1. Tecnología apropiada   2. Desarrollo rural   3. Desarrollo sostenible   4. Zonas rurales  
5. Áreas de pobreza

**Autores:**

Erick Oliver Cervantes Gutiérrez  
Irleth Sarai Segura Estrada  
Sandra Vázquez Villanueva  
Liliana García Sánchez  
Axel Falcón Rojas

**Coordinación editorial:**

José Raúl Saavedra  
Gema Alin Martínez Ocampo  
Coordinación de Hidráulica  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

**Diseño, fotografías, portada e ilustraciones:**

Gema Alin Martínez Ocampo

Primera edición: 2017-2018

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Paseo Cuauhnáhuac 8532  
62550 Progreso, Jiutepec, Morelos  
México  
[www.imta.gob.mx](http://www.imta.gob.mx)

ISBN: 978-607-9368-98-2 (obra digital)

Las opiniones, datos y citas presentados en esta obra son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan, necesariamente, los puntos de vista de la institución que edita esta publicación.

Prohibida su reproducción parcial o total, por cualquier medio, mecánico, electrónico, de fotocopias, térmico u otros, sin permiso de los editores.

Hecho en México



# Contenido

<b>1. RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>11</b>
1.1. RECURSOS HÍDRICOS	11
1.1.1. SITUACIÓN ACTUAL EN EL MUNDO	11
1.2. CAMBIO CLIMÁTICO	21
1.3. SEGURIDAD HÍDRICA	24
1.4. POLÍTICAS EN MATERIA DE RECURSOS HÍDRICOS	30
1.4.1. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	30
1.4.2. PLAN NACIONAL DE DESARROLLO	32
1.4.3. PROGRAMA NACIONAL HÍDRICO	33
1.4.4. AGENDA 2030 PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE	35
1.5. GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	40
1.6. ZONAS RURALES	44
1.6.1. PROGRAMAS E INSTITUCIONES DE APOYO EN EL SECTOR HÍDRICO	48
1.6.2. FUNCIONAMIENTO DE LOS PROGRAMAS	49
<b>2. TECNOLOGÍAS APROPIADAS</b>	<b>57</b>
2.1. DEFINICIÓN	57
2.2. CARACTERÍSTICAS	60
2.2.1. LIMITACIONES	63
2.3. CLASIFICACIÓN	63
2.4. ACTORES QUE HAN TRABAJADO EN MATERIA DE TECNOLOGÍAS APROPIADAS EN MÉXICO	68
2.4.1. INTERVENCIÓN DEL IMTA	69
2.4.2. AGUA	73
2.5. MODELOS DE MANEJO INTEGRAL DEL AGUA EN VIVIENDA	99
2.5.1. RURAL	100
2.5.2. PERIURBANA	101
2.6. RECOMENDACIONES PARA LA TRANSFERENCIA DE TA	105
<b>3. EXPERIENCIA DEL IMTA EN LA TRANSFERENCIA DE TA</b>	<b>107</b>
3.1. PROYECTOS	109
3.2. RETOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE TA	132







# Presentación

**E**n México no se han definido adecuadamente los límites potenciales de sus recursos hídricos, tanto de fuentes superficiales como subterráneas, sin embargo, un aspecto importante a considerar para el manejo adecuado de este recurso es el acelerado crecimiento de la población así como el intenso desarrollo de las diversas actividades productivas, lo que representará una mayor presión sobre las reservas de agua del país, a tal grado que los volúmenes demandados pudieran ser mayores que los suministrados. En este sentido la Comisión Nacional del Agua ha estimado que en algunas regiones hidrológico-administrativas del país el agua renovable per cápita alcanzará niveles cercanos o incluso inferiores a los 1 000 m<sup>3</sup>/hab/año, lo que se califica como una condición de escasez (CONAGUA, 2016).

En algunas regiones de la República Mexicana se han presentado problemas de escasez de agua superficial, lo que ha generado a su vez una mayor competencia por el recurso, no sólo al interior de una cuenca sino también dentro de una misma región y entre diversas regiones y entidades federativas. Además de problemas por el recurso hídrico en cuencas transfronterizas como la que se comparte con Estados Unidos de América. De esta forma, la escasez del agua, aunada a su mala distribución, al deterioro de los recursos

hídricos, al desconocimiento de su correcto manejo y a su acceso inequitativo, han ocasionado fuertes conflictos sociales.

Aunque en México se ha avanzado en la cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado a nivel nacional, aún persisten rezagos importantes especialmente en el medio rural. En gran medida esto obedece a las características propias de las localidades rurales, pues en su mayoría se trata de asentamientos humanos con baja densidad poblacional, altamente dispersos y de difícil acceso. En México 188 596 localidades a lo largo y ancho del país (INEGI, 2015) representan este universo poblacional que en mayor o menor medida presenta las características de comunidad rural. Además de las características propias de la comunidad, su situación se agrava por la marginación a la que se han visto sometidas lo cual ha frenado el desarrollo de las mismas.



*En México existen rezagos importantes en la cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado, sobre todo en el medio rural*



Para atender la demanda de aquellos habitantes que no cuentan con servicios de agua potable y saneamiento básico en el medio rural, se propone la transferencia de tecnologías apropiadas o ecotecnias, priorizando aquellas que de forma integral atiendan la problemática relacionada al recurso hídrico en zonas rurales e indígenas con alta y muy alta marginalidad.

Bajo este contexto, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el cual se aboca a enfrentar los retos nacionales y regionales asociados con el manejo del agua, perfila nuevos enfoques en materia de investigación y desarrollo tecnológico para proteger el recurso y asignarlo de manera eficiente y equitativa entre los distintos usuarios, para lo cual produce, implementa y disemina conocimiento, tecnología e innovación para la gestión sustentable del agua en México, promueve el uso de tecnologías apropiadas para impulsar la Seguridad Hídrica a nivel nacional e internacional.

El presente libro tiene como finalidad dar a conocer el trabajo del IMTA en el desarrollo, adaptación, adopción y transferencia de tecnologías apropiadas en comunidades rurales a través de la Subcoordinación de Tecnología Apropriada a escala vivienda y comunitaria para atender la problemática de abastecimiento de agua, desinfección, tratamiento, reúso y aprovechamiento del agua en localidades rurales que representan un 99% del total de localidades que existen en México (INEGI, 2010) con el objetivo de mejorar la calidad de vida, promover la apropiación del recurso, la participación social y la cultura ambiental en las comunidades.

El capítulo I presenta el estado actual de los recursos hídricos a nivel global y nacional, la problemática que se presenta en el suministro de este vital líquido, los efectos por el cambio climático y cómo enfrentar esta realidad para garantizar la seguridad hídrica en las comunidades. Esto constituye uno de los principales retos en la materia el cual es establecer una estrategia sólida de adaptación temprana, que proporcione beneficios a las

zonas rurales y marginales más vulnerables del país. Esta estrategia se enmarca en los ejes transversales de acción, que involucran los Objetivos de Desarrollo Sostenible tanto globales como nacionales que se presentan en el Plan Nacional de Desarrollo y en el Programa Hídrico Nacional que es el área principal en la que se alinea el IMTA.

En el capítulo II se presenta la definición y clasificación de las Tecnologías Apropiadas (TA), los beneficios que se alcanzan al aplicar estas tecnologías para abastecer, almacenar y tratar el agua para uso y consumo humano así como las tecnologías dirigidas al saneamiento y reúso. Se describe también la oferta tecnológica del IMTA mencionando cada una de las TA, describiendo las ventajas y desventajas que representan y las recomendaciones para implementar adecuadamente dichas tecnologías.

*En varios estados de la República Mexicana se han implementado tecnologías apropiadas que ayudan a mitigar la escasez del agua en esas zonas*







En el capítulo III se aborda el trabajo realizado por el IMTA en la transferencia de tecnologías apropiadas e implementación de proyectos para promover el acceso sostenible al agua, describiendo los principales casos de aplicación en la trayectoria de la Subcoordinación de Tecnología Apropiada (STA) y que pueden servir de marco de referencia para intervenciones futuras.







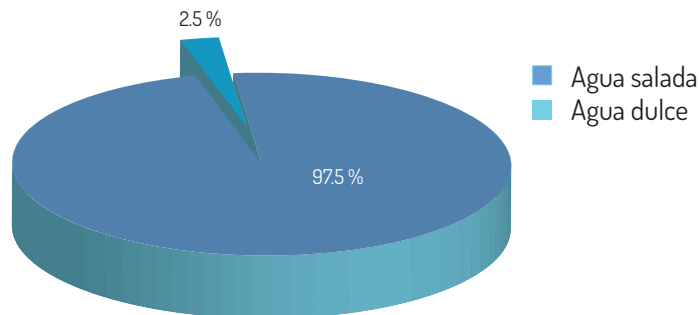
# SITUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

# 1

## 1.1. RECURSOS HÍDRICOS

### 1.1.1. SITUACIÓN ACTUAL EN EL MUNDO

Los recursos de agua dulce representan aproximadamente el 2.5 % de todo el volumen de agua del planeta pero solo el 30% de este porcentaje se encuentra disponible para consumo humano ya que el resto está contenida en los glaciares, hielo y nieve (Figura 1.1). Además gran parte del agua dulce disponible para el ser humano se encuentra lejos de zonas pobladas lo cual dificulta su uso, por lo que se estima que solo el 0.77% del agua en el mundo se encuentra accesible para el ser humano (CONAGUA, 2016).

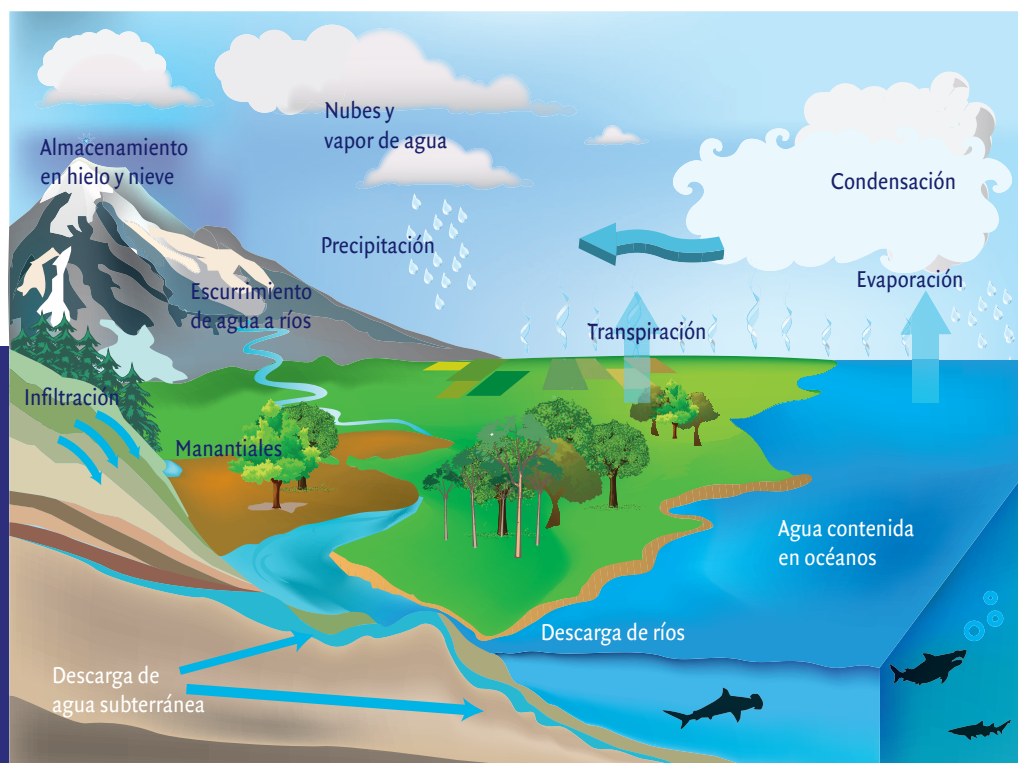


**Figura 1.1.**  
Disponibilidad  
de agua en el  
mundo.

El agua se renueva mediante un ciclo continuo de evaporación, precipitación y escorrentía comúnmente conocido como ciclo del agua o ciclo hidrológico que determina su distribución y disponibilidad en el tiempo y el espacio como lo muestra la Figura 1.2.

El promedio anual de precipitación sobre la tierra alcanza  $119\,000\text{ km}^3$ , de los cuales alrededor de  $74\,000\text{ km}^3$  se evaporan nuevamente a la atmósfera. Los  $45\,000\text{ km}^3$  restantes fluyen hacia lagos, embalses y cursos de agua o se infiltran en el suelo alimentando a los acuíferos. Este volumen de agua se denomina convencionalmente «recursos hídricos» (FAO, 2002).

La disponibilidad del agua ya es crítica en varios países y regiones, pues tanto la población como los recursos están distribuidos irregularmente. La escasez de agua dulce y la compe-



**Figura 1.2.**  
El ciclo hidrológico  
(USGS, 2018).

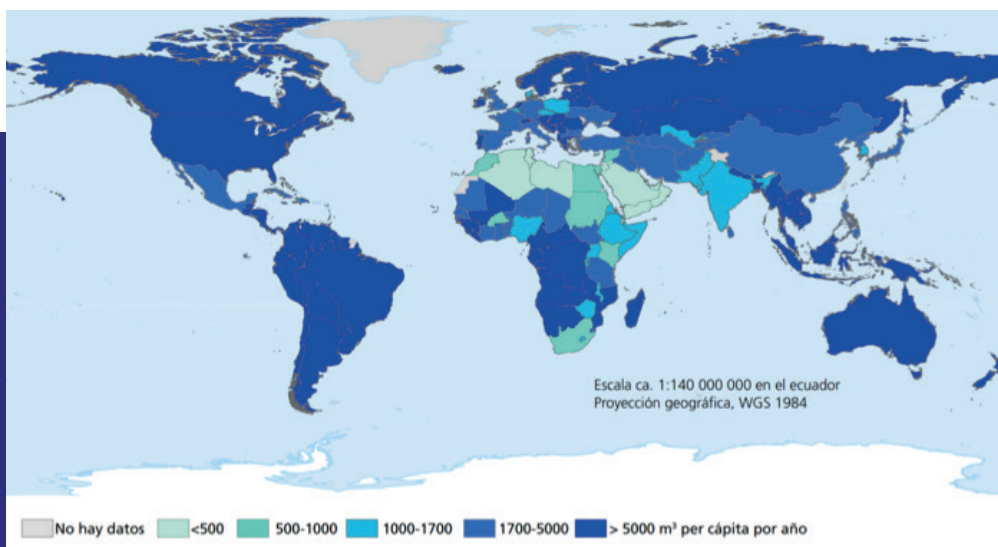
tencia entre los usuarios se encuentra en aumento en cada vez más regiones del mundo. El uso global del agua se ha incrementado en un 600% en los últimos 100 años y continúa creciendo de manera constante aproximadamente 1% anualmente. Se prevé que el uso del agua siga incrementando a nivel mundial en función del aumento de población, el desarrollo económico y los patrones de consumo cambiantes, entre otros factores (WWAP, 2016). Hay escasez de agua en zonas donde incluso abundan las precipitaciones o los recursos de agua dulce. Debido al modo en que se usa y se distribuye, no siempre hay agua suficiente para atender plenamente las necesidades de los hogares, las explotaciones agrícolas, la industria y los ecosistemas. La escasez de agua afecta a todos los continentes, poniendo en una situación crítica a muchos países que presentan estrés hídrico.

El estrés hídrico provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos secos, etc.) y de calidad (contaminación de la materia orgánica, intrusión salina, etc.). Una región o país está bajo estrés hídrico regular cuando los suministros hídricos renovables caen por debajo de 1 700 m<sup>3</sup> per cápita al año. Las poblaciones sufren de escasez de agua crónica cuando el suministro de agua cae por debajo de 1 000 m<sup>3</sup> per cápita al año, y de escasez absoluta cuando cae por debajo de 500 m<sup>3</sup> per cápita al año. Estos valores máximos revelan importantes desigualdades entre los países, como se muestra en la Figura 1.3. Hay diferentes formas de definir y medir la escasez de agua y/o el estrés hídrico. El indicador nacional de escasez de agua más conocido es el agua renovable per cápita al año, con el que se utilizan los valores máximos para distinguir entre diferentes niveles de estrés hídrico (WWAP, 2016). El agua renovable per cápita de un país resulta de la operación de dividir sus recursos renovables entre el número de habitantes. Por ejemplo, Islandia cuenta con el mayor índice de agua renovable per cápita con un valor de 516 090 m<sup>3</sup> per cápita al año (m<sup>3</sup> /hab/año) y Sudáfrica con un valor de 942 m<sup>3</sup> per cápita al año encontrándose en el lugar 152 de una lista de 200 países de los que se tiene información acerca de sus recursos hídricos. México se encuentra en el lugar número 94 mundial con un valor de 3 692 m<sup>3</sup> per cápita al año (CONAGUA, 2016).

Este enfoque para medir la escasez de agua se basó inicialmente en el cálculo de la cantidad de personas que pueden razonablemente vivir con cierta unidad de recursos hídricos (WWAP, 2016).

Además de mostrar cómo los niveles de estrés hídrico pueden variar significativamente dentro de los países más grandes, el análisis a nivel de cuenca que aparece en la Figura 1.4 también muestra la naturaleza transfronteriza de la mayoría de los recursos hídricos.

La variabilidad en la disponibilidad de agua en el tiempo también puede ser significativa. Algunas áreas del planeta experimentan cambios dramáticos en la disponibilidad de agua durante meses, creando variación estacional en la oferta y la demanda en temporadas de lluvia y de secas. Esta variabilidad estacional y la escasez de agua que resulta de los períodos secos pueden verse disimuladas por los promedios anuales de la disponibilidad de agua. La Figura 1.5 muestra los resultados de un modelo mundial acumulado sobre la escasez de agua que opera sobre una base mensual para cada una de las cuencas fluviales grandes a nivel mundial, teniendo en cuenta la variación estacional de la oferta y la demanda y el efecto amortiguador que ofrece el almacenamiento (Sadoff, y otros, 2015).



**Figura 1.3.**  
**Recursos hídricos**  
**renovables (WWAP,**  
**2016).**



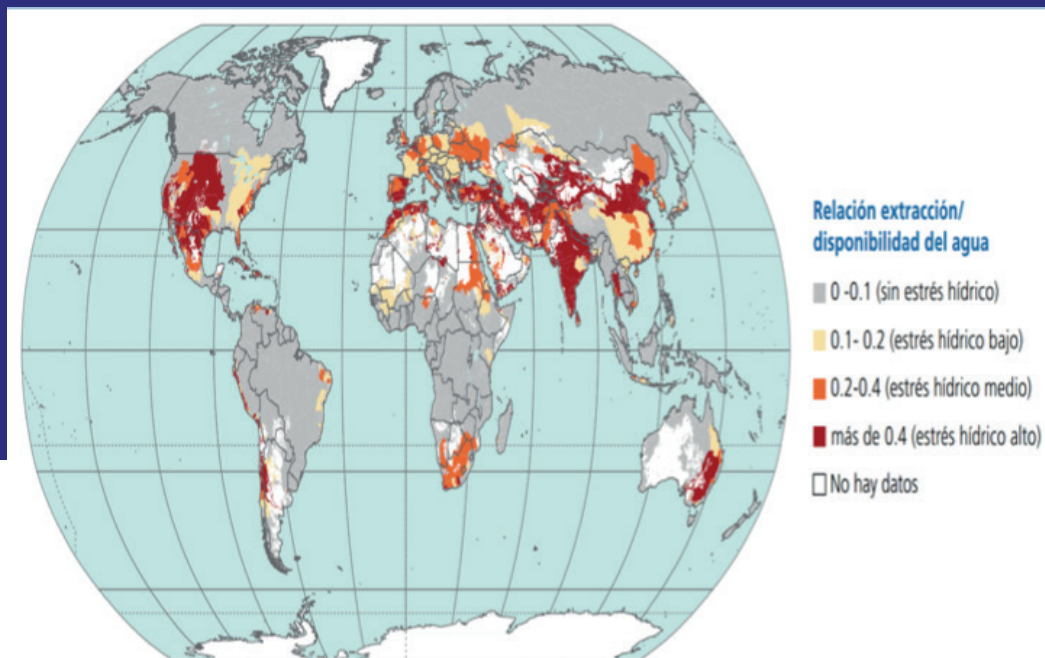


Figura 1.4.  
Promedio anual del  
estrés hídrico según la  
relación de captación-  
disponibilidad (1981-  
2010) (W/WAP, 2016)

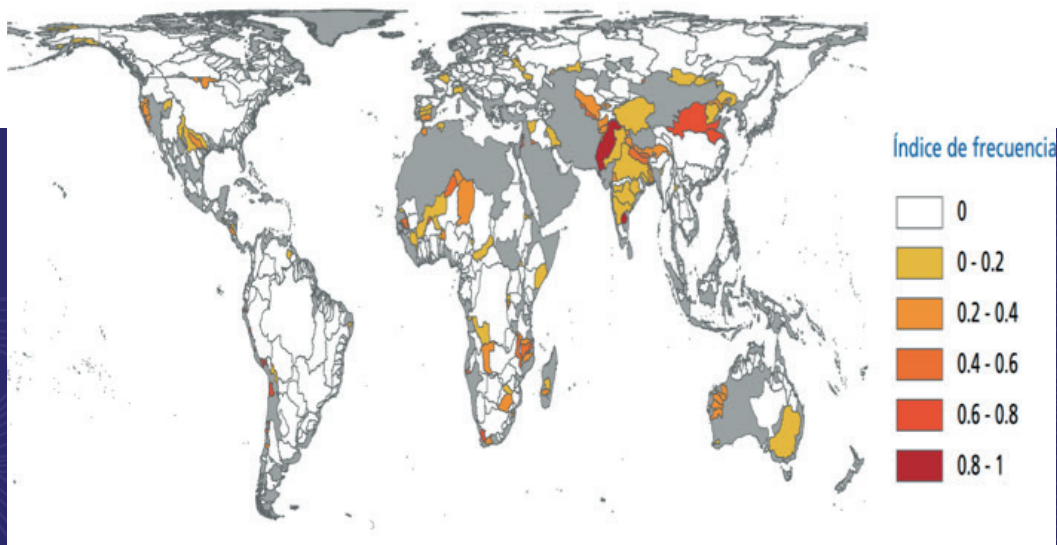
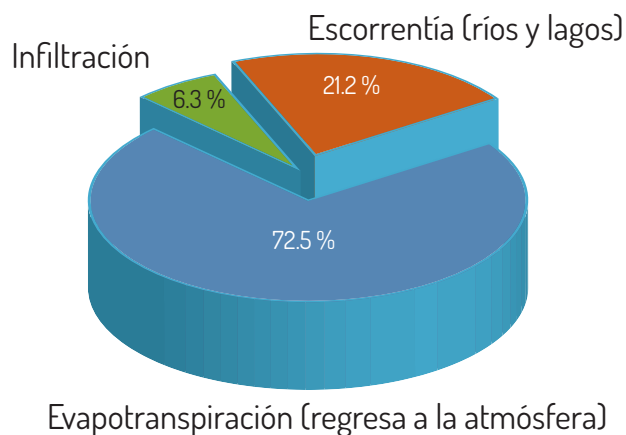


Figura 1.5.  
Índice de  
frecuencia de  
escasez de agua  
disponible para  
uso por mes  
(Sadoff et al.,  
2015)

Sin embargo, a pesar de su importancia, el agua es un recurso escaso. En un sentido amplio, esto significa que hay una cantidad insuficiente para satisfacer las necesidades humanas. Bajo esta concepción conocida como una definición absoluta de la escasez, la carencia del agua existe debido a la presión poblacional sobre el recurso. Además, se consideran las determinantes medioambientales de la disponibilidad, tales como el cambio climático debido a que el ciclo del agua es impulsado principalmente por el clima. Es así que la disponibilidad del recurso se puede medir en términos de la cantidad de agua disponible per cápita. Por ejemplo, organismos internacionales tales como la FAO han calculado que para el año 2025 cerca de 1 800 millones de personas vivirán en regiones con escasez absoluta del agua (UNICEF, 2012).

#### 1.1.1.1. SITUACIÓN EN MÉXICO

La precipitación en México es de aproximadamente 1 449 471 millones de metros cúbicos al año de los cuales se evapotranspira el 72.5% que regresa a la atmósfera, el 21.2% escurre por ríos y arroyos, y el 6.3% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con países vecinos, el



**Figura 1.6.**  
**Lluvia media en**  
**México (CONAGUA,**  
**2016)**



país anualmente cuenta con 446 777 millones de metros cúbicos de agua dulce renovable (CONAGUA, 2016). En la Figura 1.6 se muestra la distribución del agua de lluvia en México.

Para aprovechar este recurso, en México se cuenta con un sistema de obras hidráulicas para almacenamiento de 125 000 millones de m<sup>3</sup>, además de los lagos y lagunas que tienen una capacidad de almacenamiento de 14 000 millones de m<sup>3</sup> que en total corresponde al 34 % del escurrimiento anual. De la capacidad total de almacenamiento de agua en presas, el 33 % se utiliza principalmente para riego en las regiones semiáridas del norte y el 37 % se usa en la generación de energía eléctrica, principalmente en el sur del país (Lomeli, 2006).

Los acuíferos son otra fuente importante de agua en México, sobre todo en aquellas regiones en donde no existen escurrimientos superficiales considerables. En general, se puede señalar que la distribución geográfica de la explotación del agua subterránea en el territorio

nacional se presenta de la siguiente forma: cerca de las dos terceras partes del volumen total extraído se realiza en las regiones áridas, en donde el subsuelo es la principal o la única fuente de abastecimiento, y una tercera parte de la explotación se efectúa en el sureste.

De los 653 acuíferos que existen en México 105 se encuentran sobreexplotados (CONAGUA, 2016) principalmente por la industria, lo cual presenta un escenario crítico para la flora y fauna ya que se ven terriblemente afectadas por la falta de agua, aunado esto a la contaminación del manto freático, lo que deja a México en una situación crítica para el futuro.

Actualmente, los efectos de la escasez del agua están mostrándose en todos los ámbitos de la vida social, impactando en la salud y la salubridad de los individuos, en las actividades económicas, afectando la agricultura y la producción de energía. Numerosas son las causas que han ocasionado esta problemática, como el incremento del uso del agua, la acelerada urbanización, el uso de fertilizantes, el cambio climático que modifica los ciclos hidrológicos de los ecosistemas, entre otras.

Las agudas condiciones de sequía y el agotamiento de los recursos hídricos naturales continúa siendo un problema nacional y mundial que provoca la falta de acceso al agua dulce y potable para consumo humano y para el saneamiento. La escasez de agua obliga a la población a utilizar fuentes contaminadas de agua para beber y para usos domésticos.

Por otro lado, en cuanto a la economía en el país, el Banco de México en 2015 presentó un escenario complicado. El crecimiento económico interno fue moderado y se sustentó en el consumo privado, lo que contrastó con un entorno internacional complejo. Se registró un crecimiento anual del Producto Interno Bruto (PIB) de 2.5%, (CONAGUA, 2016).

La aportación de las actividades agropecuarias, silvicultura y pesca al PIB ha disminuido progresivamente, de manera opuesta a la industria y a los servicios, que se han expandido,



como se puede observar en la Tabla 1.1. Este cambio es todavía más notorio en la población ocupada por sector económico, con la reducción significativa de los mexicanos ocupados en el sector primario (del 58.3% al 13.4% en el periodo 1950-2015), y el incremento correspondiente de los ocupados en el sector terciario (del 25.7% al 61.8% en el mismo periodo), lo que indica mayor estrés en los recursos hídricos ocasionados por el sector industrial el cual se desarrolla principalmente en zonas del país en las que existe una menor disponibilidad de agua.

Tabla 1.1. Composición PIB en México (CONAGUA, 2016)

Composición PIB		
	1950	2015
Primario (agropecuario)	19.20%	3.60%
Secundario (industria)	26.50%	32.80%
Terciario (servicios)	54.30%	63.60%

Para fines de administración y preservación de las aguas nacionales, el país ha sido dividido en 13 Regiones hidrológico-administrativas (RHA), las cuales están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos (CONAGUA, 2016). Las características de las RHA para la gestión del agua, se muestran en la Tabla 1.2. Cabe destacar que el cálculo de aportación al PIB nacional se basa en el PIB por entidad federativa, cuyo último dato es al 2014.



Tabla 1.2. Características de las RHA (CONAGUA, 2016)

Número de RHA	Superficie continental (km <sup>2</sup> )	Agua renovable 2015 (hm <sup>3</sup> /año)	Población a mediados de año 2015 (millones de hab.)	Densidad de población (hab./km <sup>2</sup> )	Agua renovable per cápita 2015 (m <sup>3</sup> /hab./año)	Aportación al PIB nacional 2014 (%)
I	154 279	4 958	4.45	28.8	1 115	3.61
II	196 326	8 273	2.84	15.5	2 912	2.86
III	152 007	25 596	4.51	29.7	5 676	2.88
IV	116 439	21 678	11.81	101.4	1 836	6.14
V	82 775	30 565	5.06	61.1	6 041	2.29
VI	390 440	12 352	12.3	31.5	1 004	14.29
VII	187 621	7 905	4.56	24.3	1 733	4.19
VIII	192 722	35 080	24.17	125.4	1 451	19.08
IX	127 064	28 124	5.28	41.6	5 326	2.24
X	102 354	95 022	10.57	103.2	8 993	5.62
XI	99 094	144 459	7.66	77.3	18 852	4.93
XII	139 897	29 324	4.6	32.9	6 373	7.38
XIII	18 229	3 442	23.19	1 272.2	148	24.49
Total	1 959 248	446 777	121.01	61.8	3 692	100.00

Como se observa en la Tabla las RHA con mayor índice de agua renovable per cápita (superior a 6 000 m<sup>3</sup> per cápita al año), las cuales se encuentran concentradas en el sur del país, tienen una aportación al PIB menor al 8%, mientras que las RHA con mayor aportación al PIB nacional (superior al 14 %) presentan valores de agua renovable menores a 1 500 m<sup>3</sup>

per cápita al año. Estos valores concuerdan con los mencionados anteriormente los cuales indican mayor estrés hídrico para las zonas que aportan mayor PIB al país.

Es por lo anterior, que atendiendo al grave problema de la escasez de agua y la inestabilidad económica del país, que la academia y las instituciones trabajan en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternas en comunidades rurales, que permitan el ahorro en el consumo de agua y disminuyan los índices de contaminación. Un ejemplo de estas tecnologías es la captación de agua de lluvia ya que su adecuado manejo ayuda al abastecimiento de agua potable, disminuye la presión sobre los acuíferos y ayuda a evitar inundaciones, todo esto considerando las condiciones geográficas, sociales y económicas de cada zona rural, para que pueda lograrse que la captación y el aprovechamiento pluvial sea una propuesta viable.

## 1.2. CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es la mayor amenaza medioambiental a la que se enfrenta la humanidad. Las emisiones constantes y desproporcionadas de gases por parte de los países industrializados, entre otros abusos de los recursos naturales, están provocando graves modificaciones en el clima a nivel global (IMTA, 2015). Sus consecuencias afectan sobre todo a los países en vías de desarrollo y se traducen en inundaciones, sequía, huracanes y todo tipo de desastres naturales que dejan a la población en condiciones de vulnerabilidad y sin medios para subsistir.

Hoy en día se presencia un cambio climático global sin precedentes, donde las causas naturales parecen jugar un papel poco importante. La comunidad científica coincide en que las afectaciones al clima son provocadas en gran medida por el ser humano. Actividades como la tala indiscriminada de árboles, el mal uso del agua potable, la sobreexplotación de las tierras se conjugan para alimentar un fenómeno que va en aumento.



Los efectos del cambio climático se han evidenciado de manera ascendente y dramática a nivel de todo el planeta y es de esperar que los patrones de uso de los recursos hídricos continúen cambiando en respuesta al clima cambiante. Existen pruebas de que el cambio climático intensificará estos problemas al aumentar la variabilidad hidrológica, lo que provocará fenómenos meteorológicos más frecuentes y extremos como sequías, inundaciones y tormentas agudas. Los expertos calculan que entre 43 % y 50 % de la población mundial vivirá en países con escasez de agua en 2080, en comparación con el 28 % actual. Un informe reciente del Banco Mundial titulado “Bajemos la temperatura: Por qué se debe evitar un planeta 4 °C más cálido”, sugiere que un alza de 4 °C en la temperatura mundial hará que la presión por la escasez de agua se intensifique en todas las zonas del mundo. En este aspecto, los pobres son los menos preparados para enfrentar esta situación y sufrirán las peores consecuencias (WB, 2014).

*El cambio climático intensificará los problemas de escasez y calidad del agua, debido al aumento en la variabilidad hidrológica*



Los países no pueden crecer de manera sostenible o fortalecer su capacidad de adaptación al cambio climático sin una gestión que considere las mermas sostenidas en materia de disponibilidad, calidad y distribución del agua y su asignación mediante un proceso deliberativo sobre la base de necesidades económicas, sociales y medioambientales.

- Plantas, cultivos, seres vivos y humanos se verán seriamente afectados a lo largo de los próximos años por:
- Aumento de la temperatura.
- Incremento del nivel del mar.
- Desaparición de áreas costeras.
- Alteración de la vida marina por el aumento de temperaturas y la acidificación de las aguas de mares y océanos.
- Clima extremo: inviernos muy fríos y veranos tórridos.
- Desaparición de especies animales y vegetales.
- Adaptación forzosa de muchas especies a las nuevas condiciones climáticas.
- Enfermedades.
- Pérdida de selvas y zonas verdes.
- Aceleración de los procesos de erosión de terrenos debido a la pérdida de vegetación.
- Aumento de las zonas desérticas y su generalización a lo largo del Mediterráneo.
- Escasez de agua potable para consumo humano.

El clima, el agua dulce y los ecosistemas están interconectados, y por consiguiente, la variación de uno de esos factores genera un cambio en los demás. La relación entre el cambio climático y los recursos de agua es fundamental para la sociedad humana y para todas especies vivas (Bates et al., 2008).

El nivel en el que cualquier sistema de gestión y desarrollo de los recursos hídricos se verá afectado por el cambio climático, dependerá de su grado de vulnerabilidad y su capacidad interna para adaptarse. Sin embargo, los impactos potenciales del cambio climático son reales y se pueden extender mucho más allá del sector hídrico (IMTA, 2015).

Las peores consecuencias que acarrea el cambio climático no son inevitables. Mejorar un acceso igualitario a fuentes de agua salubres, sostenibles y resistentes al clima, ayudará a proteger a las personas más vulnerables antes, durante y después de los desastres climáticos, puesto que cuando carecen de agua limpia, están expuestas al peligro de contraer enfermedades, como las infecciones gastrointestinales.

### 1.3. SEGURIDAD HÍDRICA

La seguridad hídrica se encuentra definida por el IMTA (2018) como “la capacidad de una sociedad para disponer de agua en cantidad adecuada y calidad aceptable para su supervivencia y la de todos los seres vivos en los ecosistemas en que habitan, así como para asegurar su desarrollo socioeconómico sostenible, gestionando los riesgos climáticos, meteorológicos y antrópicos relacionados con el agua, en un clima de paz a través de una buena gobernanza”.

La seguridad hídrica se ha convertido para muchos países en un tema de seguridad nacional, así como de preocupación en el ámbito internacional debido a las numerosas cuencas transfronterizas que abarcan poco más del 43% de la superficie terrestre del planeta y en las que habita el 40% de la población (WEF, 2011).

Para alcanzar una seguridad en temas del agua, los desafíos relacionados con los recursos hídricos están tomando una dimensión global para los gobiernos, debido a la creciente





escasez de agua y a la incertidumbre en cuanto a los efectos asociados a las personas, la energía, los alimentos y los ecosistemas. Cuando la cantidad y la calidad de agua son inadecuadas, este recurso puede constituirse en un factor limitante para aliviar la pobreza y para impulsar la recuperación económica, lo cual tiene como resultado el deterioro de la salud y la baja productividad, la inseguridad alimentaria y conlleva restricciones en el desarrollo económico. Aun cuando la cantidad total del agua mundial es suficiente para cubrir las necesidades promedio a nivel mundial y anual, las variaciones regionales y temporales en la disponibilidad de agua ocasionan serios desafíos (UNESCO, 2012).

Los principales retos para alcanzar la seguridad hídrica se manifiestan en la escasez de agua, la contaminación de los cuerpos de agua, los efectos adversos de los fenómenos hidrometeorológicos extremos como inundaciones y sequías, los crecientes conflictos por el agua y el deterioro ambiental de cuencas y acuíferos. Los factores principales que inducen

o incrementan estos riesgos para la seguridad hídrica son los procesos demográficos, los efectos del cambio climático y la deficiente gestión del agua.

Por ello, garantizar la seguridad hídrica es uno de los principales retos en muchas regiones del mundo, y de manera especial en los países ubicados en las zonas áridas y semiáridas, confrontadas con la escasez recurrente o permanente, así como en algunas regiones sujetas a fenómenos meteorológicos tropicales que favorecen las inundaciones.

Desafortunadamente, México, tiene en la mayor parte de su territorio un “legado de hidrología difícil”. Por una parte, un 70% de su territorio es árido o semiárido, con grandes variaciones estacionales e interanuales de precipitación, y por la otra, el restante 30% experimenta riesgo de inundaciones recurrentes ocasionadas tanto por sistemas meteorológicos tropicales como por frentes fríos (Martínez-Austria, 2013).

*México, tiene en la mayor parte de su territorio un “legado de hidrología difícil”.*

**70%** es árido o semiárido

**30%** es susceptible a inundaciones



En México, el proceso de urbanización inició de forma acelerada desde los años cincuenta del siglo pasado y continuará hacia el año 2050. De acuerdo con estas previsiones, en 2030, el país alcanzará una población urbana de cerca de 112 millones de habitantes (82.6% del total) y en 2050 de casi 124 millones (86% del total) (Martínez-Austria, 2013). Los retos asociados de abastecimiento y saneamiento serán enormes, y requerirán una muy eficiente gestión del agua, junto con medidas de conservación del medio ambiente, necesarias para preservar las fuentes de abastecimiento. Sin considerar los efectos del cambio climático global, para 2030 algunas de las principales cuencas de México registrarán condiciones de elevado estrés hídrico.

Las necesidades de agua del orbe crecerán en el futuro a un ritmo acelerado. Se estima que de no tomarse las medidas adecuadas, hacia el año 2030 el mundo experimentará un déficit de agua para todos los usos de un 40 % de sus necesidades (WRG, 2009). De no tomarse las medidas apropiadas, se estima que en México, el déficit de agua hacia el 2030 será de alrededor del 25% de la demanda proyectada (CONAGUA, 2010).

Centrarse en la seguridad hídrica constituye una estrategia sólida de adaptación temprana que proporciona beneficios inmediatos a las poblaciones vulnerables y marginadas, promoviendo así los Objetivos de Desarrollo Sostenible, al mismo tiempo que fortalece los sistemas y la capacidad de gestión de los riesgos climáticos a largo plazo.

Para alcanzar la seguridad hídrica, será necesario invertir en infraestructura para almacenar y transportar el agua, y reutilizar las aguas residuales, así como impulsar instituciones sólidas que desarrollen la información y las herramientas necesarias para predecir, planificar y enfrentar la variabilidad climática. Estas inversiones ayudarán a las sociedades a adaptarse al cambio climático en el largo plazo y a manejar la variabilidad y los impactos del clima actuales, proporcionando de esta manera seguridad hídrica a las poblaciones y a los países más necesitados del mundo.



Existen muchas sociedades donde aún no se ha alcanzado la seguridad hídrica. La escasez de lluvias y del recurso hídrico a menudo exacerba la pobreza y el conflicto en las comunidades pobres. Las medidas para implementar una sólida gestión de recursos hídricos son por naturaleza medidas de adaptación. Una mejor gestión de los recursos hídricos significa una mayor capacidad de recuperación en el presente y una adaptación más eficaz en el futuro. Las medidas deberán estar basadas tanto en información fidedigna como en la ciencia y las mejores prácticas tanto del campo del agua como del campo de la climatología.

Para progresar en las dimensiones sociales, ambientales y económicas del desarrollo, se deben de satisfacer varios puntos que conlleven a una seguridad hídrica, entre ellos los que se mencionan a continuación:

#### Dimensiones sociales

- Asegurar el acceso equitativo a los servicios y recursos hídricos mediante políticas y marcos legales robustos en todos los niveles.
- Construir resiliencia en las comunidades para enfrentar eventos hídricos extremos mediante medidas duras (relacionadas con la infraestructura) y suaves (relacionadas con instituciones y la sociedad).

#### Dimensiones ambientales

- Gestionar el agua de modo más sostenible como parte de economías verdes.
- Restaurar los servicios ecosistémicos en las cuencas pluviales para mejorar la salud de los ríos.



## Dimensiones económicas

- Aumentar la productividad y conservación hídrica en todos los sectores usuarios del agua.
- Compartir los beneficios económicos, sociales y ambientales de los ríos, lagos y acuíferos transfronterizos.

Se tiene que reconocer que la seguridad hídrica, o la falta de ésta, afecta a nivel de los hogares, entre los agricultores y las industrias, en las ciudades, en el ambiente natural de las cuencas pluviales y en las comunidades, que están generando la resiliencia para adaptarse a los cambios, incluyendo el cambio climático.

Asimismo, la disponibilidad de agua implica más que el simple acceso a ella, y debería permitirse un nivel razonable de protección legal robusta y transparente para este acceso; en otras palabras, derechos, que sean especialmente importantes y accesibles para las comunidades pobres y vulnerables.

## 1.4. POLÍTICAS EN MATERIA DE RECURSOS HÍDRICOS

El agua es un recurso vital para la humanidad y es un eje transversal de todas las actividades sociales, económicas y ambientales. Es una condición para la vida en nuestro planeta, una habilitación o factor limitante para cualquier desarrollo social y tecnológico, una fuente de bienestar y miseria y a menudo, una base para el conflicto y la cooperación. Mientras que la humanidad ha reconocido ampliamente la necesidad imperiosa del agua y del intercambio de este importante recurso, no siempre ha instrumentado los enfoques adecuados para su conveniente utilización, conservación, protección y administración. Una de las dificultades principales de esta tarea ha sido la falta de conexión entre las acciones basadas en el conocimiento científico y el quehacer político; por un lado tenemos los descubrimientos y avances científicos y tecnológicos en la materia, y por otro lado, los mecanismos que podrían provocar la adopción y la aplicación de medidas adecuadas en las esferas gubernamental y social por medio de políticas y prácticas robustas.

### 1.4.1. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

El Congreso de la Unión adicionó el 8 de febrero de 2012 un sexto párrafo al artículo 4º de la Constitución Mexicana para elevar a rango constitucional el derecho humano al agua y saneamiento, que dice: “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” (DOF, 2017), el derecho humano al agua y al saneamiento entraña tanto libertades como derechos. Es un derecho entonces contar con el acceso a un suministro de agua que no sea objeto de cortes arbitrarios ni a la contaminación de los recursos hídricos, mediante un sistema de abastecimiento y gestión del agua que ofrezca a la población igualdad de oportunidades en su disfrute. Esto obliga al Estado a promulgar una nueva legislación en la materia. Además, el Estado asume la responsabilidad de respetar, proteger y garantizar su cumplimiento para que el suministro del agua sea accesible, suficiente, salubre, aceptable y asequible con participación de la ciudadanía.



Este derecho humano representa un gran reto para todos. El camino a seguir deberá iniciarse estableciendo los ajustes necesarios al marco legal en el ámbito nacional, como muchos países ya lo han hecho. Aunado a esto, urge emprender acciones para su adecuada aplicación, definir de manera consensada la hoja de ruta a seguir, con metas claras y tiempos específicos, dar a conocer las obligaciones inherentes al cuidado y preservación del recurso, así como el establecimiento de las responsabilidades por incumplimiento.

#### 1.4.2. PLAN NACIONAL DE DESARROLLO

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece la planeación del desarrollo nacional como el eje que articula las políticas públicas que lleva a cabo el Gobierno de la República y también como la fuente directa de la democracia participativa por medio de la consulta con la sociedad, y es el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2013-2018 donde convergen ideas, enfoques, así como propuestas y líneas de acción para llevar a México a su máximo potencial. El PND se encuentra conformado por cinco metas: 1) México en paz, 2) México incluyente, 3) México con educación de calidad, 4) México próspero y 5) México con responsabilidad global; cuyos indicadores fueron diseñados por instituciones y organismos reconocidos internacionalmente y son calculados periódicamente, lo cual asegura su disponibilidad, calidad e imparcialidad.

El objetivo de las metas del PND apuntan a que “el país se integre por una sociedad con equidad, cohesión social e igualdad sustantiva, lo que implica hacer efectivo el ejercicio de los derechos sociales de todos los mexicanos, a través del acceso a servicios básicos, agua potable, drenaje, saneamiento, electricidad, seguridad social, educación, alimentación y vivienda digna, como base de un capital humano que les permita desarrollarse plenamente como individuos”.

La dura realidad de nuestro país es que a la fecha, los niveles de pobreza en México se han mantenido elevados y son las zonas rurales las más vulnerables ante esta situación.



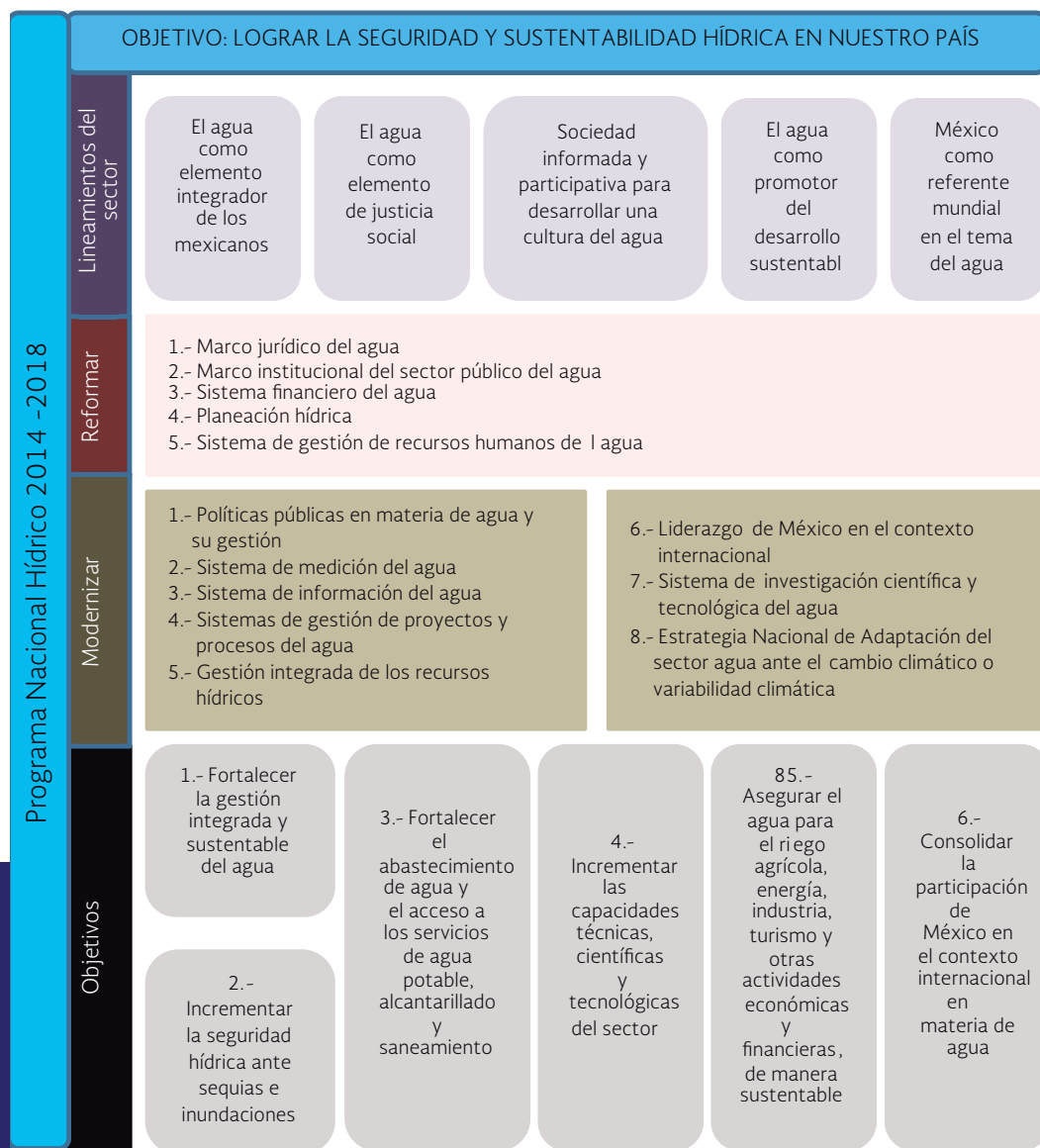
### 1.4.3. PROGRAMA NACIONAL HÍDRICO

El Programa Nacional Hídrico 2014-2018 es el documento rector de la política hídrica en México. Es un Programa Especial que se deriva del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 y del Programa Sectorial de Medio Ambiente 2013-2018.

En el PNH se plasman no solo las estrategias y líneas de acción para las políticas públicas, sino que recoge las bases para el desarrollo de una conciencia colectiva del agua y las aspiraciones para llegar a la gestión integrada y la adecuada gobernanza de los recursos hídricos (Figura 1.7).

El PNH contiene la política nacional del agua que incluye la participación de diversas dependencias y niveles de gobierno para trabajar juntos en su cumplimiento. En él se contempla





**Figura 1.7.**  
**Programa Nacional**  
**Hídrico (CONAGUA,**  
**2014)**

la oportunidad de revisarlo y replantear las estrategias de acuerdo con los resultados y el desarrollo logrado en respuesta a las necesidades hídricas actuales y las que se presentarán en las siguientes tres o cuatro décadas.

#### 1.4.4. AGENDA 2030 PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

En el año 2000, 189 países iniciaron el primer plan global al que se le denominó Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) los cuales buscaban atender las necesidades humanas más apremiantes y los derechos fundamentales que todos los seres humanos deberían disfrutar. Para ello se establecieron 8 objetivos, entre ellos erradicar la pobreza extrema y garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. En este sentido, en México en el año 2015 se reportó un incremento de la protección de áreas terrestres y marinas del 7.1 al 13 % del territorio nacional, se incrementó el acceso al agua potable del 78.4 al 90.9 % y a los servicios de saneamiento del 58.6 al 87.7 % de la población, además se redujo la cifra de la población urbana que habita en viviendas precarias de un 35.7 a un 17.1%. Por otro lado indicadores tales como la pérdida de superficie forestal, la presión sobre los recursos hídricos y las emisiones per cápita y totales de dióxido de carbono apuntan a que se requieren mayores esfuerzos para disminuir su ritmo de crecimiento. En cuanto a la pobreza en el país las cifras indican una disminución de 9.3 % en 1989 a 3.7 % en 2014 (ODM, 2015).



En septiembre de 2015 fue aprobada la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible por la Asamblea General de las Naciones Unidas, la cual establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados Miembros que la suscribieron. Los 17 objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) asociados a esta agenda permiten evaluar el punto de partida, analizar y formular los medios para alcanzar la nueva visión del desarrollo sostenible. Los ODS se basan en los logros de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, aunque incluyen nuevas esferas como el cambio climático, la desigualdad económica, la innovación, el consumo sostenible, la paz y la justicia, entre otras prioridades.

La Asamblea General de la ONU adoptó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, realizando un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que también tiene la intención de fortalecer la paz universal y el acceso a la justicia. A raíz de la Agenda 2030 el desarrollo sostenible se ha definido como aquel que es capaz de satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Es un compromiso universal adquirido tanto por países desarrollados como en desarrollo, en el marco de una alianza mundial reforzada, que toma en cuenta los medios de implementación para realizar el cambio y la prevención de desastres debidos a eventos naturales extremos, así como la mitigación y adaptación al cambio climático.

La Agenda 2030 incorpora objetivos integrales en tres vertientes: económicos, sociales y medio ambientales. La nueva estrategia regirá los programas de desarrollo mundiales durante los próximos años. Al adoptarla, los Estados se comprometieron a movilizar los medios necesarios para su aplicación mediante alianzas centradas especialmente en las necesidades de los más pobres y vulnerables.

Como actor global, México participó activamente en la definición de la Agenda. Fue uno de los más activos en los foros de consulta, participando y liderando el proceso de negociación;



presentó propuestas puntuales para incorporar los principios de igualdad, inclusión social y económica, e impulsó que la universalidad, sustentabilidad y los derechos humanos fuesen los ejes rectores de la Agenda 2030; abogó por la adopción de un enfoque multidimensional de la pobreza que, además de considerar el ingreso de las personas, tomará en cuenta su acceso efectivo a otros derechos básicos como la alimentación, educación, salud, seguridad social y servicios básicos en la vivienda.

Los ODS son universales e integran las dimensiones económicas, sociales y ambientales. Tratan aspectos cruciales en materia de educación, seguridad alimentaria, provisión de servicios básicos, protección social, productividad y gestión de riesgo ante eventos catastróficos. También incorporan la noción de bienes de interés colectivo como son la protección de los océanos, la atmósfera y la biodiversidad. Éstos objetivos exigen transformaciones importantes, entre ellas, la necesidad de llevar a cabo un cambio estructural en el modo de producción y de consumo, que favorezca a los sectores que más generan conocimiento y aquellos ambientalmente sostenibles.

Mediante los ODS, México está comprometido en hacer frente a los problemas de escasez de agua y saneamiento que hoy en día se presentan, puesto que el agua libre de impurezas y accesible para todos, es parte esencial del mundo en que queremos vivir. La escasez de recursos hídricos, la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado influyen negativamente en la seguridad alimentaria, en el acceso a los medios de subsistencia y en las oportunidades de educación para las familias pobres en todo el mundo.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) comprometido en alcanzar uno de los objetivos del desarrollo sostenible, objetivo 6 “Agua limpia y saneamiento”, contribuye con su experiencia en la aplicación de tecnologías apropiadas, para garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y saneamiento, con el fin de lograr una mejor calidad de vida.

El objetivo 6 “Agua limpia y saneamiento” se puede lograr para el año 2030, mediante los siguientes objetivos específicos:

1. Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos.
2. Alcanzar el acceso equitativo a servicios de saneamiento e higiene adecuados para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y a las personas en situaciones vulnerables.

*En septiembre de 2015 fue aprobada la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible por la Asamblea General de las Naciones Unidas*



3. Mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación del vertimiento y reducción al mínimo de la descarga de materiales y productos químicos peligrosos, la reducción a la mitad del porcentaje de aguas residuales sin tratar, y un aumento sustancial del reciclado y la reutilización en condiciones de seguridad.
4. Incrementar sustancialmente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir significativamente el número de personas que la sufren.
5. Poner en práctica la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
6. Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
7. Ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidades en las actividades y en los programas relativos al agua y el saneamiento, incluidos el acopio y almacenamiento de agua, la desalinización, el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos, el tratamiento de aguas residuales y las tecnologías de reciclaje y reutilización.
8. Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

La importancia de contar con un abastecimiento de agua limpia salubre y un saneamiento higiénico es una condición previa para obtener resultados satisfactorios en algunos de los ODS: poner fin a la pobreza (ODS 1), hambre cero (ODS 2), garantizar una vida sana y promover el bienestar para todas las edades (ODS 3), lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles (ODS 11), garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles (ODS 12), adoptar medidas para combatir el cambio climático y sus efectos (ODS 13) y detener la pérdida de la biodiversidad (ODS 15).



## 1.5. GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) fue definida por el Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (GWP, por sus siglas en inglés) como “un proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante, pero de manera equitativa, y sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas”.

“La GIRH es un desafío para las prácticas convencionales, las actitudes y las certezas profesionales. Confronta con los afianzados intereses sectoriales y requiere que el recurso sea administrado holísticamente para los beneficios de todos” (Cap-Net, 2018).

Bajo esta definición, el enfoque de la gestión del agua más destructivo, es el extractivo que considera al recurso como un producto a ser obtenido sin tener en cuenta el impacto de la extracción. Desde este enfoque, las decisiones se toman bajo un criterio fundamentalmente político. Las consideraciones técnicas pueden pasar a un segundo plano y generalmente no se contemplan algunos factores económicos o sociales.

El enfoque extractivo privilegia la privatización de los servicios públicos asociados al uso del agua. En este sentido, en la gestión del agua contemplada bajo este enfoque, siempre está presente la pregunta de si el agua es una mercancía.

Por otra parte, debido a la crisis ambiental que se desencadenó desde la década de 1970, los proyectos hidráulicos comenzaron a incorporar estudios de impacto ambiental y un cambio gradual en el énfasis de los enfoques. Pero en los hechos, esto no ha sido suficiente ya que la degradación hídrica continúa.



Como se ha visto, la gestión del agua es esencial para lograr un desarrollo sostenible. Sin embargo, el crecimiento de la población y la competencia de los sectores económicos por este vital elemento, ejercen una presión sin precedentes sobre los recursos hídricos y ceden una cantidad insuficiente de agua para cubrir las necesidades humanas y preservar los caudales medioambientales necesarios para mantener los ecosistemas saludables. Las aguas subterráneas se han agotado en muchos lugares, lo cual deja a las actuales y futuras generaciones sin reservas para hacer frente a la creciente variabilidad del clima.

Una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos se caracteriza entonces por:

- La multifuncionalidad, es decir, la integración de las distintas funciones y usos del agua, incluidas las funciones medioambientales.
- La integración del conjunto de los espacios a nivel del sistema de agua.
- La integración de los distintos actores en las gestiones y decisiones.
- La integración de la dimensión tiempo, preservando el recurso para las generaciones futuras.

El enfoque de GIRH ayuda a administrar y desarrollar los recursos hídricos en forma sostenible y equilibrada, teniendo en cuenta los intereses sociales, económicos y ambientales. Reconoce los diferentes grupos de interés que compiten entre sí, los sectores que usan y abusan del agua y las necesidades del medio ambiente.

El enfoque integrado coordina la gestión de recursos hídricos en todos los sectores y grupos de interés y a diferentes escalas, desde la escala local a la internacional. Pone énfasis en la participación en los procesos nacionales de formulación de leyes y políticas, estableciendo una buena gobernabilidad y creando acuerdos normativos e institucionales efectivos que permitan tomar decisiones más equitativas y sostenibles.





Éste es el fundamento del enfoque para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), aceptado ahora internacionalmente como el camino para lograr el desarrollo, la gestión eficiente, la atención de la demanda, la equidad y la sustentabilidad de los recursos hídricos cada vez más limitados.

Los principales desafíos de la gestión integrada de los recursos hídricos son:

- Asegurar la provisión de agua para la población (Agua para todos).
- Asegurar la provisión de agua para la producción de alimentos (Agricultura).
- Desarrollar otras actividades productivas (Generadoras de empleo).
- Confrontar con la variabilidad del agua en tiempo y espacio (Balance Hídrico).
- Manejar los riesgos (Fenómenos naturales que causan desastres).
- Crear conciencia y entendimiento público (Cultura del Agua).
- Forjar la voluntad política para actuar (Gobernabilidad).
- Asegurar la colaboración entre sectores públicos y entidades privadas (Alianzas).

El problema de la limitación creciente de los recursos hídricos se mantendrá si no se desarrollan las capacidades de los gobiernos y sus sociedades para la gestión del agua y la provisión de los servicios asociados. Administrar, gobernar y gestionar, deben estar presentes en cada gobierno para garantizar una seguridad hídrica.

Se argumenta que en México el crecimiento poblacional y el económico han ejercido una fuerte presión en las reservas de agua; en consecuencia, el volumen demandado de agua es siempre mayor al suministro, y por lo mismo el gobierno se ve obligado a decidir a quién dejar sin este recurso. Así, la competencia por el agua está causando conflictos en diferentes escalas y las zonas rurales son las más vulnerables por la mala gestión de los recursos hídricos.

Es muy importante notar que aun teniendo una buena gestión integral de los recursos hídricos, difícilmente se podrán cumplir los objetivos nacionales e internacionales relevantes a la seguridad hídrica mediante inversiones en infraestructura para el suministro y dotación de agua en las comunidades rurales, ya que muchas veces, el suministro de agua en una comunidad no se resuelve solamente con la inversión de recursos, pues la problemática social ya es mayor, o en el peor de los casos, las comunidades ya no cuentan con una fuente de abastecimiento cercana y suficiente, ya sea por mantener una presión hídrica alta o por el difícil acceso a las fuentes. En estos casos, los sistemas convencionales no pueden satisfacer las necesidades hídricas que se presentan en las comunidades.

Una gestión responsable del agua significa hacer frente a los desafíos tanto en el plano mundial como el nacional, contemplando el ámbito social y ambiental, considerando factores como la pobreza, la salud y los conflictos sociales, entre otros, todo esto sin olvidar que el agua es la base de la vida y un bien escaso que hay que gestionar racionalmente para el bien de la humanidad y de los ecosistemas.

Existen las herramientas tecnológicas, el conocimiento, la comunicación, el aprendizaje surgido tanto de buenas como de malas experiencias, las metodologías, para crear escenarios de futuro con modelos democráticos de participación e instituciones implicadas. Todo ello debe conducir a la realización de los cambios económicos, culturales y sociales necesarios para solucionar la problemática de la escasez de agua dulce.

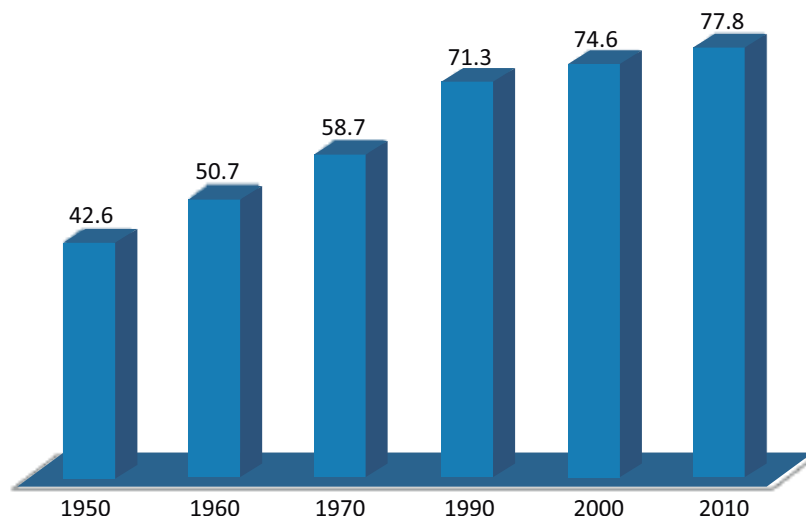
## 1.6. ZONAS RURALES

De acuerdo a la UNESCO (Arcos et al., 2015), los pobladores rurales representan el 70 % de la población mundial y el 72 % de los habitantes de los países menos desarrollados. Las desigualdades entre el campo y la ciudad constituyen un obstáculo importante para

el desarrollo sostenible. Según la UNESCO las zonas rurales comprenden asentamientos humanos de menos de 10 000 habitantes y en el espacio rural predominan las granjas, los bosques, los ríos y lagos, las montañas o el desierto. Así, el número de habitantes que tiene una localidad determina si es rural o urbana. Por otro lado, de acuerdo con el INEGI (2018), una población se considera rural cuando tiene menos de 2 500 habitantes, mientras que la urbana es aquella donde viven más de 2 500 personas.

En 1950, poco menos de 43% de la población en México vivía en localidades urbanas, en 1990 era de 71 % y para 2010, esta cifra aumentó a casi 78% (Figura 1.8).

El porcentaje de personas que habitan en comunidades rurales ha disminuido. En 1950, representaba poco más del 57% del total de la población del país; en 1990 era de 29 % para el 2010, esta cifra disminuyó hasta ubicarse en 22% (Figura 1.9).



**Figura 1.8.**  
Crecimiento de la  
población urbana  
(INEGI, 2018)



En 2010, en México existían 188 596 comunidades rurales, siendo la mayor parte integrada por menos de 249 habitantes (Tabla 1.3) (SEDATU, 2014).

Tabla 1.3. Disminución de la población rural (INEGI, 2018)

Habitantes	No. Localidades
1 -249	159 821
250 - 499	13 590
500 - 999	9 264
1000 - 2499	5 921

Lo característico de las regiones rurales es que su población depende de la agricultura. En su condición de campesinos, pastores o pescadores, se ocupan de la cría de animales, la transformación y comercialización de alimentos y otros productos y de servicios derivados del agro. Las comunidades rurales presentan además gran diversidad cultural, social y económica.

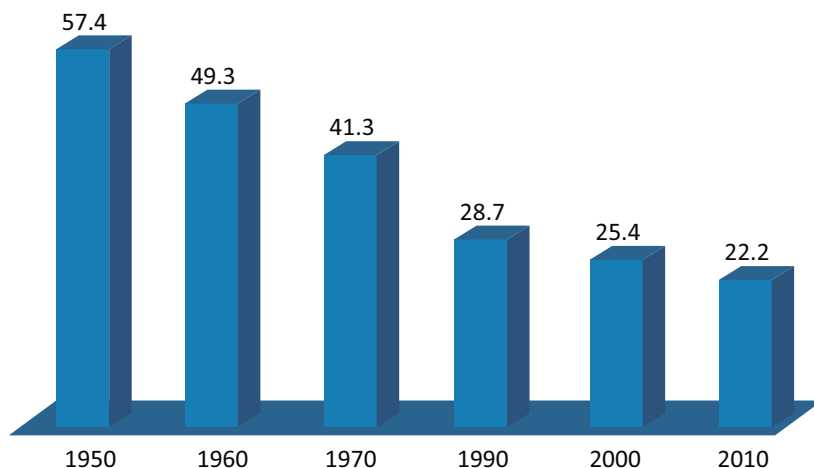


Figura 1.9.  
Disminución de  
la población rural  
(INEGI, 2018)

En estas comunidades, la mano de obra es barata porque las opciones de empleo son limitadas. Por lo general, los habitantes de las zonas rurales carecen de servicios sociales básicos adecuados, porque no tienen representación política, y a las regiones donde viven se les otorga escasa prioridad en los asuntos nacionales.

En México, las zonas rurales continúan representando un porcentaje significativo de la población, lo cual es preocupante por las condiciones en las que viven: en general se ubican en zonas que no cuentan con una fuente de abastecimiento de agua apropiada para satisfacer sus necesidades básicas. Para atender los problemas que se presentan en las zonas rurales, existen programas para apoyar la creación de infraestructura o de tecnologías que abatan el rezago en la dotación y la cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento.

Mediante la construcción, el mejoramiento y la ampliación de infraestructura en localidades rurales, se aplicó el Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales (PROSSAPYS) para disminuir los porcentajes de escasez de agua en localidades de hasta 2,500 habitantes, con la participación comunitaria organizada. De acuerdo a los datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), México alcanzó desde el 2006 los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) en materia de acceso a servicios elementales como lo son el agua potable, el alcantarillado y el saneamiento. Sin embargo, es innegable que hoy en día se mantiene el rezago existente en nuestro país sobre todo en las comunidades marginadas.

Por esto, es importante reiterar que el mayor rezago en materia de suministro de agua y saneamiento se da en las comunidades rurales. Las razones que se exponen para explicar este retraso son de diversa índole: geográficas, puesto que se encuentran en zonas de difícil acceso; sociales, por las condiciones de irregularidad y precariedad en la que viven; económicas, pues no son incluidas en las redes centralizadas de agua entubada y sanea-

miento; técnicas y económicas, debido a las dificultades que se presentan en los organismos operadores para integrarlas a las redes de distribución.

Para salvar estos obstáculos y aspirar a lograr una cobertura plena de los servicios de agua potable y saneamiento de estas comunidades, se deben impulsar estrategias de aplicación de los programas sociales, en los que las comunidades participen en todas las etapas de los proyectos, y en las que además se privilegie la utilización de tecnologías alternativas o apropiadas, lo cual se ha venido aplicando y el éxito obtenido con este tipo de iniciativas, además del bajo costo y la facilidad en la operación, ha sido el involucramiento de las propias comunidades en el proceso de diseño, construcción, operación y mantenimiento de las tecnologías.

### 1.6.1. PROGRAMAS E INSTITUCIONES DE APOYO EN EL SECTOR HÍDRICO

En la actualidad existen diversos programas gubernamentales que tienen como objetivo dotar de agua potable, alcantarillado y saneamiento a las comunidades rurales. Entre los programas más destacados del sector gubernamental se tienen por parte de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) el Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (PROAGUA) y el Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecias en Zonas Rurales (PROCAPTAR); por parte de la Comisión para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) el Programa de Infraestructura Indígena (PII) antes Programa de Infraestructura Básica para la Atención de los Pueblos Indígenas (PIBAI); de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) el Programa Hábitat y de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) el Programa de Desarrollo de Zonas Prioritarias (PDZP).

Por otro lado también existen organizaciones de la sociedad civil que trabajan en comunidades rurales marginadas y que tienen entre sus objetivos contribuir al desarrollo comunitario desde un enfoque de sustentabilidad ambiental, por lo que aplican proyectos de eco-



tecnicas o tecnologías alternativas, tales como cosecha de lluvia, baños secos, humedales artificiales, etc.

## 1.6.2. FUNCIONAMIENTO DE LOS PROGRAMAS

La política del agua potable en México es una atribución que recae en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), instancia mediante la cual se instrumentan los programas para dotar de servicios de agua potable, drenaje y saneamiento a las localidades urbanas y rurales. Para atender a las localidades rurales existe el programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Apartado Rural (APARURAL).

Además de la existencia y orientación de este programa, como parte de la política social del gobierno mexicano existen otros programas que, aunque su objetivo principal es mejorar las condiciones de vida y de la vivienda de las poblaciones rurales, incluyen en sus acciones la construcción de servicios básicos, por ejemplo obras de agua potable, drenaje y saneamiento, entre otras.

Los programas antes mencionados se apoyan en la construcción de sistemas que no siempre son de tipo convencional (sistemas centralizados) y se incluyen ciertas tecnologías apropiadas, por separado o en conjunto, para crear sistemas tecnológicos más complejos.

Se le llama tecnología apropiada, alternativa o ecotecnia, a la que cumple generalmente con los siguientes requisitos:

- a) Requieren poca inversión.
- b) Utilizan materiales disponibles en las comunidades o poblaciones.
- c) Necesitan de un intenso trabajo de mano de obra.
- d) Son de escala reducida.

- e) Pueden ser asimiladas y mantenidas por el grupo social que las utiliza.
- f) Son flexibles y adaptables a modificaciones.
- g) Se usan sin dañar el ambiente.

Es recomendable que el esquema tecnológico de introducción de este tipo de sistemas en localidades rurales reconozca por lo menos tres elementos: la importancia de los conocimientos de los destinatarios, su participación activa y la sustentabilidad ambiental (IMTA, 2015b). Ciertamente las tecnologías alternativas pueden cumplir con estos requisitos, pero su uso, mantenimiento y funcionamiento, también dependen de las formas utilizadas y los enfoques metodológicos con los que son utilizados.

Se pueden reconocer por lo menos tres tipos generales de enfoques teóricos y metodológicos de introducción tecnológica en localidades rurales: el de transferencia tecnológica, el de apropiación y el de adopción social. Los dos primeros son generalmente manejados por instituciones públicas y organismos de desarrollo, por Organizaciones de la Sociedad Civil y por fundaciones nacionales e internacionales que apoyan la introducción de estos sistemas, sobre todo para subsanar las necesidades de agua y saneamiento.

### **Programa para el Desarrollo de Zonas Prioritarias (PDZP)**

Derivado de la Ley General de Desarrollo Social, y los criterios establecidos por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. En cada sexenio se determinan las zonas de atención prioritaria para la generación de programas de apoyo y desarrollo de obras de infraestructura básica para servicios en las viviendas. En el Diario Oficial de la Federación del 3 de diciembre de 2014, aparece el Decreto por el que se emite la Declaratoria de Zonas de Atención Prioritaria para el año 2015: se trata de 1 080 municipios rurales con índices de pobreza, marginación y rezago, coincidiendo con algunos de los señalados en el Sistema Nacional para la Cruzada contra el Hambre.

Las Zonas de Atención Prioritaria Rurales y aquellas localidades con altos índices de marginación son regiones donde la incidencia de rezagos en los servicios básicos y en la calidad y los espacios de vivienda, así como de insuficiencia en la infraestructura social básica es alta. Generalmente estas carencias son consecuencia de dos factores: las condiciones de aislamiento y la dispersión geográfica de las localidades. Estos dos factores delimitan y agravan la problemática de las localidades en cuanto a la falta de servicios básicos como el acceso al agua, a la electricidad, al drenaje, o la falta de infraestructura social comunitaria: escuelas, espacios para la salud, deporte o cultura (Figura 1.10).

De manera conjunta con el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, el PDZP apoya la creación de un entorno adecuado para el desarrollo de la vida digna de los pobladores que habitan en municipios y localidades con rezago social, brindando servicios básicos e infraestructura social para superarlos.

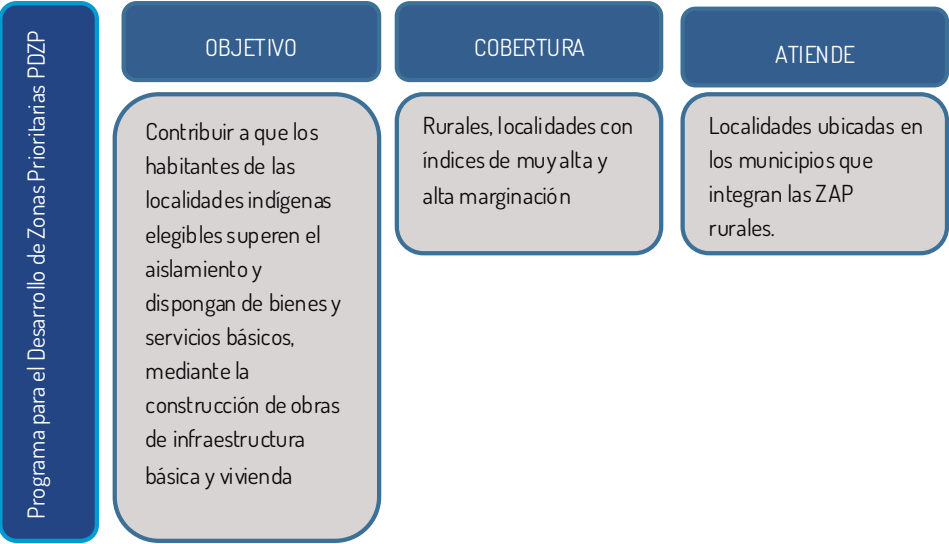
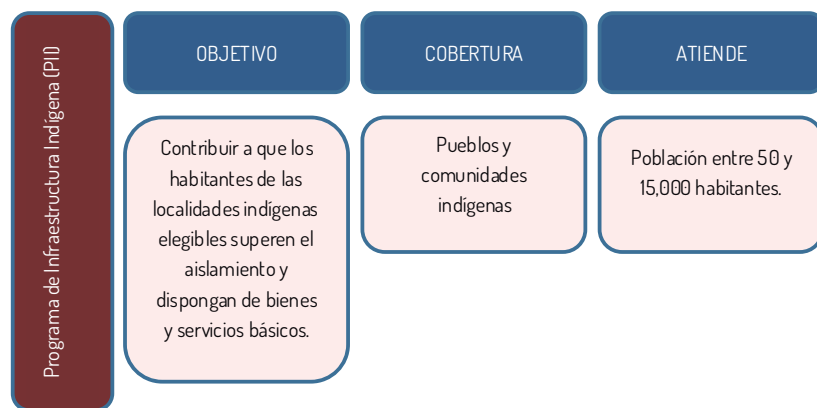


Figura 1.10.  
Programa  
PDZP (SEDESOL,  
2015)

## Programa de Infraestructura Indígena (PII)

Este Programa establece los objetivos, estrategias, líneas de acción, indicadores y metas para abatir las carencias y rezagos que afectan a los pueblos y comunidades indígenas, e integrar una sociedad con equidad, cohesión social e igualdad de oportunidades para hacer realidad un país donde se asegure el ejercicio efectivo de los derechos sociales de todas y todos los mexicanos (Figura 1.11).

Es por ello que la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) por medio del Programa de Infraestructura Indígena, promueve y ejecuta acciones para contribuir al abatimiento del rezago en materia de infraestructura básica de la población indígena como comunicación terrestre, electrificación, agua potable, drenaje y saneamiento, vivienda, quehacer en el cual participan dependencias federales y otros órdenes de gobierno. Con la operación del Programa se procura que la población indígena de las localidades en donde se realizan las obras y acciones, supere el aislamiento y disponga de bienes y servicios básicos.



**Figura 1.11.**  
**Programa**  
**PII (CDI, 2017)**



**Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (PROAGUA)**

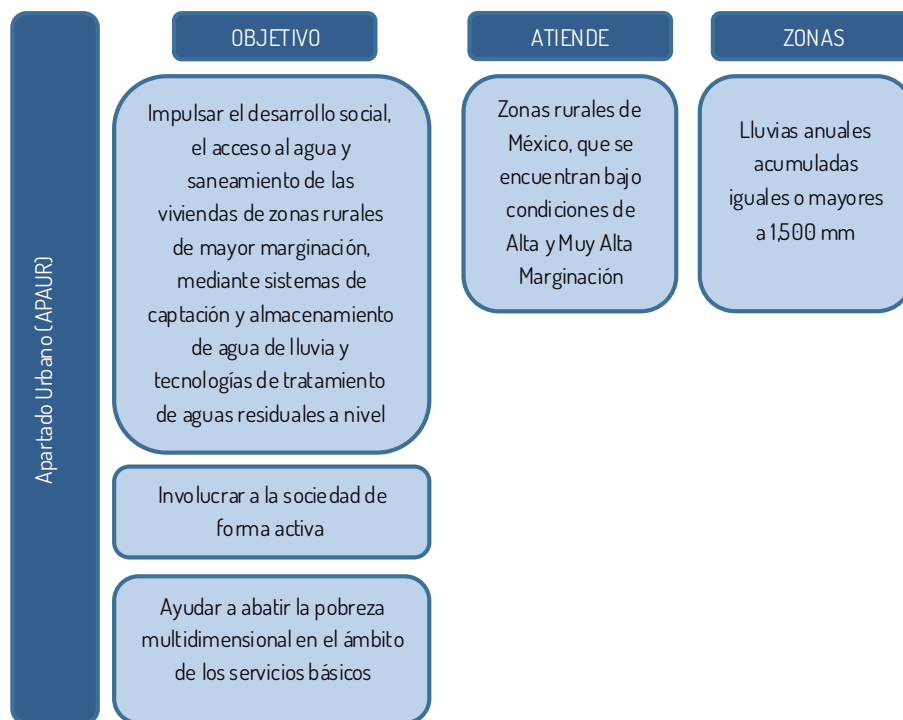
Tiene como propósito apoyar el fortalecimiento e incremento de la cobertura de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento que prestan los organismos operadores de los municipios, en las diferentes entidades federativas (Figura 1.12).



**Figura 1.12.**  
**PROAGUA**  
**(CONAGUA,**  
**2013)**

## Programa Nacional para la Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (PROCAPTAR)

El programa PROCAPTAR surge de la necesidad de dotar de agua a la población rural de México, en localidades donde existen dificultades de índole técnica y económica para ser abastecidas mediante formas convencionales (por ejemplo sistemas de bombeo, redes de distribución, etc.), comúnmente utilizadas en las zonas urbanas. El programa permite abastecer de agua a la gente que hoy no cuenta con el servicio y que se tiene que trasladar grandes distancias para poder acceder al vital líquido (Figura 1.13).



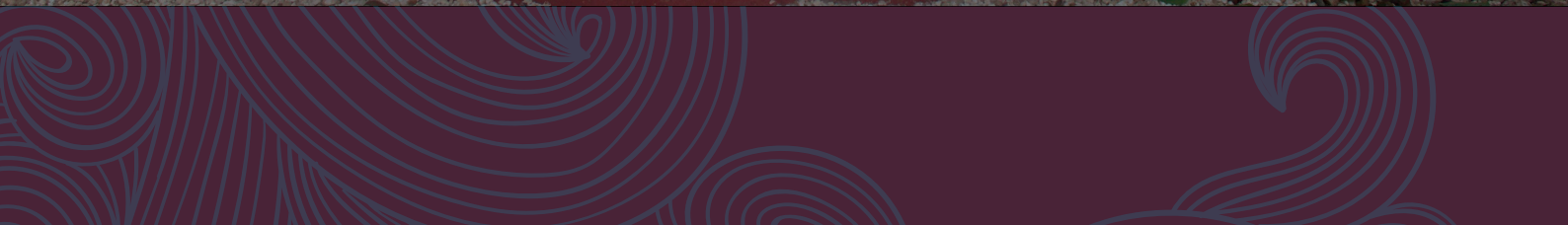
**Figura 1.13.**  
**PROCAPTAR**  
(CONAGUA,  
2017)

Además de los programas gubernamentales antes mencionados existen ONG (Organismos No Gubernamentales) que tienen apoyos y metodologías específicas para comunidades rurales y marginadas.



*La política del agua potable en México es una atribución que recae en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)*







# TECNOLOGÍAS APROPIADAS

## 2

### 2.1. DEFINICIÓN

La escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático (PNUD, 2017). Según datos de la OMS al 2015, el 91% de la población mundial tienen acceso a fuentes de agua potable y 68% a instalaciones de saneamiento mejoradas. Sin embargo, existe una disparidad entre las zonas urbanas y rurales, ya que el 96% de la población mundial urbana utiliza fuentes de agua potable mejoradas, frente al 84% de la población rural; además a que ocho de cada diez personas, aún sin acceso a fuentes de agua potable mejoradas viven en zonas rurales.

Con respecto al saneamiento, también existe disparidad entre zonas urbanas y rurales, ya que el 82% de la población urbana tiene acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas, frente 51% de las poblaciones rurales; además, siete de cada 10 personas no cuenta con instalaciones de saneamiento mejoradas y 9 de cada 10 personas que todavía practican la defecación al aire libre, viven en zonas rurales (OMS, 2015).

En los últimos años, una de las alternativas para atender esta problemática y, dar cumplimiento al artículo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible” y además alcanzar el objetivo 6 de Desarrollo Sostenible, “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”, es el uso de Tecnologías Apropiadas (TA), también llamadas tecnologías alternativas, intermedias, rurales, ecotecnologías o ecotecnias (Aguilar, 1994; FGRA, 2018, SMA, 2018; Secretaría Pro Tempore, 1999; Ortiz et al., 2014),

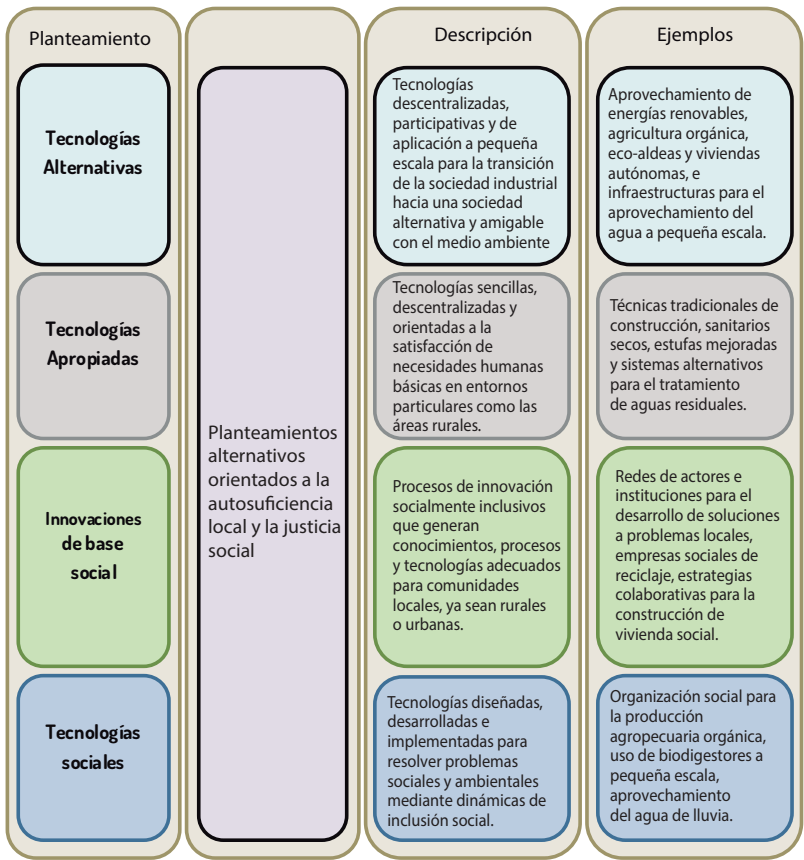
Alvarado (1980) define a una TA como aquella “tecnología que promueve los nuevos objetivos del desarrollo: Incluye, entonces, la tecnología que eleva la productividad y el ingreso del pobre en las zonas rurales y urbanas, que genera empleo productivo, hace uso de los

**40%** de la  
población mundial  
sufrir de escasez de  
agua



recursos locales, y produce los bienes y servicios necesarios para suplir las necesidades; Caso (1994) las define como el “conjunto de procedimientos que se sirve de una ciencia para conseguir un objetivo. Es la aplicación de conceptos ecológicos mediante una técnica determinada para lograr una mayor concordancia con la naturaleza”; Ortiz et al. (2014) “dispositivos, métodos y procesos que propician una relación armónica con el ambiente y buscan brindar beneficios sociales y económicos tangibles a sus usuarios, con referencia a un contexto socioecológico específico” y la FGRA (2018) “innovaciones tecnológicas diseñadas para preservar y restablecer el equilibrio entre el medio ambiente y la actividad humana”.

En la Figura 2.1, se presentan los conceptos relacionados con las TA.



**Figura 2.1.**  
Conceptos relacionados con las TA.  
Fuente: Elaboración propia con datos de Cervantes et al. (2009), Giannetti et al. (2004), Rose (2003), Schumacher (1973), Smith (2005), Smith et al. (2014) y Thomas (2009).



## 2.2. CARACTERÍSTICAS

Las TA además de tener un papel muy importante al atender las necesidades humanas básicas (saneamiento, obtención de agua potable, producción y cocción de alimentos, etc.) en las áreas rurales, brindan una extensa gama de beneficios ambientales locales (recuperar suelos, reducir la contaminación de los cuerpos de agua locales) y globales (reducir emisiones de Gases de Efecto Invernadero a la atmósfera), beneficios a la salud (reducir la contaminación por humo al remplazar fogones por estufas eficientes o eliminar la presencia de patógenos con la instalación de sanitarios ecológicos), beneficios económicos (brindar oportunidades locales para darle valor agregado a los productos, ahorrar dinero al hacer un uso más eficiente del agua o energía) (Ortiz et al., 2014).





Las principales características de las TA son que tienen que ser asequibles, minimizar el impacto ambiental, involucrar a la población local satisfaciendo sus necesidades básicas, ser sencillas en su operación y mantenimiento, y usar materiales y recursos locales a fin de reducir costos y mejorar el mercado local. Aunado a lo anterior, en la aplicación de una TA se deben respetar tradiciones y valores, e incluir condiciones de género, desarrollar las habilidades de la población local, y reducir la dependencia económica, social y política entre los individuos y sus regiones.

Criterios fundamentales que considera una ecotecnología:

- Que las innovaciones se realicen bajo una perspectiva orientada al usuario de la tecnología y su contexto ambiental, socio-económico y cultural.
- El diseño de las ecotecnologías debe estar enfocado a la solución de problemas locales.
- Ser amigables con el ambiente, promoviendo el uso eficiente de recursos, el reciclado y el re-uso de los productos.
- Involucrar a los usuarios mediante estrategias participativas de desarrollo tecnológico.
- Tomar en cuenta las características sociales productivas y económicas de las comunidades destinatarias.
- Promover la adopción de la tecnología y su impacto en la cotidianidad de los usuarios.
- Involucrar la participación conjunta de distintos sectores como la academia y el gobierno.
- Vincular tanto conocimientos científicos como saberes y conocimientos locales.

La aplicación de TA es imposible si no se sigue un proceso participativo. La participación tiene como objetivo general la expresión de necesidades sentidas, defender intereses comunes e influir en medidas y acciones que afectan la realidad de los sujetos. La participación misma requiere de un proceso de (auto) capacitación para convertirse en una actividad organizada. De tal forma que, si pretendemos contar con una apropiación exitosa de las tecnologías, es necesaria la participación de los habitantes. La participación cobra relevancia cuando se trata de influir o tomar decisiones sobre procesos o estructuras sociales; ya que las decisiones que afectan sólo una situación personal, se pueden tomar sin ninguna participación (Bárcenas, 2010).

En cuanto a la apropiación de las tecnologías, es importante recalcar que para lograr el éxito en su uso y mantenimiento, intervienen los factores técnicos, sociales, económicos y culturales, por lo que se tiene que analizar cada uno de estos aspectos para obtener un resultado completamente satisfactorio. Se debe tener como objetivo principal elegir la TA óptima que permita el aprovechamiento de manera eficiente y sustentable de los recursos.

Es importante aclarar que, aunque se pretenda que las aplicaciones de las tecnologías sean sencillas y entendibles para los usuarios, esto no significa que las TA sean dispositivos de “baja tecnología” o aplicaciones que no requieren de investigación científica. De acuerdo con Massuh (2009) toda tecnología, ya sea antigua o moderna, puede o no ser apropiada al medio para el cual se desarrolló, en la medida en la que aporte (o no) mejoras a la realidad, surgiendo desde y para esa realidad. Tanto la tecnología de punta como las tecnologías intermedias o simples, pueden contribuir a mejorar la calidad de vida de la población en condiciones de pobreza, siempre y cuando adecuen su contexto. Tomando esto en consideración, encontramos TA, que fueron generadas considerando su aplicación en un contexto específico, así como también tecnologías que no se desarrollaron considerando una situación específica para su aplicación, pero que pueden ser apropiables mediante mecanismos efectivos de difusión y apropiación social (Ortiz et al., 2014).

### 2.2.1. LIMITACIONES

Las TA ofrecen considerables posibilidades y ventajas que se deben de aprovechar, no por ello se deben ignorar las limitaciones que pueden presentar. A continuación se presentan algunas de estas limitaciones:

- La dificultad para conseguir el apoyo a los proyectos de TA por parte de instituciones u organizaciones, ya que sólo se justifican si se consiguen resultados muy por encima de otras propuestas o proyectos que demandan menos recursos.
- La desconfianza por parte de las comunidades rurales, quienes no aceptan fácilmente las propuestas de las tecnologías apropiadas, y cuestionan la calidad o la magnitud de las tecnologías.
- La participación de personas de la tercera edad y mujeres solas en tecnologías que involucran auto construcción.
- El descuido de los usuarios a las instalaciones, que al no darle el mantenimiento apropiado y al uso inadecuado de la tecnología, ocasiona que las instalaciones vayan perdiendo su nivel de eficiencia, dejando ver a la postre resultados insatisfactorios.
- No existe todavía una estrategia nacional para la atención de zonas rurales marginadas con TA.
- No existe una estructura local permanente para la gestión y seguimiento de los servicios de agua y saneamiento con TA.

### 2.3. CLASIFICACIÓN

Existe una gran diversidad de TA en materia de agua que actualmente se utilizan alrededor del mundo y también hay diferentes clasificaciones de acuerdo a las organizaciones que las desarrollan y transfieren.

En términos operativos, para cada necesidad (o eje fundamental) se puede definir una serie de tareas o usos específicos. Ortiz et al., (2014) muestra la relación de las distintas ecotecnias para cada necesidad o eje y tarea específica. En este análisis incluyó un total de 15 tareas y más de 20 ecotecnias, que varían en número de acuerdo con la necesidad que cubren (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Clasificación de las TA (Fuente: Ortiz et al., 2014).

Ejes de necesidades	Tareas específicas	Alternativa tecnológica (ecotecnia)
Energía	Cocción de alimentos	Estufas de leña mejoradas
		Cocinas solares
	Conservación de alimentos	Deshidratadores solares
	Generación de electricidad	Aerogeneradores
		Paneles fotovoltaicos
		Plantas hidroelécticas a pequeña escala
Agua	Iluminación	Lamparas eficientes
	Calentamiento de agua	Calentadores solares de agua
	Abastecimiento y purificación de agua	Sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia
		Purificación de agua
Manejo de residuos	Saneamiento con arrastre hidráulico	Biofiltros
		Humedales artificiales
		Sistemas sépticos
	Saneamiento seco	Sanitarios ecológicos secos
		Migitorios secos
Alimentación	Manejo de residuos pecuarios	Biodigestores
	Producción de alimentos a pequeña escala	Huertos familiares
	Control de plagas	Control biológico
	Fertilización	Biofertilizantes
Vivienda	Diseño y construcción de la vivienda	Principios de diseño
		Materiales de construcción
	Implementación de ecotecnias en la vivienda	Varias de las anteriores



La facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de Buenos Aires (2016), incluye las ecotecnias, basándose en la dimensión ambiental, tratando de realizar un diseño y aplicar una técnica adecuada a la vivienda, clasificando a las ecotecnias según sus tópicos de la arquitectura sustentable (Figura 2.2).

## ENERGÍA

ELEMENTOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

- 1 CALENTADOR SOLAR PARA CALENTAMIENTO
  - PANEL FOTOVOLTAICO
  - ESTUFAS AHORRADORAS
  - COCINA SOLAR
  - LUMINARIAS SOLARES
  - SONDAS PARA ENERGÍA GEOTÉRMICA
  - BOMBAS DE RESCATE



## ENERGIABIO

ELEMENTOS PARA APROVECHAMIENTO DE SISTEMAS BIOCLIMÁTICOS

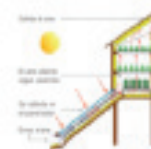
- 4
  - EFFECTO VENTURI
  - MURO ACUMULADOR
  - MURO TROMBE
  - INVERNADEROS
  - FRESQUERAS



## AGUA

ELEMENTOS PARA LA CAPTACIÓN, FILTRADO, ALMACENAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS

- 2 FILTRO DE AGUA PLUVIAL
- 5 FILTRO DE AGUA GRIS
- 2 FILTRO DE AGUA NEGRA
- 2 TANQUE DE PRIMERAS AGUAS
- CAPTACIÓN DE NIEBLA
- BANO SECO
- 5 ESTANQUES
- PISCINAS NATURALES
- BIODIGESTORES



## VEGETACIÓN

ELEMENTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y LA UTILIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN

- 4
  - DESHIDRATADORES
  - COMPOSTERA
  - HUERTA
  - BIOFERTILIZANTE Y CONTROL DE PLAGAS
  - BIOLOGICO
  - MUROS Y CUBIERTAS VERDES
  - HIDROPONIA



## CONSTRUCCIÓN

ELEMENTOS DE LA CONSTRUCCION NATURAL

- ADOBE
- MATERIALES SIN COMPONENTES VOLÁTILES
- PINTURAS CON COMPONENTES ORGÁNICOS
- MATERIALES PROVENIENTES DEL RECICLADO

Figura 2.2. Clasificación de las TA (Fuente: Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de Buenos Aires 2016).

La Secretaría Pro Tempore (1999) en su trabajo tecnologías apropiadas de construcción, saneamiento básico y energías alternativas, tomó como referencia la intervención de tecnologías apropiadas en dos niveles:

- El nivel vivienda, que abarca las tecnologías de uso hogareño: es el más sencillo y directo, tiende a ganarse la confianza no solo del jefe de familia, sino muy especialmente de la mujer, quien en forma práctica y directa aprobará o abandonará cualquier innovación tecnológica en el hogar.
- En el nivel comunitario, se dirige a acciones colectivas y ambientales, donde es importante la visión integral de toda la comunidad.

En las cuales se pueden instalar ecotecnologías como estufa ahorradora de leña, estufa Lorenza, letrina seca familiar, alcantarillado de flujo lento decantado, molino de viento tropical Gaviotas doble efecto, hervidor solar compacto Gaviota, bomba manual de camisa Gaviotas, barreno manual para reforzar pozos, embudo colector de agua de lluvias, depósito de agua revestido con plástico, filtro rustico de agua para lluvias, entre otras.

En 2016, en un esfuerzo conjunto IMTA-FGRA se desarrolló la plataforma CodexAqua, un sistema de búsqueda y consulta que proporciona información sobre tecnologías apropiadas en materia de agua y sobre las organizaciones que las desarrollan, transfieren o venden, en la cual se presenta una clasificación en base a la necesidad que suple la tecnología. En la Figura 2.3 se presenta de manera general la clasificación.

En los últimos años, el IMTA aborda las TA desde un enfoque de escala vivienda y comunitario, buscando en todo momento un manejo integral del agua (Figura 2.4). Para fines de este libro, en los puntos siguientes de este capítulo se abordaran las TA que satisfacen las necesidades de agua y saneamiento.



Figura 2.3. Clasificación de TA FGRA-IMTA (Fuente: CodexAqua, 2018)



Figura 2.4. Clasificación de TA IMTA.

## 2.4. ACTORES QUE HAN TRABAJADO EN MATERIA DE TECNOLOGÍAS APROPIADAS EN MÉXICO

Entre los actores involucrados en proyectos ecotecnológicos durante las últimas décadas, destacan instituciones académicas privadas y públicas, organizaciones de la sociedad civil, emprendedores sociales, instituciones gubernamentales de los tres órdenes de gobierno y consultores independientes. Se han identificado organizaciones consolidadas en el tema ecotecnológico en al menos 24 estados de la república.

A inicios de la década de los ochenta, estuvo en operación el Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO), un instituto interdisciplinario enfocado en promover el aprovechamiento racional de los recursos naturales, que tuvo como una de sus líneas principales de trabajo, el desarrollo de tecnologías apropiadas. De acuerdo con Careaga (2004), el enfoque de este instituto se anticipó casi una década al concepto de sustentabilidad, mediante la propuesta de un modelo de desarrollo alternativo, adecuado al contexto histórico cultural y ecológico local, y orientado a la satisfacción de necesidades básicas mediante el aprovechamiento racional de los recursos naturales.

En 1996 se crea el Departamento de Ecología y Recursos Naturales (DERN) del Instituto de Ecología en el campus de la Universidad Nacional Autónoma de México en Morelia; para el 2003, el DERN se convierte en Centro de Investigaciones de Ecosistemas (CIEco). En el 2015 el CIEco se transforma en lo que conocemos hoy en día como Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES). Con ello se crea la Unidad de Ecotecnologías, que busca promover el uso sustentable de los recursos naturales mediante el desarrollo, evaluación y difusión de tecnologías adaptadas al contexto ambiental, social y económico de las distintas regiones de México. La Unidad de Ecotecnologías cuenta con cinco líneas de



investigación prioritarias: energía, agua, vivienda, sistemas alimentarios y sistemas transversales. Con ellas, la Unidad busca promover el uso sustentable de los recursos naturales. La investigación en estas áreas corre bajo la responsabilidad de investigadores del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad.

En 1986, para enfrentar los retos nacionales y regionales asociados con el manejo del agua y perfilar nuevos enfoques en materia de investigación y desarrollo tecnológicos orientados a la protección del recurso y asignarlo de manera eficiente y equitativa entre los distintos usuarios, se creó el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), que es un organismo público descentralizado y entre sus atribuciones promueve conjuntamente con los sectores público y privado, la conformación de asociaciones estratégicas, alianzas tecnológicas, consorcios, unidades de vinculación y transferencia de conocimiento, nuevas empresas privadas de base tecnológica y redes regionales de innovación, en las cuales se procura la incorporación de desarrollos tecnológicos e innovaciones creadas en dichos centros, así como de los investigadores formados en ellos.

### 2.4.1. INTERVENCIÓN DEL IMTA

A través de los años y desde varios enfoques, el IMTA ha venido trabajado en el tema de TA, marcando sus inicios en 1991 con la transferencia tecnológica de riego intermitente, cuyo dispositivo contaba con control automático económico y de operación sencilla, para que pudiese ser usado en los sistemas de riego. A partir de entonces se han venido desarrollando y adaptando TA para obtener un manejo integral del agua (Figura 2.5).

En el año 2003, en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, el IMTA continuó de manera intensiva la transferencia de TA con sistemas de captación de agua de lluvia, sanitarios y lavaderos ecológicos, huertos familiares y cajas de desinfección solar, a raíz de lo cual, en el año 2005 se crea la Subcoordinación de Tecnología Apropriada e Industrial (actualmente solo Sub-

coordinación de Tecnología Apropiada) que forma parte de la Coordinación de Hidráulica, y que tienen entre sus funciones desarrollar, adaptar, transferir y promover el uso de TA para cubrir las necesidades básicas en agua y saneamiento en el medio rural e indígena.

Conscientes de la gran necesidad de transferir y garantizar la apropiación de las TA y tomando como retroalimentación las lecciones aprendidas en los diferentes proyectos, el IMTA estableció una metodología en el “Manual de transferencia de paquetes integrales de tecnologías apropiadas en materia de agua en zonas marginadas”, que indica los pasos que se necesitan para iniciar el proceso de planificación, reunir a un equipo, decidir entre distintas opciones,



**Figura 2.5.**  
**Manejo**  
**integral del**  
**agua a nivel**  
**vivienda.**

formular estrategias, realizar la transferencia y dar el seguimiento. Este manual plantea la necesidad del acompañamiento al beneficiario durante todo el proceso de transferencia.

Además, el IMTA cuenta con manuales didácticos de diseño, operación y mantenimiento de TA, los cuales permiten transmitir de manera fácil los métodos utilizados y lo que debe hacerse posteriormente a su instalación, con el fin de generar conocimiento en los beneficiarios y fomentar su uso en sus familias.

Desde 2003 a la fecha, la STA ha trabajado en la transferencia de tecnologías apropiadas a escala vivienda y comunitario en ocho estados de la república mexicana (Figura 2.6). En total se han transferido 11 566 TA, de las cuales 11 213 son a nivel vivienda y 353 a nivel comunitario (Tabla 2.2)



**Figura 2.6.**  
Regiones con  
transferencia  
de TA.

De las TA instaladas a nivel vivienda, 1 851 son cisternas de almacenamiento de agua de lluvia que van de 5 a 50 m<sup>3</sup>, 2 845 son tecnologías para el saneamiento de agua y el restante son tecnologías en materia de desinfección y producción de alimentos.

Tabla 2.2. Tecnologías apropiadas transferidas a julio del 2018.

Región	Tecnologías instaladas		Total de tecnologías instaladas
	A nivel vivienda	A nivel comunitario	
Cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán y Cherán Michoacán	4,680	162	4,842
Choguila, Bocoyna Chihuahua		8	8
Zinacantán, Chiapas	80		80
Guadalupe, Zacatecas	80		80
Zacatecas, Zacatecas		7	7
Cuenca del río Apatlaco y Altos de Morelos	3,521	92	3,613
Cacahuatpec Guerrero	224	4	228
Villa de Allende, Estado de México	80	5	85
La Huasteca, San Luis Potosí	534		534
Península de Yucatán *Supervisión	2,014	75	2,089
TOTAL:	11,213	353	11,566

A continuación se describirán las TA que ha transferido el IMTA referente al agua, saneamiento y reúso (Figura 2.7).



## 2.4.2. AGUA

### 2.4.2.1. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

La captación de agua de lluvia es un medio por el cual se puede obtener agua para uso y consumo humano de buena calidad a bajo costo. En lugares del mundo con precipitación alta o media y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo, se recurre al agua de lluvia como una fuente de abastecimiento, que es aceptada como una fuente mejorada de agua (OMS, 2012).

Los componentes que se deben considerar para el aprovechamiento de agua de lluvia a escala familiar y comunitaria son: el área de captación, el diseño del interceptor, la infraestructura de almacenamiento y el tratamiento requerido. En cada uno de estos interviene la instalación de TA.

#### *Área de captación*

Se considera área de captación, cualquier superficie que tenga el tamaño y la pendiente requerida para la captación de agua pluvial. Esta superficie debe ser de tamaño suficiente para satisfacer la demanda y tener una pendiente suficiente para facilitar el escurrimiento pluvial al sistema de conducción y de ahí pasar al interceptor, que son los elementos que forman parte del sistema. Sin embargo, estas superficies deben de ser impermeabilizadas o tratadas para obtener una conducción eficiente y de calidad hacia el sistema de almacenamiento. Las superficies a considerar son los techos de las casas habitación, escuelas, bodegas, invernaderos y laderas (Figura 2.7).

Recolección y conducción: Conducción se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas que conducen el agua de lluvia del área de captación al sis-

tema de almacenamiento. El material de las canaletas debe ser liviano, resistente y de fácil unión de las piezas entre sí; pueden ser PVC o lámina galvanizada.

### *Interceptor*

Es el dispositivo destinado exclusivamente para las primeras lluvias de la temporada. Permite retirar la basura, hojas y polvo del agua captada. Una vez realizada su función el interceptor desvía o conduce el agua limpia a un sistema de almacenamiento (Figura 2.8).

A nivel comunitario se utiliza un sedimentador, el cual permite la separación de los elementos antes mencionados del agua.



**Figura 2.7.**  
Captación  
de agua de  
lluvia.



**Figura 2.8.**  
**Interceptor**  
(derecha: a  
nivel vivienda  
cuando se  
utiliza cisterna,  
izquierda: a nivel  
comunitario  
cuando se  
usa olla de  
captación).

### *Almacenamiento*

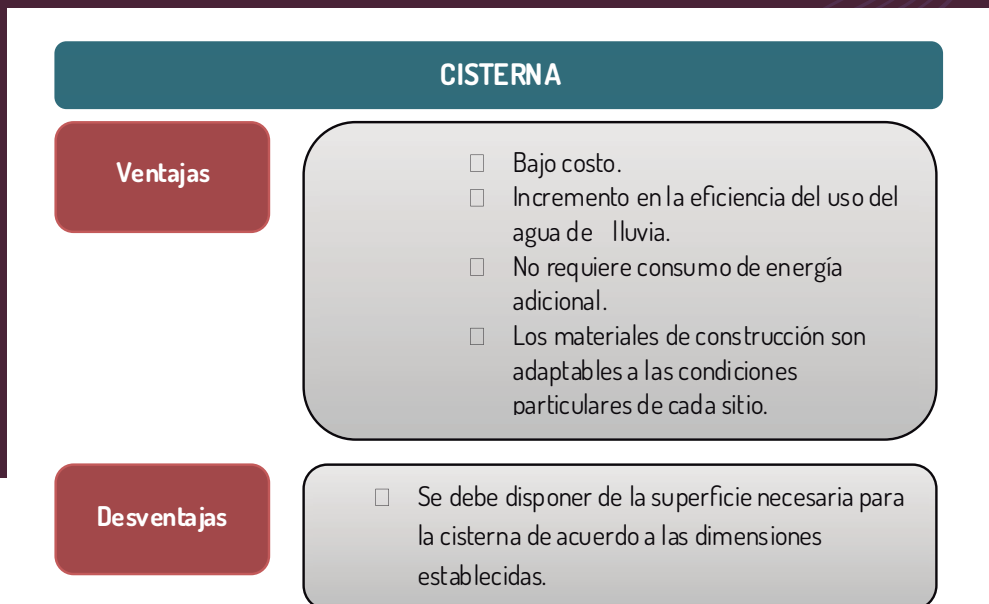
Son dispositivos de acumulación de lluvia, que conservan la calidad del agua captada y protegen el agua de la intemperie ante contaminantes externos, usualmente son cisternas u ollas de almacenamiento.

### *Cisternas*

Son reservorios cerrados de agua, contruidos con diferentes tipos de material y de formas diversas. El agua almacenada puede ser usada para cualquier fin, siempre y cuando se utilicen los filtros apropiados para cada uso.

El IMTA, en los últimos años ha realizado la transferencia de cisternas tipo capuchinas, que consisten en estructura cilíndrica de tabique rojo recocido, colocado de forma de canto, reforzada con malla electrosoldada y dependiendo de su volumen, puede o no contar con contrafuertes exteriores (Figura 2.10).

**Figura 2.9.**  
Ventajas y  
desventajas  
una cisterna.



**Figura 2.10.**  
Cisterna tipo  
capuchina.





### Consideraciones de diseño

Para el diseño se consideran factores importantes como: nivel de precipitación pluvial (cantidad, frecuencia y distribución), área de captación, demanda o volumen de agua requerida (consumo de agua de la familia en cada una de las actividades en la vivienda; para consumo y preparación de alimentos, higiene personal y aseo de la casa, lavado de ropa, riego de huerto y jardín, etc.), capacidad de almacenamiento, costo de materiales; es por ello que la STA tiene diseñadas 5 diferentes cisternas para distintos volúmenes de almacenamiento que van de 11 hasta 50 m<sup>3</sup> para poder ser utilizadas a nivel vivienda (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Capacidades de las cisternas.

CISTERNAS				
CAPACIDAD m <sup>3</sup>	DIMENSIONES (m)			COLADERA CON TRAMPA
	Altura	Radio	Diámetro	
50	3.00	2.70	5.40	4" de diámetro
35	3.00	2.25	4.50	4" de diámetro
20	3.00	1.90	3.80	2" de diámetro
11	3.00	1.48	2.96	2" de diámetro

Para la instalación de las cisternas, se recomienda un espacio de terreno firme, sin presencia de arcilla que se agrieta al secarse, ni rocas de gran tamaño. Es importante que el terreno sea plano, de lo contrario, se debe nivelar previamente mediante excavación. No es recomendable construir cisternas en áreas de relleno.

El lugar de instalación debe encontrarse lo más cerca posible a la estructura de captación (techo, patio impermeable u otra), con el objetivo principal de reducir los costos de los elementos para la conducción.

## *Operación y mantenimiento*

Algunas de las recomendaciones para alargar la vida útil de las cisternas y mantenerlas en buenas condiciones son:

- Evitar vaciar completamente la cisterna, dejando por lo menos 10 cm de agua para prevenir la formación de grietas.
- En caso de que se presenten grietas, humedecer el área y aplicar mínimo una capa de mezcla de cemento-agua (lechada).
- Mantener la cisterna tapada para evitar la entrada de basura, polvo y el crecimiento de algas en el agua.
- Mantener limpia de basura y maleza la base exterior de la cisterna.
- Cuidar que la llave de salida quede protegida del paso de animales o personas, para que no sufran ningún daño.
- Pintar, de preferencia, el exterior de la cisterna

## *Ollas de almacenamiento*

A lo largo de los años, han sido diversos los usos para los que se han instalados ollas de almacenamiento, usualmente han sido aprovechadas para fines agrícolas o producción de hortalizas y plantas. Sin embargo, en los últimos años se han utilizado para uso y consumo humano, siempre y cuando se guarden las condiciones de calidad del agua captada y se utilicen los filtros necesarios para el tratamiento de ésta (Figura 2.11). En la Figura 2.12 se presentan las principales ventajas de desventajas de las ollas de almacenamiento.

Los componentes que integran una olla de almacenamiento son:



**Figura 2.11.**  
Olla de  
almacenamiento  
de agua de lluvia  
para agua de uso  
doméstico.

### OLLA DE ALMACENAMIENTO

#### Ventajas

- ☐ Bajo costo.
- ☐ Incremento en la eficiencia del uso del agua de lluvia.
- ☐ No requiere consumo de energía adicional.
- ☐ Los materiales de construcción son adaptables a las condiciones particulares de cada sitio.
- ☐ No requiere conocimientos técnicos avanzados para el manejo y

#### Desventajas

- ☐ Se debe disponer de la superficie necesaria para formar el cuerpo de agua, así como la extensión necesaria para la colecta de agua de lluvia, por lo que no es opción adecuada para pequeñas propiedades.
- ☐ Requiere supervisión técnica especializada durante el diseño y construcción para garantizar el buen funcionamiento hidráulico del sistema.

**Figura 2.12.**  
Ventajas y  
desventajas  
de una olla de  
almacenamiento.

### Geomembrana del piso y taludes.

Recubrimiento que funciona como impermeabilizante entre el piso y las paredes de la olla, para evitar que el agua se filtre al suelo.

### Cubierta flotante.

Cubierta de geomembrana de PVC que protege la calidad del agua almacenada en la olla, que debe cumplir con los parámetros establecidos de la norma de agua para uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-1994). Al iniciar la temporada de lluvias la cubierta de geo-

*La captación de agua de lluvia es un medio por el cual se puede obtener agua para uso y consumo humano de buena calidad a bajo costo.*





membrana se encuentra en el fondo de la olla, conforme llueve e ingresa el agua hacia el interior de la olla, la cubierta flota sobre el agua y sube el nivel hasta llegar al borde de la excedencia.

#### Flotadores.

Estructuras cuadradas fabricadas de poliestireno y forradas con geomembrana (PVC). Su finalidad es disminuir el peso en la cubierta flotante para evitar estrés en la tapa y para formar canales que dirijan el agua a los cárcamos de bombeo.

#### Contrapesos.

Bolsas de geomembrana (PVC) con relleno de arena. Su función es formar los canales en la cubierta flotante para que el agua captada se drene hacia el cárcamo de bombeo de la olla de almacenamiento.

#### Cárcamo de bombeo.

Estructura que permite interceptar y contener el agua captada en la cubierta flotante. En el cárcamo se localiza el equipo de bombeo para succionar el agua del exterior al interior de la olla de almacenamiento.

#### *Consideraciones y criterios de diseño.*

Las consideraciones y criterios para el diseño de una olla de almacenamiento se sujetarán a las condiciones del lugar donde se vaya a instalar, que dependerán de las dimensiones de la superficie disponible y de la precipitación que se presente en la zona.

Antes de diseñar una olla de almacenamiento, se deberá hacer un estudio hidrológico para determinar el volumen de precipitación que se presenta en la región, y se pueda estimar el volumen de agua esperado de acuerdo al área designada para captar el agua de lluvia.

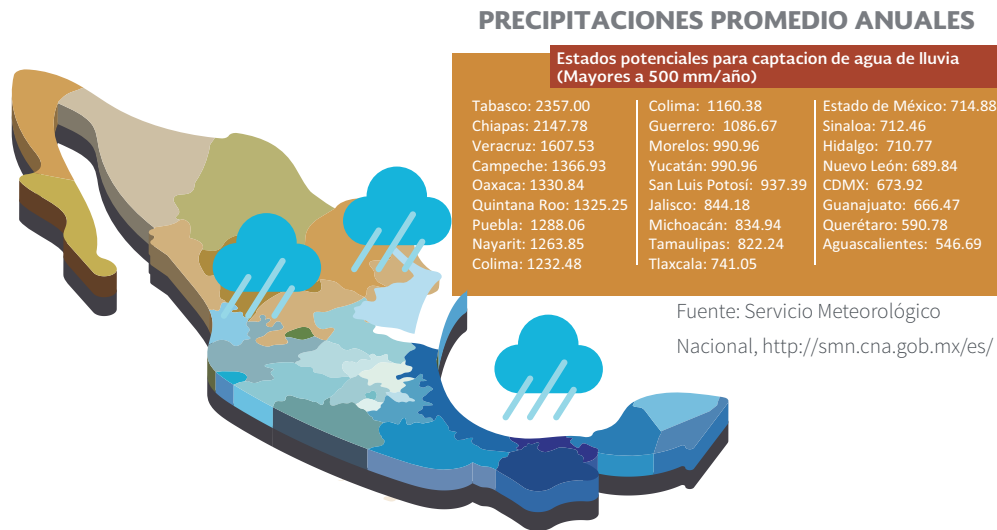
### **APROVECHAMIENTO POTENCIAL DE LA PRECIPITACIÓN EN MÉXICO**

El volumen de precipitación en un lugar determinado se mide en milímetros (mm) y se maneja anualmente con fines de estudio y análisis. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM; 2008), se considera que a partir de 500 mm de precipitación nominal al año, el nivel de precipitación es suficiente para generar un escurrimiento que permita captar un volumen de agua conveniente para el almacenamiento.

De igual manera, la OMM considera la precipitación normal como el promedio calculado de un periodo uniforme con al menos 30 años de registro de información. Para el periodo 1981-2010, la precipitación normal promedio del país fue de 740 mm anuales y para 2015 se estimó una precipitación de 872 mm anuales (CONAGUA, 2016).

El 68% de la precipitación normal ocurre entre los meses de junio y septiembre. La distribución espacial es bastante irregular debido a las condiciones climatológicas del país y el cambio climático. En general, la parte sur y centro del país presentan condiciones de precipitación mayores a 500 mm al año abarcando el 78% de los estados, es decir, 25 entidades federativas son potencialmente viables para la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia (Figura 2.13).

Sin embargo, esta característica no es suficiente, para realizar la implementación de un proyecto de SCALL es necesario realizar un estudio hidrológico sobre la zona de estudio, tomando en cuenta las estaciones meteorológicas cercanas y otras variables que inciden en la precipitación final aprovechable.



**Figura 2.13.**  
Ciudades  
potencialmente  
viables en  
cuanto a  
precipitación  
para la  
instalación de  
SCALL.

#### 2.4.2.2. SANEAMIENTO

##### LAVADERO ECOLÓGICO

El lavadero ecológico (Figura 2.14) es una TA que se utiliza para tratar el agua gris (agua proveniente del lavado de ropa, trastes, cocinado, lavado corporal y de manos) de las viviendas, mediante un tratamiento biológico en el cual los microorganismos degradan la materia orgánica en ausencia de oxígeno, en una cámara denominada “reactor”. En la Figura 2.15 se presentan las principales ventajas y desventajas de esta tecnología.

Esta TA esta conforma por los siguientes elementos:

- Trampa de grasas con canastilla para atrapar sólidos.
- Dos cámaras selladas para el tratamiento anaerobio rellenas de anillos de botellas de plástico (PET), que aumentan la superficie disponible para el desarrollo de bacterias.

- Dos cámaras de filtros de materiales graduados (Las cámaras están compuestas por cuatro materiales, distribuidas en capas de acuerdo a su diámetro. La primera capa de 20 cm. de espesor es de piedra bola, posteriormente una capa de 35 cm. compuesta de grava, otra capa de 10 cm. integrada de granzón y la última capa de 5 cm. de arena. Todas las capas deberán nivelarse correctamente).
- Un lavadero.

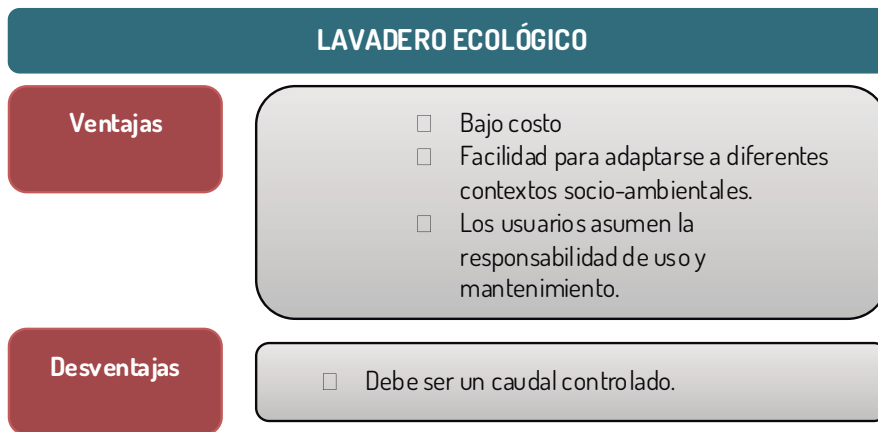
### *Consideraciones y criterios de diseño*

Es esencial determinar el sitio donde se instalará la tecnología, para precisar su diseño, puesto que las secciones que conforman el lavadero ecológico pueden configurarse de forma lineal, que es lo más común, o en “L”.



**Figura 2.14.**  
Lavadero  
ecológico.





**Figura 2.15.**  
Ventajas y  
desventajas  
del Lavadero  
ecológico.

Esta tecnología está diseñada para tratar un volumen máximo de agua residual, por lo que será necesario estimar el volumen de aguas residuales que procesará el lavadero, de acuerdo al número de habitantes en la vivienda.

Se debe considerar si en la región donde se aplicará esta tecnología, se cuenta con los materiales del diseño original que se requieren para el tratamiento del agua de acuerdo a su granulometría; en caso de no ser así, habrá que investigar cuales son los materiales con los que se cuenta y así poder remplazarlos.

### Operación y mantenimiento

Para la correcta operación y funcionamiento del sistema, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Una vez terminada la construcción del lavadero ecológico, es importante usarlo de manera regular. El abandono prolongado puede ocasionar que las bacterias presentes en las cámaras 2 y 3 empacadas con PET, mueran y se descompon-

gan, por lo que el sistema pierde eficiencia de tratamiento.

- No usar cloro, amoníaco, gasolina, thinner, pesticidas, etc.
- Limpiar la canastilla regularmente.
- Cambiar la junta (empaquet), si se maltrata al mover la tapa.
- Aplicar cemento en polvo con espátula hasta sellar, en caso de que se agriete o mine.
- Nunca poner tierra en ninguna de las cámaras, aunque se hayan sembrado plantas.
- El agua tratada podrá destinarse al riego de frutales, plantas de ornato, lavado de patios.

## **SANITARIO ECOLÓGICO SECO**

El sanitario seco es un sistema de tratamiento mediante compostaje de heces fecales humanas que no perjudica el medio ambiente y por el contrario, contribuye al mejoramiento de los suelos al producir abono orgánico que posteriormente se puede incorporar a los campos de cultivo, plantas de ornato o frutales. Este sanitario no requiere de agua ni conexión al drenaje, lo que lo hace un sistema viable y funcional, principalmente en lugares donde el agua es muy escasa. Las principales ventajas y desventajas de estos sistemas se presentan en la Figura 2.16.

El sanitario seco funciona mediante el uso de una taza separadora, el orín sale fuera de las cámaras por una manguera y se almacena en un recipiente para utilizarlo posteriormente como fertilizante o en su caso, enterrar la manguera haciendo un pozo de absorción en el suelo. El excremento cae dentro de la cámara donde se deshidrata con la ayuda de materia seca que se agrega después de cada uso para evitar la generación de malos olores. El sanitario funciona de forma alterna, mientras una cámara se encuentra en uso, la otra está en

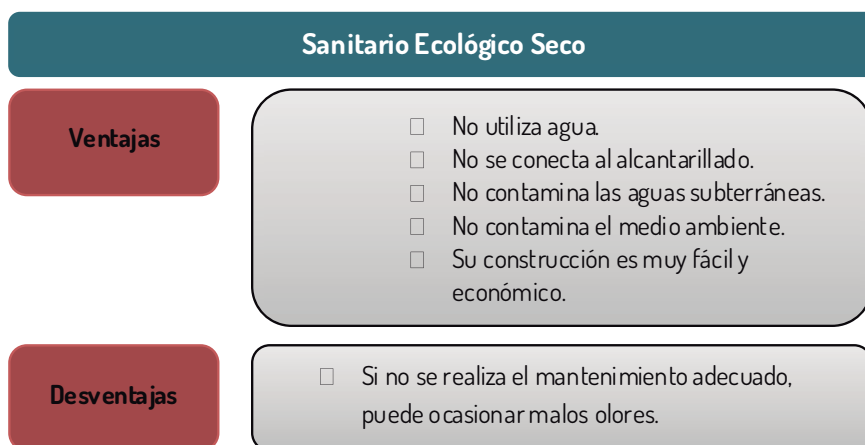
descomposición o vacía; una familia de seis integrantes puede llenar una de las cámaras en un lapso de 8 a 12 meses. Cuenta con un tubo ventilador que funciona como extractor de los gases que se generan en el interior de la cámara (Figura 2.17).

Las heces y la orina contienen nutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio, indispensables para el buen crecimiento de las plantas. Al usarlos como fertilizantes se aprovecha su valor nutritivo, principalmente el de la orina, que contiene la mayor cantidad de nutrimentos.

Las heces después de permanecer de 8 a 12 meses en las cámaras de secado, tienen apariencia de tierra y se puede incorporar en el compostaje, o usarla como pre-abono en los árboles que rodean los huertos o parcelas.

### Componentes

- Sistema de almacenamiento de doble cámara de 1.70 m x 1.30 m.
- Taza separadora y mingitorio de cerámica vitrificada.



**Figura 2.16.**  
Ventajas y  
desventajas  
baño ecológico  
seco.

- Mangueras de drenado para el orín.
- Caseta.
- Tubo ventilador para salida de gases.
- Ventila en la caseta para circulación de aire.

### *Consideraciones de instalación*

- Se deben considerar las condiciones topográficas del terreno, que podría ser muy conveniente si se cuenta con una pendiente, y así evitar la necesidad de incorporar una escalera, dejando las cámaras por la parte baja; no se recomienda ubicar el sanitario en una zona con pendiente pronunciada, puesto que tendría que nivelarse el terreno.



**Figura 2.17.**  
Baño ecológico  
seco.



- Se debe considerar el espacio disponible donde el sanitario seco debe construirse, dentro de lo posible, lo más cercano a la casa. De preferencia, la entrada al sanitario debe estar orientada de norte a sur para que la mayor parte de luz solar la reciba el tubo ventilador.
- No se debe construir el sanitario cerca de barrancas, arroyos, lugares donde se estanque el agua, ni cerca de los corrales de animales, ya que afectaría la estructura y no se tendrían los resultados esperados.

## Operación y mantenimiento

Para el correcto funcionamiento de sistema, a continuación se mencionan unas de las principales recomendaciones:

- Enseñar y acompañar a los niños para usar el sanitario.
- Cuidar que la materia fecal no caiga en el separador de orín.
- Cuidar que al vertir materia seca para cubrir las heces fecales, no caiga en el separador de orín.
- Si se llegaron a tapar las mangueras de drenado, se tendrá que destapar el pozo de absorción y limpiarlas. Después volver a colocar las mangueras.
- Si hay malos olores y hay moscas, puede deberse a tres cosas: no se cubren correctamente las heces fecales, no se derriba el cerrito cada 8 días o hay humedad dentro de las cámaras.
- Antes de usar por primera o segunda vez la cámara, es recomendable poner una capa de 5 cm de materia seca sobre el piso. Puede usar el mismo abono que se saque de la cámara.

## SANITARIO ECOLÓGICO HÚMEDO

El sanitario ecológico húmedo es una TA que funciona mediante un sistema biológico; se utiliza para tratar el agua contaminada con materia fecal y orina (agua negra), proveniente del sanitario. En la Figura 2.18 se presentan las principales ventajas y desventajas del uso de estos sanitarios.

El sanitario ecológico consta de dos estructuras de tabique reforzado con malla.

La primera estructura es un tanque séptico para la sedimentación de los sólidos; la segunda posee dos cámaras: una está formada por un filtro anaerobio y otra por un filtro de materiales graduados (humedal) (Figura 2.19). En caso de que la vivienda no cuente con sanitario, se puede construir una estructura para colocarlo y conectarlo al sistema.

Componente del sanitario ecológico húmedo:

- Componente 1. Caseta del sanitario construida de muro capuchino con tinaco para 450 litros de agua en la parte superior (opcional).

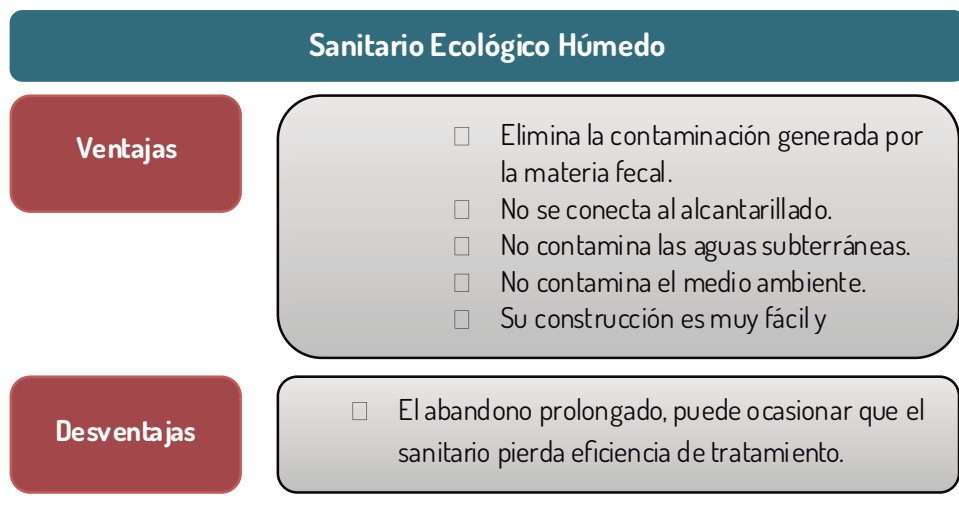


Figura 2.18.  
Ventajas y  
desventajas  
del baño eco-  
lógico  
húmedo.

- Componente 2: Tanque séptico, consta de una cámara sellada para el tratamiento anaerobio del agua negra.
- Componente 3: Cámara rellena de botellas de plástico (PET), para aumentar la superficie disponible y facilitar el desarrollo de bacterias anaerobias (filtro anaerobio).
- Componente 4: Cámara compuesta de materiales graduados

### Consideraciones y criterios de diseño

Se recomienda ubicar la instalación del sanitario ecológico cerca de la fuente de aguas negras, producto del sanitario.

Se considerará una pendiente en las cámaras, con un desnivel de 5 cm para garantizar que el agua no se estanque y fluya por todo el sistema.



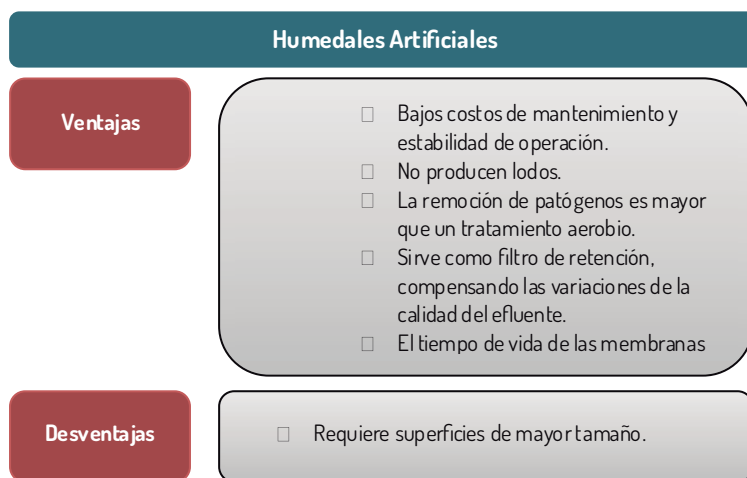
**Figura 2.19.**  
Tanque séptico y  
filtro anaerobio.

## Recomendaciones

- Una vez terminado el baño, es importante usarlo de manera regular. El abandono prolongado puede ocasionar que las bacterias presentes en la cámara de PET mueran y se descompongan, por lo que el sanitario ecológico pierde eficiencia de tratamiento.
- No usar cloro, amoníaco, gasolina, ether, thinner, pesticidas, etc.
- En caso de que se agriete o mine, aplicar cemento en polvo con espátula, hasta sellar.
- Nunca poner tierra en el filtro de materiales graduados, ni cuando se hayan sembrado plantas.
- El agua tratada del sanitario ecológico podrá destinarse al riego de plantas.

## HUMEDALES ARTIFICIALES

En los últimos años, una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales, debido a su alta eficiencia, fácil construcción y bajos costos de operación y mantenimiento son los humedales artificiales (HA) (Figura 2.20) (Wang et al., 2013; Ávila, 2014).



**Figura 2.20.**  
Ventajas y  
desventajas  
del baño eco-  
lógico  
húmedo.



Los HA han sido definidos como sistemas de ingeniería, diseñados y contruïdos para utilizar las funciones naturales de los humedales, de la vegetación, los suelos y sus poblaciones microbianas para el tratamiento de agua residual, donde cada una de las funciones ocurran de manera más controlada y eficiente (Karathasis et al., 2003; Vymazal, 2010) (Figura 2.21). Su aplicación se ha enfocado principalmente a brindar tratamiento a las aguas contaminadas y su reúso de ciudades en desarrollo, en las que predominan las malas condiciones del suelo, alto nivel freático, prohibición a la descarga de agua residual en zonas de adsorción; así como ciudades que no poseen suficientes recursos para implementar tecnologías costosas (Vacca et al., 2005; Karathanasis et al., 2003; Gopal, 1999). En este último sentido el uso de HA resulta ser una alternativa altamente viable debido, entre otros aspectos, a su bajo costo energético y de mantenimiento si se compara con las tecnologías convencionales; junto con un nulo impacto ambiental y baja producción de residuos (Wang et al., 2013; Ávila, 2014).



**Figura 2.21.**  
HA instalados  
en la Cuenca  
del Lago de  
Pátzcuaro.

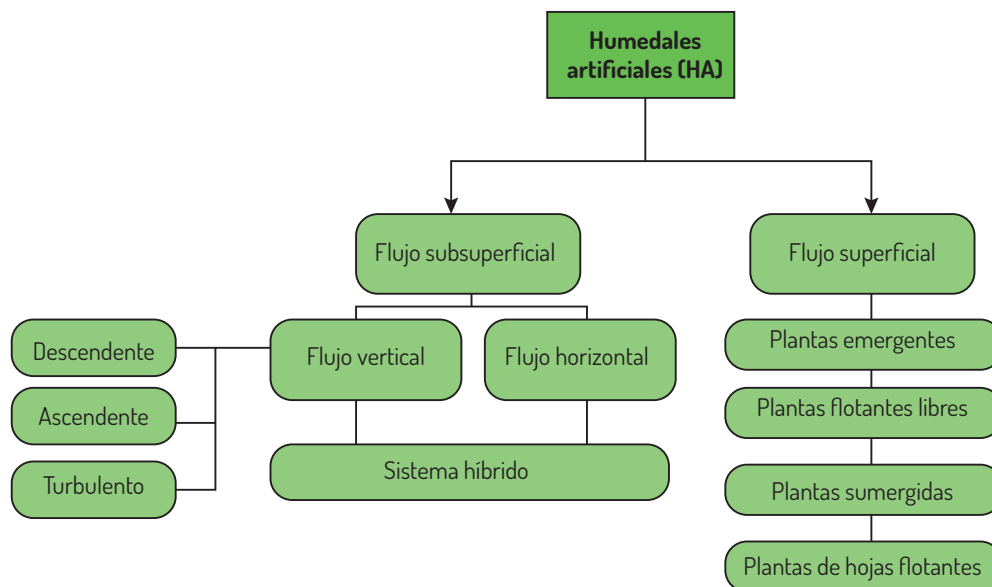
Los HA tienen tres componentes principales:

- 1) Microorganismos. Son la base para el funcionamiento de los HA, pues son los encargados de degradar los contaminantes, realizando así el tratamiento biológico (Fenoglio, 2000).
- 2) Lecho filtrante o lecho de soporte: Está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y sirve como soporte para el crecimiento de las plantas; permitiendo la proliferación de microorganismos depuradores, promoviendo la retención de partículas suspendidas; facilitando la remoción de metales pesados y nutrientes como nitrógeno y fósforo (Fenoglio, 2000; Stefanakis et al., 2014; Delgadillo et al., 2000).
- 3.) Vegetación. Es la encargada de la asimilación y acumulación de nutrientes en sus tejidos y del transporte de oxígeno disuelto dentro del sistema para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación (Stefanakis et al., 2014).

### *Clasificación*

Los HA se han clasificado en humedales de flujo superficial y subsuperficial, estos últimos se clasifican según la circulación del agua en horizontal y vertical (Figura 2.22). El IMTA, cuenta con experiencia en ambos tipos de HA, ya que se han desarrollado e instalado HA horizontales para el tratamiento del agua residual y verticales para el tratamiento de lodos.





**Figura 2.22.** Tipo de humedales artificiales; (Fuente: elaborado con información de García et al., 2008 y Stefanakis et al., 2014).

### *Consideraciones de diseño e instalación*

- Realizar un dimensionamiento biológico e hidráulico
- Realizar pruebas de laboratorio para conocer la concentración de contaminantes que presenta el agua residual que será tratada.
- Conocer el área superficial con la que se podrá disponer para la construcción del humedal, ya que de acuerdo a los porcentajes de remoción de los contaminantes a los que se querrá llegar de acuerdo a la norma, se calcula el área que se necesitará para cumplirla.
- Considerar el sustrato (medio granular) que se ocupará para las celdas de los humedales, que se encuentra en la región donde se aplicará la tecnología.
- Contar con estudios previos, topográficos, mecánica de suelos y pruebas de laboratorio, para conocer las condiciones del terreno y considerar si se requerida nivelación y excavación.

## *Operación y mantenimiento*

A continuación se presentan algunas recomendaciones para un correcto funcionamiento del sistema y conservar su capacidad de depuración de contaminantes.

- Supervisar la vegetación periódicamente para evaluar su salud y abundancia. En general, esta supervisión debe ser más frecuente durante los primeros cinco años de funcionamiento del sistema (Figura 2.23).
- Inspeccionar dentro del humedal por parcelas cuadradas, normalmente de 1 m x 1 m., los cambios que indican un aumento en el número de especies no deseadas o agresivas, una disminución en la densidad de la capa vegetativa, o señales de enfermedad en las plantas.
- Los sedimentos, la capa de residuos y la profundidad del agua, deben verificarse con regularidad, puesto que el aumento de los sedimentos acumulados así como de la capa de residuos, disminuye la capacidad de almacenamiento de agua, afectando su profundidad en el humedal y con lo que se pueden alterar las vías de flujo.



**Figura 2.23.**  
Actividades de  
mantenimiento.





Figura 2.24.  
Huerto  
familiar.

### 2.4.2.3. REÚSO

#### HUERTO FAMILIAR

Los huertos familiares son una alternativa como TA, pues contribuyen a que las familias puedan obtener una amplia diversidad de productos necesarios en su alimentación. Los productos alimenticios que se obtienen de los huertos familiares, satisfacen en muchas partes las necesidades básicas de la familia, abasteciendo fundamentalmente un complemento alimenticio durante todo el año. Estos, consiste en una pequeña superficie destinada para la producción de alimentos con fines de autoconsumo a nivel familiar (Figura 2.24).

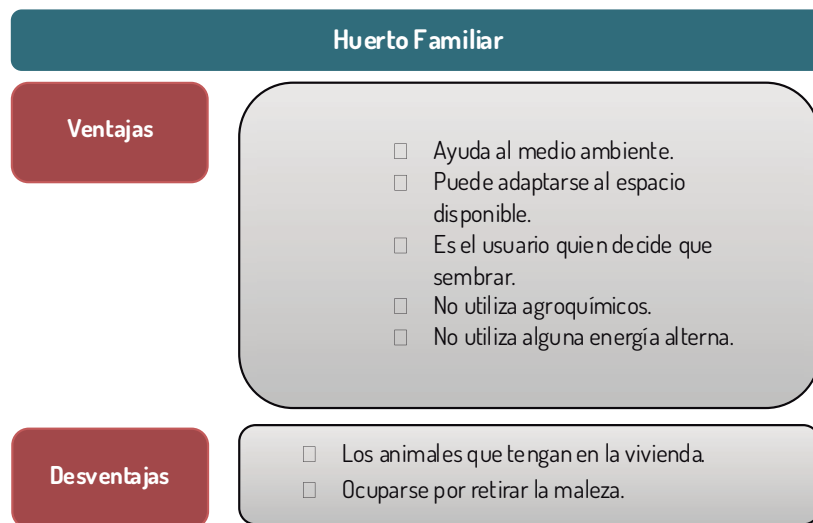
Las posibilidades de cultivo en los huertos familiares, dependen de las condiciones en que se encuentre el sitio, de la cantidad de horas de luz que reciba en cada época del año y del espacio físico disponible. Pero para ello se debe tener un plan de siembra a efecto de aprovechar mejor el espacio, considerar el tiempo de atención del huerto para así obtener el producto fresco durante todo el año. En la Figura 2.25 se presentan las principales ventajas y desventajas.

Componentes.

- Área superficial donde se sembrará
- Sistema de riego y distribución de agua.

Consideraciones de diseño e instalación.

- El huerto debe estar ubicado dentro de la propiedad y de preferencia debe tener una pendiente de 2%. Cuando la pendiente es mayor, los surcos deben trazarse perpendicularmente, con separaciones de 1.0 m.



**Figura 2.25.**  
Actividades de  
mantenimiento.

- El lugar elegido para el huerto debe contar con una toma de agua cercana, que permita disponer del agua que se necesita para el riego.
- Se debe considerar el tipo de suelo y la disponibilidad de manejo de residuos, así como determinar la ubicación de los cultivos permanentes y de los semipermanentes.

### *Recomendaciones para la producción.*

Para la producción de hortalizas en huerto regado con el TDF se enlistan las siguientes recomendaciones:

- Plantar en los surcos de dos a tres semillas por oquedad.
- Hacer un riego ligero antes de plantar o trasplantar, para humedecer el área de trabajo.
- Lavar periódicamente el filtro y el sistema de riego después de cada cosecha.
- Producir sólo la cantidad de plántula necesaria por ciclo de producción.
- Realizar revisiones periódicas para identificar plagas como gusanos.
- Hacer aplicaciones de productos orgánicos para el control de plagas y enfermedades.

## 2.5.MODELOS DE MANEJO INTEGRAL DEL AGUA EN VIVIENDA

Como estrategia para la difusión de las TA transferidas por el IMTA, se instalaron modelos de casas ecológicas en diferentes regiones, en las cuales se integran las tecnologías para los servicios de agua y saneamiento.

## 2.5.1. RURAL

El IMTA desarrolló e instaló un modelo de casa ecológica rural, con el objetivo de contar con un modelo de casa sustentable para familias en zonas rurales, indígenas y periurbanas marginadas, que cubra sus necesidades básicas de agua, saneamiento y energía, así como la producción de alimentos para autoconsumo. En esta casa, se integraron las tecnologías apropiadas para los servicios de agua y saneamiento, además de incorporar tecnologías para el uso de energía solar (Figura 2.26).

Para realizar la integración de las tecnologías apropiadas en la casa ecológica, se consideraron cuatro características fundamentales:

- Habitabilidad: Estas casas son autosuficientes y autorreguladas, con un mantenimiento económico, buena calidad, comodidad, además de buscar la armonía con el entorno natural.



**Figura 2.26.**  
Casa ecológica  
rural  
desarrollada  
por el IMTA.



- Reducción del consumo energético: Tanto para la iluminación como para calefacción, el sol es un agente esencial. Los electrodomésticos son de bajo consumo para no elevar el gasto energético global de la casa.
- Eficiencia: Genera su propia energía, aprovecha el agua de lluvia, se tratan los residuos y se promueve su reutilización.
- Aprovechamiento sustentable de los recursos naturales: Se emplean las tecnologías apropiadas para la captación, abastecimiento, desinfección y saneamiento.

Estas características se aplicaron en el desarrollo de la casa ecológica, considerando las necesidades mínimas de espacio para una familia: una recámara para los padres, dos recámaras para los hijos, cocina, baño completo, comedor y patio de servicio.

### *Elementos que integran la casa ecológica rural y operación.*

- En la casa ecológica rural del IMTA se integraron las siguientes TA:
- Cisterna cilíndrica de captación de agua de lluvia.
- Sanitario ecológico seco.
- Sanitario ecológico húmedo.
- Lavadero ecológico.
- Caja solar.
- Filtro de flujo lento.
- Dos huertos familiares.
- Bicibomba.

## 2.5.2. PERIURBANA

En el año 2013, el IMTA diseñó un modelo de casa ecológica urbana (Figura 2.27), reuniendo características de diseño y construcción orientados al ahorro de agua y energía, el confort

y la creación de un desarrollo económico y social. Para su diseño, se tomaron en cuenta los reglamentos de construcción convencional, pero sin perder de vista el manejo integral del agua y las condiciones bioclimáticas, por lo tanto, se aprovechan los recursos disponibles como la energía solar, vegetación, lluvia y vientos para la disminución del impacto ambiental. Prueba de ello, es la reducción del consumo de energía eléctrica, así como la cantidad de material usado para su construcción. El objetivo del diseño estructural de la casa, es obtener iluminación natural por un periodo de tiempo mayor, mediante el uso materiales ecológicos compatibles con el medio ambiente.

Las características que se consideraron durante el diseño fueron:

- Habitabilidad: Aprovecha el máximo de horas de luz solar y tienen una orientación adecuada para no provocar sombras en las viviendas colindantes. Es ideal para una familia de hasta 5 personas.



**Figura 2.27.**  
Casa ecológica  
urbana  
diseñada por el  
IMTA.

- Reducción del consumo energético: Tiene al menos un 30% de ahorro en su consumo energético por el uso de paneles fotovoltaicos y calentador solar.
- Aprovechamiento del agua: Se emplean elementos de ahorro de agua y captación de agua de lluvia y reutilización del agua gris tratada.
- Techo verde. Además de crear un espacio de jardín, se evaluaron los rendimientos en la producción de hortalizas y plantas medicinales.

En el caso de la vivienda ecológica urbana, los espacios queridos que se consideraron para su diseño fueron: Una recamara para los padres, dos recamaras para los hijos, baño completo, medio baño, sala, comedor y cocina.

### *Elementos que integran la casa ecológica urbana*

Sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia.

Primero se capta el agua de lluvia en todos los sitios posibles del inmueble, el agua de lluvia captada en la azotea, se filtra y se conduce por medio de dos bajadas pluviales, hacia una cisterna de almacenamiento de 20 m<sup>3</sup>.

### *Sistema de tratamiento de aguas negras y grises.*

Este sistema se compone de un tanque séptico, una trampa de grasas y una cámara anaerobia.

### *Azotea verde.*

Se integraron elementos naturales y vegetación adaptable en el tejado de la casa para mejorar la calidad del ambiente en los sitios urbanos, esto mejora la climatización y ahorra energía; reduce el riesgo de inundaciones, favorece la biodiversidad urbana e incluso sirve

para cultivar especies vegetales comestibles. La azotea se acondicionó con geomembrana, geo-textil, filtros de tezontle- arena, sustrato y pasto para crear un área de jardín que sirve a la vez de superficie de captación del agua de lluvia.

### *Lavadero ecológico.*

El lavadero está diseñado para que se puedan tratar las aguas grises que se generan al momento de lavar ropa, el agua tratada se utilizará para el riego de plantas ornamentales.

### *Sistema fotovoltaico.*

El sistema se compone de celdas de silicio mono cristalino con cubierta de vidrio templado anti reflejante, inversor de corriente alterna a directa, controlador de carga con medidor de voltaje y un banco de baterías para almacenar la energía que se requiere durante la noche o en los días nublados.

Se considera que los sistemas fotovoltaicos, generan energía limpia debido a que producen cero emisiones de carbono a la atmósfera, lo cual afecta directamente en la desaceleración del calentamiento global.

### *Calentador solar.*

Es un sistema foto térmico que aprovecha la energía solar para calentar el agua, haciéndola circular a través de un conducto de gran longitud que se encuentra en el interior del panel provisto de una cubierta de vidrio templado, cuya función es disipar las ondas luminosas del sol y aprovechar las ondas calóricas; una vez que el agua se encuentra caliente se almacena en un termo tanque para conservarla en un rango de temperatura de 45 a 70 grados centígrados. Permite ahorrar hasta el 70% de consumo de gas, además de ser una energía limpia



### *Sistema de bombeo para riego de áreas verdes.*

Se compone de una bomba diseñada para operar directamente con energía solar captada en un panel de silicio poli cristalino.

## 2.6.RECOMENDACIONES PARA LA TRANSFERENCIA DE TA

Las TA deben cumplir con el enfoque de “satisfacer las necesidades básicas y mejorar la calidad de vida de los usuarios en condiciones de pobreza y marginación [...] para alcanzar una vida satisfactoria y en armonía con su entorno” (Ortiz et al., 2014) y si bien la experiencia de TA en nuestro país es muy amplia y rica, queda mucho por recorrer para superar las carencias en cuanto a la satisfacción de las necesidades básicas, principalmente de la población rural.

Ortiz et al., (2014) han identificado una serie de factores asociados con el fracaso de los proyectos ecotecnológicos, por lo que su consideración es de suma importancia para su éxito; algunos de los factores son:

- Incorrecta identificación de las necesidades de los usuarios.
- Suposición errónea de que cualquier persona puede construir y operar las ecotecnologías.
- Utilización de diseños tecnológicos no validados, o importados de otros contextos, que afectan la durabilidad y el funcionamiento adecuado de la tecnología.
- Falta de acompañamiento posterior a la instalación de la ecotecnología.







# EXPERIENCIA DEL IMTA EN LA TRANSFERENCIA DE TA

3

*H*oy en día en México existe una gran diversidad de experiencias de TA que demuestran el potencial de estas tecnologías impulsando el desarrollo sustentable. Varias de las iniciativas nacionales cuentan con reconocimiento internacional y están sustentadas en años de trabajo de base con la población local. En ellas se han aplicado y desarrollado conocimientos técnicos sobre apropiación y adaptación tecnológica, reconocimiento de los saberes locales y las dinámicas participativas, estrategias efectivas de comunicación y una alta capacidad de gestión.

Dentro del universo de iniciativas destacan las que el IMTA ha realizado con el paso de los años, innovando, transmitiendo, ejecutando e instalando tecnología para contribuir a mejorar el acceso a los servicios básicos de agua y saneamiento que padecen las comunidades con alta y muy alta marginación.

Para la transferencia de tecnología, el IMTA no solo contempla la construcción de infraestructura, sino todo un proceso que se lleva a cabo mediante tres fases (IMTA, 2017):

- Estrategia de transferencia
- Transferencia comunitaria
- Seguimiento

A continuación se presentan, de manera resumida, las experiencias que en los últimos años ha tenido el IMTA en cuanto a transferencia de TA.

Para consultar más información sobre los proyectos se puede ingresar a la biblioteca digital del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [Internet] Morelos, México. CENCA Centro de conocimiento del agua. Disponible desde: <http://cenca.imta.mx/>, <http://repositorio.imta.mx/>.

*En México existe una gran diversidad de experiencias de TA que demuestran el potencial de estas tecnologías impulsando el desarrollo sustentable*





## 3.1. PROYECTOS

**NOMBRE DE PROYECTO:**

Desarrollo, evaluación, difusión y transferencia de tecnologías apropiadas en materia de agua para comunidades rurales y periurbanas marginadas. HC0783.1

**AÑO:**

2007

**OBJETIVO:**

Aplicar y fomentar el uso de tecnología en materia de agua para mejorar las condiciones de abastecimiento de agua, de producción de alimentos, de salud y ambiental, dentro de comunidades rurales y peri-urbanas en el estado de Chiapas.

**RESULTADOS:**

Instalación de diez paquetes de tecnologías apropiadas, que incluyen:

- Cisterna tipo capuchino con sistema de captación de agua de lluvia
- Lavadero ecológico
- Sanitario ecológico húmedo
- Tanque de descarga de fondo
- Huerto
- Caja de desinfección solar
- Bicibomba

Construcción de la unidad experimental de tecnologías apropiadas con fines de dotación y tratamiento para pequeñas comunidades rurales del estado de Chiapas en el Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Elaboración de mapas de isolíneas de precipitación anual para todo el estado de Chiapas.

**NOMBRE DE PROYECTO:**

Establecimiento de un área demostrativa de tecnologías apropiadas en materia de agua en una comunidad rural del estado de Zacatecas y escalamiento del almacenamiento de agua de lluvia. HC0783.1

**AÑO:**

2007

**OBJETIVO:**

Transferir 10 paquetes tecnológicos apropiados en materia de agua para la localidad San Jerónimo, Municipio de Guadalupe, Zacatecas.

**RESULTADOS:**

Se instalaron 80 tecnologías apropiadas (10 paquetes tecnológicos) que beneficiaran a 10 familias de la comunidad, y se realizó la difusión de una nueva cultura en el aprovechamiento integral del agua en viviendas rurales, desde la captación del agua de lluvia en el sitio familiar, el saneamiento integral, el manejo interno y la producción de alimentos verdes (hortalizas), mediante un módulo productivo de escala familiar.

Los paquetes de tecnologías apropiadas incluyen:

- Cisterna tipo capuchino con sistema de captación de agua de lluvia
- Lavadero ecológico
- Sanitario ecológico húmedo
- Tanque de descarga de fondo
- Huerto
- Caja de desinfección solar



**NOMBRE DE PROYECTO:**

Desarrollo, evaluación, difusión y transferencia de tecnologías apropiadas en materia de agua para comunidades rurales y periurbanas marginadas. HC-0783.1

**AÑO:**

2007

**OBJETIVO:**

Aplicar y fomentar el uso de tecnología en materia de agua para mejorar las condiciones de abastecimiento de agua, de producción de alimentos, de salud y ambiental, dentro de comunidades rurales y periurbanas.

**RESULTADOS:**

Se elaboró el borrador del manual para la transferencia de paquetes integrales de tecnologías apropiadas en materia de agua en zonas marginales y el manual de buenas prácticas de higiene y sanidad en el suministro de agua y manipulación de alimentos”.



**NOMBRE DE PROYECTO:**

Transferencia de tecnologías apropiadas en materia de agua en las comunidades de Cacahuatpec y Cacahuatla, Municipio José Joaquín De Herrera, Guerrero. (Primera etapa). HC0826.3

**AÑO:**

2008

**OBJETIVO:**

Transferir tecnologías y fomentar su apropiación, para incrementar la cantidad y mejorar la calidad del agua para uso y consumo humano, disminuir el impacto ambiental por la descarga de agua residual, generar alternativas productivas sustentables y con esto mejorar las condiciones de salud y de calidad de vida, así como promover la participación social en la solución de los problemas relacionados con el agua dentro de la comunidad de Cacahuatpec, Guerrero.

**RESULTADOS:**

Transferencia de 29 paquetes integrales de tecnologías apropiadas en materia de agua a nivel vivienda en la comunidad de Cacahuatpec. Cada paquete es integrado por las siguientes tecnologías:

- Lavadero ecológico húmedo
- Baño ecológico húmedo
- Cisterna
- Sistema de Captación de Agua de Lluvia
- TDF
- Huerto familiar
- Bicibomba
- Caja Solar

Transferencia de cisterna y baños ecológicos húmedos en una escuela de nivel preescolar.





**NOMBRE DE PROYECTO:**

Transferencia de tecnologías apropiadas en materia de agua en comunidades rurales de la región huasteca en San Luis Potosí. HC0837.3

**AÑO:**

2008-2009

**OBJETIVO:**

Transferir tecnologías apropiadas en materia de agua para mejorar la cantidad y calidad del recurso en beneficio de los habitantes de comunidades rurales de la región de la huasteca en el estado de San Luis Potosí.

**RESULTADOS:**

Se beneficiaron 118 familias de las localidades de El May, Pokchich, Santa Martha y Malilijá, con la instalación de cisternas con sistema de captación de agua de lluvia.

Se instaló una capacidad de almacenamiento de 2,165 m<sup>3</sup>.

Localidades	Cisterna de 50 m <sup>3</sup> con sistema de captación	Cisterna de 20 m <sup>3</sup> con sistema de captación	Cisterna de 11 m <sup>3</sup> con sistema de captación	Total
El May	9	1	3	13
Pokchich	0	0	51	51
Santa Martha	13	0	5	18
Malilijá	0	0	36	36
Total	22	1	95	118

**NOMBRE DE PROYECTO:**

Proyectos piloto eficientes y de bajo costo de sistemas de riego en El Rodeo, El Jagüey y Las Cuevas, Tzintzuntzan.HC0833.4

**AÑO:**

2008-2011

**OBJETIVO:**

Desarrollar un proyecto piloto en donde se tiene la posibilidad de mejorar la eficiencia de aplicación del agua de riego, mediante la implementación de sistemas de riego parcelario con el dispositivo autooperante “TDF” y tubería de compuerta de 6 pulgadas.

**RESULTADOS:**

Se proyectaron, concertaron e implementar 49 sistemas de riego intermitente (cada sistema incluye una cisterna) a escala parcelaria a aproximadamente 90 hectáreas distribuidas en las comunidades El Rodeo, El Jagüey y Las Cuevas en el municipio de Tzintzuntzan.

Estos nuevos sistemas de riego buscan reducir el desperdicio de agua mediante sistemas de riego eficientes auxiliados con un dispositivo autoparametrado denominado Tanque de Descarga de Fondo “TDF” y tubería de compuerta de 6 pulgadas.

El dispositivo “TDF” representa una alternativa de riego eficiente para la zona agrícola del municipio de Tzintzuntzan, utilizando los principios de automatización fluidica y amplificación del gasto fue posible regar parcelas mayores a 1 hectárea de manera eficiente a través de ciclos de llenado y vaciado de cisternas de riego.



**NOMBRE DE PROYECTO:**

Transferencia de tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua en zonas rurales de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. HC0834.4

**AÑO:**

2008-2011

**OBJETIVO:**

Establecer comunidades eficientes en agua en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, a través de la transferencia de paquetes de tecnologías apropiadas para el uso y manejo integral del recurso agua a nivel vivienda.

**RESULTADOS:**

Se instalaron 2,632 tecnologías apropiadas en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, de las cuales 2,264 tecnologías se conformaron en 283 paquetes integrales de ocho tecnologías, mientras que las restantes 368, fueron tecnologías apropiadas individuales instaladas en 52 viviendas.

Tecnología Apropriada	Total instalado	Características
Lavadero	326	Técnica con tabique capuchino, estructura y fusionado
Cisterna	328	11m <sup>3</sup> (303), 9 m <sup>3</sup> (3), 7.5 m <sup>3</sup> (2), 6 m <sup>3</sup> (2), 5m <sup>3</sup> (17) y 50 m <sup>3</sup> (1)
Captación	312	
Sanitario	299	Técnica con tabique capuchino, estructura y fusionado
Huerto Familiar	333	Extensión mín. 9 m <sup>2</sup> y máx. 150 m <sup>2</sup>
Tanque TD	333	200 litros de capacidad
Bicibomba	333	
Caja Solar	333	6 litros diarios por caja
Lámina	35	Lámina fibrocemento y recubrimiento
<b>Total</b>	<b>2,632</b>	



**NOMBRE DE PROYECTO:**

Proyecto modelo para el manejo integral del agua en San Jerónimo Purenchécuaro y San Andrés Tzirondaro.HC0828.4.

**AÑO:**

2008-2011

**OBJETIVO:**

Establecer un modelo para el manejo integral del agua en las comunidades de San Jerónimo Purenchécuaro y San Andrés Tzirondaro, que incluya acciones para el abastecimiento y uso del agua, así como el tratamiento y reúso del agua residual.

**RESULTADOS:**

Se implementaron 22 sistemas de captación, conducción y almacenamiento de agua a nivel vivienda (15) y comunitario (7); y 8 cajas solares para desinfección de agua.

Se alcanzó una capacidad instalada en infraestructura de almacenamiento de agua de lluvia de aproximadamente 625,000 litros en la comunidad de San Jerónimo Purenchécuaro y de aproximadamente 210,000 litros en la comunidad de San Andrés Tzirondaro.

En materia sanitaria, se implementaron servicios sanitarios a nivel vivienda mediante 29 baños ecológicos secos en la comunidad de San Jerónimo Purenchécuaro y 23 en la comunidad de San Andrés Tzirondaro.

Dentro de las acciones de rehabilitación y mantenimiento de cuerpos de agua se recorrieron los manantiales de cada comunidad y en coordinación con autoridades se realizaron acciones de limpieza, protección con mampostería y malla ciclónica.

Localidad	Cisterna y sistema de captación		Caja solar	Baño ecológico seco	Total
	Vivienda	Comunitario	Comunitario	Vivienda	
San Jerónimo Purenchécuaro	8	6	4	29	47
San Andrés Tzirondaro	7	1	4	23	35
Total	15	7	8	52	82



**NOMBRE DE PROYECTO:**

Manejo integral del agua del albergue escolar indígena de Choguita, Bocoyna, en el Estado de Chihuahua. HC1022.3

**AÑO:**

2010-2011

**OBJETIVO:**

Permitir que los niños, niñas y jóvenes indígenas no solamente tengan instalaciones educativas dignas, sino que también fomenten su salud y la preservación del entorno, lo que se traduce en una mejor calidad de vida.

Aprovechar de manera integral el agua y los recursos de los albergues escolares indígenas coordinados por la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI), como soporte a las actividades educativas

**RESULTADOS:**

Sistema fotovoltaico con una capacidad de hasta 18,052 Wh/d.

Estanque de concreto tipo race way de 8.6 m<sup>3</sup> de capacidad para el cultivo de Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*).

Gallinero para albergar hasta 200 aves.

Huerto/invernadero de 120 m<sup>2</sup> con riego con cintilla de baja presión y tanque de descarga de fondo (TDF).

Dieciocho calentadores solares con una capacidad total de hasta 3,500 l/d.

Sistema de tratamiento de aguas residuales (humedal artificial).

Sistema de tratamiento de residuos sólidos orgánicos.

Centro de acopio para la separación de sólidos inorgánicos.

Planta potabilizadora solar de 760 l/d.

Programas piloto de educación ambiental formal e informal



**NOMBRE DE PROYECTO:**

Abastecimiento mediante captación y almacenamiento de agua de lluvia en Coajomulco, Fierro del Toro y Tetecuntla. HC1028.4.

**AÑO:**

2008-2012.

**OBJETIVO:**

Transferir tecnologías apropiadas en materia de agua en cuatro localidades pertenecientes al municipio de Huitzilac, Morelos, considerando los materiales, la capacitación y seguimiento.

**RESULTADOS:**

Se instalaron 2,358 tecnologías apropiadas las cuales beneficiaron a 475 familias de la localidad de Tres Marías, Huitzilac, Km 55, Coajomulco, Fierro del Toro y Tetecuntla.

Localides	Sanitario ecológico seco	Lavadero ecológico	Cisterna de 20 m <sup>3</sup>	Sistema de captación de agua de lluvia	Caja solar	Huerto familiar	TDF	Bici-bomba	Total
Tres Marías	112	103	101	101	102	101	101	101	822
Huitzilac	48	48	48	48	48	48	48	48	385
Km 55	31	30	29	29	29	29	29	29	235
Coajomulco	110	40	131	131	127	0	0	85	624
Fierro Del Toro	4	10	24	24	20	0	0	20	102
Tetecuntla	26	21	31	31	26	15	15	26	191
<b>TOTAL</b>	<b>331</b>	<b>252</b>	<b>364</b>	<b>364</b>	<b>352</b>	<b>193</b>	<b>193</b>	<b>309</b>	<b>2,358</b>

Las cisternas de 20 m<sup>3</sup> les permiten contar con 45 l/p/d durante tres meses y hasta 5 meses para los que reciben agua de manera parcial de una red. En total se tiene una capacidad instalada para almacenar 7,280 m<sup>3</sup>.

Como alternativa de desinfección del agua para consumo humano se instalaron las cajas solares, las cuales permitirán contar con 2,112 litros/día de agua desinfectada (6 litros cada una), sin la necesidad de utilizar productos químicos o consumir combustibles.

Para el tratamiento del agua gris se transfirieron lavaderos ecológicos para que los beneficiarios reutilicen el agua tratada en el riego de plantas, hortalizas y lavado de patios, evitando la afectación al suelo y a la salud de los usuarios. La capacidad instalada es de 50,400 litros/día.

Los sanitarios secos tienen la ventaja de que se obtiene como subproducto la composta además de evitar la contaminación por el uso de fosas sépticas que permiten la infiltración al subsuelo del agua residual.

Los huertos familiares permiten producir alimentos para el consumo a nivel familiar. Las dimensiones máximas del huerto son de 12 x 6 m (72 m<sup>2</sup>) y para el riego cuentan con dispositivos auto-operantes por pulsos llamados tanques de descarga de fondo.

Con esta transferencia, cada familia podrá ahorrar al año al menos \$1,400.00 en la compra de agua en pipa, además de los beneficios por la mejora en la higiene, la disminución de enfermedades y la disponibilidad de alimentos.

**NOMBRE DE PROYECTO:**

Transferencia tecnológica de cisternas de captación pluvial, sanitarios ecológicos secos y biofiltros en los municipios de Temixco, Xochitepec y Zacatepec, Mor.

**AÑO:**

2009-2010

**OBJETIVO:**

Transferir tecnologías apropiadas en localidades del sur del estado de Morelos.

**RESULTADOS:**

Transferencia de 231 tecnologías apropiadas.

Las cisternas instaladas permiten a las familias contar con agua durante la mayor parte de la época de estiaje disminuyendo el desembolso realizado por las familias y, si fuera el caso, tener un lugar de almacenamiento cuando el agua de lluvia captada se termine.

Se tiene un beneficio de 2, 080 m<sup>3</sup> de agua de lluvia almacenada y de 3.4 m<sup>3</sup> de agua gris tratada. Con el uso del sanitario se pretendió disminuir la incidencia de enfermedades gastrointestinales y además se obtiene como subproducto la composta. Un sanitario para seis personas produce aproximadamente 500 kg/año, que puede utilizarse como abono.

Municipio	Comunidad	Tecnologías instaladas		
		Cisternas de 20 m <sup>3</sup>	Sanitarios ecológicos secos	Biofiltros (Lavaderos ecológicos)
Temixco	Santa Úrsula	8	30	6
	Solidaridad	12	50	11
Xochitepec	Miguel Hidalgo	73	-	-
	La Esperanza	11	-	-
Zacatepec	Chiverías	-	30	-
Total		104	110	17

**NOMBRE DE PROYECTO**

Transferencia de tecnologías apropiadas en materia de agua en comunidades rurales de la región Huasteca en San Luis Potosí. HC1030.3.

**AÑO:**

2010

**OBJETIVO:**

Transferir tecnologías apropiadas en materia de agua para mejorar la cantidad y calidad del recurso en beneficio de los habitantes de comunidades rurales de la región de la huasteca en el Estado de San Luis Potosí.

**RESULTADOS:**

Se instalaron 59 cisternas con sistema de captación de agua de lluvia, las cuales beneficiaron 3 localidades de la región de la huasteca potosina.

Se instaló una capacidad de almacenamiento de 649 m<sup>3</sup>.

Localidades	Cisterna de 11 m <sup>3</sup>
El Tzajib	17
El Tiyou	5
Malilijá	37
Total	59



**NOMBRE DEL PROYECTO:**

Espacios de educación ambiental, cultura del agua y bosque, autosustentable en agua y energía.  
HC10274

**AÑO:**

2010-2011

**OBJETIVO:**

Coordinar y supervisar la ejecución de las actividades necesarias para la instalación de los espacios comunitarios autosuficientes en materia de agua y energía, como centros de educación ambiental, cultura del agua y capacitación en manejo y cuidado del bosque en la cuenca del Río Apatlaco.

**RESULTADOS:**

Se instalaron 10 espacios de educación ambiental ( en los municipios de Huitzilac, Cuernavaca, Jiutepec, Emiliano Zapata, Temixco, Xochitepec, Tlaltizapan, Zacatepec, Jojutla y Puente de Ixtla), los cuales brindan la oportunidad a los visitantes de conocer un inmueble autosustentable que incluye las siguientes tecnologías:

- a).- Captación y almacenamiento de agua de lluvia.
- b).- Fosa séptica, filtro biológico y humedal para el tratamiento de aguas residuales negras y grises.
- c).- Caja de desinfección de agua mediante radiación solar.
- d).- Sistema de bombeo por medio de una bicibomba.
- e).- Tanque de descarga de fondo (TDF) como sistema de riego auto operante.
- f).- Sistema de abastecimiento de energía eléctrica mediante paneles solares.
- g).- Huerto familiar.



**NOMBRE DEL PROYECTO:**

Abastecimiento por captación de la precipitación pluvial en una comunidad autogobernada de Cherán Michoacán. HC1429.4

**AÑO:**

2010-2011

**OBJETIVO:**

Contar con un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) comunitario en Cherán, Michoacán.

**RESULTADOS:**

Área de captación (20,000 m<sup>2</sup> cubiertos de geomembrana de PVC), sedimentador y olla de almacenamiento (19,7620 m<sup>3</sup> con cubierta flotante de PVC) con sistema de bombeo solar.

1.5 km de línea de conducción con cinco cajas rompedoras.

Planta purificadora (capacidad de 1,000 garrafones diarios).

Sistema de tratamiento de aguas residuales (humedales artificiales) producidas en la planta purificadora.



**NOMBRE DE PROYECTO:**

Rehabilitación y construcción de infraestructura para el almacenamiento de agua de lluvia y transferencia de tecnologías apropiadas en comunidades de los altos de Morelos, a través del programa para la construcción y rehabilitación de sistemas de agua potable y saneamiento en zonas rurales (PROSSAPYS) a ejecutarse en los municipios de Tlalnepantla, Tepoztlán, Huitzilac, Atlatlahucan y Totolapan. HC1125.3

**AÑO:**

2010-2012

**OBJETIVO:**

Rehabilitar y proteger las fuentes de almacenamiento comunitarias de agua de lluvia para prevenir su contaminación.

Promover el manejo sustentable del agua a nivel vivienda, a ocho comunidades de los Altos de Morelos mediante el paquete de tecnologías apropiadas (cisterna de 50,000 litros, sistema de captación de agua de lluvia (SCALL), lavadero ecológico, sanitario ecológico o sanitario seco, caja solar, huerto familiar (hasta 12 x 6 m), tanque de descarga de fondo (TDF) y bicibomba.

**RESULTADOS:**

Ocho ollas rehabilitadas y techadas con cubierta flotante seis de éstas con sistema de drenado con bombeo solar. Volumen recuperado: 29,800 m<sup>3</sup>.

Instalación de modelo comunitario para captación de agua de lluvia con un volumen de 2,800 m<sup>3</sup>.

Transferencia de 90 paquetes de tecnologías apropiadas (8 TA por paquete) en 9 localidades: Santo Domingo Ocotitlán, San Juan Tlacotenco y Tlaltépetl (Tepoztlán); El Vigía, El Pedregal, Felipe Neri (Tlalnepantla); Totolapan, Villa Nicolás Zapata (Totolapan); Col. Mancera (Atlatlahucan). Total 720 TA.

Diagnóstico de las necesidades de agua y saneamiento en localidades con alto grado de marginación: 8 en Atlatlahucan y 3 en Totolapan.



Localidad	Cisterna	SCALL	Huerto Familiar	Tanque De Descarga De Fondo (TDF)	Bicibomba	Caja Solar	Lavadero Ecológico	Sanitario Ecológico Seco
San Juan Tlacotenco	10	10	10	10	10	10	10	10
Santo Domingo Ocotitlán	10	10	10	10	10	10	10	10
Tlaltepétl	10	10	10	10	10	10	10	10
Villa Nicolás Zapata	17	17	17	17	17	17	17	17
Nepopualco	10	10	10	10	10	10	10	10
El Vigía	9	9	9	9	9	9	9	9
El Pedregal	10	10	10	10	10	10	10	10
Col Mancera	4	4	4	4	4	4	4	4
Total	80	80	80	80	80	80	80	80

**NOMBRE DE PROYECTO**

Transferencia de tecnologías apropiadas en materia de agua en comunidades rurales de la región huasteca en San Luis Potosí. HC1122.3

**AÑO:**

2011

**OBJETIVO:**

Transferir tecnologías apropiadas en materia de agua para mejorar la cantidad y calidad del recurso en beneficio de los habitantes de comunidades rurales de la región de la huasteca en el Estado de San Luis Potosí.

**RESULTADOS:**

Se instalaron 90 cisternas con sistema de captación de agua de lluvia.

Se instaló una capacidad de almacenamiento de 1,341 m<sup>3</sup>.

TA	No. de TA transferidas
Cisterna de 11 m <sup>3</sup>	181
Cisterna de 50 m <sup>3</sup>	9
Total	90

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

Implementar tecnologías para el tratamiento de agua de lluvia a fin de complementar el abastecimiento de agua para uso y consumo humano, incluye interconexión de tres ollas de agua.

**AÑO:**

2011

**RESULTADOS:**

Felipe Neri, Tlalnepantla:

Dos ollas de almacenamiento de agua de lluvia rehabilitadas y techadas con cubierta flotante. Volumen recuperado: 2,800 m<sup>3</sup>.

Interconexión de 5 ollas para incrementar de 22 a 75 m<sup>3</sup>/d el volumen en la potabilizadora.

Planta purificadora conectada a modelo comunitario con área de captación, sistema de filtración por carbón activado, filtro de cartucho, ultrafiltración y desinfección por ozono y UV. Producción: 350 garrafones/día.





**NOMBRE DEL PROYECTO:**

Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) en escuelas rurales. HC1427.4

**AÑO:**

2014-2017

**OBJETIVO:**

Diseñar, implementar y fomentar un programa de captación, conducción, almacenamiento y bombeo de agua de lluvia para el abastecimiento de agua y reducción de la problemática sanitaria con el abastecimiento de agua pluvial en escuelas rurales de los cuatro municipios ribereños de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro.

**RESULTADOS:**

Instalación de 23 sistemas de captación de agua de lluvia en escuelas.

Al menos 6,643 personas beneficiadas directamente.

Se diseñó el manual de "Operación y mantenimiento a sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)".

No.	Municipio	SCALL instalados	Volumen instalado m <sup>3</sup>	Beneficiados
1	Erongarícuaro	11	3,530	1,859
2	Quiroga	6	2,390	2,261
3	Tzintzuntzan	3	8,00	1,192
4	Pátzcuaro	3	3,60	463
	Volumen Total	23	7,080 m <sup>3</sup>	6,643 Personas

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

Seguimiento, rehabilitación y transferencia de los humedales artificiales instalados en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro.HC1424.4

**AÑO:**

2014-2017

**OBJETIVO:**

Realizar la transferencia de los humedales artificiales instalados bajo el Programa de Recuperación ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro a sus respectivas localidades y municipios.

**RESULTADOS:**

Proyectos ejecutivos para la rehabilitación de:

Humedal de San Francisco Uricho, Erongarícuaro. Gasto medio de tratamiento 0.78 l/s.

Humedal de la Esmeralda (Erongarícuaro), instalado por el IMTA en 2007. Gasto medio de tratamiento 3.3 l/s.

Humedal de la Cucuchucho, instalado por el IMTA en 2004. Gasto medio de tratamiento 0.5 l/s.

Humedal de Santa Fe de la Laguna, instalado por el IMTA en 2005. Gasto medio de tratamiento 3 l/s.

Seguimiento, evaluación y apoyo a la operación y mantenimiento del humedal de San Jerónimo Purenchécuaro (Quiroga) D1 (0.8 l/s) y D2 (1.8 l/s), la Esmeralda (3.3 l/s).

Rehabilitación del humedal de San Francisco Uricho, Erongarícuaro.



Localidad	Año de instalación	Tren de Tratamiento		Caudal tratado (l/s)	Área de tratamiento (ha)
		Secundario <sup>1</sup>	Terciario		
Cucuchucho	2004	Un humedal de flujo subsuperficial horizontal.	Una laguna de maduración. Un humedal de flujo subsuperficial horizontal para pulimiento.	0.5	0.5
Santa Fe de la Laguna	2005	Dos humedales de flujo subsuperficial horizontal.	Dos lagunas de maduración. Dos humedales de flujo subsuperficial horizontal para pulimiento.	3	1.2
Erongarícuaro	2007	Dos humedales de flujo subsuperficial horizontal.	Dos lagunas de maduración. Dos humedales de flujo subsuperficial horizontal para pulimiento.	3.3	1.5
San Jerónimo Purenchécuaro D1	2011	Un humedal de flujo subsuperficial horizontal.	Un humedal de flujo subsuperficial horizontal.	0.8	0.4
San Jerónimo Purenchécuaro D2	2012	Dos humedales de flujo subsuperficial horizontal.	Un humedal de flujo subsuperficial horizontal.	1.8	1
San Francisco Uricho	2017-2018	Un humedal de flujo subsuperficial horizontal.	Un humedal de flujo subsuperficial horizontal.	0.78	0.35

<sup>1</sup> Cada sistema cuenta con un pretratamiento que consta de rejillas, desarenador y Parshall; y un tratamiento primario que incluye un sedimentador

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

Coordinación técnica del programa para la recuperación ambiental de la península de Yucatán. HC1328.4

**AÑO:**

2013-2017

**OBJETIVO:**

Mantener la coordinación, comunicación, planeación y seguimiento de las acciones interinstitucionales relacionadas con el programa para llevar a cabo acciones en el corto, mediano y largo plazo que permitan la recuperación ecológico - ambiental de la Península de Yucatán identificando los elementos necesarios para el manejo sustentable de los recursos naturales y el medio ambiente, facilitando el trabajo comunitario y el incremento de la calidad de vida y de la cultura ambiental.

**RESULTADOS:**

Se supervisó la instalación de 2,014 TA a nivel vivienda, de las cuales el 14.64 % (295) están en Quintana Roo, 34.6 % en Yucatán (697 TA) y 50.74% en Campeche (1,022), contribuyendo con 45.6 m<sup>3</sup>/semana de agua tratada, 1.5 m<sup>3</sup>/día de agua desinfectada y con un volumen de almacenamiento de 8,120 m<sup>3</sup>. La instalación de estas tecnologías contribuye a mejorar la calidad de vida de 357 familias. A nivel comunitario se supervisaron 15 proyectos comunitarios (4 en Yucatán, 9 en Quintana Roo y 2 en Campeche).

Estado	Municipio	Localidad	Familias	TA
Quintana Roo	Lázaro Cárdenas	La Esmeralda	6	48
		Villa Guadalupe	15	114
	Tulum	San Pedro Cobá	23	108
	Felipe Carrillo Puerto	Mulinchén	4	6
		La Noria	11	19
Total			59	295
Yucatán	Tahmek	Xtabay	18	38
	Maxcanú	Dzidzibachi	11	85
		San José Chactún	22	121
		Chan Chocholá	48	190
		Coahuila	39	97
		Santo Domingo	25	166
Total			163	697
Campeche	Champotón	Maya Tecún II	22	176
		San Antonio Yacasay	54	416
		Nueva Esperanza	6	48
		Lázaro Cárdenas	47	361
		Felipe Cerrillo Puerto	2	11
	Calakmul	Dos Lagunas Norte	4	10
Total			135	1,022
Gran Total			357	2,014

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

Proyecto Piloto de Sistema de Captación de Agua de Lluvia para Riego.

**AÑO:**

2014-2017

**OBJETIVO:**

Proyectar e implementar sistemas de riego tecnificado utilizando sistemas de captación de agua de lluvia.

**RESULTADOS:**

Instalación de la una parcela piloto demostrativa con riego tecnificado, cuyos componentes son:

1. Invernadero con un área de  $492.8 \text{ m}^2$
2. Sistema de riego por goteo
3. Sistema de captación de agua de lluvia (cisterna de  $305.5 \text{ m}^3$ )
4. Sistema de aprovechamiento de energía solar para el accionamiento del sistema de riego



Diagnóstico de los sistemas de riego tecnificado instalados en la Cuenca en el marco del Programa, encontrándose muy poco avance en la instalación de nuevas parcelas por parte de otros productores y más bien una subutilización de los sistemas de riego instalados en las parcelas demostrativas, prefiriendo mantenerse en su sistema tradicional y acostumbrado, aunque tengan la sensibilidad de la ineficiencia del mismo y gran desperdicio del agua de riego.



Además de la ejecución de proyectos, se elaboraron proyectos ejecutivos en materia de tecnologías apropiadas principalmente para abastecimiento de agua. A continuación se presenta un resumen de los proyectos realizados.

PROYECTO	AÑO	OBJETIVO
Sistemas de Captación de agua de lluvia y tratamiento de aguas negras y grises mediante humedal artificial, en Tecnológicos ubicados en el Distrito Federal.	2011	Elaborar proyectos ejecutivos que contemplan 4 institutos Tecnológicos, ubicados en Gustavo A Madero, Milpa Alta, y 2 en Tláhuac, así como un proyecto tipo que pueda ser aplicable al edificio tipo de la unidad departamental que actualmente está siendo instalada en diversos sitios por el INIFED.
Diagnóstico para el manejo integral del agua en trece localidades de los Altos de Morelos. HC1324.3	2013	Proporcionar los servicios de agua y saneamiento a habitantes de comunidades con alto grado de marginación que por sus características demográficas, socioeconómicas y geográficas, no ha sido posible atender mediante esquemas tecnológicos tradicionales.
Proyecto ejecutivo de las acciones complementarias para el abastecimiento de agua para uso y consumo humano en la comunidad rural de Coajomulco, Huitzilac. HC1322.3	2013	Contar con un proyecto ejecutivo que incremente la cobertura de agua a través de la rehabilitación e instalación de la infraestructura hidráulica comunitaria existente o necesaria para el almacenamiento de agua de lluvia. Promoviendo el abastecimiento domiciliario con agua de lluvia, así como el aprovechamiento.
Proyecto ejecutivo para el abastecimiento de agua en Totolapan, Totolapan, Morelos. HC1326.3	2013	Elaborar el proyecto ejecutivo para incrementar la cobertura de agua a través de la rehabilitación de la infraestructura comunitaria existente, así como de plantear nuevas infraestructura para complementar el abastecimiento de agua de la población de la localidad de Totolapan

PROYECTO	AÑO	OBJETIVO
Proyecto ejecutivo para el abastecimiento de agua en Santa Catarina, Tepoztlán, Morelos. HC1325.3	2013	Contar con un proyecto que incremente la cobertura de agua a través de la rehabilitación e instalación de la infraestructura hidráulica comunitaria existente o necesaria para el almacenamiento.
Proyecto ejecutivo de las acciones complementarias para el abastecimiento de agua mediante captación de agua de lluvia en Villa Nicolás Zapata, Totolapan, Morelos. HC1323.3	2013	Contar con un proyecto ejecutivo que incremente la cobertura de agua a través de la rehabilitación e instalación de la infraestructura hidráulica comunitaria existente o necesaria para el almacenamiento de agua de lluvia.
Revisión y actualización al sistema de agua potable en la localidad de Hueyapan, Tetela del Volcán, Morelos. HC1327.3	2013	Generar la información necesaria para elaborar el proyecto para el abastecimiento de agua con la finalidad de incrementar la cobertura a través de la rehabilitación de la infraestructura hidráulica comunitaria existente, así como de plantear nueva infraestructura para complementar el abastecimiento de agua de la población de la localidad de Hueyapan.
Proyecto ejecutivo de sistema de alcantarillado y humedal artificial en Punta Allen, Quintana Roo. HC-1328.4.	2014	Generar la documentación necesaria para contar con un proyecto ejecutivo de un sistema de recolección de aguas residuales y efectuar su tratamiento a través de un humedal artificial en la localidad de Punta Allen, Quintana Roo

## 3.2.RETOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE TA

Si bien se ha logrado la aceptación de las tecnologías apropiadas como alternativa en zonas rurales y en algunos casos en zonas periurbanas y urbanas, se deben enfrentar diferentes

retos técnicos, económicos y sociales que permitan al sector rural, principalmente, acceder a éstas. Entre los retos identificados se encuentran los siguientes:

- Acceso a los recursos de programas federales. La falta de recursos económicos para ser contraparte de programas federales aunado a la limitada capacidad de gestión a nivel local, disminuye sus oportunidades de acceder a éstos apoyos.
- Indicadores. Se requiere que los indicadores de cobertura incluyan las tecnologías apropiadas y los resultados se reflejen en las estadísticas nacionales e internacionales con la finalidad de se asignen recursos para su cumplimiento.
- Estrategia Nacional. Definir una estrategia a nivel nacional que priorice la atención de las zonas rurales en función de variables tales como: dispersión, aislamiento, índice de marginación, grado de rezago social. Coordinar a los actores gubernamentales y las organizaciones de la sociedad civil que atienden este sector.
- Normatividad y/o certificación. Establecer requisitos técnicos mínimos a cumplir por tecnología, certificar a los prestadores de servicios que participan en los proyectos con tecnologías apropiadas.
- Fortalecimiento institucional. Capacitar a los actores que intervienen en el proceso, de los tres niveles de gobierno hasta el usuario final, tanto en aspectos técnicos como de gestión.
- Promover la organización social. Las características de las zonas rurales hacen necesario impulsar la organización comunitaria para la gestión de los servicios de agua y saneamiento, por lo que además del fortalecimiento institucional, se debe buscar el marco legal y financiero para su formalización.







# BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J. (1994). Agricultura campesina y proceso de apropiación tecnológica. Chapingo, México: Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.
- Alvarado A. A. (1980). Tecnología Apropiada y Desarrollo. Huellas 1. Uninorte. Barranquilla. 32-40 pág. 1980. ISSN 00100-334.
- Arcos, S. C., Suárez, P. M. y Zambrano, V. S. M. (2015). Procesos de innovación social (IS) como fuente de transformación social de comunidades rurales. Revista Academia y Virtualidad. 8 (2): 85-99.
- Ávila C., Nivala J., Olsson L., Kinfe K., Headley T...and García J. (2014). Emerging organic contaminants in vertical subsurface flow constructed wetlands: Influence of media size, loading frequency and use of active aeration. Science of the Total Environment, 494-495, 211-217 pág.
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. y Palutikof, J. P. (2008). El cambio climático y el agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaria del IPCC. Ginebra. 224 pág.
- Cap-Net, Red Internacional para el desarrollo de capacidades en la gestión integrada de los recursos hídricos. (2008). Habilidades de resolución de conflictos y negociación para la gestión integrada de los recursos hídricos. Sudáfrica. 111 pág.
- CDI, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. (2017). Programa de Infraestructura Indígena. Recuperado de: <http://www.cdi.gob.mx/focalizada/2017/proii/>.
- Cervantes, G., Sosa-Granados, R., Rodríguez-Herrera, G., Robles-Martínez, F. (2009). Ecología industrial y desarrollo sustentable. Ingeniería Revista Académica de la FI-UADY, 13(1), 63-70 pág.
- CodexAqua (2018). Recuperado de: <http://www.codexaqua.com.mx/inicio>.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2010). Agenda del Agua 2030. México. 70 pág.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2013). Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (PROAGUA). Recuperado de: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/proagua>
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2014). Programa Nacional Hídrico 2014-2018. 142 pág.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2016). Estadísticas del Agua en México. México.



- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2017). Programa Nacional Para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales (PROCAPTAR). Recuperado de: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-para-captacion-de-agua-de-lluvia-y-ecotecnias-en-zonas-rurales-procaptar>.
- Delgadillo O., Camacho A., Pérez L. y Andrade M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales (serie técnica). Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua, Cochabamba, Bolivia. ISBN: 978-99954-766-2-5.
- DOF, Diario Oficial de la Federación. (2017). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Recuperado de: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1\\_150917.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_150917.pdf).
- Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de Buenos Aires. (2016). Recuperado de: <https://arqsust.files.wordpress.com/2016/05/art-14-646-may-2016-ecotecnias.pdf>.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2002). Agua y cultivos. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/005/Y3918S/Y3918S00.HTM>.
- Fenoglio F. (2000). Bases de diseño para la construcción de un reactor biológico experimental basado en los sistemas de humedales artificiales (tesis de licenciatura), Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- FGRA, Fundación Gonzalo Río Arronte. (2018). Tecnologías Alternativas o Ecotecnias. Recuperado de: <https://agua.org.mx/categoria/tecnologias-alternativas-o-ecotecnias/page/3/>.
- García J. y Corzo A. (2008). Depuración con Humedales Construidos. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Giannetti, B. F., Bonilla, S. H., Almeida, C. M. V. B. (2004). Developing eco-technologies: A possibility to minimize environmental.
- Gopal B. (1999). Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: pontencials and problems. *Water Science Technology*, (40)3, 27-35 pág.
- IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2015). Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México. México.
- IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2015b). CPI511.1 Estrategias para la adopción social de tecnologías alternativas de agua y saneamiento. Informe final. Coordinación de Comunicación, Participación e Información. Subcoordinación de Participación Social.

- IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2017). HC1423.4. Fortalecimiento a la transferencia de tecnologías apropiadas. Coordinación de Hidráulica, Subcoordinación de Tecnología Apropiada.
- IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del agua. (2018). Programa Estratégico Institucional para la Seguridad Hídrica. Recuperado de: <https://www.gob.mx/imta/articulos/programa-estrategico-institucional-para-la-seguridad-hidrica>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). Información para la toma de decisiones: Población y Medio Ambiente. México.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Resultados del Censo de Población y Vivienda. Recuperado de: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). Población rural y urbana. Recuperado de: [http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur\\_urb.aspx?tema=P](http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P)
- Lomelí, G. (2006). Recursos hidrológicos en México. Proyecto de Investigaciones del C.C.H. de la UNAM. México.
- Martínez-Austria, P. F. (2013). Los retos de la seguridad hídrica. Tecnología y Ciencias del Agua. IV (5): 165-180.
- ODM, Objetivos de Desarrollo del Milenio en México. (2015). Informe de Avances. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) México.
- Ortiz, J. A., Masera, O., & Fuentes, A. (2014). La Ecotecnología en México. Unidad de Ecotecnologías del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia 128 pág.
- PNUD. Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo. (2017). Recuperador de: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation/>.
- Rose, G. D. (2003). Social Experiments in Innovative Environmental Management
- SECRETARIA PRO TEMPORE.(1999). Tecnologías apropiadas y apropiables de construcción y saneamiento básico y energías alternativas. Experiencias amazónicas como base para la creación de la red de tecnologías apropiadas de la amazonia. Recueprado de: [http://www.itacanet.org/esp/construccion/Tecnolog%C3%ADas\\_apropiadas\\_construccion.pdf](http://www.itacanet.org/esp/construccion/Tecnolog%C3%ADas_apropiadas_construccion.pdf)
- Sadoff, C. W., Hall, J. W., Grey, D., Aerts, J. C. J. H., Ait-Kadi, M., Brown, C., Cox, A., Dadson, S., Garrick, D., Kelman, J., McCornick, P., Ringler, C., Rosegrant, M., Whittington, D. y Wiber, D. (2015). Securing Water,

- Sustaining Growth: Report of the GWP/OECD Task Force on Water Security and Sustainable Growth. University of Oxford. United Kingdom. 180 pág.
- Schumacher, E. F. (1973). *The small is beautiful*. Tursen Herman Blume.
- SEDATU, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2014). Diagnóstico. Dirección de Vivienda Rural. Programa de Fomento a la Urbanización Rural (FUR). Recuperado de: [https://www.coneval.org.mx/Informes/Evaluacion/Diagnostico/Diagnostico\\_2014/Diagnostico\\_2014\\_SEDATU\\_S256.pdf](https://www.coneval.org.mx/Informes/Evaluacion/Diagnostico/Diagnostico_2014/Diagnostico_2014_SEDATU_S256.pdf)
- SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social. (2015). Desarrollo de Zonas Prioritarias (PDZP). Recuperado de: [http://www.2012-2015.sedesol.gob.mx/en/SEDESOL/Programa\\_para\\_el\\_Desarrollo\\_de\\_Zonas\\_Prioritarias\\_PDZP](http://www.2012-2015.sedesol.gob.mx/en/SEDESOL/Programa_para_el_Desarrollo_de_Zonas_Prioritarias_PDZP)
- SMA. Secretaria del Medio Ambiente del Estado de México. Recuperado de: [http://sma.edomex.gob.mx/cuidaelmedio\\_ecotecnias](http://sma.edomex.gob.mx/cuidaelmedio_ecotecnias).
- Smith, A. (2005). The alternative technology movement: An analysis of its framing and negotiation of technology development. *Human Ecology Review*, 12(2), 106 pág.
- Stefanakis, A., Akratos, C.S. and Tsihrintzis, V. A. (2014). *Vertical Flow Constructed Wetlands. Eco-engineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment* (1ra ed.). Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Thomas H. (2009). *Tecnologías para la inclusión social y políticas públicas en América Latina*. Grupo de Estudios Sociales de la Tecnología y la Innovación. IESCT/UNQ. CONICET. Recuperado de: <http://www.redtisa.org/Hernan-Thomas-Tecnologias-para-la-inclusion-social-y-politicas-publicas-en-America-Latina.pdf>.
- UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2012). Seguridad hídrica: Respuestas a los desafíos locales, regionales, y mundiales. Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002180/218061s.pdf>
- UNICEF, Fondo de las Naciones Unidas para la infancia. (2012). *Progress on Drinking Water and Sanitation 2012 Update*. United States of America. 66 pág.
- USGS, United States Geological Survey. (2018). *El ciclo del agua*. Recuperado de: <https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
- Vymazal J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*, 2, 530-549 pág. doi: doi:10.3390/w2030530.

- Wang H., Jiang D., Yang Y. and Cao G. (2013). Analysis of chemical reaction kinetics of deprecating organic pollutants from secondary effluent of wastewater treatment plant in constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.*, 67 (2), 353-358 pág. doi: 10.2166/wst.2012.521.
- WB, Banco Mundial. (2014). Gestión de los recursos hídricos: Resultados del sector. Recuperado de: <http://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/15/water-resources-management-results-profile>
- WEF, World Economic Forum. (2011). *Water Security. The Water-Food-Energy-Climate Nexus*. Island Press. United States of America. 39 pág.
- WRG, Water Resources Group. (2009). *Charting our Water Future. Economic frameworks to inform decision-making*. Recuperado de: [https://www.mckinsey.com/-/media/mckinsey/dotcom/client\\_service/sustainability/pdfs/charting%20our%20water%20future/charting\\_our\\_water\\_future\\_full\\_report\\_ashx](https://www.mckinsey.com/-/media/mckinsey/dotcom/client_service/sustainability/pdfs/charting%20our%20water%20future/charting_our_water_future_full_report_ashx)
- WWAP, Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos)/ONU-Agua. (2016). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2016: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. París, UNESCO.







# FIGURAS

Figura 1.1.	Disponibilidad de agua en el mundo.	11
Figura 1.2.	El ciclo hidrológico (USGS, 2018).	12
Figura 1.5.	Índice de frecuencia de escasez de agua disponible para uso por mes (Sadoff et al., 2015)	15
Figura 1.7.	Programa Nacional Hídrico (CONAGUA, 2014)	34
Figura 1.8.	Crecimiento de la población urbana (INEGI, 2018)	45
Figura 1.9.	Disminución de la población rural (INEGI, 2018)	46
Figura 1.10.	Programa PDZP (SEDESOL, 2015)	51
Figura 1.11.	Programa PII (CDI, 2017)	52
Figura 1.12.	PROAGUA (CONAGUA, 2013)	53
Figura 1.13.	PROCAPTAR (CONAGUA, 2017)	54
Figura 2.1.	Conceptos relacionados con las TA. Fuente: Elaboración propia con datos de Cervantes et al. (2009), Giannetti et al. (2004), Rose (2003), Schumacher (1973), Smith (2005), Smith et al. (2014) y Thomas (2009).	59
Figura 2.2.	Clasificación de las TA (Fuente: Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de Buenos Aires 2016).	65
Figura 2.3.	Clasificación de TA FGRA-IMTA (Fuente: CodexAqua, 2018)	67
Figura 2.4.	Clasificación de TA IMTA.	67
Figura 2.5.	Manejo integral del agua a nivel vivienda.	70
Figura 2.6.	Regiones con transferencia de TA.	71
Figura 2.7.	Captación de agua de lluvia.	74
Figura 2.8.	Interceptor (derecha: a nivel vivienda cuando se utiliza cisterna, izquierda: a nivel comunitario cuando se usa olla de captación).	75
Figura 2.9.	Ventajas y desventajas una cisterna.	76
Figura 2.10.	Cisterna tipo capuchina.	76
Figura 2.11.	Olla de almacenamiento de agua de lluvia para agua de uso doméstico.	79
Figura 2.12.	Ventajas y desventajas de una olla de almacenamiento.	79
Figura 2.13.	Ciudades potencialmente viables en cuanto a precipitación para la instalación de SCALL.	83
Figura 2.14.	Lavadero ecológico.	84
Figura 2.15.	Ventajas y desventajas del Lavadero ecológico.	85
Figura 2.16.	Ventajas y desventajas baño ecológico seco.	87
Figura 2.17.	Baño ecológico seco.	88
Figura 2.18.	Ventajas y desventajas del baño ecológico húmedo.	90
Figura 2.19.	Baño ecológico húmedo.	91
Figura 2.20.	Ventajas y desventajas del baño ecológico húmedo.	92
Figura 2.21.	HA instalados en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro.	93
Figura 2.22.	Tipo de humedales artificiales;(Fuente: elaborado con información de García et al., 2008 y Stefanakis et al., 2014).	95

Figura 2.23. Actividades de mantenimiento.	96
Figura 2.24. Huerto familiar.	97
Figura 2.25. Actividades de mantenimiento.	98
Figura 2.26. Casa ecológica rural desarrollada por el IMTA.	100
Figura 2.27. Casa ecológica urbanadiseñada por el IMTA.	102

# Tablas

Tabla 1.1.	Composición PIB en México (CONAGUA, 2016)	19
Tabla 1.2.	Características de las RHA (CONAGUA, 2016)	20
Tabla 1.3.	Disminución de la población rural (INEGI, 2018)	46
Tabla 2.1.	Clasificación de las TA (Fuente: Ortiz et al., 2014).	64
Tabla 2.2.	Tecnologías apropiadas transferidas a julio del 2018.	72
Tabla 2.3.	Capacidades de las cisternas.	77



