



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado

**“Aplicación de tecnologías apropiadas para mejorar el
abastecimiento y la calidad del agua en comunidades rurales”**

T E S I S

Que para obtener el grado de:

Maestro en Ingeniería

Presenta:

Ing. Oscar Adrián Díaz de León Zavala

Asesor:

Dr. Rodolfo Cisneros Almazán

San Luis Potosí, S. L. P.

Febrero de 2017



Dedicatoria

A mis Padres:

María Elena y Juan Manuel, mil palabras no bastan para agradecer su amor y cariño infinito, muchas gracias por su apoyo y comprensión en todos los momentos de mi vida, gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación en la vida. A

USTEDES LES DEBO ESTE LOGRO, ES PARA USTEDES.

A mis hermanos:

Elena y José Manuel, que han estado presentes en todos los momentos de mi vida, hemos estado juntos y me han colmado de su apoyo siempre, me han inspirado a ser un mejor ser humano, A USTEDES LES DEDICO ESTE TRABAJO.

A todas las personas que forman parte de mi vida a mi familia, a mi novia, mis amigos y compañeros, que no solo compartimos buenos momentos sino también un deseo incansable de sobresalir en la sociedad como personas de bien y que han mostrado apoyo absoluto en los buenos y malos momentos, a ustedes les dedico este trabajo.

Agradecimientos

A mi Director de tesis, el Dr. Rodolfo Cisneros Almazán, por compartir sus conocimientos, tiempo, consejos, por conducirme y apoyarme en todo momento y por su amistad, ¡MUCHAS GRACIAS!

A los miembros de mi comité tutelar, el Dr. Clemente Rodríguez Cuevas y el Dr. Marcos Algara Siller por su valiosa colaboración para la consecución de la presente tesis.

A mis compañeros y amigos de maestría por su apoyo en este camino y por los buenos momentos que hemos compartido.

A todos los que han estado presentes en mi desarrollo profesional, ¡a todos ustedes Muchas Gracias!

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por formarme profesionalmente, este profundo agradecimiento me hará poner en alto el nombre de esta Universidad SIEMPRE.

CONTENIDO	
ÍNDICE	I
RESUMEN	IV
LISTADO DE FIGURAS	V
LISTADO DE CUADROS	VIII
INTRODUCCIÓN	1
I.1 Importancia y justificación del presente estudio	1
I.2 Objetivos	1
I.2.1 Objetivo general	2
I.2.2 Objetivos específicos	2
I.3 Alcance y limitaciones	2
I.4 Metodología General	2
<u>CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y LA PROBLEMÁTICA DE ABASTECIMIENTO EN LAS COMUNIDADES RURALES</u>	<u>4</u>
1.1 Antecedentes	4
1.1.1 El Agua y la vida	4
1.1.2 El Ciclo del Agua	5
1.1.3 La precipitación	6
1.1.4 Distribución del agua en el mundo	8
1.1.4.1 El crecimiento insostenible y la creciente demanda mundial de agua	9
1.1.4.2 Perspectiva regional de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe	11
1.1.5 Situación del agua en México	12
1.1.5.1 Aspectos geográficos y demográficos	12
1.1.5.2 Regiones hidrológico-administrativas (RHA) para la gestión del agua	13
1.1.5.3 Agua Renovable	15
1.1.5.4 Variabilidad espacial y temporal en la disponibilidad del agua	15
1.1.5.5. Agua almacenada	17
1.1.5.6 Presión sobre los recursos hídricos en México	22
1.1.5.7 Pobreza y carencia de Agua en México	28
1.1.6 Abastecimiento de agua en comunidades Rurales	31
1.1.6.1 Cobertura, problemática y enfermedades	32
1.1.6.2 Principales sistemas rurales de abastecimiento de agua	35
1.2 Usos del Agua y características del agua de lluvia	40
1.2.1 Uso sustentable del Agua	40
1.2.2 Usos del agua dulce	42
1.2.3 Cantidad de agua necesaria para uso y consumo	43
1.2.4 Características y usos del agua de lluvia	44
1.3 Impulso de alternativas sustentables para el suministro de agua para uso doméstico y consumo humano	46
1.3.1 Historia de los sistemas de captación de agua de lluvia	47
1.3.2 Situación actual de los sistemas de captación de agua de lluvia en el mundo	49

1.3.3 Situación actual de los sistemas de captación de agua de lluvia en México	60
1.3.4 Definición y clasificación de SCALL	62
1.3.5 Consideraciones para el diseño e instalación del SCALL	65
<u>CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS APROPIADAS EN MATERIA DE AGUA PARA COMUNIDADES RURALES</u>	66
2.1 Oferta Tecnológica del IMTA (2003)	66
2.1.1 Trabajo del IMTA, transferencia de paquetes integrales y sus casos de éxito (2003- 2016)	66
2.1.2 La Casa ecológica	69
2.2 Definición, Uso y Consideraciones de Diseño	70
2.2.1 Sistema de Captación	70
2.2.2 Cisterna Capuchina	72
2.2.3 Lavadero ecológico	73
2.2.4 Sanitario ecológico seco	76
2.2.5 Tanque regulador de Nivel	78
2.2.6 Huerto familiar	79
2.2.7 Bici bomba	84
2.2.8 Filtro de Flujo Lento	85
<u>CAPÍTULO 3. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS APROPIADAS. ESTUDIO DE CASO: COMUNIDAD DE PALO SECO EN VILLA JUAREZ, SLP.</u>	90
3.1 Criterios para Selección de Sitios para Implementar las Tecnologías Apropriadas	90
3.2 Marco Físico	90
3.2.1 Localización geográfica	90
3.2.2 Vías de comunicación	92
3.2.3 Clima	92
3.2.4 Características, tipo y uso de suelo	92
3.2.5 Ecosistema	93
3.2.6 Hidrología superficial y subterránea	93
3.2.7 Perfil Sociodemográfico	94
3.2.8 Indicadores de rezago social y vivienda	94
3.3 Diagnóstico de la Situación Actual	95
3.3.1 Fuentes habituales de suministro de agua	95
3.3.2 Análisis descriptivo de la problemática en el área a beneficiar	96
3.3.3 Encuestas prospectivas	98
3.4 Cálculo de la Precipitación Aprovechable	105
3.4.1 Datos climáticos	105
3.4.2 Estimación de la Precipitación media	107
3.4.3 Análisis estadístico de la Precipitación	107
3.5 Determinación de la demanda, áreas de captación y volumen potencial de captación	111
3.6 Factibilidad socio económica	114
3.7 Curso taller de tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua IMTA-ABISO-UASLP	120

<u>CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</u>	<u>122</u>
4.1 Medición de volúmenes de captación y eficiencia	122
4.2 Calidad del agua de las tecnologías apropiadas	130
4.2.1 Normatividad aplicable en México	130
4.2.2 Análisis de calidad de agua	130
4.2.3 Métodos de tratamiento	136
4.3 Evaluación de funcionamiento de huerto asistido con TRN	137
4.4 Evaluación de funcionamiento de bici bomba	139
4.5 Funcionamiento y adopción social de filtro de flujo lento y baño ecológico seco	140
4.6 Beneficios	140
4.6.1 Económicos	140
4.6.2 Sociales	140
4.6.3 Ambientales	140
<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	<u>141</u>
Conclusiones	141
Recomendaciones	142
<u>REFERENCIAS</u>	<u>143</u>

ANEXOS

ANEXO I. Ficha encuesta por beneficiario

ANEXO II. Memoria fotográfica del curso taller y del proceso constructivo

Resumen

Ante el incremento de la problemática relacionada con el abastecimiento de agua presente en muchas comunidades en condiciones de alto grado de marginación en todo el territorio nacional y presente casi en cualquier parte del mundo, se desarrolla este proyecto en una comunidad rural, como una propuesta para fomentar las ecotecnias que ayudarán a abatir el rezago en la gestión de recursos hídricos.

El Proyecto consiste en la transferencia de paquetes integrales de tecnologías apropiadas para el manejo adecuado del agua en comunidades rurales teniendo como fuente de abastecimiento principal el agua de lluvia.

Las tecnologías transferidas a un total de 7 familias en la comunidad son:

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| 1. Captación de Agua de Lluvia. | 5. Huertos familiares. |
| 2. Cisterna capuchina. | 6. Filtro de flujo lento. |
| 3. Lavadero ecológico. | 7. Tanque Regulador de nivel. |
| 4. Sanitario ecológico seco. | 8. Bici bomba. |

El trabajo inició con la localización de sitios potenciales que cumplieran con los criterios de aplicabilidad, principalmente que no contaran con un sistema de abastecimiento de agua o que éste fuera ineficiente, lo que se traduce en una problemática grave para la población al no poder abastecerse de manera constante del vital líquido, como es el caso de la comunidad de Palo Seco, en el municipio de Villa Juárez, en San Luis Potosí, donde se llevó a cabo el proyecto.

Los resultados obtenidos son un estudio hidrológico de la zona de estudio para el cálculo de gastos de diseño y la estimación de la precipitación, la selección de materiales y equipos, diseño y construcción de las tecnologías, supervisión de la construcción, capacitaciones para la comunidad para la implementación y operación adecuada de las mismas y llevar a cabo acciones de optimización y mejora.

Posteriormente se llevó a cabo una evaluación en el funcionamiento, la capacidad de abastecimiento, así como una evaluación de la calidad físico química de las muestras de captada, con el fin de mejorar las eficiencias e implementar acciones para mejorar la calidad de acuerdo a las normas oficiales mexicanas que establecen métodos y límites máximos permisibles. Además, se realizó un análisis de la factibilidad socioeconómica mediante un análisis costo beneficio, tomando en cuenta los elementos sociales y beneficios que pueden valorizarse y expresar la rentabilidad del proyecto, finalmente se hace una evaluación general de cada uno de los elementos del paquete mediante indicadores como potencial de abastecimiento, rendimiento y adopción social.

El proyecto fue promovido con apoyo económico de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y de la fundación Gonzalo Río Arronte; se realizó un curso teórico-práctico donde participaron diferentes organizaciones de toda la República Mexicana provenientes de los estados de Guanajuato, Jalisco, Guerrero, Michoacán, Chiapas, Yucatán, Quintana Roo, Tabasco, entre otros, donde los participantes pudieron capacitarse en la instalación y operación de las tecnologías. Además de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, colaboraron el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y la Asociación Agua y Bienestar Social ABISO A.C.

En general, este paquete integral de tecnologías se ha aplicado desde hace poco más de una década en diferentes zonas del territorio nacional y se han desarrollado en muchos casos con éxito por lo que se considera un creciente interés en su desarrollo.

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1 El ciclo del agua	5
Figura 1.2 Pluviómetro y pluviógrafo comerciales	6
Figura 1.3 Distribución global del agua	8
Figura 1.4 Estrés en el desarrollo de aguas subterráneas (2010)	10
Figura 1.5 Distribución mundial de la escasez de agua en las principales cuencas (2011)	11
Figura 1.6 Coordenadas extremas y Zona Económica Exclusiva	12
Figura 1.7 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA)	14
Figura 1.8 Regiones hidrológicas	14
Figura 1.9 Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México	15
Figura 1.10 Precipitación normal anual por región hidrológico-administrativa 1981 – 2010	17
Figura 1.11 Disponibilidad natural media total por región hidrológico-administrativa, 1981 – 2012	19
Figura 1.12 Disponibilidad natural media per cápita, 1950-2012	19
Figura 1.13 Disponibilidad natural media per cápita por región hidrológico-administrativa, 2014	20
Figura 1.14 Precipitación promedio anual en México, 1941 – 2011	21
Figura 1.15 Precipitación media mensual en México, 1981 – 2013	21
Figura 1.16 Almacenamiento de agua en las presas más grandes del país, 2000-2012	22
Figura 1.17 Presas más grandes en México por su capacidad de almacenamiento, 2014	23
Figura 1.18 Grado de presión sobre los recursos hídricos en el mundo	25
Figura 1.19 Grado de presión sobre los recursos hídricos por región hidrológico-administrativa, 2014	26
Figura 1.20 Intensidad de uso del agua subterránea por región hidrológico-administrativa, 2013	27
Figura 1.21 Acuíferos sobreexplotados, con intrusión marina y/o bajo el fenómeno de salinización de suelos o aguas subterráneas salobres, 2013	28
Figura 1.22. Grado de marginación 2010	29
Figura 1.23 Grado de marginación por localidad 2010	29
Figura 1.24 Indicadores de Rezago social relacionados con agua potable, drenaje y excusado en México	31
Figura 1.25 Vías de contaminación y ejemplos de patógenos relacionados con el agua	34
Figura 1.26 Servicio público (Pileta)	35
Figura 1.27 Conexión domiciliaria fuera de la vivienda	35
Figura 1.28 Sistema de abastecimiento por gravedad sin tratamiento	37
Figura 1.29 Sistema de abastecimiento por gravedad con tratamiento	38
Figura 1.30 Sistema de abastecimiento por bombeo sin tratamiento	38
Figura 1.31 Sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento	39
Figura 1.32 Bomba manual	39
Figura 1.33 Manantiales con protección de vertiente	40
Figura 1.34 Sistema de captación de agua de lluvia	40
Figura 1.35 Usos de agua en México	42
Figura 1.36 Jerarquía de las necesidades de agua	43
Figura 1.37 Distribución del consumo de agua según el uso en viviendas	44
Figura 1.38 Porcentaje de usos que requieren agua potable y no potable	45
Figura 1.39 Cisterna a cielo abierto para la recolección de agua lluvia. Yemen.	47
Figura 1.40 Sección tradicional del <i>Chultún</i>	48
Figura 1.41 Cisterna de Ferrocemento, Kenia	49
Figura 1.42 SCALLs Provincia de Gansu, China	50

Figura 1.43 Sistema <i>Rojison</i> para captación a nivel comunitario Tokio, Japón	51
Figura 1.44 SCALL a nivel vivienda para uso en Nueva Deli, India	52
Figura 1.45 Aprovechamiento de agua de lluvia en edificios altos	53
Figura 1.46 Agua de lluvia almacenada Bangladesh	54
Figura 1.47 Colector de agua de lluvia, Tailandia	55
Figura 1.48 Colector de agua de lluvia en Melbourne, Australia	56
Figura 1.49 SCALL de desarrollo urbano en Potsdamer Platz en Berlín, Alemania	57
Figura 1.50 Sistema familiar de captación de agua de lluvia en Texas, USA	58
Figura 1.51 Canaletas para captación pluvial	62
Figura 1.52 SCALL a nivel vivienda. Quiroga, Michoacán	63
Figura 1.53 Techo para captación y tubería para conducción	63
Figura 1.54 Cisterna de 11 m ³ instalada en Pátzcuaro, Michoacán, México.	64
Figura 2.1 Regiones con Transferencia de Tecnologías Apropriadas	67
Figura 2.2 Casa ecológica rural en el IMTA, Morelos, México	70
Figura 2.3 Elementos de la línea de conducción	71
Figura 2.4 Sistema de conducción de agua de lluvia	71
Figura 2.5 Cisterna tipo capuchino	72
Figura 2.6 Perspectiva del lavadero ecológico	73
Figura 2.7 Esquema tipo de una trampa de grasas	74
Figura 2.8 Vista en planta del Biofiltro (medidas en cm).	75
Figura 2.9 Celdas con anillos de PET para fijar las bacterias	75
Figura 2.10 Humedal del lavadero ecológico	76
Figura 2.11 Sanitario ecológico seco	77
Figura 2.12 Tanque regulador de nivel	78
Figura 2.13 Sifón auto operante en el interior del Tanque de 200 litros	79
Figura 2.14 Formas más adecuadas para el huerto familiar	80
Figura 2.15 Ancho de los bordos según el cultivo	80
Figura 2.16 Largo de los bordos	81
Figura 2.17 Forma trapezoidal de los bordos	81
Figura 2.18 Dirección de los bordos	81
Figura 2.19 Colocación del TRN en relación al huerto	82
Figura 2.20 Ubicación del surco para hacer la siembra o trasplante	83
Figura 2.21 Componentes de la bici bomba	84
Figura 2.22 Bici bomba en operación	85
Figura 2.23 Componentes del Filtro de flujo lento	86
Figura 2.24 Zonas en el interior del Filtro	87
Figura 2.25 Principio de operación de filtro de flujo lento	88
Figura 3.1 Localización de San Luis Potosí	91
Figura 3.2 Localización de Villa Juárez, San Luis Potosí	91
Figura 3.3 Ubicación de Palo Seco en Villa Juárez San Luis Potosí	92
Figura 3.4 Hidrología superficial Villa Juárez, San Luis Potosí	93
Figura 3.5 Vivienda en Palo Seco, Villa Juárez, S.L.P.	94
Figura 3.6 Cuerpos de agua cercanos al área a beneficiar	96
Figura 3.7 Captación pluvial improvisada por un habitante de la comunidad de Palo Seco	97
Figura 3.8 Letrina en mal estado en una vivienda de la comunidad de Palo Seco (izquierda)	98
Figura 3.9 Agua de la pileta comunitaria con presencia de larvas y otros patógenos (derecha)	98
Figura 3.10 Encuestas prospectivas a beneficiarios en la comunidad	104
Figura 3.11 Estaciones climatológicas cercanas al área de estudio	105
Figura 3.12 Polígonos de Thiessen	107
Figura 3.13 Curvas P-D-Tr	109

Figura 3.14 Curvas I-D-Tr	110
Figura 3.15 Disponibilidad de agua en Palo Seco, S.L.P.	113
Figura 3.16 Distribución de los beneficios	120
Figura 3.17 Capacitación fundaciones	121
Figura 3.18 Lista de asistencia	121
Figura 3.19 Capacitación beneficiarios	121
Figura 3.20 Instalación SCALL	121
Figura 3.21 Construcción cisterna	121
Figura 3.22 Construcción lavadero	121
Figura 4.1 Volúmenes captados por vivienda	127
Figura 4.2 Eficiencia de SCALL en cada lluvia por vivienda	128
Figura 4.3 Volumen total captado en los SCALLs	129
Figura 4.4 Toma de muestras de agua de captación y almacenada en la cisterna	131
Figura 4.5 Toma de muestras de entrada y salida del lavadero ecológico	131
Figura 4.6 Pruebas de riego con TRN y llenado de TRN	138
Figura 4.7 Primer desarrollo vegetativo de la calabaza	138
Figura 4.8 Ejemplo de cultivo bio intensivo	138
Figura 4.9 Gráfica de Tiempo de llenado de TRN	139
Figura 4.10 Prueba de bombeo	139

LISTADO DE CUADROS

Cuadro I.1 Metodología general del proyecto	3
Cuadro 1.1 Estimación de la distribución del agua global	9
Cuadro 1.2 Ubicación y extensión territorial de México	13
Cuadro 1.3 Agua renovable per cápita	16
Cuadro 1.4 Precipitación y superficie de las regiones hidrológico-administrativas, 1981 – 2010	18
Cuadro 1.5 Presas más grandes en México por su capacidad de almacenamiento, 2014	23
Cuadro 1.6 Población total, indicadores, y grado de rezago social, según entidad federativa, 2010 y 2015	30
Cuadro 1.7 Factores para selección de opciones tecnológicas.	36
Cuadro 1.8 Consumo doméstico en el medio rural	44
Cuadro 1.9 Clasificación de los SCALLs	62
Cuadro 1.10 Dimensionamiento de la Cisterna según el volumen	64
Cuadro 2.1 Tecnologías transferidas a nivel vivienda 2003 – 2014	68
Cuadro 2.2 Hortalizas que se pueden producir	82
Cuadro 2.3 Distancia entre plantas en el huerto	83
Cuadro 2.4 Valores recomendados	87
Cuadro 2.5 Medidas del Filtro	87
Cuadro 2.6 Altura y volumen del material de filtrado	88
Cuadro 2.7 Eficiencia del modelo de FFL	89
Cuadro 3.1 Indicadores de Rezago social	95
Cuadro 3.2 Datos sociodemográficos de los beneficiarios potenciales	98
Cuadro 3.3 Características de las viviendas de los beneficiarios potenciales	99
Cuadro 3.4 Servicios con los que cuentan los beneficiarios potenciales	100
Cuadro 3.5 Abastecimiento actual y almacenamiento en las viviendas	100
Cuadro 3.6 Enfermedades en el área a beneficiar	102
Cuadro 3.7 Frecuencia de aseo personal de los beneficiarios potenciales	103
Cuadro 3.8 Problemas ambientales	103
Cuadro 3.9 Estimación de datos faltantes para la estación 24103 Villa Juárez	106
Cuadro 3.10 Comparativa de métodos de distribución de probabilidad	108
Cuadro 3.11 Valores de duración de lluvias en función del periodo de retorno	109
Cuadro 3.12 Valores de intensidad de lluvia en función del periodo de retorno	110
Cuadro 3.13 Valores de precipitación (promedio mensual) para la zona de estudio	111
Cuadro 3.14 Valores de precipitación de los meses que superan los 40mm	111
Cuadro 3.15 Valores de usos de agua con fines domésticos	111
Cuadro 3.16 Demanda anual de agua con fines domésticos	112
Cuadro 3.17 Método del coeficiente	112
Cuadro 3.18 Precipitación total real vs ajustada por método del coeficiente	113
Cuadro 3.19 Áreas y volúmenes de captación en las viviendas de Palo Seco	114
Cuadro 3.20 Inversión inicial para instalar 7 paquetes de tecnologías para el manejo integral del agua en comunidades rurales. Palo Seco, Villa Juárez, S.L.P. 2016	115
Cuadro 3.21 Costos de operación y mantenimiento	116
Cuadro 3.22 Ingreso anual por captación de agua de lluvia	116
Cuadro 3.23 Cálculo de ingreso por tiempo de acarreo ahorrado por los beneficiarios	116
Cuadro 3.24 Cálculo de ingreso por producción en el huerto familiar	117
Cuadro 3.25 Cálculo de ingreso por producción de abono humano	117
Cuadro 3.26 Flujo de caja de instalación de tecnologías apropiadas	118
Cuadro 3.27 Resultado de los indicadores de rentabilidad	119
Cuadro 4.1 Cálculos de precipitación 17 de octubre	122

Cuadro 4.2 Cálculos de precipitación 19 de abril	123
Cuadro 4.3 Cálculos de precipitación 10 de mayo	123
Cuadro 4.4 Cálculos de precipitación 29 de junio	123
Cuadro 4.5 Cálculos de precipitación 15 de julio	124
Cuadro 4.6 Cálculos de precipitación 29 de julio	124
Cuadro 4.7 Volumen total captado en la vivienda no.	125
Cuadro 4.8 Volumen total captado en la vivienda no. 2	125
Cuadro 4.9 Volumen total captado en la vivienda no. 3	125
Cuadro 4.10 Volumen total captado en la vivienda no. 4	126
Cuadro 4.11 Volumen total captado en la vivienda no. 5	126
Cuadro 4.12 Volumen total captado en la vivienda no. 6	126
Cuadro 4.13 Volumen total captado en la vivienda no. 7	127
Cuadro 4.14 Volumen total y eficiencia promedio	128
Cuadro 4.15 Agua disponible. Abastecimiento anterior vs actual	129
Cuadro 4.16 Análisis físico químico bacteriológico muestra de agua de cisterna	132
Cuadro 4.17 Análisis físico químico bacteriológico de muestra de agua (Entrada)	133
Cuadro 4.18 Análisis físico químico bacteriológico de muestra de agua (Salida)	135
Cuadro 4.19 Comparación de concentraciones de contaminantes a la entrada y salida del lavadero	135
Cuadro 4.20 Caudal f (velocidad)	139

INTRODUCCIÓN

I.1 Importancia y justificación del presente trabajo

La justificación para el desarrollo este proyecto reside en la necesidad de las poblaciones de contar con fuentes alternativas de dotación y saneamiento de agua, principalmente en zonas rurales desfavorecidas en donde los sistemas de abastecimiento y saneamiento son inexistentes o deficientes.

En numerosas comunidades, en México y en muchos otros países, la población no cuenta con el agua necesaria para mantener un nivel de vida aceptable. Es común que en las comunidades marginadas los pobladores deban recorrer grandes distancias para recolectar el agua disponible, la cual no siempre es potable. Cuando la población no cuenta con el agua necesaria para la vida diaria, se enfrenta a muchas dificultades y está en peligro de contraer enfermedades, en cambio, cuando una comunidad tiene acceso al agua potable en forma fácil y segura, la salud y la calidad de vida tenderán a ser mejores.

Partiendo de la problemática de escasez del recurso hídrico para las generaciones actuales y futuras; se propone la implementación de tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua para comunidades rurales, teniendo como fuente de abastecimiento el agua de lluvia.

Las tecnologías apropiadas (TA) se presentan como una alternativa viable para resolver a nivel de vivienda y/o comunitario, problemas de abastecimiento, bombeo, potabilización, tratamiento y aprovechamiento del agua.

I.2 Objetivos

I.2.1 Objetivo general

Aplicar las tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua en ciertas viviendas de la comunidad de “Palo Seco” en el municipio de Villa Juárez, en el estado de San Luis Potosí para aumentar el volumen y la calidad de agua disponible para uso doméstico y de consumo humano.

I.2.2 Objetivos específicos

1. Elaborar un diagnóstico de la situación actual de la comunidad, la demanda, abastecimiento actual y uso del agua.
2. Realizar un análisis descriptivo de la zona de estudio y determinar la precipitación aprovechable.
3. Diseñar, construir e instalar las TA según las condiciones particulares de la comunidad y los requerimientos de las mismas.
4. Evaluar el potencial de abastecimiento y la calidad de agua obtenida con las tecnologías apropiadas.
5. Evaluar el funcionamiento general del paquete en este caso de estudio.

I.3 Alcance y limitaciones

Este proyecto consiste en la implementación de paquetes integrales para mejorar el abastecimiento y calidad de agua disponible para siete viviendas en la comunidad de Palo Seco en el municipio de Villa Juárez, beneficiando alrededor de 40 personas, esperando resolver a nivel vivienda los problemas de abastecimiento y saneamiento; de esta manera es posible mejorar la calidad de vida de los beneficiarios, iniciando desde los criterios para la selección del sitio hasta las recomendaciones, evaluación y seguimiento necesarios al concluir la ejecución del proyecto.

Esta tesis pretende ser una guía a seguir para trabajos futuros en zonas con condiciones desfavorecidas similares a las de la zona de estudio.

El proyecto fue promovido con el apoyo económico de la fundación Gonzalo Río Arronte y de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y como actividad adicional se llevó a cabo un curso teórico-práctico donde participaron diferentes fundaciones de toda la República provenientes de estados como Guanajuato, Jalisco, Guerrero, Michoacán, Chiapas, Yucatán, Quintana Roo, Tabasco, etc. Donde los participantes pudieron capacitarse en la instalación y operación de las tecnologías. Además de la UASLP, se contó con la participación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y la asociación de Agua y Bienestar Social ABISO A.C

I.4 Metodología general

El presente trabajo se basa en criterios técnicos-científicos y análisis de diferentes factores para dar lugar a un proyecto integral; a través del cumplimiento de lo indicado en las siguientes fases:

Iniciamos la selección de una comunidad con una problemática grave y evidente en cuanto a abastecimiento y saneamiento de agua para uso y consumo, donde las fuentes fueran deficientes y/o inexistentes.

Después, mediante la revisión bibliográfica y trabajo de campo, se realizó un análisis descriptivo de la zona de estudio, para continuar con un diagnóstico de la situación antes de la implementación del proyecto para definir cuáles eran las fuentes habituales para abastecerse y su capacidad de abastecimiento, es importante definir cuál es la demanda y los usos del agua, lo anterior mediante encuestas realizadas a los beneficiarios, de esta manera se puede extender el panorama en cuánto a la problemática que se presenta en la comunidad de "Palo seco" en el municipio de Villa Juárez en el Estado de San Luis Potosí, la cual comparte muchas características físicas y socio económicas con cientos de comunidades a lo largo y extenso de nuestro país.

Posteriormente se realizó un estudio hidrológico para identificar los cuerpos de agua presentes, como las fuentes habituales de abastecimiento y después enfocar la atención principal en el análisis estadístico de la precipitación para obtener la estimación del volumen de agua pluvial potencialmente captable.

Lo siguiente fue revisar la infraestructura y los espacios disponibles en la comunidad para proponer el diseño y ubicación de las tecnologías en cada vivienda y después proceder a la selección de los equipos, materiales y herramientas necesarias para su construcción.

Se llevó a cabo la construcción e instalación de las tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua en comunidades rurales, adicionalmente se realizaron capacitaciones para los pobladores en cuanto a la construcción y operación adecuada de las mismas; de esta manera es posible para los usuarios llevar a cabo acciones de mantenimiento, optimización y mejora en caso de ser necesario.

Luego se realizó una evaluación en el funcionamiento de las tecnologías utilizando los datos recabados de diversos eventos de precipitación ocurridos en el año anterior (2015) y el presente año, los principales datos para llevar a cabo la evaluación son los volúmenes obtenidos en las cisternas mediante la captación y el resultado de los análisis de calidad físico química y biológica de las muestras de agua a la entrada y salida de los tratamientos y del agua almacenada en la cisterna, para poder definir si cumplen con las normas oficiales mexicanas que establecen los límites máximos permisibles, lo anterior de acuerdo al uso que se pretenda dar a los volúmenes captados.

Finalmente se describen de manera detallada los resultados, beneficios obtenidos, recomendaciones futuras y las conclusiones del proyecto.

Cuadro I.1 Metodología general del proyecto

Revisión del marco teórico	El ciclo del agua, historia de la captación pluvial, problemática del agua en zonas rurales, trabajo del IMTA, etc.
Capacitación técnica	Curso – Taller tecnologías apropiadas para manejo integral del agua.
Selección de sitio	Diagnóstico, situación actual, encuestas, problemática, demanda, descripción del marco físico, etc.
Diseño, Construcción e Instalación	Selección y compra de materiales y equipo, construcción e instalación de tecnologías.
Evaluación	Medición de volúmenes, análisis de calidad FQB, evaluación socio económica, funcionamiento general, adopción social.
Conclusión	Manuales de instalación y recomendaciones para futuros proyectos.

CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y LA PROBLEMÁTICA DE ABASTECIMIENTO EN LAS COMUNIDADES RURALES

En este capítulo se desarrolla un marco teórico general sobre la importancia del agua para la vida, la situación y distribución del agua en México y en el mundo, características del agua de lluvia y una breve historia sobre la captación del agua en México y en el mundo, como punto de partida para el desarrollo del trabajo.

1.1 Antecedentes

1.1.1 El Agua y la vida

El agua es el origen de la vida, desde hace 3000 millones de años se dio la vida en el agua en forma de células que se fueron haciendo cada vez más complejas hasta formar la biodiversidad que hoy día conocemos, como los peces, las plantas, los animales y el hombre.¹

Para el desarrollo de cualquier especie, el agua es un recurso básico: sin agua, no habría vida, es un recurso natural no renovable y es parte esencial de animales, plantas y seres humanos, en cuyos cuerpos, aproximadamente, el 70% de su peso corporal está constituido por agua. Ha sido utilizada como medio de disolución, transporte interno de los elementos y, es necesaria para el desarrollo vital de los organismos.

La mayoría de reacciones químicas y bioquímicas de los distintos organismos en el planeta es necesario que esté presente el agua de una u otra manera. El cuerpo necesita el agua para eliminar toxinas y residuos. Al cabo del día, el cuerpo pierde por transpiración y por orina hasta 2 litros diarios que deben ser recuperados en la alimentación. Superando el 15 al 20 % de pérdida de agua en peso, el organismo puede fallecer. Es por ello que el agua juega un papel determinante para el correcto funcionamiento fisiológico de los seres vivos.²

En definitiva, es uno de los elementos más importantes de la naturaleza, se obtiene fundamentalmente por su caída a la tierra en forma de lluvia, fluye por la superficie terrestre creando arroyos, ríos y lagunas, está en constante movimiento de acuerdo a la topografía por donde fluye; de esta manera, el agua viaja siguiendo la trayectoria que le marcan los suelos, declives y quebradas, formando lo que llamamos cuencas.

La historia de las transformaciones humanas del planeta se encuentra estrechamente vinculada a la de sus paisajes fluviales, los cuales encierran una amplia y compleja historia de actividades antropogénicas, desde la lejana aparición de las primeras especies consideradas humanas en las cuencas africanas, en los inicios de la historia del hombre, hace millones de años, hasta nuestros días. Hoy, los océanos siguen siendo la característica fisiográfica dominante del planeta. El 70% de la superficie del planeta está ocupada por masas de agua y los continentes no han dejado de ser grandes islas emergidas de este medio acuático. A través de sus funciones físicas, químicas y biológicas, el agua controla procesos y patrones de los paisajes terrestres.³

El agua no es únicamente un elemento indispensable para el funcionamiento de los organismos que habitan la Tierra, sino también, un medio de vida para la mayor parte de sus seres vivos. El agua es la mayor limitante para la producción de alimentos y para la generación de la biomasa vegetal, es un factor determinante en todas las etapas del crecimiento de las plantas y juega un papel decisivo en procesos tales como la transpiración, absorción de nutrimentos, germinación, fotosíntesis, respiración, etc.

¹ Importancia del agua para la vida <http://importanciadelagua.biz/importancia-del-agua-en-la-vida>

² Importancia del agua en los seres vivos <http://importanciadelagua.biz/importancia-del-agua-en-seres-vivos>

³ Agua, hombre y paisaje INECC, Alejandro Toledo 2006.

1.1.2 El Ciclo del Agua

El ciclo del agua no se inicia en un lugar específico, para esta explicación asumimos que comienza en los océanos.

El sol, que rige el ciclo del agua, calienta el agua de los océanos, la cual se evapora; las corrientes ascendentes de aire llevan el vapor a las capas superiores de la atmósfera, donde una menor temperatura causa que el vapor de agua se condense y forme las nubes. Las corrientes de aire mueven las nubes sobre el globo terrestre, las partículas de nube colisionan, crecen y caen en forma de precipitación si la atmósfera es cálida, pero si en la atmósfera hace mucho frío, el agua cae como nieve o granizo.⁴

Una parte del agua que llega a la tierra será aprovechada por los seres vivos; otra escurrirá por el terreno hasta llegar a un río, un lago o el océano; fenómeno que se conoce como escurrimiento. Otro poco del agua se filtrará a través del suelo, formando capas de agua subterránea, este proceso es la percolación. Parte de esta agua es absorbida por las raíces de las plantas tomando de ella los elementos que necesita para nutrirse y al llegar a las hojas y flores, se evapora hacia el aire; este fenómeno es la transpiración, que a su vez y en conjunto con la evaporación purifican el agua, eliminando todos los elementos que la contaminan o la hacen no apta para beber, como son, las sales, minerales, químicos, y desechos. Por eso el ciclo del agua nos entrega un elemento puro.⁴

A lo largo del tiempo, esta agua continúa moviéndose, parte de ella retornará a los océanos, donde el ciclo del agua se "cierra" y comienza nuevamente (Figura 1.1).



Figura 1.1 El ciclo del agua

⁴ Fuente: El ciclo del agua <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.htm>

1.1.3 La Precipitación

Según la definición oficial de la Organización Meteorológica Mundial, la lluvia es la precipitación de partículas de agua líquida de diámetro mayor de 0.5 mm, o de gotas menores pero muy dispersas.

Como precipitación se conocen todas las formas de humedad que caen a la tierra, provenientes de las nubes, como agua, nieve y hielo. La precipitación constituye la entrada primordial del sistema hidrológico y es el factor principal que controla la hidrología de una región.⁵

En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que se precipita del cielo a la superficie terrestre. Cualquier producto formado por la condensación de vapor de agua atmosférico en el aire libre o la superficie de la tierra es un hidrometeoro.⁶

- Medición de la precipitación

La lluvia se mide en milímetros, se representa el espesor en milímetros de la capa de agua acumulada sobre un suelo horizontal por una o varias precipitaciones, si no hubiera infiltración, ni evaporación y si las precipitaciones que caen bajo forma sólida se encontraran fundidas. El equivalente volumétrico de un milímetro de precipitación es de un litro por metro cuadrado.⁷

La medición de la precipitación se efectúa por medio de pluviómetros o pluviógrafos.

El pluviómetro: proporciona la altura de precipitación total en milímetros en intervalos de tiempo fijados, generalmente de 24 horas.

El pluviógrafo: mide continuamente la precipitación en el tiempo, es el mismo pluviómetro provisto de un mecanismo de relojería que le permite marcar en un tipo especial de papel la variación de la precipitación con el tiempo (ver figura 1.2).



Figura 1.2 Pluviómetro y pluviógrafo comerciales

Fuente: Medición de la precipitación <http://es.slideshare.net/aurayudis/factores-agroecologicos-clima>

⁵ Estudiantes de ingeniería civil UNSA en <http://eicunsa.tk>

⁶ Hidrología 1 Ing. Carlos D. Segerer, 2006.

⁷ Definición del milímetro usado en la meteorología <http://www.meteorologia.gub.uy/index.php/preguntas-frecuentes>

- Formas de precipitación.

Las gotas de agua pequeñas son casi esféricas, mientras que las mayores están achatadas. Su tamaño oscila entre los 0.5 y los 6.35 mm, mientras que su velocidad de caída varía entre los 8 y los 32 km/h, dependiendo de su volumen.⁸

Según el mecanismo por el cual las masas de aire en la atmósfera son obligadas a ascender se pueden clasificar las precipitaciones según sean: frontales, convectivas u orográficas.

- Precipitación frontal: ocurre cuando dos masas de aire de distintas presiones, tales como la fría (más pesada) y la cálida (más liviana) chocan una con la otra.
- Precipitación convectiva: Se produce, generalmente, en regiones cálidas y húmedas cuando masas de aire cálidas, al ascender en altura se enfrían, generándose de esta manera la precipitación.
- Precipitación orográfica: cuando una masa de aire húmedo circula hacia una masa montañosa se eleva hasta llegar a la cima de la montaña. Al ascender se enfría y el agua que contiene se condensa, por lo que se producen las precipitaciones y la masa de aire pierde humedad. Al pasar a la otra ladera de la montaña, el aire seco desciende y se calienta; se genera un viento seco y cálido que puede producir deshielo.⁸

De acuerdo a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2009), la lluvia se puede clasificar según su intensidad⁹ (mm/h):

- Débiles: cuando su intensidad es ≤ 2 mm/h.
- Moderadas: > 2 mm/h y ≤ 15 mm/h.
- Fuertes: > 15 mm/h y ≤ 30 mm/h.
- Muy fuertes: > 30 mm/h y ≤ 60 mm/h.

Por la forma en que cae, se pueden clasificar diversos tipos de precipitación (Herrera, 2010)¹⁰:

- Llovizna: es cuando apenas se alcanzan a ver las gotas. En una llovizna la pluviosidad es casi insignificante y se ve como si las gotas flotaran en forma pulverizada.
- Chispear: se usa para describir un término medio entre una llovizna y una lluvia débil. En comparación con la primera de éstas, la pluviosidad es mayor y las gotas también aumentan de tamaño.
- Lluvia: consiste en gotas de agua líquida con diámetros mayores a las que componen la llovizna propiamente dicha, va de débil a moderada, sin alcanzar la intensidad de una tormenta.
- Chubasco: el viento, las gotas y la intensidad aumentan.
- Tormenta: puede ser débil o intensa; su pluviosidad es alta y las gotas son grandes y el viento, intenso; incluye la posibilidad de que se precipite granizo.
- Tromba: es más fuerte que la tormenta. Tiene viento intenso, gotas grandes, pluviosidad suficientemente alta para inundar y causar estragos. Esta lluvia tiene la capacidad de crear granizo sumamente grande y con posibilidad de aparición de tornados. Las trombas tienen vórtices de viento, como una especie de "ojo".

⁸ Precipitación <https://www.ecured.cu/Precipitaci%C3%B3n#Clasificaci.C3.B3n>

⁹ Agencia Estatal de Meteorología de España <http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/provincias/ayuda>

¹⁰ Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia. Alberto Herrera Monroy, IPN 2010

- Escarcha: es una capa de hielo que se forma producto del enfriamiento de una superficie húmeda producida por lluvia o llovizna.
- Granizo: precipitación en forma de bolas o cristales irregulares de hielo que se producen generalmente por nubes convectivas.
- Nieve: está compuesta por cristales de hielo blanco o traslúcido.¹⁰

Muchas obras de ingeniería civil y ambiental requieren un adecuado conocimiento de las precipitaciones pluviales; para dimensionarlas correctamente y garantizar la vida útil y funcionamiento de las mismas.

1.1.4 Distribución del agua en el mundo

De acuerdo a investigaciones del Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a través del programa Agua y Educación para las Américas, y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey), se reporta que, del total de agua de la Tierra, 1,386 millones de kilómetros cúbicos (332.5 millones de millas cúbicas), alrededor de un 96%, es agua salada. Del agua dulce total, un 68% está confinada en los glaciares y la nieve. Un 30% del agua dulce está en el suelo. Las fuentes superficiales de agua dulce, como lagos y ríos, solamente corresponden a unos 93,100 kilómetros cúbicos (22,300 millas cúbicas), lo que representa un 1/150 del 1% del total del agua. A pesar de esto, los ríos y lagos son la principal fuente de agua que la población usa a diario.¹¹ (Ver Figura 1.3 y Cuadro 1.1)

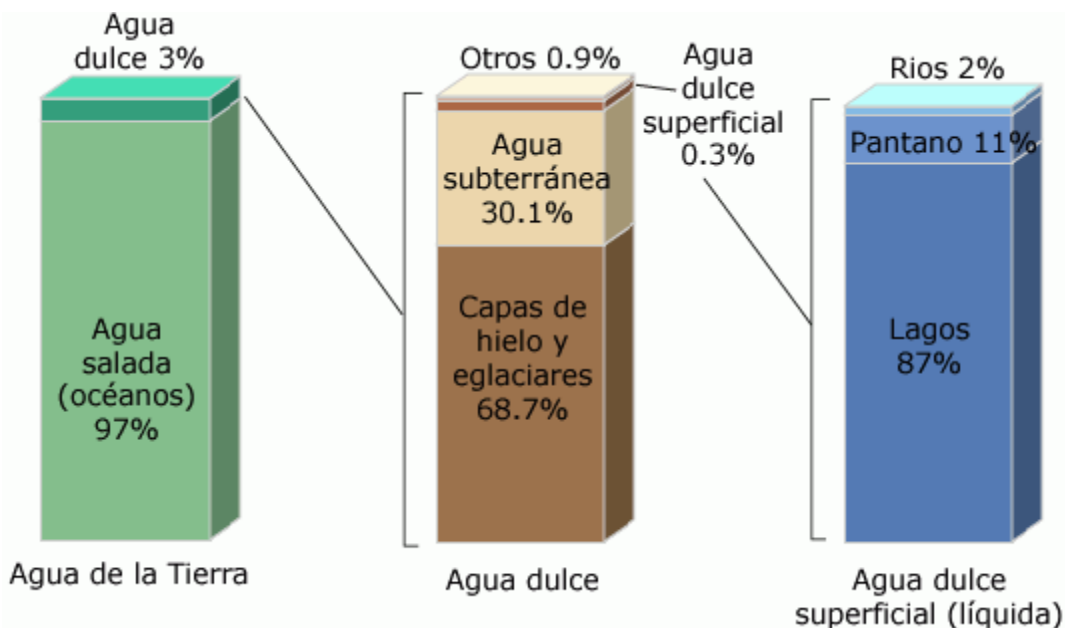


Figura 1.3 Distribución global del agua

Fuente: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>.¹¹

¹¹ Distribución global del agua: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html#global>

Cuadro 1.1 Estimación de la distribución del agua global¹²:

Fuente de agua	Volumen de agua, en kilómetros cúbicos	Volumen de agua, en millas cúbicas	Porcentaje de agua dulce	Porcentaje total de agua
Océanos, Mares y Bahías	1,338,000,000	321,000,000	--	96.5
Capas de hielo, Glaciares y Nieves Perpetuas	24,064,000	5,773,000	68.7	1.74
Agua subterránea	23,400,000	5,614,000	--	1.7
Dulce	10,530,000	2,526,000	30.1	0.76
Salada	12,870,000	3,088,000	--	0.94
Humedad del suelo	16,500	3,959	0.05	0.001
Hielo en el suelo y gelisuelo (permafrost)	300,000	71,970	0.86	0.022
Lagos	176,400	42,320	--	0.013
Dulce	91,000	21,830	0.26	0.007
Salada	85,400	20,490	--	0.006
Atmósfera	12,900	3,095	0.04	0.001
Agua de pantano	11,470	2,752	0.03	0.0008
Ríos	2,120	509	0.006	0.0002
Agua biológica	1,120	269	0.003	0.0001
Total	1,386,000,000	332,500,000	-	100

¹² Fuente: Fuente: Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.

1.1.4.1 El crecimiento insostenible y la creciente demanda mundial de agua

De acuerdo a datos y cifras del Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo (2015) el crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización y el aumento de la producción y el consumo han generado una demanda de agua dulce cada vez mayor. Se prevé que en 2030 el mundo tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% del agua disponible a la actualidad (2030 Water Resources Group, 2009). Las aguas subterráneas abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2010).

A nivel mundial, 2.500 millones de personas dependen de los recursos de aguas subterráneas para satisfacer sus necesidades básicas diarias de agua (UNESCO, 2012). Se estima que el 20% de los acuíferos mundiales está siendo sobreexplotado (Gleeson et al., 2012), lo que ocasionará consecuencias, como el hundimiento del suelo y la intrusión de agua salada (Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS, 2013).

Las pérdidas económicas debidas a los peligros relacionados con el agua han aumentado en la última década. Desde 1992, las inundaciones, sequías y tormentas han afectado a 4.200 millones de personas (el 95% del total afectadas por todos los desastres) y han ocasionado 1.3 billones de dólares de daños (el 63% de todos los daños) (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres UNISDR, 2012). La disponibilidad de agua se enfrenta a las presiones de la contaminación. Se espera que la eutrofización de las aguas superficiales y las zonas costeras aumente en casi todas partes hasta 2030 (Departamento de Asuntos Económicos y Social de la ONU, UNDESA, 2012).

La financiación de las infraestructuras hídricas procede de los gobiernos, aunque muchos países en vías de desarrollo dependen de las ayudas externas para financiar la gestión de los recursos hídricos y los servicios públicos. Más de la mitad de países con un índice de desarrollo humano bajo han informado que la financiación destinada al desarrollo y la gestión de los recursos hídricos procedente del presupuesto gubernamental ha ido en aumento durante los últimos 20 años (UN-Water, 2012).

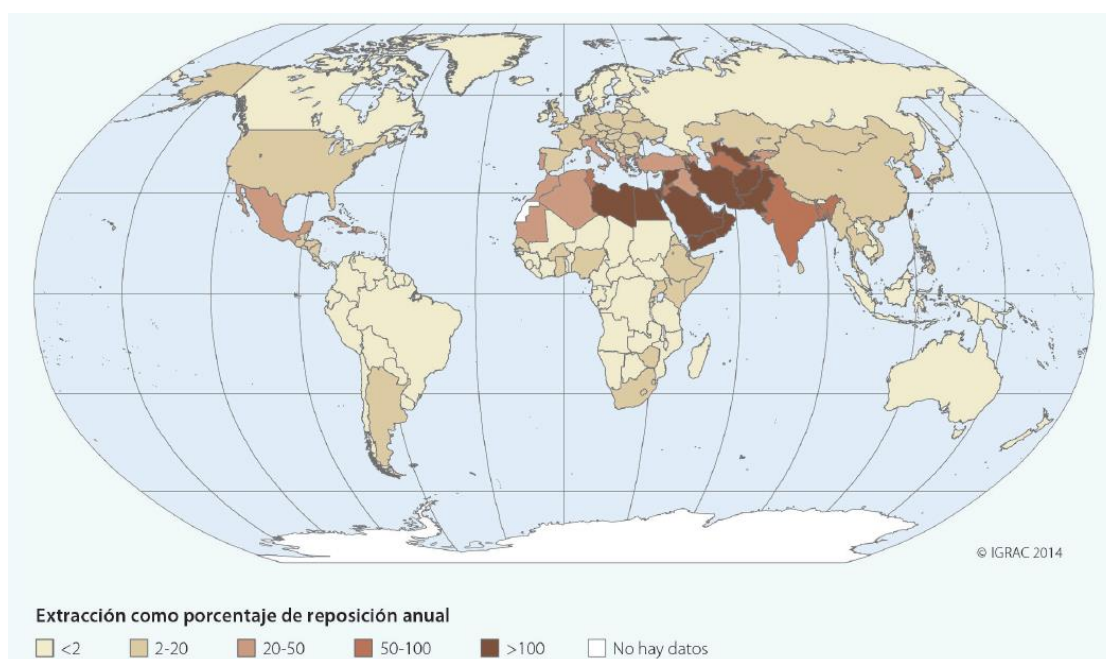


Figura 1.4 Estrés en el desarrollo de aguas subterráneas (2010)

¹³Fuente: WWAP, con datos del IGRAC (2014) (International Groundwater Resources Assessment Center / Centro Internacional de Evaluación de los Recursos de Aguas Subterráneas).

En el siguiente mapa se muestra la distribución mundial de la escasez de agua por cuenca hidrográfica basada en el consumo de agua para el riego.

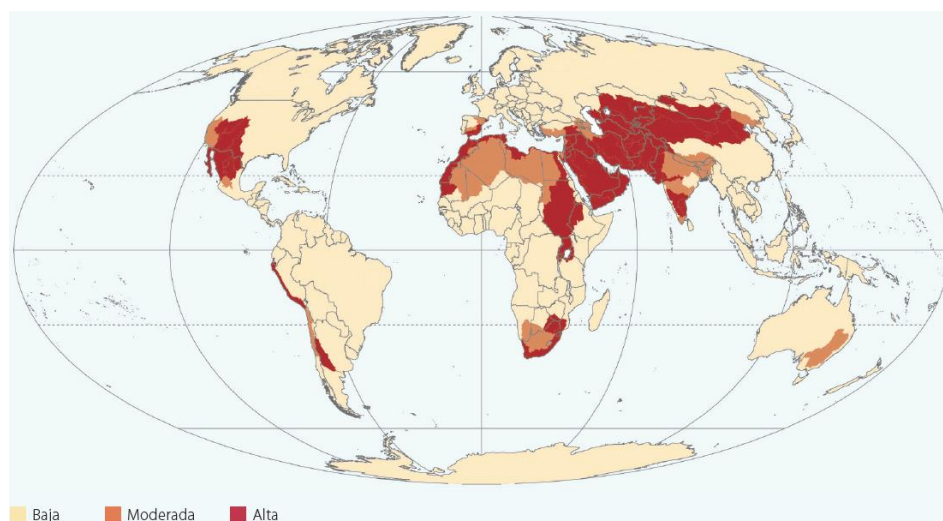


Figura 1.5 Distribución mundial de la escasez de agua en las principales cuencas (2011)

Fuente: FAO (2011). (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. El Estado de los Recursos de Tierras y Aguas del Mundo para la Alimentación y la Agricultura (SOLAW) <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf>

1.1.4.2 Perspectiva regional de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe

Según datos de la Secretaría del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la División de Ciencias del Agua perteneciente a la UNESCO, en la última década, en América Latina y el Caribe se ha logrado un elevado crecimiento económico y una mayor estabilidad macroeconómica, así como a la aparición de una clase media (CEPAL, 2013). Sin embargo, más de 160 millones de personas (aproximadamente el 28% de su población) sigue viviendo en la pobreza.^{14, 15}

Los niveles de abastecimiento de agua y saneamiento alcanzados en la región pueden compararse favorablemente con los de otros países en desarrollo (OMS y UNICEF, 2014). Sin embargo, estas estimaciones de carácter general tienden a exagerar los niveles reales de acceso a los servicios, y especialmente las graves deficiencias en la calidad del servicio que afectan desproporcionadamente a las áreas rurales y a los pobres (Jouravlev, 2011).^{16, 17, 18}

Dada la relativa abundancia de agua en la región, la primera prioridad consiste en mejorar y consolidar la gobernanza del agua, con un cambio orientado hacia la integración sostenible de la gestión de los recursos hídricos y su uso en el desarrollo socioeconómico y la reducción de la pobreza.

La base de la mayoría de las economías de la región sigue siendo la exportación de recursos naturales, para esta producción se utilizan grandes cantidades de agua. Las actividades económicas y la población tienden a concentrarse en las áreas secas y subhúmedas. Esto nos tiende a aumentar la competencia en cuanto a cantidad, calidad y oportunidad de uso de los escasos recursos hídricos.

¹⁴UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

¹⁵CEPAL Comisión Económica para América Latina y el Caribe

¹⁶OMS Organización Mundial de la Salud

¹⁷UNICEF Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

¹⁸Lineamientos de política pública para el sector de agua potable y saneamiento Andrei Jouravlev, junio 2011.

1.1.5 Situación del agua en México

La adecuada disponibilidad y calidad del agua es uno de los pilares del desarrollo de nuestro y de cualquier país, es una condición necesaria para mantener el bienestar y salud de la población y uno de los elementos indispensables para un ambiente sano. Por esta razón, una de las tareas principales de los diferentes órdenes de gobierno, así como de la iniciativa privada y la sociedad, es participar activamente en mejorar el manejo hídrico del país, con el fin de lograr la seguridad y la sustentabilidad hídrica de México.

En México el crecimiento económico no ha tomado en cuenta las señales de escasez del agua. La concentración de la población y la actividad económica han creado zonas de alta escasez; no sólo en las regiones de baja precipitación pluvial sino también en zonas donde hasta hace poco no se percibía como un problema.

El crecimiento poblacional y económico han ejercido mayor presión sobre las reservas de agua en México, al punto que el volumen demandado es mayor que el suministrado en algunas regiones del país, lo que obliga al gobierno decidir a quién dejar sin este recurso. La competencia ha causado conflictos de diferente intensidad presentándose entre comunidades, municipios y estados según lo reportado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2014).

1.1.5.1 Aspectos geográficos y demográficos

La extensión territorial de los Estados Unidos Mexicanos comprende 1.964 millones de km², de los cuales, 1.959 millones corresponden a la superficie continental y el resto a las áreas insulares. Adicionalmente debe tomarse en consideración la Zona Económica Exclusiva, definida como la franja de 370 km de anchura medida a partir de la línea de base costera, cuya extensión se estima en aproximadamente tres millones de km², como se muestra en la Figura 1.6 y en el cuadro 1.2.¹⁹

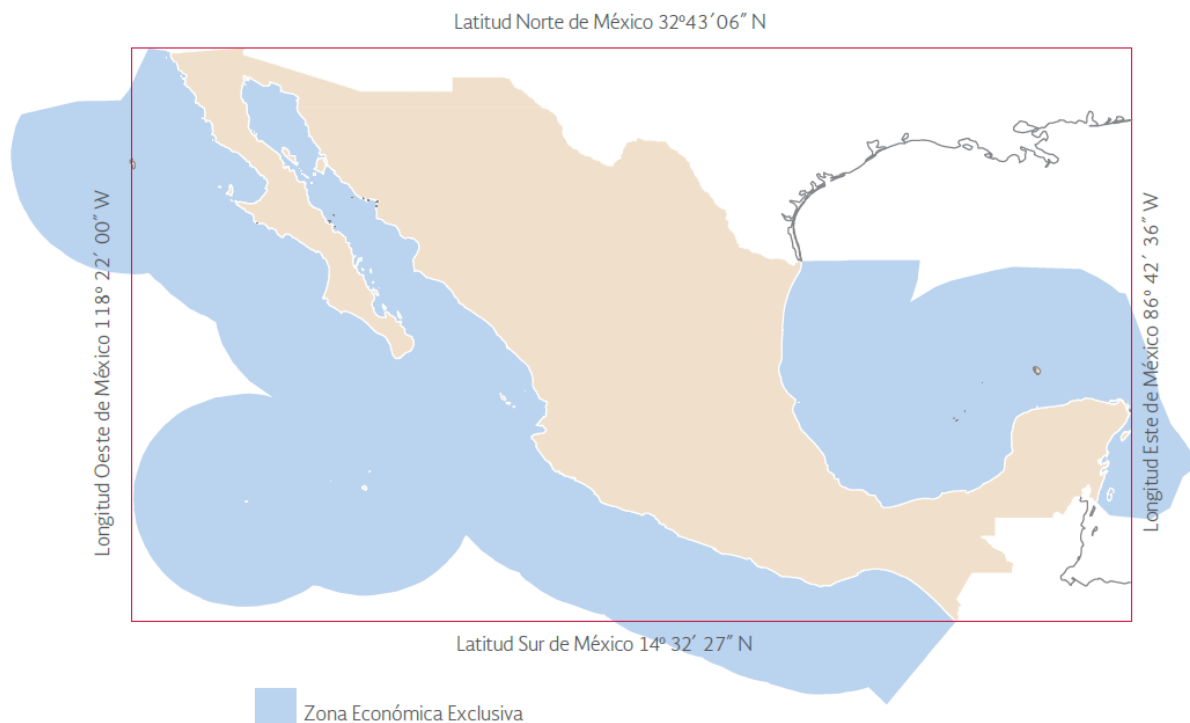


Figura 1.6 Coordenadas extremas y Zona Económica Exclusiva

¹⁹Fuente: Estadísticas del agua en México. CONAGUA 2015

Cuadro 1.2 Ubicación y extensión territorial de México

Extensión territorial		Límites internacionales del territorio continental	
Superficie territorial	1 964 375 km ²	Estados Unidos de América	3 152 km
Continental	1 959 248 km ²	Guatemala	956 km
Insular	5 127 km ²	Belice	193 km
Línea de costa		Coordenadas geográficas extremas	
Longitud total	11 122 km	Al Norte: 32° 43' 06" latitud Norte. Monumento 206 en la frontera con los Estados Unidos de América.	
Océano Pacífico	7 828 km	Al Sur: 14° 32' 27" latitud Norte. Desembocadura del río Suchiate, frontera con Guatemala.	
Golfo de México y Mar Caribe	3 294 km	Al Este: 86° 42' 36" longitud Oeste. Isla Mujeres.	
		Al Oeste: 118° 22' 00" longitud Oeste. Isla Guadalupe.	

Fuente: INEGI (2014)

De acuerdo a datos de CONAGUA y del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), una de las principales causas de la escasez del agua en México es el incremento de la población en 94 millones de habitantes, al pasar de 25 millones en 1950, a 119 millones en 2015. A partir de 1990, 22 millones de mexicanos no tienen acceso al agua potable, principalmente en la zona centro y norte del país, lo grave, es que la situación empeora cada vez más, pues tenemos menor disponibilidad de agua.

Otra variable importante es el clima, existen factores que determinan el clima de nuestro país. Por su ubicación geográfica, la porción sur de México se encuentra en la zona intertropical del globo terráqueo, en tanto que la porción norte se localiza en la zona templada. Adicionalmente están los accidentes geográficos que caracterizan el relieve de nuestro país. La ubicación geográfica y el relieve inciden directamente sobre la disponibilidad del recurso hídrico (CONAGUA, 2015).

Según lo reportado en estadísticas del agua en México (CONAGUA, 2015), dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones pluviales anuales menores a los 500 mm, mientras que el sureste es húmedo con precipitaciones promedio que superan los 2000 mm por año. En la mayor parte del territorio la lluvia es más intensa en verano, principalmente de tipo torrencial.

1.1.5.2 Regiones hidrológico-administrativas (RHA) para la gestión del agua

Para fines de administración y preservación de las aguas nacionales, a partir de 1997 el país se ha dividido en trece RHA, las cuales están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, pero sus límites respetan los municipales para facilitar la integración de la información socioeconómica.

La CONAGUA encargado de la gestión del agua en México, desempeña sus funciones a través de trece organismos de cuenca, cuyo ámbito de competencia son las RHA como se aprecia en la Figura 1.7 de la página siguiente.²⁰

Además de las Regiones Hidrológico-Administrativas las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas (Ver Figura 1.8) La CONAGUA cuenta con 3 153 estaciones en operación para medir las variables climatológicas, como temperatura, precipitación pluvial, evaporación, velocidad y dirección del viento. En México se cuenta con 717 estaciones hidrométricas las cuales miden el caudal de agua de los ríos, así como la extracción por obra de toma de las presas., entre ellas algunas son automáticas.

²⁰Regiones Hidrológico Administrativas (RHA). Atlas digital del agua en México CONAGUA, 2012.

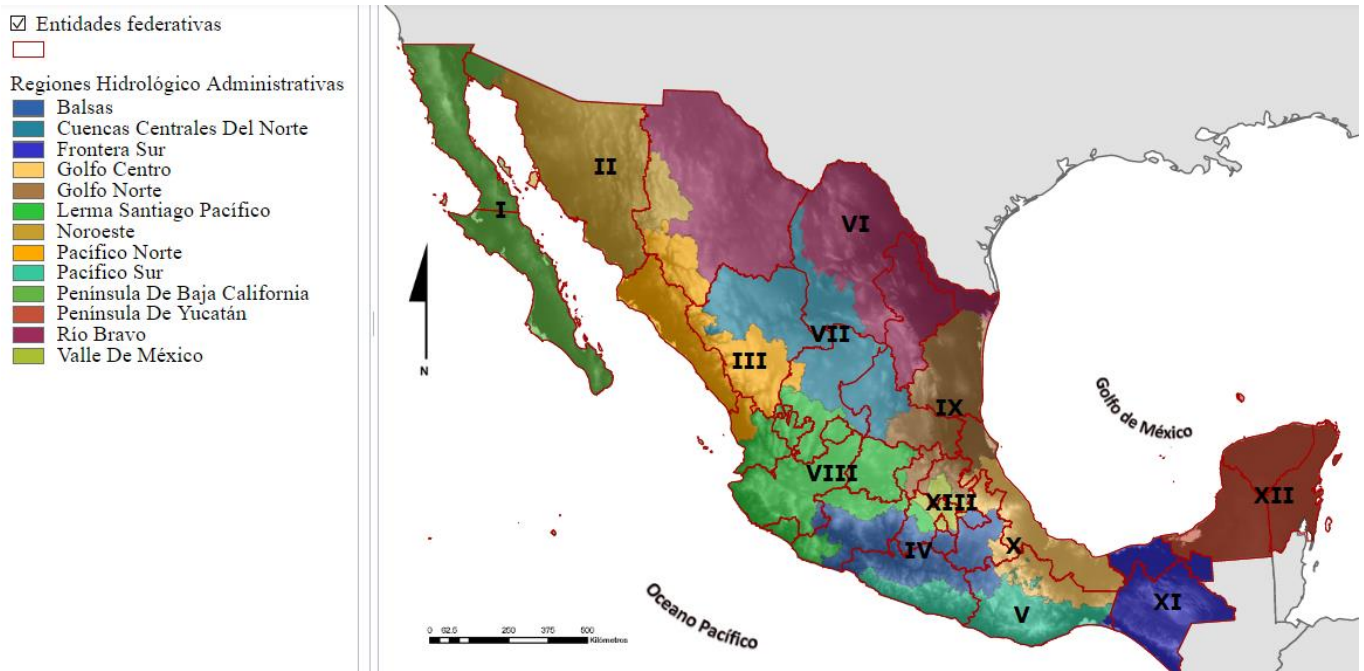


Figura 1.7 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA)

Fuente: Atlas digital del Agua en México CONAGUA, 2012



Figura 1.8 Regiones hidrológicas

Fuente: Estadísticas del Agua en México, CONAGUA 2015.

1.1.5.3 Agua Renovable

México recibe aproximadamente 1 488 819 hm³ de agua en forma de precipitación al año, de la cual se estima que el 71.6% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.2% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.2% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Para tener el balance completo es necesario agregar alrededor de 48 381 hm³ anuales que ingresan por importaciones de los ríos de las fronteras norte y sur y restar las exportaciones a los Estados Unidos que contabilizan 432 hm³ anuales. Así, en el balance general la disponibilidad natural media en México es de 471 498 hm³ anuales de agua en promedio al año.

Estos valores medios fueron estimados por estudios de cuencas y acuíferos de CONAGUA en 2011, por lo que se ha considerado emplearlos como valores de referencia. Los componentes y valores que conforman el cálculo del agua renovable²¹ se muestran en la figura 1.9.

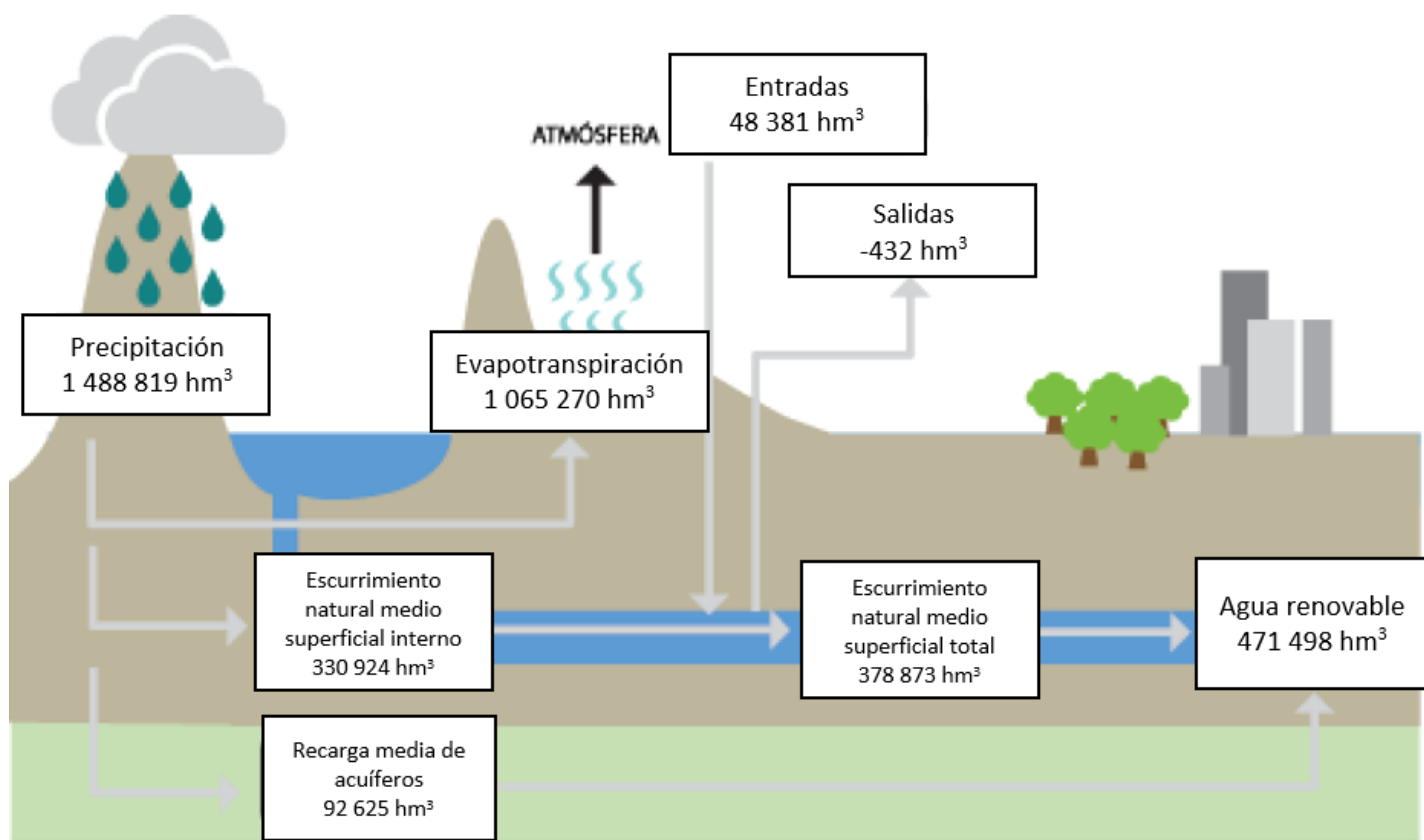


Figura 1.9 Valores medios anuales de los componentes del ciclo hidrológico en México

Fuente: Estadísticas del Agua en México. CONAGUA, 2014.

²¹Cantidad de agua máxima que es factible explotar anualmente en una región, es decir, la cantidad de agua que es renovada por la lluvia y el agua proveniente de otras regiones o países (balance de importaciones y exportaciones). Se calcula como el escurrimiento natural medio superficial interno anual, más la recarga total anual de los acuíferos, más los flujos de entrada y salida de agua a otras regiones (Gleick 2002).

El agua renovable se debe analizar desde tres perspectivas:

- Distribución temporal: en México existen grandes variaciones del agua renovable a lo largo del año. La mayor parte de la lluvia ocurre en el verano y el resto del año es relativamente seco.
- Distribución espacial: en algunas regiones del país ocurre precipitación abundante y hay baja densidad de población, en otras sucede lo contrario.
- Área de análisis: la problemática del agua y su atención es predominantemente de tipo local. Los indicadores calculados a gran escala esconden las fuertes variaciones que existen a lo largo y ancho del país.

En algunas RHA como en la I Península de Baja California, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte, VIII Lerma-Santiago-Pacífico y XIII Aguas del Valle de México, el valor del agua renovable per cápita es preocupantemente bajo como se observa en el Cuadro 1.3.

Cuadro 1.3 Agua renovable per cápita

Clave	RHA	Agua renovable 2011 (hm ³ /año)	Población 2013 a medio año (mill. hab.)	Agua renovable per cápita al 2013 (m ³ /hab/año)	Escorrentamiento natural medio superficial total 2011 (hm ³ /año)	Recarga media total de acuíferos 2011 (hm ³ /año)
I	Península de Baja California	4 999.2	4.29	1 165	3 341	1 658
II	Noroeste	8 324.9	2.76	3 011	5 073	3 251
III	Pacífico Norte	25 939.1	4.42	5 863	22 650	3 290
IV	Balsas	22 898.7	11.56	1 980	17 057	5 842
V	Pacífico Sur	32 350.6	4.99	6 488	30 800	1 551
VI	Río Bravo	12 757.2	12.00	1 063	6 857	5 900
VII	Cuencas Centrales del Norte	8 064.7	4.47	1 806	5 745	2 320
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	35 754.0	23.60	1 515	26 005	9 749
IX	Golfo Norte	28 114.6	5.19	5 421	24 146	3 969
X	Golfo Centro	95 124.5	10.40	9 149	90 419	4 705
XI	Frontera Sur	163 845.5	7.48	21 906	141 128	22 718
XII	Península de Yucatán	29 856.3	4.43	6 740	4 541	25 316
XIII	Aguas del Valle de México	3 468.4	22.82	152	1 112	2 357
	Total Nacional	471 497.6	118.40	3 982	378 873	92 625

Fuente: Estadísticas del Agua en México. CONAGUA, 2015. De acuerdo a los valores de referencia del ciclo de actualización de estudios de cuencas y acuíferos al año 2011. Consejo Nacional de Población CONAPO (2014).

1.1.5.4 Variabilidad espacial y temporal en la disponibilidad del agua

En México, la precipitación normal²² para el periodo 1981-2010 fue de 935.7 milímetros, volumen que se considera abundante (CONAGUA, 2011). Sin embargo, resulta poco representativo de la situación hídrica a lo largo del país. Por ejemplo, en 2011, Baja California Sur apenas registró poco más 70 milímetros de lluvia, mientras que en Chiapas y Tabasco la precipitación anual alcanzó los 2 373 y 2 478 milímetros, respectivamente.

A nivel de las regiones hidrológico-administrativas en que se divide el país, las diferencias también son notables: durante el periodo 1981-2010, las regiones norteñas, Península de Baja California, Noroeste, Río Bravo y Cuencas Centrales del Norte, que ocupan el 47.6% del territorio nacional recibieron en conjunto 13.4% del total, mientras que las regiones Pacífico Sur, Golfo Centro, Frontera Sur y Península de Yucatán, ubicadas al sur del país y que ocupan 21.5% del territorio nacional, recibieron el 53.9% del total (Ver Figura 1.10; Cuadro 1.4)

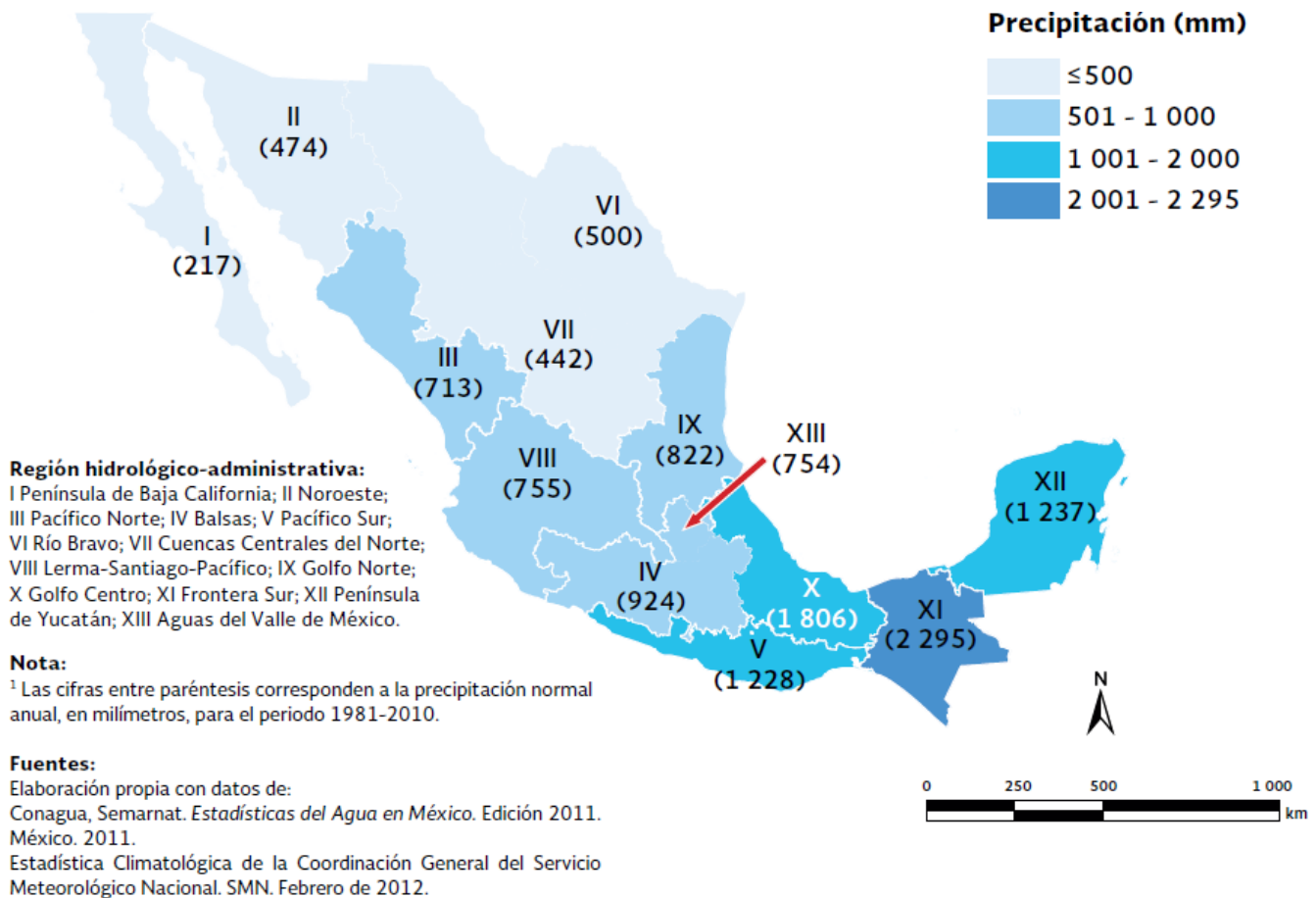


Figura 1.10 Precipitación normal anual por región hidrológico-administrativa 1981 - 2010
 Fuente: Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2012. SEMARNAT.

²²Es la precipitación medida para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de datos, lo que se considera como un periodo climatológico mínimo representativo.

Cuadro 1.4 Precipitación y superficie de las regiones hidrológico-administrativas, 1981 - 2010

Región hidrológico-administrativa		Superficie		Precipitación normal ¹ (mm) 1981-2010
		(km ²)	(%)	
I	Baja California	145 489	7.43	217.2
II	Noroeste	205 291	10.48	473.7
III	Pacífico Norte	151 934	7.75	713.3
IV	Balsas	119 219	6.08	924.2
V	Pacífico Sur	77 087	3.93	1 228.0
VI	Río Bravo	379 604	19.38	500.2
VII	Cuencas Centrales del Norte	202 385	10.33	441.6
VIII	Lerma-Santiago- Pacífico	190 438	9.72	754.6
IX	Golfo Norte	127 138	6.49	822.5
X	Golfo Centro	104 631	5.34	1 806.0
XI	Frontera Sur	101 813	5.20	2 295.4
XII	Península de Yucatán	137 795	7.04	1 237.5
XIII	Aguas del Valle de México	16 424	0.84	753.7
Nacional		1 959 248	100	935.7

Nota:

¹ Precipitación normal es la precipitación medida para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de datos, lo que se considera como un periodo climatológico mínimo representativo.

Fuentes:

Elaboración propia con datos de:

Conagua, Semarnat. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2011. México. 2011.

Estadística Climatológica de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. SMN. Febrero de 2012.

Fuente: Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2012. SEMARNAT.

La disponibilidad natural varía significativamente en el territorio. En 2012, la región frontera sur contaba con casi 164 km³ anuales, en contraste con las regiones Península de Baja California, que contabilizó apenas 4.99 km³ anuales, y la región Aguas del Valle de México, con sólo 3.47 km³ de agua disponible al año (Ver Figura 1.11).

El posible estrés que enfrentan los habitantes de una región puede medirse estimando el volumen de agua que le corresponde a cada habitante como se observó en el Cuadro 1.3. Cuando la disponibilidad per cápita es inferior a los 1 700 m³ por año se considera como una situación de estrés hídrico (Indicador de Falkenmark; UNDP *et al.*, 2000)²³; si la disponibilidad está por debajo de los 1 000 m³ se considera que las consecuencias pueden ser severas y comprometer seriamente la seguridad alimentaria e, incluso, el desarrollo económico del país.

A nivel mundial, la disponibilidad per cápita ha disminuido significativamente en unas cuantas décadas. En 1960, a cada habitante le correspondían 11 300 m³ por año, los que se redujeron a 5 000 m³ en 2010 (MEA, 2005; FAO, 2012).^{23, 24}

²³ MEA. *Ecosystems and human well-being: Our human planet. Summary for Decision Makers. Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press. Washington D.C. 2005.

²⁴ FAO-Aquastat. *Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO*. 2012. Disponible en: www.fao.org/nr/water/aquastat/data/.

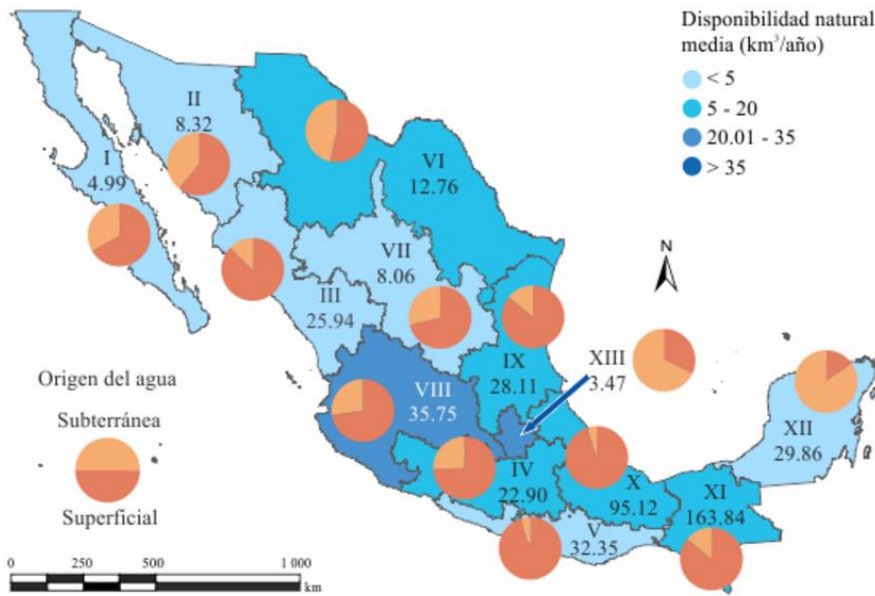


Figura 1.11 Disponibilidad natural media total por región hidrológico-administrativa, 1981 - 2012

Fuente: CONAGUA, SEMARNAT. Estadísticas del Agua en México. Edición 2014. México 2014.

En México la disponibilidad per cápita anual también ha disminuido de manera considerable: en 1950 era de 17 742 m³, pasando a menos de la mitad en 1970 (8 000 m³) y a sólo 4 028m³ en 2012, volumen considerado como de baja disponibilidad de acuerdo al *World Resources Institute* (WRI; Figura 1.12). Esta última cifra es mucho menor a la de países como Canadá (84 633 m³/hab/año), Panamá (42 577 m³/hab/año) o Estados Unidos (9 159 m³/hab/año), y en general a la de los países sudamericanos, pero ligeramente superior al promedio de muchos países europeos (FAO, 2012). Para 2030 se proyecta que la disponibilidad de agua por habitante en el país sea de apenas 3 430 m³ por año (CONAGUA, 2014).²⁵

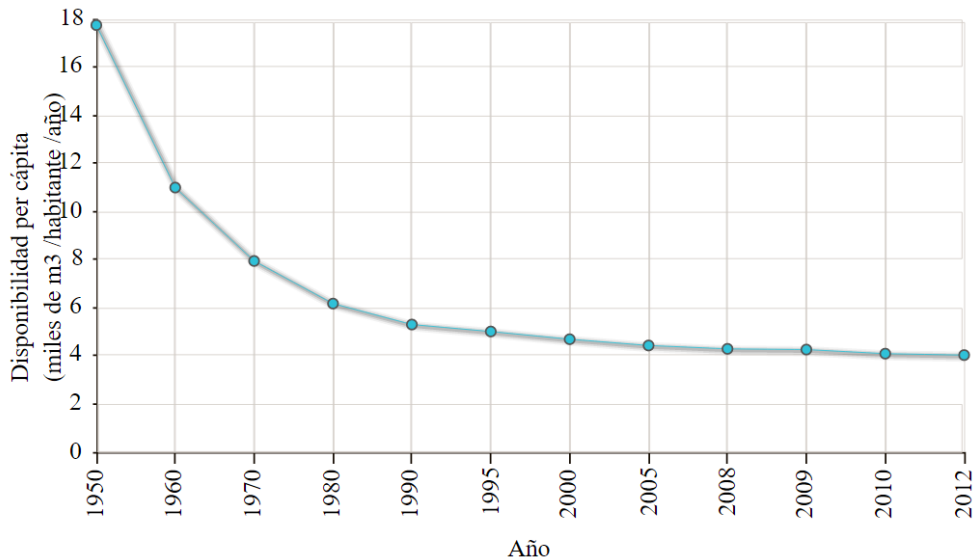


Figura 1.12 Disponibilidad natural media per cápita, 1950-2012

Fuente: CONAGUA, SEMARNAT. Estadísticas del Agua en México. Edición 2014. México 2014.

²⁵WRI. Water: Critical shortages ahead En: WRI, UNEP, UNDP, y WB. World Resources 1998-99: Environmental change and human health. 1999. Disponible en: http://pubs.wri.org/pubs_content_text.cfm?ContentID=1030.

Los valores nacionales per cápita pueden enmascarar situaciones de estrés hídrico a nivel regional. Mientras que la región Aguas del Valle de México tenía en 2012 una disponibilidad de apenas 153 m³ por habitante por año, la región Frontera Sur registraba 22 185 m³, es decir, una disponibilidad 145 veces mayor (Ver figura 1.13). Considerando a las regiones hidrológico-administrativas con disponibilidades clasificadas como muy bajas, resulta que más de 66.39 millones de habitantes (cerca del 56.71% de la población nacional) se encontraban en 2012 en situación de estrés hídrico (CONAGUA, 2014).

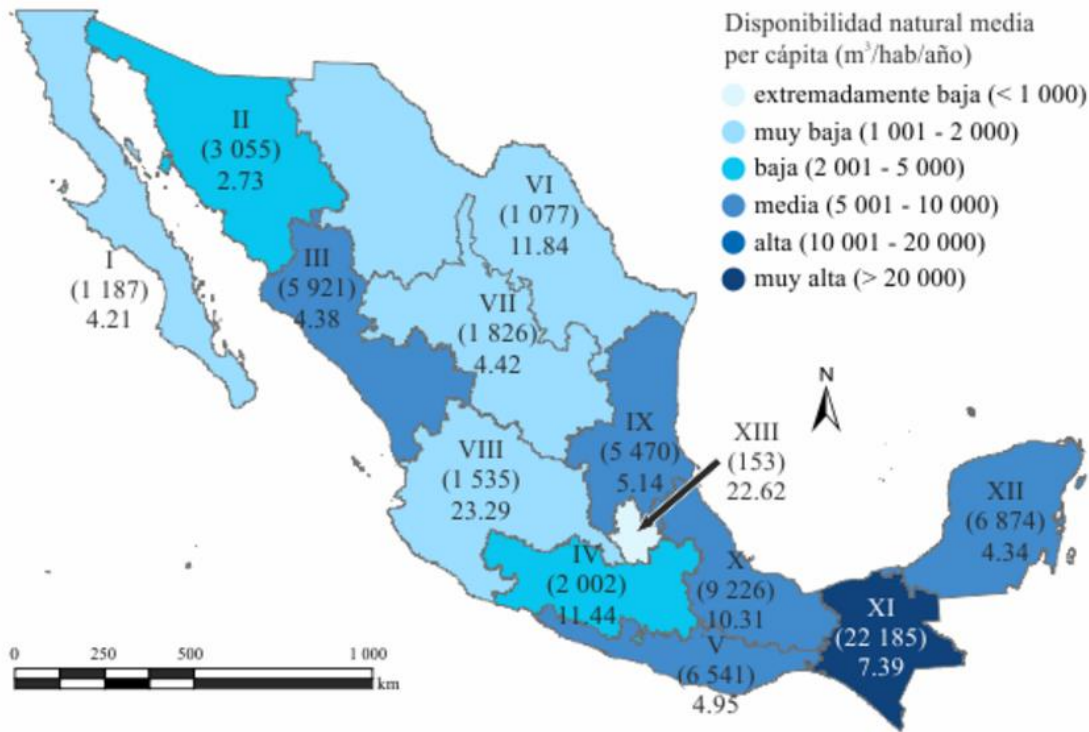


Figura 1.13 Disponibilidad natural media per cápita por región hidrológico-administrativa, 2014

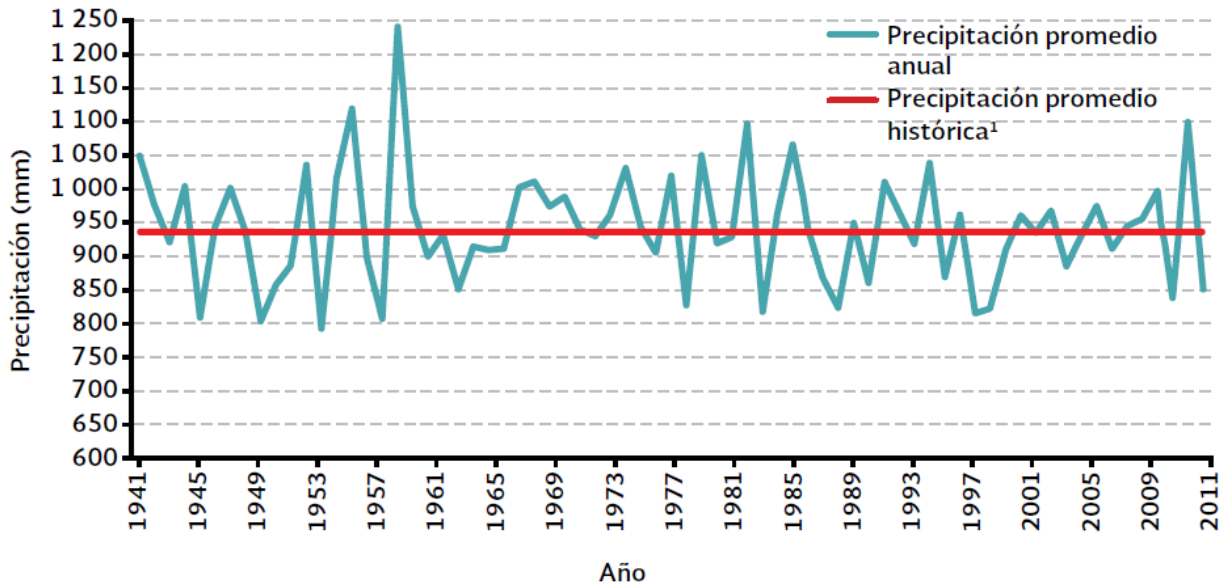
Las Cifras entre paréntesis corresponden a la disponibilidad media per cápita y debajo de ellas se indican los millones de habitantes por RHA.

Fuente: CONAGUA, SEMARNAT. Estadísticas del Agua en México. Edición 2014. México 2014.

Con respecto a la variabilidad temporal, la precipitación también muestra diferencias importantes. En 2010, el valor de precipitación nacional fue 17.5% superior al promedio del periodo 1981-2010 (935.7 mm), mientras que, en los años 1982, 1988, 1995, 1996, 2009 y 2011 estuvo por debajo de dicho promedio (Ver Figura 1.14).²⁶

En cuanto a la variación de la precipitación a lo largo del año, los mayores volúmenes ocurren generalmente durante el verano (Figura 1.15), mientras que la época de estiaje se prolonga, en la mayoría del país, entre los meses de noviembre y mayo.

²⁶ Fuente: Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2012. SEMARNAT.



Nota:

¹ La precipitación promedio histórica (935.7 mm) corresponde al periodo 1981-2010 .

Figura 1.14 Precipitación promedio anual en México, 1941 - 2011

Fuente: Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2012. SEMARNAT. Estadística Climatológica de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. SMN. Febrero 2012.

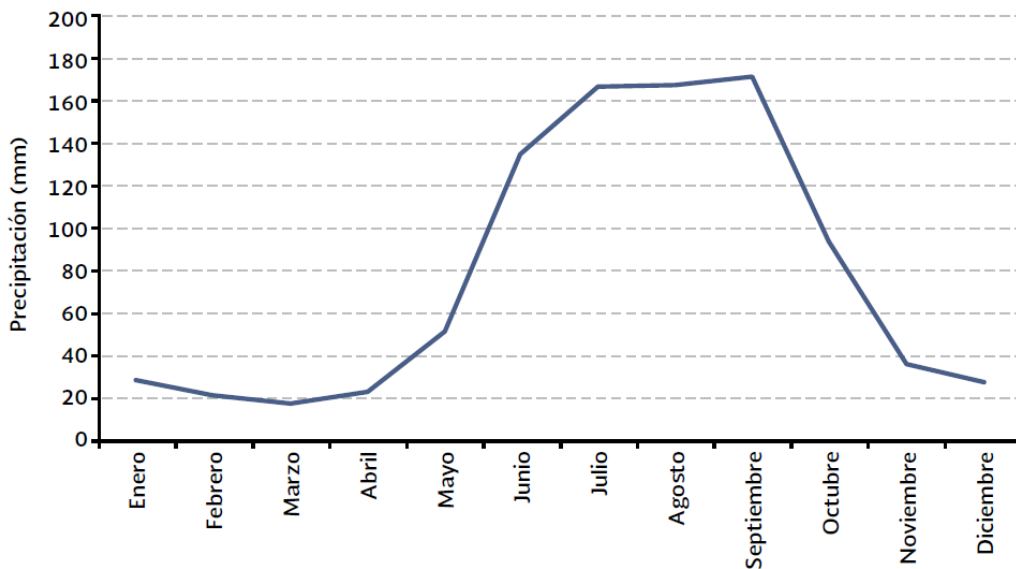


Figura 1.15 Precipitación media mensual en México, 1981 - 2013

Fuente: SEMARNAT 2014, con datos de Estadística Climatológica de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. SMN. Febrero de 2014.

1.1.5.5. Agua almacenada

El volumen de agua que almacenan los lagos del país es aproximadamente de 10 km³ el cual resulta relativamente pequeño si se compara con el volumen utilizado por el sector agrícola, que equivale a cerca de 63.35 km³ al año. La razón de este bajo volumen de almacenamiento de ríos y lagos se debe a que la orografía mexicana no permite la formación de lagos profundos. Por esa razón, para asegurar el suministro del líquido para los diferentes usos en todo el país, y considerando la ocurrencia espacial y temporal en la precipitación, se ha construido red hidráulica de presas y embalses (SEMARNAT, 2012).

En el país existen 5 163 presas y bordos, con una capacidad de almacenamiento total de aproximadamente 150 km³. De ellas, 667 se clasifican como grandes presas ya que poseen una capacidad de almacenamiento mayor a un hectómetro cúbico. Entre 2000 y 2012, el volumen de agua almacenada respecto a la capacidad total de almacenamiento en las 52 presas más grandes del país fluctuó entre el 49.6 y el 91.3% (Ver Figura 1.16 y Figura 1.17) según datos de CONAGUA en 2012.

Con respecto al uso de las presas en el país, 41 de las 52 presas más grandes suministran agua para riego (beneficiando a 6.5 millones de hectáreas de agricultura de riego y 2.9 millones de temporal tecnificado), mientras que nueve de ellas se destinan al abastecimiento público. Treinta y tres grandes presas tienen más de un uso, entre los que pueden estar la generación de electricidad, irrigación, control de avenidas y abastecimiento público. En el Cuadro 1.5 se presentan para las 52 principales presas del país, sus usos y la capacidad al nivel de aguas máximas ordinarias (NAMO) (SEMARNAT, 2012).

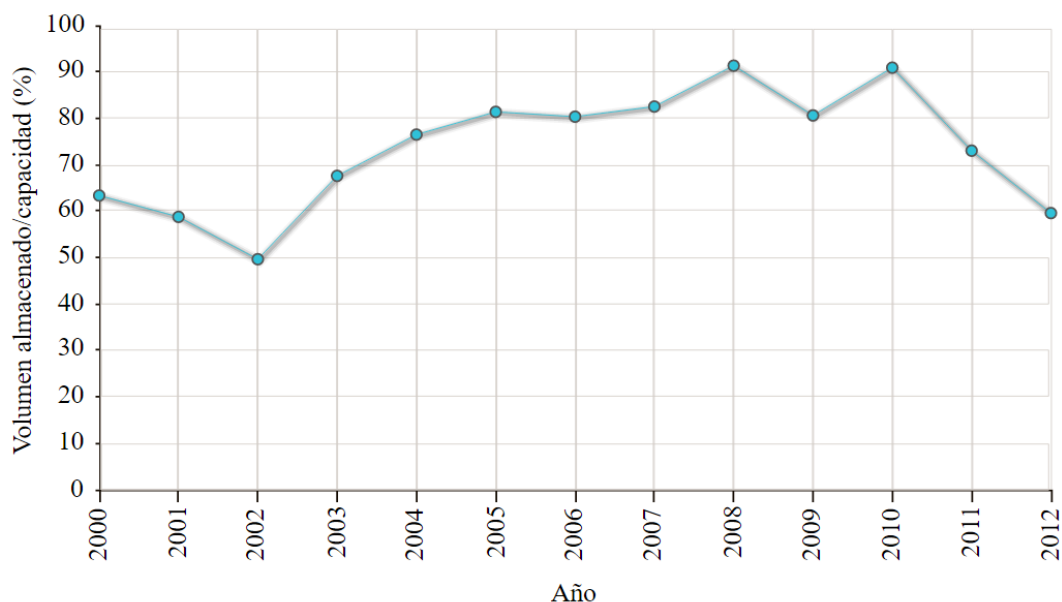


Figura 1.16 Almacenamiento de agua en las presas más grandes del país, 2000-2012

*El número de grandes presas (con capacidad al NAMO igual o mayor a 250 hm³) en la gráfica fue de 50 hasta 2005, 51 entre 2006 y 2011; y 52 en 2012.

**El volumen almacenado es respecto a la capacidad total de almacenamiento de las presas.

Fuente: CONAGUA, SEMARNAT. Estadísticas del Agua en México. Edición 2014. México 2014.

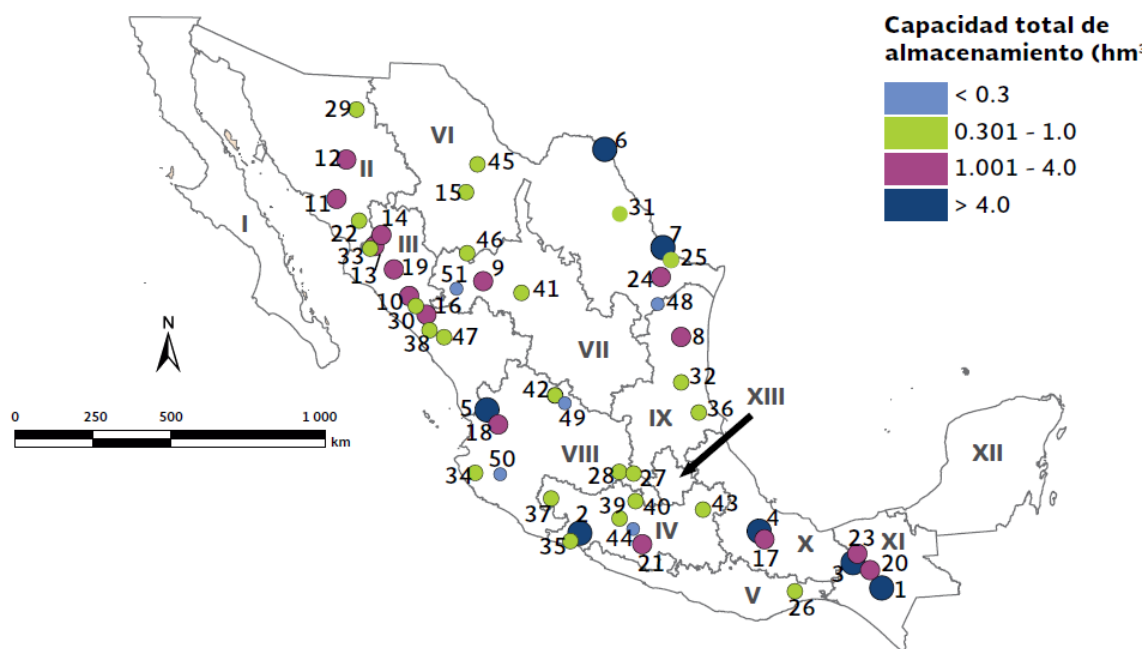


Figura 1.17 Presas más grandes en México por su capacidad de almacenamiento, 2014
 *Solo se incluyen las 52 presas principales con capacidad >250 hm³. En 2012 se puso en operación la Presa Picachos, en el municipio de Mazatlán, Sinaloa (RHA III), con una capacidad de 322 hm³.
 Fuente: CONAGUA, SEMARNAT. Atlas del Agua en México 2014. México 2014.

Cuadro 1.5 Presas más grandes en México por su capacidad de almacenamiento, 2014

NOMBRE OFICIAL DE LA PRESA	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO AL NAMO	AÑO DE TERMINACIÓN	REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA	USOS	VOLUMEN ALMACENADO (2014)
<i>Dr. Belisario Domínguez</i>	15 549.20	1978	XI Frontera Sur	G	10 559.20
<i>Netzahualcóyotl</i>	12 373.10	1964	XI Frontera Sur	G, I, C	8 166.18
<i>Infiernillo</i>	9 340.00	1964	IV Balsas	G, C	6 266.13
<i>Presidente Miguel Alemán</i>	8 119.10	1955	X Golfo Centro	G, I, C	4 913.21
<i>Aguamilpa Solidaridad</i>	5 540.00	1993	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	G, I	3 816.81
<i>Internacional La Amistad</i>	4 174.00	1968	VI Río Bravo	G, I, A, C	1 759.64
<i>Gral. Vicente Guerrero</i>	3 910.00	1971	IX Golfo Norte	I, A	2 940.91
<i>Internacional Falcón</i>	3 258.00	1953	VI Río Bravo	A, C, G	831.29
<i>Adolfo López Mateos</i>	3 086.61	1964	III Pacífico Norte	G, I	712.47
<i>Álvaro Obregón</i>	2 989.20	1952	II Noroeste	G, I, A	2 134.96
<i>Miguel Hidalgo y Costilla</i>	2 921.42	1956	III Pacífico Norte	G, I	873.99
<i>Luis Donaldo Colosio</i>	2 908.10	1995	III Pacífico Norte	G, I	842.68
<i>La Boquilla</i>	2 893.57	1916	VI Río Bravo	I, G	985.68
<i>Lázaro Cárdenas</i>	2 872.97	1946	VII Cuencas Centrales del Norte	I, C	1 341.35

<i>Plutarco Elías Calles</i>	2 833.10	1964	II	Noroeste	G, I	1 851.83
<i>Miguel de la Madrid</i>	2 599.51	1988	X	Golfo Centro	I	1 727.10
<i>José López Portillo</i>	2 580.19	1981	III	Pacífico Norte	G, I	504.02
<i>Leonardo Rodríguez Alcaine</i>	2 551.70	2006	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	G	1 487.79
<i>Ing. Alfredo Elías Ayub</i>	2 292.92	2012	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	G	1 109.46
<i>Gustavo Díaz Ordaz</i>	1 859.83	1981	III	Pacífico Norte	G, I	735.66
<i>Ing. Carlos Ramírez Ulloa</i>	1 458.21	1986	IV	Balsas	G	1 325.86
<i>Ing. Fernando Hiriart Balderrama</i>	1 390.11	1990	IX	Golfo Norte	G	1 066.62
<i>Manuel Moreno Torres</i>	1 384.86	1980	XI	Frontera Sur	G	1 361.69
<i>Venustiano Carranza</i>	1 312.86	1930	VI	Río Bravo	I, A, C	439.81
<i>Cuchillo-Solidaridad</i>	1 123.14	1994	VI	Río Bravo	A, I	308.34
<i>Angel Albino Corzo</i>	1 091.10	1987	XI	Frontera Sur	G	1 043.37
<i>Adolfo Ruiz Cortines</i>	950.30	1955	II	Noroeste	G, I, A	520.83
<i>Presidente Benito Juárez Solís</i>	946.50	1961	V	Pacífico Sur	I	913.21
	800.03	1949	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	I, C	675.02
<i>Ing. Marte R. Gómez</i>	781.70	1946	VI	Río Bravo	I	584.82
<i>Lázaro Cárdenas Sanalona</i>	703.38	1942	II	Noroeste	I, A	517.87
	673.47	1948	III	Pacífico Norte	G, I, A	387.72
<i>Constitución de Apatzingán</i>	601.19	1989	IV	Balsas	I, C	484.87
<i>Josefa Ortíz de Domínguez</i>	595.30	1967	III	Pacífico Norte	I	421.90
<i>Estudiante Ramiro Caballero Dorantes</i>	571.07	1976	IX	Golfo Norte	I	416.98
<i>José María Morelos</i>	540.80	1968	IV	Balsas	G, I	500.70
<i>Cajón de Peña</i>	466.69	1976	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	I, A	442.30
<i>Chicayán</i>	456.92	1977	IX	Golfo Norte	I	235.72
<i>Tepuxtepec</i>	425.20	1930	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	G, I	301.56
<i>Ing. Aurelio Benassini Viscaíno</i>	415.00	1988	III	Pacífico Norte	I, C	221.73
<i>Manuel M. Diéguez</i>	403.00	1964	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	G	343.47
<i>El Gallo</i>	400.04	1998	IV	Balsas	I	360.00
<i>Valle de Bravo</i>	394.39	1947	IV	Balsas	A	269.68
<i>Francisco I. Madero</i>	355.29	1949	VI	Río Bravo	I, C	120.78
<i>Plutarco Elías Calles</i>	350.00	1931	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	I	45.00
<i>Francisco Zarco</i>	309.24	1968	VII	Cuencas Centrales del Norte	C. I	97.02

Manuel Ávila Camacho	303.70	1946	IV	Balsas	I	329.24
Ing. Guillermo Blake Aguilar	300.60	1985	III	Pacífico Norte	C, I	154.90
José López Portillo	300.00	1984	VI	Río Bravo	A, I	153.04
Ing. Luis L. León	292.47	1968	VI	Río Bravo	I, C	351.53
Vicente Guerrero	250.00	1968	IV	Balsas	I	233.00
General Ramón Corona Madrigal	250.00	1993	VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	I	144.91

*Capacidad de almacenamiento y volumen almacenado en hectómetros cúbicos
 **Sólo que incluyen las 52 presas más grandes del país (con capacidad al NAMO \geq 250 hm³).
 ***NAMO: Nivel de aguas máximas ordinarias.
 ****Abreviaturas: G = generación de energía eléctrica; I = irrigación; A = uso para abastecimiento público y C = control de avenidas.

Fuente: CONAGUA, SEMARNAT. Estadísticas del Agua en México. Edición 2014. México. 2014.

1.1.5.6 Presión sobre los recursos hídricos en México

Los usos del agua se clasifican, en cinco grupos: cuatro corresponden a los usos consuntivos (agrícola, abastecimiento público, industria autoabastecida y generación de energía eléctrica) y el uso hidroeléctrico, que corresponde a un uso no consuntivo (CONAGUA, 2014).

El grado de presión sobre los recursos hídricos (GPRH) mide el porcentaje del agua renovable disponible que es destinada a los usos consuntivos. Para clasificar el grado de presión, la Comisión para el Desarrollo Sustentable (CDS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) define 5 categorías, que van de “escasa” (donde el agua extraída no rebasa el 10% del líquido renovable disponible) a “fuerte” (cuando la extracción es mayor al 40% de la disponibilidad natural).

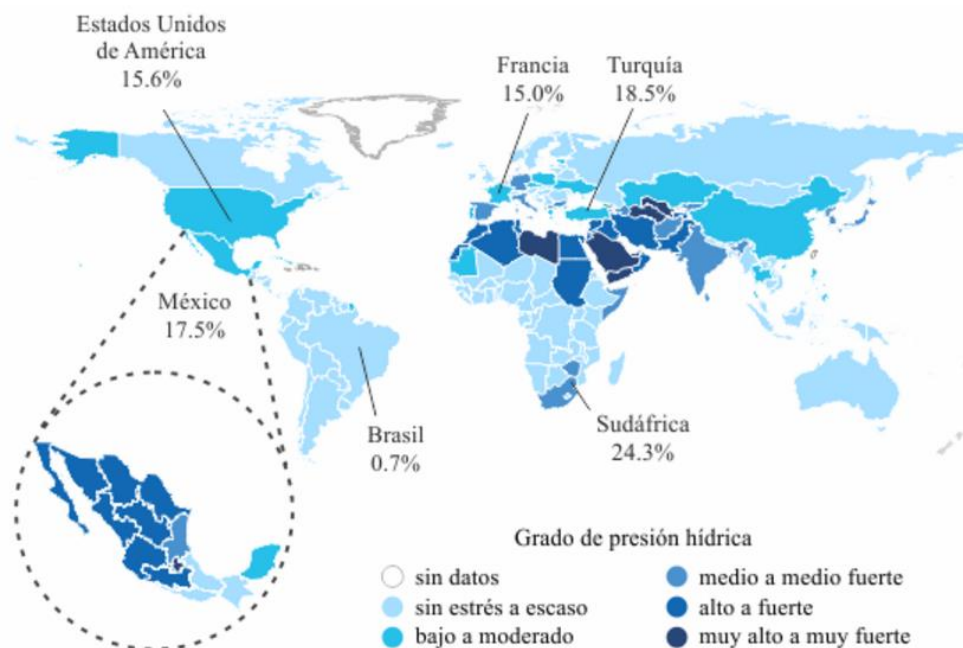


Figura 1.18 Grado de presión sobre los recursos hídricos en el mundo

Fuente: CONAGUA, SEMARNAT. Estadísticas del Agua en México. Edición 2014. México. 2014.

En México, en 2014 el valor estimado de GPRH fue de 17.3%, lo que lo ubicaba en la categoría de presión moderada por arriba del promedio estimado para los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (11.5%; FAO, 2012). A nivel mundial, México ocupa el lugar 53 de los países con mayores grados de presión de un total de 180 países como se observa en la Figura 1.18 de la página anterior.

El GPRH nacional está influido por la alta disponibilidad de agua en el sur del país. En contraste, las regiones Península de Baja California, Noroeste, Pacífico Norte, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Balsas y Lerma-Santiago-Pacífico, registraron grados de presión superiores al 40% en 2014 (Figura 1.19). El caso más extremo es la región Aguas del Valle de México, que alcanzó una presión sobre el recurso de 136.1% en ese mismo año.

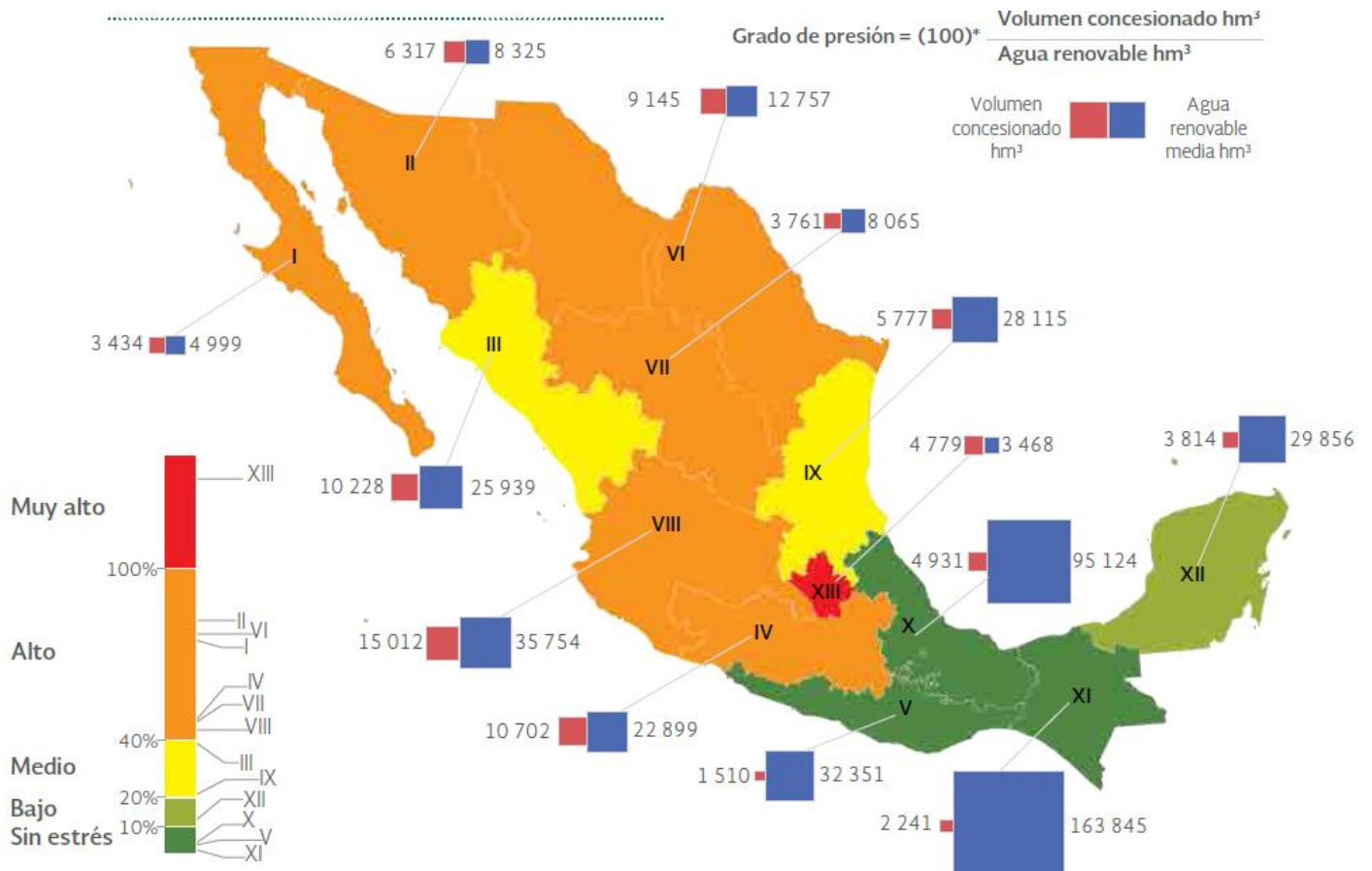


Figura 1.19 Grado de presión sobre los recursos hídricos por región hidrológico-administrativa, 2014

Región hidrológico-administrativa: I Península de Baja California; II Noroeste; III Pacífico Norte; IV Balsas; V Pacífico Sur; VI Río Bravo; VII Cuencas Centrales del Norte; VIII Lerma-Santiago-Pacífico; IX Golfo Norte; X Golfo Centro; XI Frontera Sur; XII Península de Yucatán; XIII Aguas del Valle de México.

*La cifras entre paréntesis corresponden al grado de presión sobre los recursos hídricos.

Fuente: CONAGUA, SEMARNAT. Atlas del Agua en México 2014. México. 2014.

Otro indicador que mide el grado de afectación de la sostenibilidad de los recursos hídricos, pero en particular de los acuíferos, es la intensidad de uso, que se calcula como el cociente de la extracción de agua subterránea por la recarga media de los acuíferos. A nivel nacional, entre 2001 y 2013, la intensidad de uso del agua subterránea se incrementó ligeramente, pasando de 37.8 a 38.4%. Sin embargo, en algunas regiones hidrológico-administrativas como Cuencas Centrales del Norte y Península de Baja California, el agua utilizada excedió la totalidad de la recarga (Figura 1.20).

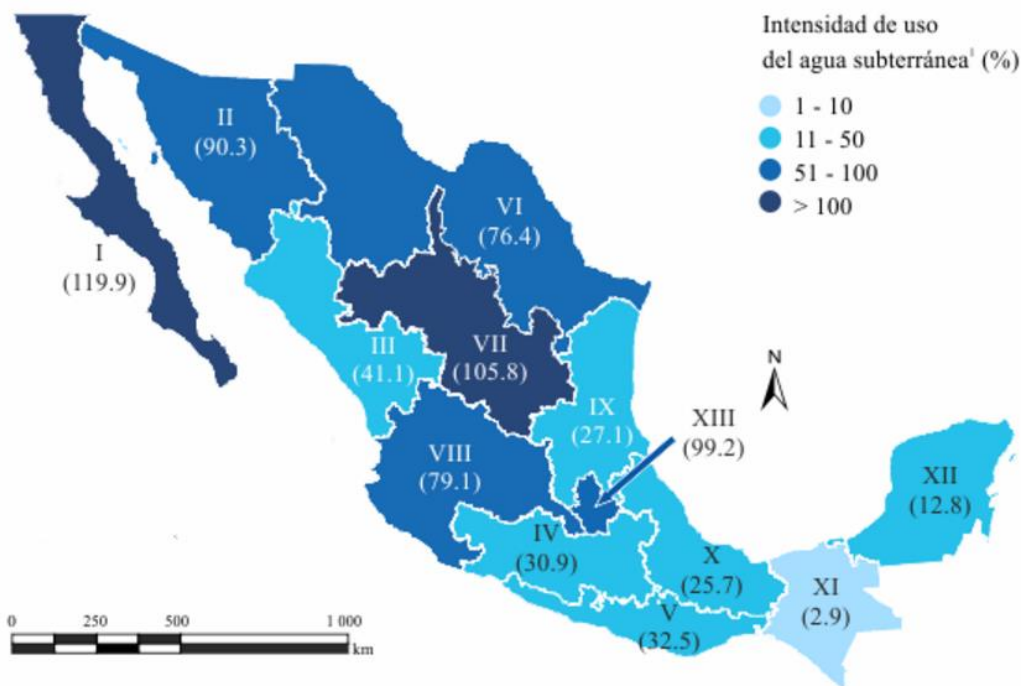


Figura 1.20 Intensidad de uso del agua subterránea por región hidrológico-administrativa, 2013

Región hidrológico-administrativa: I Península de Baja California; II Noroeste; III Pacífico Norte; IV Balsas; V Pacífico Sur; VI Río Bravo; VII Cuencas Centrales del Norte; VIII Lerma-Santiago-Pacífico; IX Golfo Norte; X Golfo Centro; XI Frontera Sur; XII Península de Yucatán; XIII Aguas del Valle de México.

Fuente: CONAGUA, SEMARNAT. Atlas del Agua en México 2014. México. 2014.

A partir de los años setenta, el número de acuíferos sobreexplotados se ha incrementado en el país: en 1975 existían 32 acuíferos en esta categoría, cifra que se elevó a 36 en 1981, 102 en 2011 y en 2013 eran ya 106 (16% de los 653 registrados en el país). Los acuíferos sobreexplotados se concentran en las regiones hidrológicas Lerma-Santiago-Pacífico, Cuencas Centrales del Norte, Río Bravo, Noroeste y Península de Baja California, de los cuales se extrae el 58% del agua subterránea para todos los usos (CONAGUA 2014) (Figura 1.21).²⁶

Además de la sobreexplotación, algunos acuíferos también presentan condiciones de salinización. En amplias zonas de riego sobre todo en las zonas costeras, la sobreexplotación de los acuíferos ha ocasionado el descenso de los niveles de agua subterránea y la intrusión del agua marina, con el consecuente deterioro de la calidad de sus aguas. En 2012, quince acuíferos tenían problemas de intrusión salina (11 también con condiciones de sobreexplotación, en las regiones Península de Baja California y Noroeste) y 32 presentaban problemas de salinización y aguas subterráneas con alto contenido de sal (13 de los cuales estaban sobreexplotados; Figura 1.21) (CONAGUA 2014).²⁶

²⁶Fuente: Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2012. SEMARNAT.

Disponibile en http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_1_2.html#a1

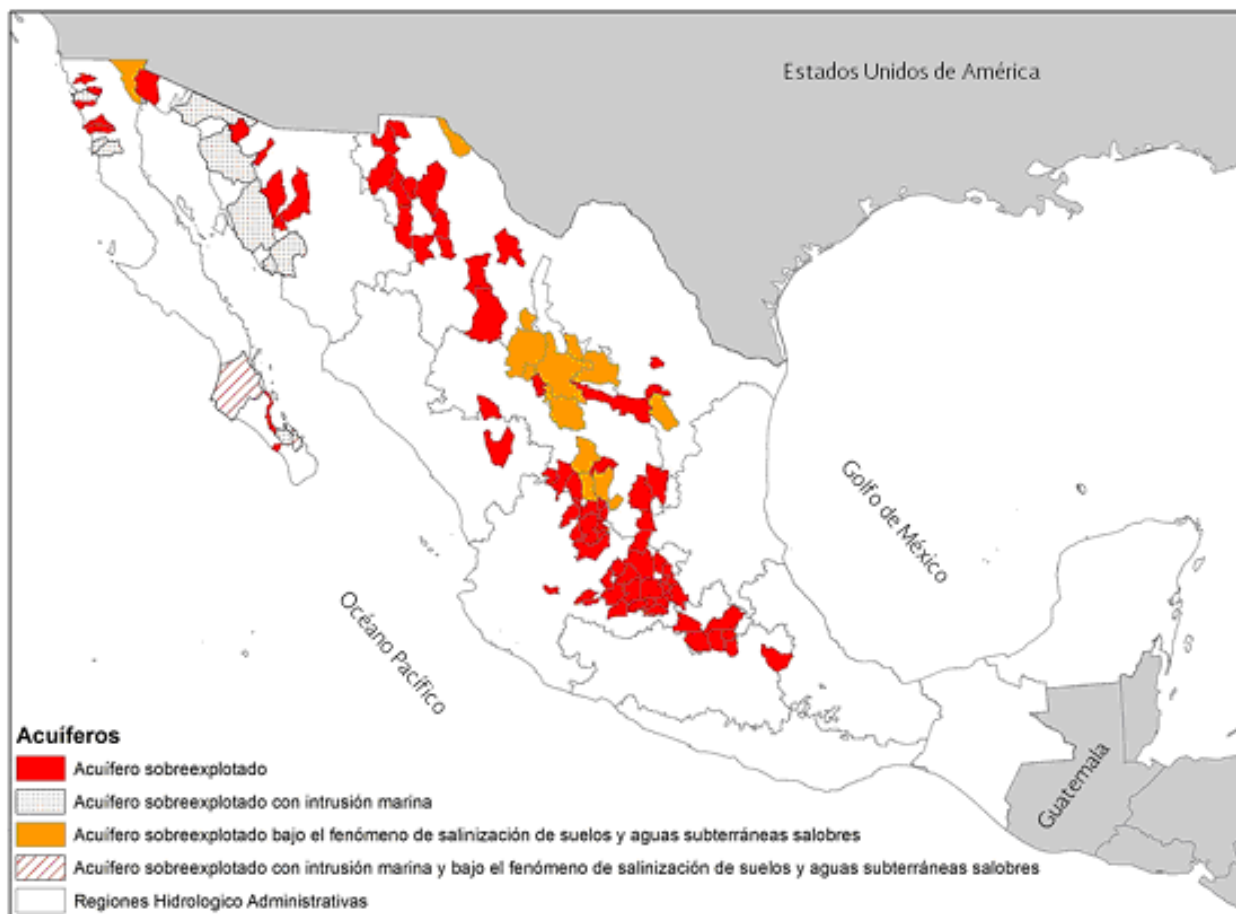


Figura 1.21 Acuíferos sobreexplotados, con intrusión marina y/o bajo el fenómeno de salinización de suelos o aguas subterráneas salobres, 2013

Fuente: Informe de la situación del medio ambiente en México. Edición 2012. SEMARNAT 2012.

1.1.5.7 Pobreza y carencia de Agua en México

En el ámbito nacional, hoy en día la falta de drenaje y de agua afecta a más de diez millones de personas. Las entidades federativas con mayor carencia de drenaje son Oaxaca, San Luis Potosí, Guerrero y Chiapas. La falta de agua en Guerrero afecta a más de la tercera parte de su población, en Veracruz una de cada cuatro personas, y en Tabasco, Chiapas y Oaxaca a uno de cada cinco habitantes

La carencia de agua es un factor de pobreza. En México hay pobreza donde se carece del servicio de agua potable y saneamiento. Según el índice Ethos²⁷ de pobreza para México, la variable de ingreso es la que más contribuye a la pobreza del hogar (22%), seguida de las de servicio sanitario y de acceso al agua potable, con 21 y 20 por ciento, respectivamente. Esto quiere decir que el 41 por ciento del factor de pobreza tiene que ver con la cantidad y la calidad del recurso hídrico en la población pobre.

²⁷El Índice Ethos de Pobreza se basa en la definición de pobreza desarrollada por Fundación Ethos, establece que la pobreza es una situación caracterizada por la incapacidad de satisfacer necesidades del hogar, así como del entorno, que resultan indispensables para conducir a las personas a un estado de bienestar de acuerdo a la realidad política, económica y social de determinada sociedad.

De las 107 458 localidades que conforman el universo de análisis, CONAPO estima que 22 443 se encuentran en un grado muy alto de marginación, lo que representa que más de dos millones de personas vivan con escasas oportunidades sociales (Figura 1.22).

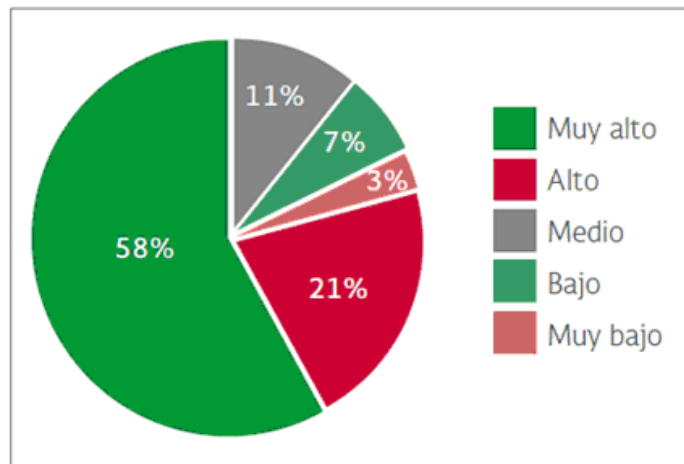


Figura 1.22. Grado de marginación 2010.

Fuente: Programa Nacional Hídrico 2014-2018 http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5339732&fecha=08/04/2014 CONAPO. Con base en el INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010.

En relación con las localidades con muy alto grado de marginación, en cuanto a la vivienda, el principal problema sigue siendo el porcentaje sin agua entubada (32%) y para las de alto grado de marginación, el 21 por ciento (Figura 1.23).

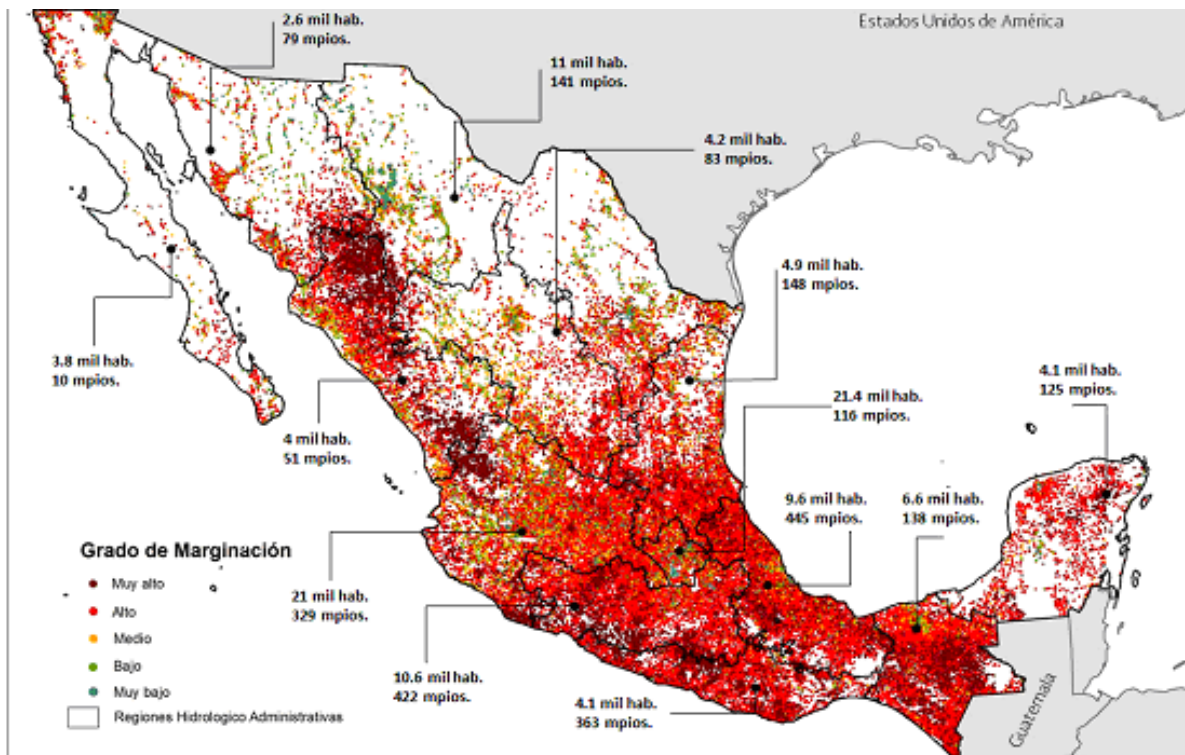


Figura 1.23 Grado de marginación por localidad 2010.

Fuente: CONAPO. Con base en el INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010.

De acuerdo con el valor del índice de rezago social, calculado por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL)²⁰ a partir del Censo General de Población y Vivienda 2010, se determina el grado de rezago social, el cual puede ser muy bajo, bajo, medio, alto o muy alto.

En el Cuadro 1.6 se muestran los grados de rezago social por estado, tomando en cuenta los indicadores relacionados con los servicios sanitarios, agua potable y drenaje.

Cuadro 1.6 Población total, indicadores, y grado de rezago social, según entidad federativa, 2010 y 2015

Entidad federativa	Población total		Viviendas que no disponen de excusado o sanitario		Viviendas que no disponen de agua entubada de la red pública		Viviendas que no disponen de drenaje		Grado de rezago social	
	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015
Nacional	112,336,538	119,530,753	4.66	2.83	11.28	5.10	8.96	6.08		
Aguascalientes	1,184,996	1,312,544	1.73	1.10	2.02	0.82	1.66	0.97	Muy bajo	Muy bajo
Baja California	3,155,070	3,315,766	2.08	1.25	4.67	2.75	5.77	3.13	Muy bajo	Bajo
Baja California Sur	637,026	712,029	2.57	1.65	11.77	6.77	5.60	3.07	Bajo	Bajo
Campeche	822,441	899,931	7.67	4.94	14.90	6.38	13.98	7.63	Alto	Alto
Coahuila	2,748,391	2,954,915	2.08	1.26	3.20	1.77	4.31	2.40	Muy bajo	Muy bajo
Colima	650,555	711,235	1.52	0.98	2.64	1.09	1.06	0.73	Muy bajo	Bajo
Chiapas	4,796,580	5,217,908	6.23	3.58	26.04	12.65	15.97	10.93	Muy alto	Muy alto
Chihuahua	3,406,465	3,556,574	3.52	1.83	5.07	2.28	6.46	4.18	Bajo	Bajo
Distrito Federal	8,851,080	8,918,653	1.09	0.72	2.44	0.97	0.30	0.17	Muy bajo	Muy bajo
Durango	1,632,934	1,754,754	7.11	4.18	7.06	2.86	10.67	7.16	Medio	Medio
Guanajuato	5,486,372	5,853,677	7.62	4.25	8.05	3.97	8.99	5.60	Medio	Medio
Guerrero	3,388,768	3,533,251	19.52	12.98	37.74	15.14	22.55	16.28	Muy alto	Muy alto
Hidalgo	2,665,018	2,858,359	7.70	4.32	12.72	5.94	14.09	8.64	Alto	Alto
Jalisco	7,350,682	7,844,830	2.37	1.39	5.34	1.71	2.06	1.21	Muy bajo	Bajo
México	15,175,862	16,187,608	4.02	2.44	7.81	3.76	5.26	3.35	Bajo	Bajo
Michoacán	4,351,037	4,584,471	4.96	3.20	11.82	4.18	10.76	6.97	Alto	Alto
Morelos	1,777,227	1,903,811	3.17	1.90	12.39	5.63	4.43	2.39	Medio	Bajo
Nayarit	1,084,979	1,181,050	5.41	4.43	11.68	3.91	5.62	4.64	Bajo	Medio
Nuevo León	4,653,458	5,119,504	2.27	0.74	3.08	1.40	2.64	1.58	Muy bajo	Muy bajo
Oaxaca	3,801,962	3,967,889	5.41	3.40	30.10	12.82	28.35	23.90	Muy alto	Muy alto
Puebla	5,779,829	6,168,883	4.60	2.38	16.17	6.65	12.31	8.25	Alto	Alto
Querétaro	1,827,937	2,038,372	7.24	3.77	8.07	3.16	8.42	4.20	Bajo	Bajo
Quintana Roo	1,325,578	1,501,562	5.16	2.28	8.16	2.59	4.87	2.53	Bajo	Bajo
San Luis Potosí	2,585,518	2,717,820	5.16	3.15	16.79	10.30	18.65	13.15	Alto	Alto
Sinaloa	2,767,761	2,966,321	5.12	3.50	9.61	3.10	7.82	5.54	Bajo	Bajo
Sonora	2,662,480	2,850,330	2.88	2.05	5.55	2.67	9.65	6.57	Muy bajo	Bajo
Tabasco	2,238,603	2,395,272	4.54	3.05	26.11	9.84	4.19	2.48	Medio	Medio
Tamaulipas	3,268,554	3,441,698	2.57	1.16	4.84	2.61	11.52	8.03	Muy bajo	Bajo
Tlaxcala	1,169,936	1,272,847	4.57	2.46	4.36	1.27	5.36	3.08	Medio	Medio
Veracruz	7,643,194	8,112,505	3.90	2.50	23.61	13.05	15.62	11.38	Alto	Muy alto
Yucatán	1,955,577	2,097,175	13.36	10.37	5.52	1.83	19.47	12.34	Alto	Alto
Zacatecas	1,490,668	1,579,209	8.50	5.06	8.30	3.17	10.09	6.42	Medio	Bajo

Los datos del cuadro expresan el porcentaje de la población en viviendas sin acceso al agua entubada según entidad federativa
Fuente: estimaciones del CONEVAL con base en el Censo de Población y Vivienda 2010 y Encuesta Intercensal 2015.

Las entidades federativas con mayores rezagos en cobertura de agua potable son: Michoacán, Guerrero, Veracruz, Oaxaca, Chiapas, San Luis Potosí y Tabasco; en términos de alcantarillado los mayores rezagos se encuentran en: Oaxaca, Guerrero, San Luis Potosí, Yucatán, Veracruz y Chiapas, mientras que en términos de servicios sanitarios (excusado) los mayores rezagos ocurren en Guerrero, Yucatán, Zacatecas y Campeche como se observa en la siguiente Gráfica (Figura 1.24).

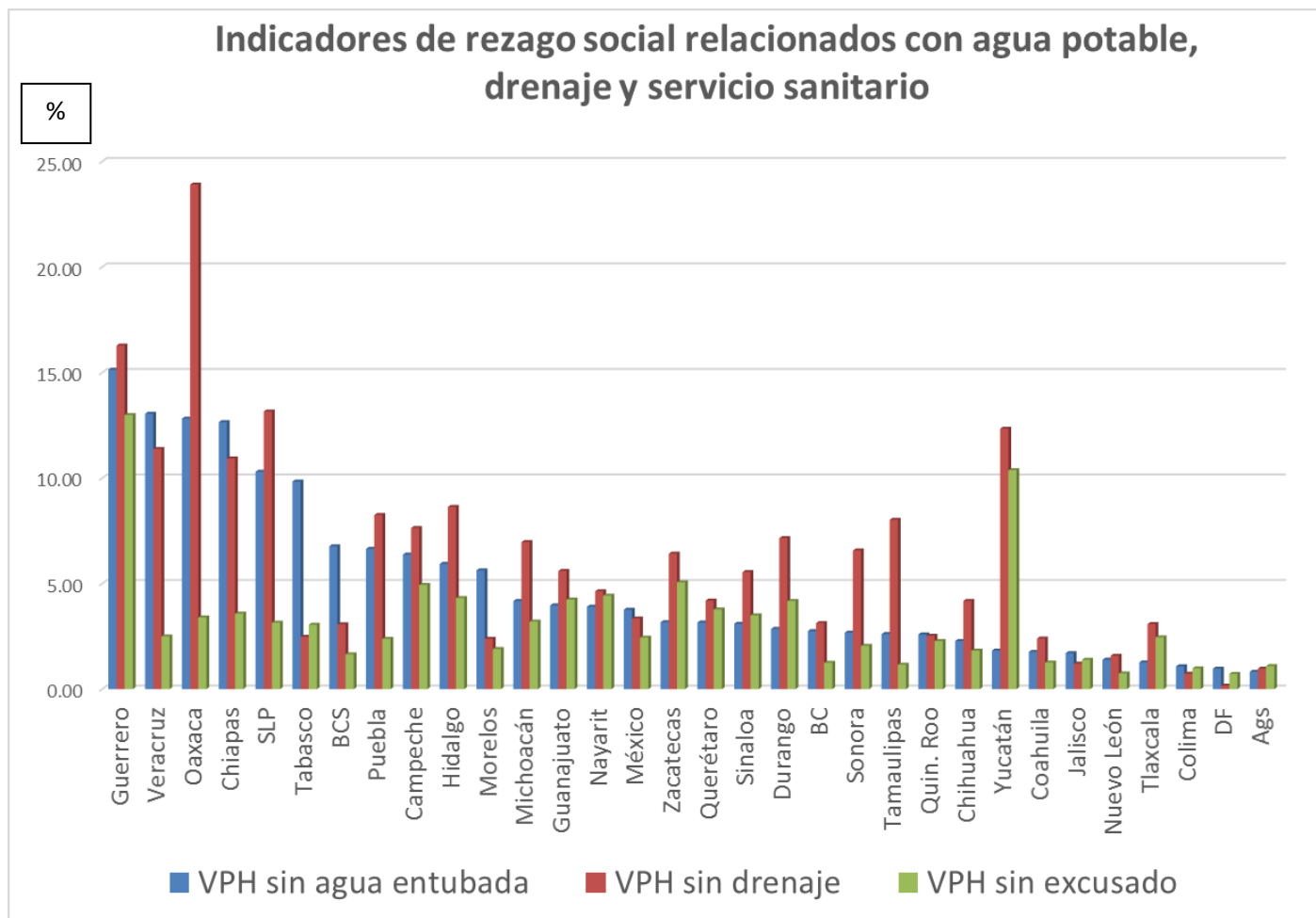


Figura 1.24 Indicadores de Rezago social relacionados con agua potable, drenaje y excusado en México

Fuente: estimaciones del CONEVAL con base en el Censo de Población y Vivienda 2010 y Encuesta Intercensal 2015.

Después de abordar el tema de la situación actual de los recursos hídricos en México, es imprescindible señalar la necesidad de un cambio para mejorar políticas públicas en materia de agua y su gestión, los grupos de investigación y de ingeniería aplicada que propongan proyectos, deberán ocuparse en incrementar sus capacidades técnicas, científicas y tecnológicas para proveer mejoras y avances en este sector, además los sistemas que sirvan para informar a la población acerca de la importancia del agua deben de encaminar sus esfuerzos para revelar a la gestión del agua como la base del desarrollo sostenible y lograr la formación de una sociedad informada y participativa que tome acciones para lograr que el agua sea para todos un instrumento de justicia social, de esta manera es posible incrementar la seguridad hídrica de país y fortalecer el abastecimiento y el acceso a servicios de drenaje y saneamiento.

1.1.6 Abastecimiento de agua en comunidades Rurales

Como lo hemos tratado en páginas anteriores, el bienestar y la salud de la población dependen, en gran parte, de su acceso a los servicios básicos, siendo el agua potable y el alcantarillado dos de los más importantes. Para muchos países ha sido obligatorio el impulso hacia la construcción de la infraestructura hidráulica que lleve estos servicios a sus poblaciones que no dejan de crecer día con día. Sin embargo, en muchos casos ha sido insuficiente, principalmente en las áreas rurales donde no existe la posibilidad de que el agua tenga tratamiento previo que mejore su calidad y posibilite su uso.

Se considera que la población rural es aquella que integra localidades con menos de 2 500 habitantes, en tanto que la urbana se refiere a poblaciones con 2 500 habitantes o más (INEGI 2010).

1.1.6.1 Cobertura, problemática y enfermedades

Para América Latina y el Caribe de acuerdo al informe de Agua y Saneamiento de la OMS en 2014 las coberturas alcanzadas implican que aún quedan en la región más de 34 millones de personas sin acceso a fuentes seguras de agua potable y casi 110 millones de personas sin acceso a saneamiento mejorado.

De acuerdo con datos de CONAGUA, la cobertura de agua potable en México para el 2013 se incrementó en zonas urbanas hasta un 95.6%, mientras que en las zonas rurales siguió siendo considerablemente menor (70.7%).

En México, la cobertura de alcantarillado en 2013 fue de 90.2%. Al igual que en la cobertura de agua potable, también en alcantarillado existen diferencias muy marcadas entre las zonas urbanas y rurales: en 2011, las zonas urbanas alcanzaron una cobertura de 96.4%, mientras que en las zonas rurales apenas cubrieron al 69.4% de su población (CONAGUA, 2014).

Es necesario señalar que los datos oficiales acerca de coberturas de agua potable y saneamiento no dan cuenta a detalle de situaciones reales ni de dimensiones concretas que entran en juego, como son la calidad y la eficiencia de los servicios, cuestiones relacionadas con la regularidad en el suministro de agua, la presión, la conectividad, las fallas técnicas, el deterioro de la infraestructura, el mal funcionamiento (ya sea debido a cuestiones administrativas, institucionales, financieras o a la escasa o nula capacidad en las labores de operación y mantenimiento), entre otros aspectos. Todas estas situaciones inciden en que el número de millones personas carentes de estos servicios básicos sea más amplio de lo que los datos convencionales sugieren. Con ello podemos afirmar que el problema es mayor a lo que oficialmente se reconoce.

Según informes sobre agua y saneamiento de la OMS²⁸, en zonas rurales y pequeñas localidades con menor densidad poblacional, el problema del abastecimiento de agua y disposición de excretas es complejo, debido a dificultades en relación con lo siguiente:

- Bajo nivel socio económico de los beneficiarios
- Viviendas aisladas o pequeños núcleos rurales, la economía local no puede financiar las soluciones propuestas
- Limitado acceso a nuevas tecnologías
- Limitado o nulo acceso a recursos financieros
- Los sistemas son operados a través de juntas conformadas por miembros de la comunidad, lo que resulta en bajo nivel técnico de los operadores
- Carencia de supervisión, control y apoyo técnico de instituciones públicas o empresas de agua y saneamiento de mayor capacidad

La complejidad de los sistemas de abastecimiento y drenaje en zonas rurales está relacionada a factores locales, como las fuentes de abastecimiento disponibles, la oferta de agua, la dispersión de las viviendas, factores climáticos, gestión de recursos económicos, etc. Muchas veces, la solución adoptada es única, al no existir más alternativas disponibles.

²⁸ Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud. OMS 2008.

En zonas rurales se debe optar por alternativas para que los sistemas de disposición de excretas y abastecimiento de agua sean de uso fácil para los usuarios, es importante buscar alternativas de escala local, que atiendan a las necesidades locales de cada comunidad, según sus condiciones particulares. Deberán ser fáciles de operar, no deben requerir mano de obra especializada, ni involucrar altos costos de mantenimiento.

Es posible que aún los sistemas más simples queden inoperantes en poco tiempo por la falta del interés que puedan presentar los beneficiarios y/o los responsables de llevar a cabo las tareas de mantenimiento requeridas, por muy mínimas que sean. El interés y la participación activa de la comunidad es fundamental para la sostenibilidad de los sistemas, mediante el buen uso y el mantenimiento preventivo permanente.

Por el tipo de problemas de agua y saneamiento que se tienen en localidades rurales, la solución debe basarse en dos ejes principales²⁸:

- Técnico, que involucra la búsqueda de una solución adecuada a la realidad local y la formación de una estructura para la administración, operación y mantenimiento.
- Social, que involucra el desarrollo de una conciencia en los beneficiarios que genere la necesidad de una buena operación de los sistemas que se implementen.

Los factores clave para lograr la sostenibilidad de los sistemas de agua y saneamiento en zonas rurales son²⁸:

- Baja complejidad del sistema.
- Capacidad de los beneficiarios para la administración, operación y mantenimiento de la solución adoptada.
- Demanda del sistema por la comunidad.
- Tamaño de la comunidad.
- Solución adecuada al problema.
- Calidad del diseño y de la obra.
- Apoyo externo para solución de problemas fuera del alcance de la capacidad local.

Adicionalmente, es necesario crear conciencia en la comunidad acerca de la importancia y la necesidad de contar con servicios de agua eficientes en la vivienda desde el punto de vista de higiene, bienestar y salud.

El agua para uso y consumo humano debe cumplir los estándares de calidad establecidos por las normas vigentes de cada país. El agua en la naturaleza contiene impurezas, que pueden ser de naturaleza físico-química o bacteriológica y varían de acuerdo al tipo de fuente. Cuando las impurezas presentes sobrepasan los límites recomendados, el agua deberá ser tratada antes de su consumo. Además de no contener elementos nocivos a la salud, el agua no debe presentar características que puedan rechazar el uso y consumo.

Se define como agua potable aquella que cumple con los requerimientos de las normas y reglamentos nacionales sobre calidad del agua para consumo humano y que atiende a los siguientes requisitos²⁸:

- Libre de microorganismos que causan enfermedades
Libre de compuestos nocivos a la salud
- Aceptable para consumo, sin contenido de color, con gusto y olor aceptables
- Sin compuestos que causen corrosión o incrustaciones en las instalaciones sanitarias

²⁸ Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud. OMS 2008.

Las enfermedades relacionadas con el agua son una de las mayores causas de enfermedad y mortalidad, que afecta sobre todo a las personas con menores recursos económicos de los países en vías de desarrollo.

El agua contaminada causa una serie de enfermedades que pueden resultar mortales. Si bien las enfermedades relacionadas con el agua varían considerablemente en cuanto a su naturaleza, transmisión, efectos y tratamiento, los efectos adversos para la salud relacionados con el agua pueden organizarse en diferentes categorías: enfermedades transmitidas por el agua, incluidas las causadas por organismos fecales-orales y las causadas por sustancias tóxicas; las enfermedades con base en el agua, las enfermedades de origen vectorial (moscas y mosquitos) relacionadas con el agua y las enfermedades vinculadas a la escasez de agua (enfermedades por falta de higiene).

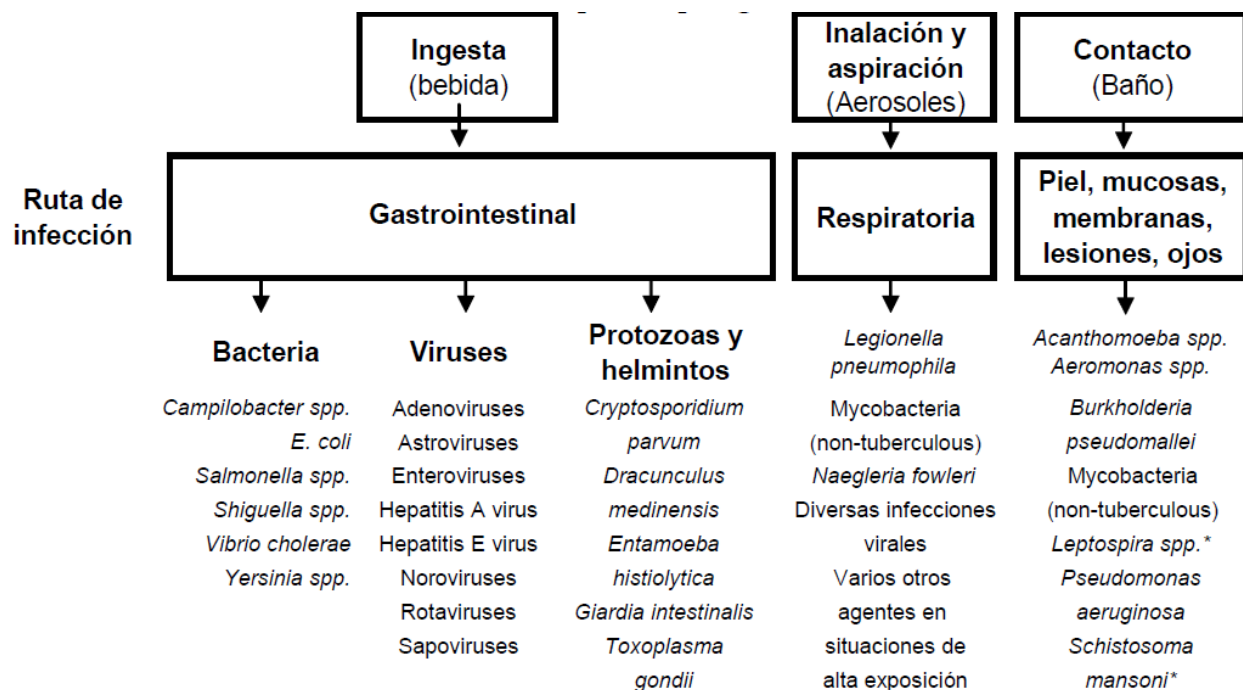


Figura 1.25 Vías de contaminación y ejemplos de patógenos relacionados con el agua
Fuente: World Health Organization (2006)

A nivel mundial ocurren 4 mil 620 millones de episodios de enfermedades diarreicas cada año, de los cuales el 90% ocurren en países en vías de desarrollo, constituyendo la 5ª causa de mortalidad (OMS, 2004). En México, las enfermedades infecciosas intestinales se encuentran entre las primeras 20 causas de mortalidad general, es la cuarta causa de mortalidad infantil (INEGI, 2010) y ocupa el segundo lugar dentro de las principales causas de enfermedad, tanto en la población general, como en los menores de cinco años (SSA, 2009).

Es indispensable contar con una difusión constante de este problema, así como del trabajo conjunto entre autoridades Federales, Estatales y Municipales, Secretaría de Salud, Comisión Nacional del Agua, Organismos Operadores, Secretaría de Educación Pública, instituciones de salud, entidades de Investigación y la sociedad en general.

²⁹ Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Mortalidad por enfermedades diarreicas en cuencas hidrográficas. INECC, 2010. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/639/mortalidad.pdf>

2.1.6.2 Principales sistemas rurales de abastecimiento de agua

➤ Fuentes de Agua

Las fuentes de abastecimiento de agua pueden ser 3:

- subterráneas: manantiales, pozos, nacientes
- superficiales: lagos, ríos, canales, etc.
- pluviales: aguas de lluvia

Para seleccionar la fuente de abastecimiento deben considerarse los requerimientos de la población, la disponibilidad y la calidad de agua durante todo el año, así como todos los costos involucrados en el sistema, tanto de inversión como de operación y mantenimiento.

El tipo de fuente de abastecimiento influye directamente en las alternativas tecnológicas viables. El rendimiento de la fuente de abastecimiento puede condicionar el nivel de servicio a brindar. La operación y el mantenimiento de la alternativa seleccionada deben estar de acuerdo a la capacidad de gestión de los beneficiarios del proyecto, a costos compatibles con su perfil socio económico. Las aguas pluviales pueden ser una fuente de agua de buena calidad, en caso de que no exista otra alternativa o resulte ser la alternativa más viable.³⁰

➤ Niveles de servicio en abastecimiento de agua

Se define “nivel de servicio” a la forma como se brinda el servicio al usuario. Los niveles de servicio pueden ser público o por conexión domiciliaria.

- Público o multifamiliar. Reciben el servicio a través del acceso a pequeñas fuentes de abastecimiento de agua de uso exclusivo, o partir de piletas públicas abastecidas por una red. Las familias deben transportar el agua hasta su domicilio (Figura 1.26).
- Conexión domiciliaria o familiar. Reciben el servicio individualmente en sus viviendas, por medio de conexiones domiciliarias conectadas a una red pública. Ésta puede estar ubicada:
 - fuera de la vivienda (un punto de agua al exterior de la vivienda) (Figura 1.27) o
 - dentro de la vivienda (conexión con módulos sanitarios).

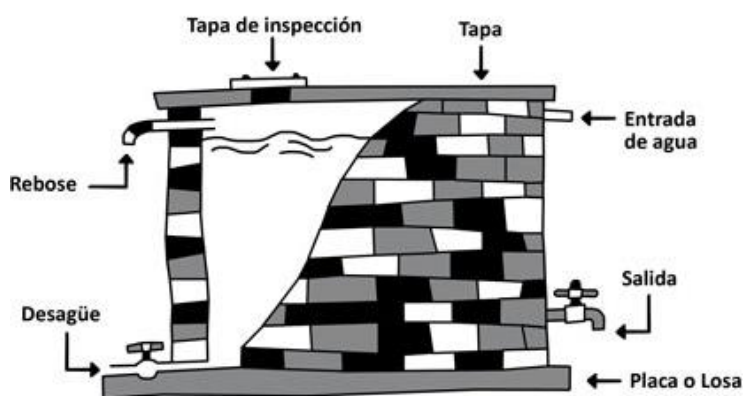


Figura 1.26 Servicio público (Pileta)

Figura 1.27 Conexión domiciliaria fuera de la vivienda

Fuente: Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud. OMS 2008.

³⁰Guía para el diseño y construcción de captación en manantiales – CEPIS / OPS / COSUDE 2004. Capítulo II. Fuentes de abastecimiento, tipos de sistemas y periodos de diseño.

➤ Opciones tecnológicas en abastecimiento de agua

Son las soluciones de ingeniería que se ajustan a las características físicas, económicas y sociales de las poblaciones³¹. Permiten seleccionar la manera óptima de dotar servicios de calidad de agua potable y saneamiento a un costo compatible con la realidad local. Las opciones tecnológicas para abastecimiento de agua están condicionadas por el rendimiento y la ubicación de las fuentes, por el tamaño y dispersión de la población, por su ubicación geográfica, condiciones climáticas, etc. Estas condiciones determinarán que la opción tecnológica sea "convencional " o "no convencional".

Para las poblaciones rurales, es posible utilizar sistemas de tecnología simple, que no demandan personal calificado o altos costos operativos. En su mayoría se constituyen de captaciones directas de las fuentes de abastecimiento. A mayor demanda de agua, será necesario recurrir a opciones de abastecimiento más complejas, de mayor costo de inversión, operación y mantenimiento y que requieren personal especializado. En el Cuadro 1.7 se encuentran los Factores a considerar en la selección de opciones tecnológicas.

Cuadro 1.7 Factores para selección de opciones tecnológicas.

Tipo de población	Concentrada
	Dispersa
Características locales	Clima
	Topografía
	Accesibilidad
Fuentes de abastecimiento disponibles	Subterránea
	Superficial
Caudal disponible	Cantidad
	Temporalidad
	Calidad
Conducción del agua	Por gravedad
	Por bombeo
Tratamiento requerido	Desinfección
	Tratamiento simplificado + desinfección
	Tratamiento químico + desinfección
Mantenimiento requerido	Simple
	Intermedio
	Complejo
Niveles de ingreso	Bajo
	Medio
	Alto
Capacidades locales	Muy baja
	Regular
	Buena

Fuente: Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud. OMS 2008.

³¹ OPS, OMS 2004. Cooperación Alemana al Desarrollo. Tecnologías apropiadas en Agua y Saneamiento. Curso de Auto instrucción. Lima, Perú.

➤ Sistemas convencionales de abastecimiento de agua

Son diseñados y construidos a partir de criterios de ingeniería definidos y tradicionalmente aceptados, con un resultado preciso para el nivel de servicio establecido por el proyecto, ya sea a nivel de vivienda mediante conexiones domiciliarias o a nivel comunitario con piletas públicas.

Los sistemas convencionales están conformados por una combinación de unidades:

- Captación.
- Línea de conducción o impulsión.
- Estación de bombeo de agua.
- Planta de tratamiento de agua.
- Reservorio.
- Línea de aducción.
- Red de distribución.
- Conexiones domiciliarias y/o piletas públicas.

La estación de bombeo de agua y planta de tratamiento de agua se tendrán según el requerimiento. Para zonas rurales, es usual denominar los “sistemas por gravedad”, cuando la fuente de agua se encuentra a más altitud que los usuarios; y “sistemas por bombeo”, cuando la fuente se encuentra más abajo y se requiere el uso de bombas para entregar el agua a los usuarios.

Los sistemas convencionales son:

- ✓ GST: Sistema de abastecimiento por gravedad sin tratamiento

Son sistemas donde la fuente de abastecimiento de agua de buena calidad y no requiere tratamiento complementario previo a su distribución; adicionalmente, no requieren ningún tipo de bombeo para que el agua llegue hasta los usuarios. Las fuentes de abastecimiento son aguas subterráneas o subálveas. Las primeras afloran a la superficie como manantiales y la segunda es captada a través de galerías filtrantes.

En estos sistemas, la desinfección no es muy exigente, ya que el agua que ha sido filtrada en los estratos porosos del subsuelo, presenta buena calidad bacteriológica, tienen una operación bastante simple, pero requieren un mantenimiento mínimo para garantizar el buen funcionamiento (Figura 1.28).

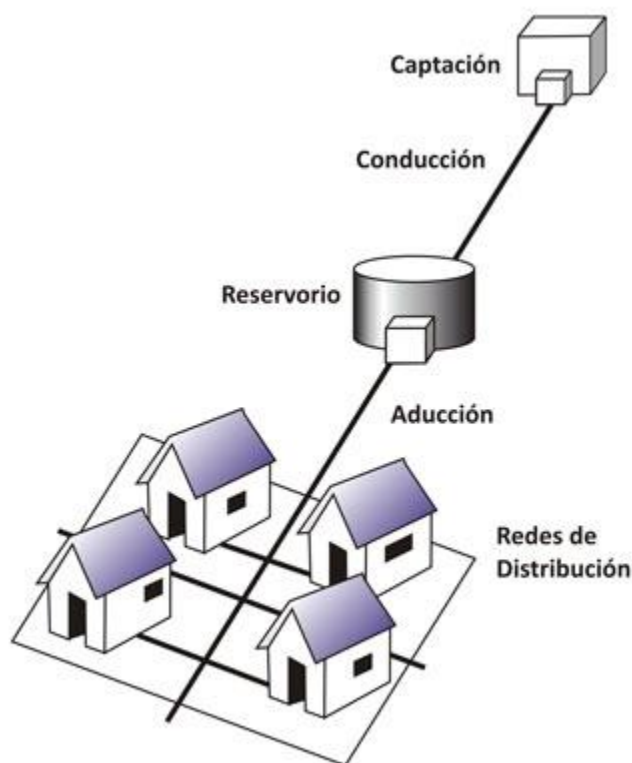


Figura 1.28 Sistema de abastecimiento por gravedad sin tratamiento

Fuente: Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud. OMS 2008.

✓ GCT: Sistema de abastecimiento por gravedad con tratamiento

Cuando las fuentes de abastecimiento son aguas superficiales captadas en canales, acequias, ríos, etc., requieren ser clarificadas y desinfectadas antes de su distribución. Cuando no hay necesidad de bombear el agua, los sistemas se denominan “por gravedad con tratamiento”. Las plantas de tratamiento de agua deben ser diseñadas en función de la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda.

Tienen una operación más compleja que los sistemas sin tratamiento, y requieren mantenimiento periódico para garantizar la buena calidad del agua. Al instalar sistemas con tratamiento, es necesario crear las capacidades locales para operación y mantenimiento, garantizando el resultado esperado.

Puede demandar del uso de productos químicos para el proceso de clarificación del agua. Requiere desinfección obligatoria. Mayor costo de O & M que los sistemas GST. Tarifas elevadas.

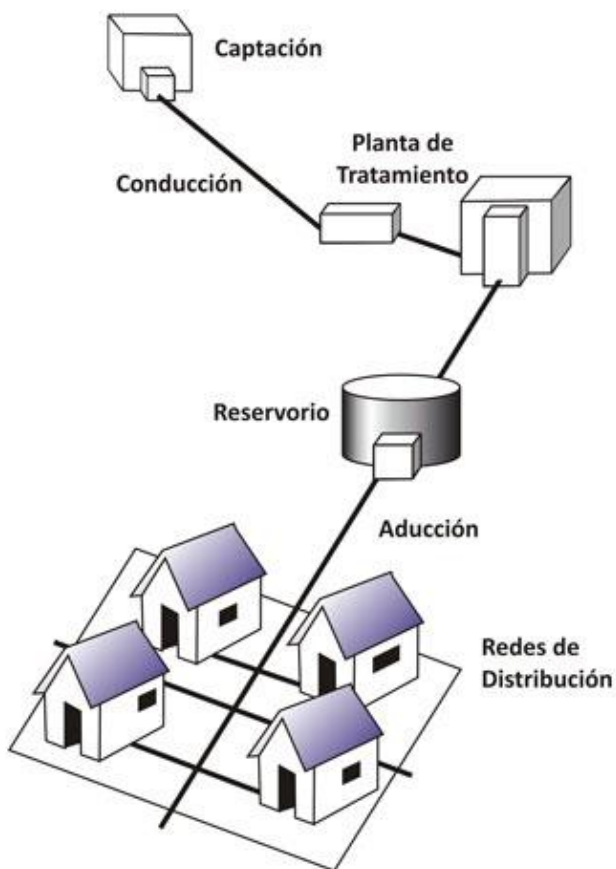


Figura 1.29 Sistema de abastecimiento por gravedad con tratamiento

Fuente: Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud. OMS 2008.

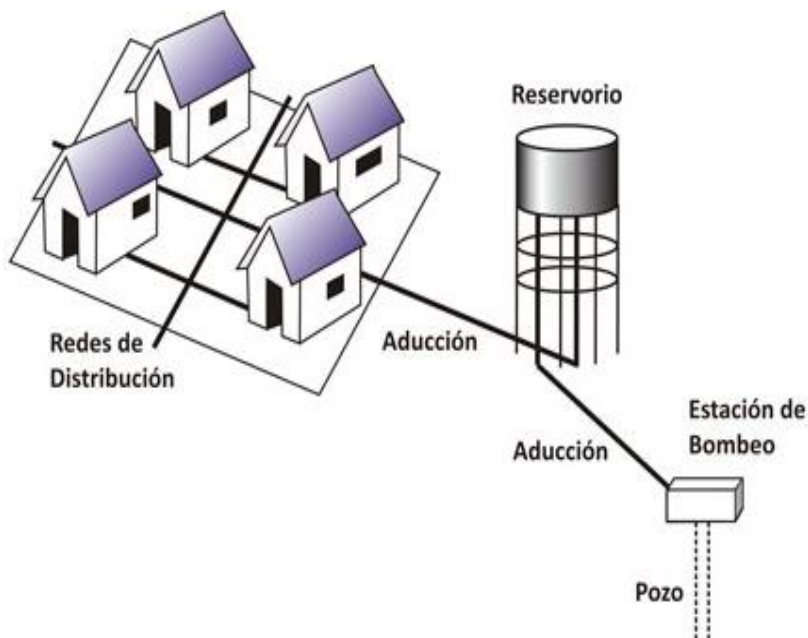
✓ BST: Sistema de abastecimiento por bombeo sin tratamiento

Estos sistemas también se abastecen con agua de buena calidad que no requiere tratamiento previo a su consumo. Sin embargo, el agua necesita ser bombeada para ser distribuida al usuario final. Generalmente están constituidos por pozos.

Requiere de personal especializado para operar y mantener sistemas de bombeo, requiere elevada inversión para su implementación, las tarifas del servicio son elevadas, el servicio es restringido a algunas horas del día para evitar la elevación de la tarifa.

Figura 1.30 Sistema de abastecimiento por bombeo sin tratamiento

Fuente: Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud. OMS 2008



- ✓ BCT: Sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento

Los sistemas por bombeo con tratamiento requieren tanto la planta de tratamiento de agua para adecuar las características del agua a los requisitos de potabilidad, como un sistema de bombeo para impulsar el agua hasta el usuario final.

Requiere de personal capacitado para operar y mantener la planta de tratamiento y el sistema de bombeo, requiere de mayor costo de inversión, de operación y mantenimiento que los sistemas de bombeo sin tratamiento. Muchas veces el servicio es restringido a algunas horas del día para evitar la elevación de la tarifa y las tarifas del servicio son las más altas en comparación con los diferentes sistemas de abastecimiento de agua.

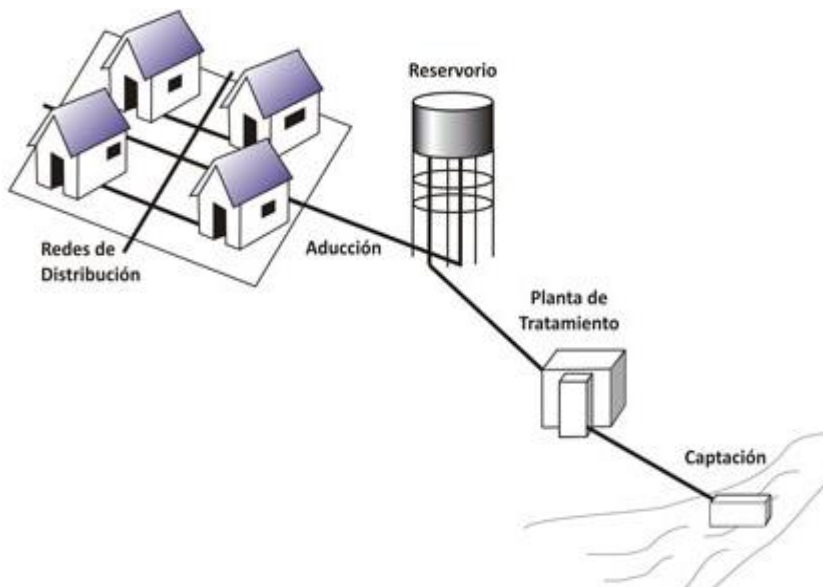


Figura 1.31 Sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento

Fuente: Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud. OMS 2008.

- Sistemas NO convencionales de abastecimiento de agua

Estas opciones tecnológicas se refieren a soluciones individuales o multifamiliares dirigidas al aprovechamiento de pequeñas fuentes de agua. Están compuestas por los siguientes tipos de sistemas de abastecimiento de agua:

- ✓ Pozos con bombas manuales.

Son soluciones compuestas por pozos perforados o excavados debidamente protegidos, que pueden ser del tipo familiar o multifamiliar. Dependiendo del tipo de protección del pozo y de la presencia de puntos de contaminación, el agua debe ser desinfectada antes de ser destinada al consumo humano directo.



Figura 1.32 Bomba manual

Fuente: Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud. OMS 2008.

- ✓ Manantiales con protección de vertiente.

Se constituyen en sistemas de abastecimiento de agua a partir de la captación segura de pequeñas fuentes de agua subterránea ubicadas cerca de la vivienda o grupo de viviendas.

Esta solución se compone de captación y surtidor, en el lugar donde se ubica la fuente o con conducción a los usuarios mediante tuberías de pequeño diámetro.

El nivel de servicio puede ser del tipo familiar o multifamiliar, según la capacidad de la fuente y del número de usuarios.

Fuente: Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud. OMS 2008.

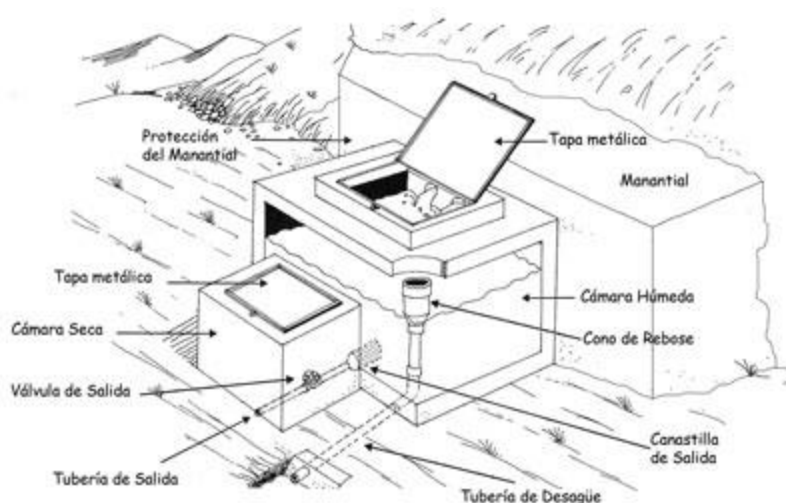


Figura 1.33 Manantiales con protección de vertiente

✓ Captación de agua de lluvia.

El agua de lluvia puede ser captada en lagunas de acumulación para su posterior uso. También se captan directamente en los techos de las viviendas y se acumulan en tanques de almacenamiento. El agua deberá ser desinfectada previamente a su consumo.

La ventaja de este sistema es su simplicidad y bajo costo de implementación, sin embargo, el suministro se queda condicionado a la variabilidad de la precipitación, resultando en discontinuidad del servicio.

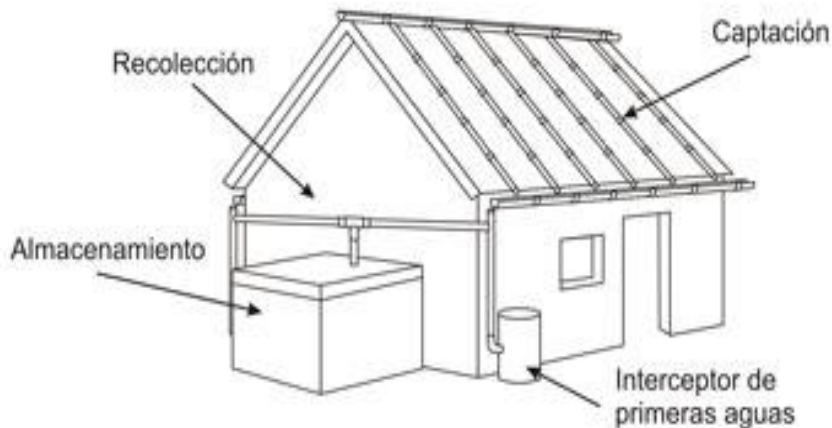


Figura 1.34 Sistema de captación de agua de lluvia

Fuente: Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud. OMS 2008.

1.2 Usos del Agua y características del agua de lluvia

1.2.1 Uso sustentable del Agua

El término “desarrollo sustentable” se vincula directamente con el uso sustentable del agua, este concepto es la base principal en el desarrollo de este proyecto, por lo cual es preciso comprender su significado.

El concepto de desarrollo sustentable más citado es aquel elaborado en el Informe Brundtland (1987) por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo para la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

“Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”

Para la República de Colombia según Art. 3º Ley 99 de 1993 encontramos la siguiente definición:

“Desarrollo sostenible es aquel que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta; ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras para utilizarlo, para la satisfacción de sus propias necesidades”

La Asociación Mundial del Agua define la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos como:

“un proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales”

La gestión del agua es uno de los principales factores para orientar a la humanidad a nuevos rumbos hacia un desarrollo sustentable.

Como lo hemos tratado a lo largo de este capítulo, el agua es un recurso natural limitado, y esencial para la vida, cuya pérdida de calidad puede ocurrir fácil y rápidamente, razón por la cual debe ser preservada en cualquier circunstancia de suministro que se presente. Si el agua del planeta cumple un ciclo, no utilizarla de manera **racional** significa tener problemas en otras fases del ciclo, en la actualidad o en el futuro.

Por lo tanto, el concepto de “uso racional, optimizado y responsable” del agua debe prevalecer siempre, y debe incluir estrategias o acciones como las siguientes:

- ✓ Utilización del volumen mínimo necesario para satisfacer las diferentes necesidades, sin desperdicio.
- ✓ Observar una escala de prioridad de uso (consumo humano, consumo animal de producción, riego de plantas de autoconsumo, riego de plantas de producción comercial y otros usos) y priorizar actividades de beneficio colectivo, más que de beneficio individual.
- ✓ Captación y aprovechamiento del agua disponible en los volúmenes que satisfagan las necesidades, posibilitando que los excedentes estén disponibles para otros usuarios.
- ✓ Desarrollo de sistemas productivos con especies de plantas y animales que necesitan menos agua o que presentan mayor eficiencia en su utilización (más productos, servicios o beneficios con mayor valor agregado por volumen de agua consumido).
- ✓ Uso múltiple del agua: utilizar el mismo volumen de agua para obtener beneficios en dos o más actividades.
- ✓ Evitar la contaminación en su utilización y entregar el agua residual con igual o mejor calidad que el agua recibida.
- ✓ Compartir el agua disponible.
- ✓ Respetar la legislación que regula el uso del agua del país.

De acuerdo al “Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia” de la FAO en 2013, la captación y el aprovechamiento de la lluvia representan solo una de las estrategias en el uso racional del agua. Para lograr éxito en cualquier acción o proyecto, es necesario considerar diversos aspectos, como educación, concientización y capacitación de los usuarios, que permitan desarrollar en la comunidad la cultura del uso eficiente del agua.³²

³² Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. FAO 2013.

1.2.2 Usos del agua dulce

Los usos del agua son los siguientes:

- ✓ Consumo doméstico: comprende el consumo de agua en nuestra alimentación, en la limpieza de nuestras viviendas, en el lavado de ropa, la higiene y el aseo personal.
- ✓ Consumo público: en la limpieza de las calles de ciudades y pueblos, en las fuentes públicas, ornamentación, riego de parques y jardines, y otros usos de interés comunitario.
- ✓ Uso en agricultura y ganadería: en agricultura, para el riego de los campos. En ganadería, como parte de la alimentación de los animales y en la limpieza de los establos y otras instalaciones dedicadas a la cría de ganado.
- ✓ El agua en la industria: en el proceso de fabricación de productos, en los talleres, en la construcción.
- ✓ El agua como fuente de energía: aprovechamos el agua para producir energía eléctrica en centrales hidroeléctricas situadas en los embalses de agua. En algunos lugares se aprovecha la fuerza de la corriente de agua de los ríos para mover máquinas como molinos de agua y aserraderos.
- ✓ El agua en las vías de comunicación: desde mucho tiempo, el hombre aprendió a construir embarcaciones que le permitieron navegar por las aguas de mares, ríos y lagos. En nuestro tiempo, utilizamos enormes barcos para transportar las cargas más pesadas que no pueden ser transportadas por otros medios.
- ✓ Deporte y recreación: en los ríos, en el mar, en las piscinas y lagos practicamos un gran número de deportes.³³

Los usos antrópicos del agua impactan directamente en el ciclo hidrológico, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo; cualitativo como son la calidad del agua y el estado de condición de los reservorios de agua dulce, y cuantitativo como la cantidad y velocidad de circulación de los flujos de agua (Herrera, 2010).

En México, 77% del agua se utiliza en la agricultura; 14%, en el abastecimiento público; 5%, en las termoeléctricas y 4%, en la industria.³⁴

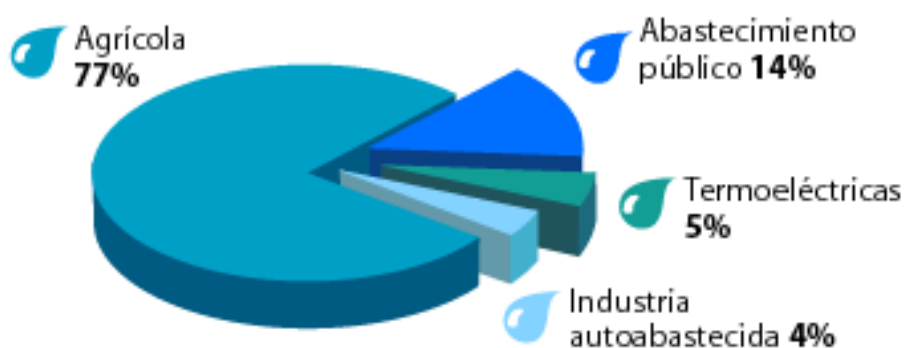


Figura 1.35 Usos de agua en México

Fuente: SEMARNAT. CONAGUA. Estadísticas del agua en México 2014.

³³El agua, sus diferentes usos y conservación: <http://www.portaleducativo.net/segundo-basico/392/El-agua-sus-diferentes-usos-conservacion>

1.2.3 Cantidad de agua necesaria para uso y consumo

Los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento para cada persona deben ser continuos y suficientes para el uso personal y doméstico. Estos usos incluyen normalmente agua de para beber, saneamiento personal, lavado de ropa, preparación de alimentos, higiene personal y limpieza del hogar. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), son necesarios entre 50 y 100 litros de agua por persona al día para garantizar que se cubren las necesidades básicas y que no surjan grandes amenazas para la salud (Ver figura 1.36).

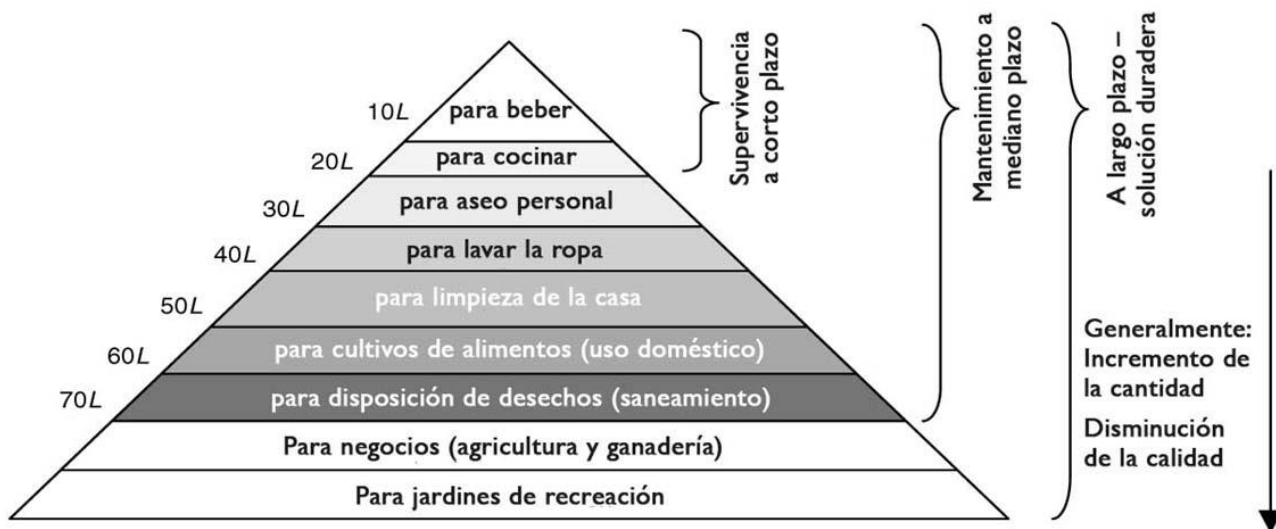


Figura 1.36 Jerarquía de las necesidades de agua

Fuente: Cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico. Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud. OMS 2009.

Además de acuerdo con la OMS, el suministro de agua debe ser:³⁴

- ✓ **Saludable.** El agua necesaria, tanto para el uso personal como doméstico, debe ser saludable; es decir, libre de microorganismos, sustancias químicas y peligros radiológicos que constituyan una amenaza para la salud humana.
- ✓ **Aceptable.** El agua ha de presentar un color, olor y sabor aceptables para ambos usos, personal y doméstico. Todas las instalaciones y servicios de agua deben ser culturalmente apropiados y sensibles al género, al ciclo de la vida y a las exigencias de privacidad.
- ✓ **Físicamente accesible.** Los servicios de agua y saneamiento deben ser accesibles físicamente dentro o en la inmediata cercanía del hogar, de las instituciones académicas, en el lugar de trabajo o las instituciones de salud. De acuerdo con la OMS, la fuente de agua debe encontrarse a menos de 1.000 metros del hogar y el tiempo de desplazamiento para la recogida no debería superar los 30 minutos.
- ✓ **Económicamente accesible.** El agua y los servicios e instalaciones de acceso al agua deben ser asequibles para todos. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) sugiere que el coste del agua no debería superar el 3% de los ingresos del hogar.

³⁴El derecho humano al agua y al saneamiento http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml

De acuerdo con CONAGUA el consumo en zonas rurales varía con respecto a la región. Las condiciones climatológicas e hidrológicas, las costumbres locales y la actividad de los habitantes tienen una influencia directa en la cantidad de agua consumida. Para zonas rurales se recomienda considerar un consumo promedio diario de 100 l/hab, el cual está en función del uso doméstico de acuerdo al Cuadro 1.8.

Cuadro 1.8 Consumo doméstico en el medio rural

Uso	Consumo diario l/hab
Bebida, cocina y limpieza	30
Eliminación de excretas	40
Aseo personal	30

Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento 2015. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado. CONAGUA.

1.2.4 Características y usos del agua de lluvia

Desde los inicios de la civilización se ha hecho uso cotidiano de las aguas superficiales y subterráneas que se han tomado de diversas fuentes, y también del agua de lluvia. Esta última se distingue de las aguas de lagos, ríos, pozos, etc., sobre todo por no contener sales e impurezas. Además, la lluvia es de fácil recolección y está al alcance de todos, y depende únicamente de los regímenes de precipitaciones en cada lugar.

El desarrollo social e industrial permitió la aparición de los acueductos y las redes hidráulicas domésticas, y de centros de producción y servicios, dejando en el olvido aquellas soluciones sencillas y ecológicamente más útiles y viables. Y mientras esto sucede la lluvia sigue cayendo, las superficies techadas siguen aumentando y con ellas la posibilidad de recolección del agua de lluvia, que evitaría muchos problemas relacionados con el abastecimiento.

Partiendo de la necesidad de resolver a nivel vivienda, problemas de abastecimiento de agua para uso y consumo, se identifican opciones para utilizar el agua de lluvia, enfocando atención en las actividades como ducha, lavado de trastes, higiene personal, lavar la ropa, limpiar la casa, riego de plantas, beber y cocinar los alimentos (Figura 1.37).

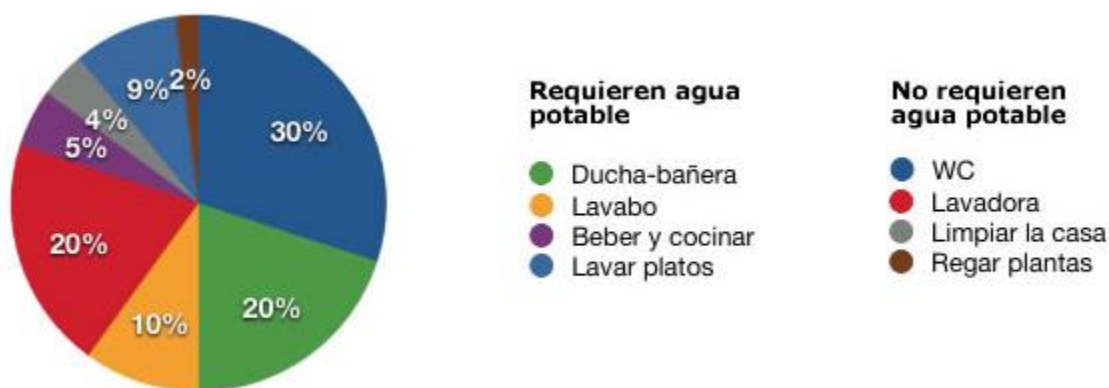
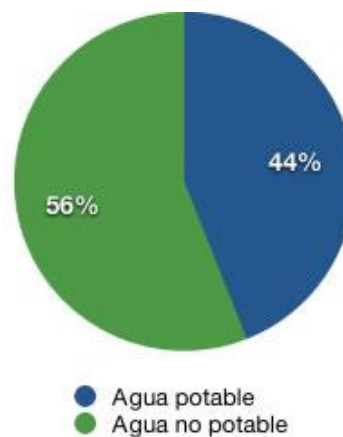


Figura 1.37 Distribución del consumo de agua según el uso en viviendas

Fuente: Reutilización de agua en las viviendas. Aquae Fundación. <http://www.iagua.es/2008/02/reutilizacion-de-agua-en-las-viviendas>

Si agrupamos los usos que requieren agua potable y los que no lo requieren obtenemos el gráfico siguiente (Figura 1.38):

Figura 1.38 Porcentaje de usos que requieren agua potable y no potable



Fuente: Reutilización de agua en las viviendas. Aquea Fundación.
<http://www.iagua.es/2008/02/reutilizacion-de-agua-en-las-viviendas>

Podemos observar que más de la mitad del agua que se utiliza en las viviendas puede proceder de agua de lluvia. Evidentemente, se deberán aplicar ciertos tratamientos en caso de requerir la calidad física, química y biológica necesaria, para adoptarla como agua para consumo humano, tomando las precauciones adecuadas, si así se desea.

En general, el agua de lluvia para uso y consumo humano presenta las siguientes ventajas³⁵:

De orden económico:

- Es un recurso gratuito y fácil de mantener. Relativamente limpio, de alta calidad físico química que se puede utilizar en actividades que no requieran de su consumo.
- Permite ahorro o incluso sustituir el agua potable entubada por la disminución en su uso, ya sea en sanitarios, para lavar (superficies, vehículos o ropa), riego de jardines o cultivos, entre otras posibilidades
- Ahorro en el costo de acarreo cuando la fuente de abastecimiento es a través de pipas

De orden ambiental:

- Ayuda en la recarga de acuíferos abatidos.
- Conservación de las reservas de agua potable (ríos, lagos, humedales)
- Fomenta una cultura de conservación y uso óptimo del agua
- No se requiere energía eléctrica o de fuentes adicionales de tecnología avanzada para la operación del sistema
- Importante ahorro energético en potabilización, desalinización o transporte de agua
- Ahorro del 50 % de detergentes y suavizante al utilizar agua de lluvia para el lavado de ropa, contaminando un 50 % menos en comparación del agua subterránea

De orden sociales

- Son sistemas independientes ideales para comunidades dispersas y alejadas
- Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección de agua de lluvia en zonas alejadas de los núcleos urbanos
- En ciertas zonas con alto grado de marginación es la alternativa ideal para solucionar el desabasto

³⁵Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano, producción de traspatio, ambientes controlados, agricultura de temporal y recarga de acuíferos. CIDECALI-CP 2010. México 2010.

Aun cuando las ventajas son numerosas, es necesario indicar también que los sistemas de captación de agua de lluvia cuentan con algunas desventajas:

- La cantidad de agua captada dependen directamente de la cantidad de precipitación presentada en la zona.
- La instalación de sistemas adecuados representa una inversión inicial que muchas veces no puede ser costeadada por familias de bajos recursos
- Se debe tener cuidado con posible contaminación del agua por materia orgánica o animales, razón por la cual debe pasar por un proceso de limpieza antes de ser almacenada en un lugar seguro y bien cerrado.
- Aunque en algunos lugares se considere como agua potable, no es recomendable, ya que depende de las condiciones de cada lugar, de los lugares por los que escurre y donde se almacena.

1.3 Impulso de alternativas sustentables para el suministro de agua para uso doméstico y consumo humano

La captación pluvial no es algo nuevo y tampoco implica gran tecnología a un nivel doméstico. Es un sistema ancestral que ha sido practicado en diferentes épocas y culturas, ya que es un medio fácil para obtener agua para el consumo humano y para el uso agrícola.

Para Alfaro (2009), los sistemas de captación y aprovechamiento de aguas lluvias comprenden un conjunto muy amplio de prácticas tendientes a coleccionar la precipitación para satisfacer las demandas de abastecimiento de agua para consumo humano, producción silvoagropecuaria o el funcionamiento de sistemas naturales. Según Ballén *et al.* (2006), los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son el resultado de las necesidades (demanda), los recursos disponibles (precipitación, dinero para invertir y materiales de construcción), y las condiciones ambientales en cada región.

Hemos puntualizado que el 58 % de los acuíferos en México están sobreexplotados. Lo anterior muchas veces se debe a que otras fuentes de abastecimiento, como los ríos, se encuentran contaminados además del crecimiento demográfico y en ocasiones se presentan dificultades para distribuir agua potable a zonas alejadas, además el 75% del agua de precipitaciones no se aprovecha pues se evapotranspira antes de ser almacenada o en el peor de los casos termina mezclándose con aguas negras imposibilitando su aprovechamiento. La situación actual en materia de disponibilidad de agua no es favorable, por esta razón es imperativo que se cuente con alternativas para captarla, de ser necesario tratarla de tal manera que las personas puedan usarla sin riesgo.

Como lo referimos en el tema de “Pobreza y carencia de Agua en México”, 22 443 comunidades rurales en México se encuentran en un grado muy alto de marginación, en las cuales el problema principal es la falta de agua entubada (32%). Muchas veces lo complicado en estas comunidades es la dispersión de sus viviendas, la orografía y los costos elevados de los proyectos en el caso de contar con suficiente agua para la ejecución de la obra. Las comunidades rurales sin fuentes de abastecimiento, conflictividad intercomunitaria por pequeños cuerpos de agua o en regiones de alta permeabilidad de suelos, definitivamente quedan condenadas a no recibir el beneficio de un sistema de abastecimiento de agua potable. La única alternativa para estas comunidades es la captación de agua de lluvia.

En los siguientes subcapítulos se dará a conocer una breve historia de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) a través de la historia en diferentes culturas en todo el mundo, se tratará el estado del arte de los SCALL en México y en el mundo y finalmente se hablará de la clasificación de los SCALL.

1.3.1 Historia de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)

Se reporta que la captación del agua de lluvia se ha practicado desde hace más de 5 mil años; desde siempre, el ser humano ha aprovechado el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte. Cuando las civilizaciones crecieron demográficamente, algunos pueblos ocuparon zonas áridas, semiáridas y húmedas del planeta y comenzó el desarrollo de las formas de captación de agua de lluvia, como una opción para el riego de cultivos y el uso doméstico (Ballén 2006).

En el oriente, actual Jericó, antes del surgimiento de las primeras ciudades en el período, anterior a 8000 a 4000 a.C., en el valle del Río Jordán se establecieron comunidades que desarrollaron una arquitectura con construcciones de piedra. En el quinto milenio, con el surgimiento y asentamiento de pueblos cercanos a los ríos que atravesaban la planicie, con presas transversales desviaban el curso del agua para conducirlos al campo de cultivo. La irrigación en pequeña escala fue utilizada para mitigar los efectos de la sequía, esto permitió que en los años siguientes se colonizaran las regiones áridas y semiáridas según lo reportado por el Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia establecido en México por el colegio de Posgraduados (CIDECALLI-CP).

Estudios de la Universidad Nacional de Colombia revelan que los ejemplos más relevantes de las formas de aprovechamiento de agua lluvia a través de la historia se localizaron en el Desierto de Nagev, en Israel y Jordania, pues han sido descubiertos sistemas de captación de agua de lluvia que datan de 4.000 años o más, estos sistemas consistían en el desmonte de lomeríos para aumentar la escorrentía superficial, que era entonces dirigida a predios agrícolas en las zonas más bajas.

La Figura 1.39 muestra como en las zonas altas de Yemen donde las lluvias son escasas, se encuentran edificaciones (templos y sitios de oración) que fueron construidas antes del año 1.000 a.C., que cuentan con patios y terrazas utilizadas para captar y almacenar agua lluvia. Durante la República Romana (siglos III y IV a.C.) la ciudad de Roma en su mayoría estaba ocupada por viviendas unifamiliares denominadas “*la Domus*” que contaba con un espacio principal a cielo abierto (“atrio”) y en él se instalaba un estanque central para recoger el agua lluvia llamado “*impluvium*”, el agua lluvia entraba por un orificio en el techo llamado “*compluvium*”. En Loess Plateau en la provincia de Gansu en China existían pozos y jarras para la captación de agua lluvia desde hace más de 2.000 años. En Irán se encuentran los “*abarbans*”, los cuales son los sistemas tradicionales locales para la captación y almacenamiento de aguas lluvias.

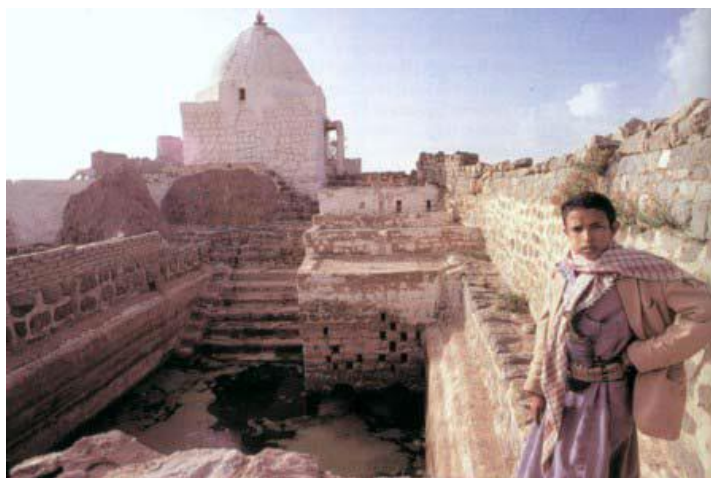


Figura 1.39 Cisterna a cielo abierto para la recolección de agua lluvia. Yemen.

Fuente: Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Ballén, 2006. Universidad Nacional de Colombia.

En Centroamérica se conoce el caso del Imperio Maya donde sus reyes sostenían a sus pueblos de modos prácticos, ocupándose de la construcción de obras públicas. Al sur de la ciudad *Oxkutzcab* (estado de Yucatán) en el pie de la montaña *Puuc*, en el siglo X a.C. el abastecimiento de agua para la población y el riego de los cultivos se hacía a través una tecnología para el aprovechamiento de agua de lluvia, el agua era recogida en un área de 100 a 200 m² y almacenada en cisternas llamadas “*Chultún*”, estas cisternas tenían un diámetro aproximado de 5 m, y eran excavadas en el subsuelo e impermeabilizadas con yeso como se observa en la Figura 1.40 (Ballén, 2006).³⁶

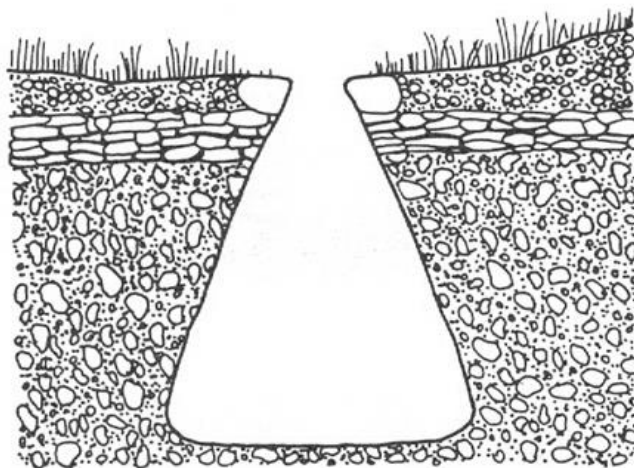


Figura 1.40 Sección tradicional del *Chultún*

Fuente: Revista de Divulgación del Patrimonio Cultural de Yucatán, INAH 2000.

En Cerros, una ciudad y centro ceremonial que se encuentra en el actual Belice, los habitantes cavaron canales y diques de drenaje para administrar el agua de lluvia y mediante un sistema de depósitos, estos permitían que la gente permaneciera en la zona durante la estación seca cuando escaseaba el agua potable (año 200 d.C.). En otras zonas de las tierras bajas, como en Edzná, en Campeche, los pobladores precolombinos de esta ciudad construyeron un canal de casi 50 m de ancho y de 1 m de profundidad para aprovechar el agua de lluvia, este canal proporcionaba agua para beber y regar los cultivos (Ballén 2006).

Siglos después el uso de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias decreció debido a la imposición de métodos y obras para la utilización del agua superficial y subterránea (presas, acueductos, pozos de extracción y sistemas de irrigación).

En los siglos XIX y XX las ciudades de la mayoría de los países experimentaron un gran crecimiento, realizando el suministro de agua a la población por medio de la acumulación de agua superficial para luego ser distribuida por una red centralizada de acueducto. En otras ocasiones se acudió a la explotación del agua subterránea. En cualquiera de los casos se elimina la posibilidad de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia u otros sistemas alternativos.

A principios de este siglo, los sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico perdieron su importancia debido al rápido crecimiento de las ciudades y a los sistemas de distribución de agua a nivel domiciliario.

³⁶Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. José Alejandro Ballén Juárez, Colombia, 2006.

1.3.2 Situación actual de los sistemas de captación de agua de lluvia en el mundo

Los sistemas de captación del agua de lluvia (SCALL) se han utilizado tradicionalmente a través de la historia de las civilizaciones; pero estas tecnologías sólo se han comenzado a estudiar y publicar recientemente, su utilización se está haciendo muy extensiva en muchas partes del mundo.

Captación en África

El segundo continente de mayor extensión en el mundo, cada vez se utilizan más sistemas para la captación de agua de lluvia, aunque se enfrentan a algunos problemas como: precipitación estacional y más escasa que en otras partes del mundo, menor número y tamaño de las cubiertas impermeables, alto costo y dificultad para encontrar los materiales y mayores costos de la construcción e implementación de los sistemas. Sin embargo, la falta de agua en muchas zonas hace que esta sea una solución fundamental.

- Kenia

Esta práctica se lleva a cabo en Kenia desde finales de 1970, se han construido miles de sistemas de captación promovidos por constructores locales llamados “fundis” que se encargan de diseñar distintas estrategias y retomar prácticas tradicionales para aprovechar el agua de lluvia. Con una población de 25 millones de personas, sólo el 42% de kenianos tiene acceso al agua, lo que significa que 15 millones están excluidos de un suministro seguro y adecuado. Esta situación es especialmente preocupante en la región de Laikipia, en donde la precipitación anual se estima en 400 mm. Para esta comunidad se diseñó un programa para instalar tanques subterráneos con capacidad para almacenar 100 m³ de agua que servirían para proveer, durante 4 meses, de 10 litros por persona al día. La calidad del agua captada no es apta para beber, pero sirve para otros usos como limpieza y riego de cultivos, lo que ha permitido un aumento en la producción de vegetales, por lo tanto, un incremento en el ingreso de las familias.

- Zimbabue

Este país es generalmente pobre en términos de recursos hídricos, dadas las condiciones de lluvia impredecible y muy alta pérdida por concepto de evaporación. De hecho, la precipitación anual se estima en alrededor de 650 mm, la cual ocurre fundamentalmente entre los meses de noviembre y marzo, con el resto del año virtualmente seco. Para hacer frente a esta situación, los pobladores han utilizado tradicionalmente una técnica de captación denominada *Fanya juus* que, aunque originaria de Kenia, ha sido ampliamente utilizada. Ésta consiste en hacer canaletas de 50 a 60 cm de profundidad en la tierra que conducen a un sistema de almacenamiento que, a su vez, está conectado con cultivos locales para ser regados. Los sistemas de captación de agua de lluvia en este país, sean estos tradicionales o más sofisticados, se encuentran fundamentalmente relacionados con el uso agrícola ya que alrededor del 76% de los habitantes consideran esta actividad como su principal fuente de ingresos.

Figura 1.41 Cisterna de Ferrocemento, Kenia



Fuente: Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano, producción de traspatio, ambientes controlados, agricultura de temporal y recarga de acuíferos. CIDECALLI-CP 2010. México 2010.

Captación en Asia

Las mega ciudades de China, India y Japón, están enfrentando la escasez en el suministro, razón por la cual están viendo en el agua de lluvia una solución determinante. También efectos del cambio climático como sequías más prolongadas o lluvias más torrenciales, así como el derretimiento de los glaciares del Himalaya, están impulsando la búsqueda de nuevas fuentes de suministro.

- China

China ha estado enfrentando serios problemas de escasez de agua que han causado grandes pérdidas económicas y medioambientales. La peor condición de falta de suministro, se da en la meseta de Loess de Gansu, localizada en el noroeste del País. Esta zona, una de las más pobres de China, depende por completo del agua de lluvia, pero las lluvias son cada vez más escasas, la precipitación anual es de unos 300 mm y sucede entre los meses de julio a septiembre, mientras que las cantidades de evaporación potencial son de 1500-2000 mm. El agua superficial y subterránea es limitada, por lo tanto, la agricultura en la provincia depende de las precipitaciones.

Entre 1995-1996, se inició el Proyecto de Captación de agua de lluvia “121”, implementado por el gobierno de la provincia de Gansu para apoyar a los agricultores, en el cual, le entregaban a cada familia un sistema para captar agua de lluvia. Este consistía en: canaletas para recolectar el agua de los techos, tanques de almacenamiento de cemento y planchas de plástico para recolectar la lluvia en el suelo. El agua recolectada la podían utilizar para el riego de sus cultivos. A partir de 2000, se construyeron un total de 2.183.000 tanques para recolectar el agua de lluvia con una capacidad total de 73,1 millones de m³ garantizando el suministro de agua potable para 1.97 millones personas y riego suplementario de 236 400 hectáreas de tierra (Figura 1.42).

A partir de este proyecto, diecisiete provincias de China adoptaron la técnica de aprovechamiento de aguas pluviales, mediante la creación de 5,6 millones tanques con una capacidad total de 1,8 millones de m³, y garantizando el suministro de agua potable para aproximadamente 15 millones de personas y el riego suplementario de 1,2 millones de hectáreas de tierra.



Figura 1.42 SCALLs Provincia de Gansu, China

Fuente: Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano, producción de traspatio, ambientes controlados, agricultura de temporal y recarga de acuíferos. CIDECALLI-CP 2010. México 2010.

- Japón

La temporada de lluvia en Japón va desde comienzos de junio hasta octubre cuando termina la época de tifones y con un promedio anual de 1380 mm. Para mitigar la escasez de agua, controlar las inundaciones y tener reserva segura de líquido en caso de emergencias, en Tokio se promueve la recolección y la utilización de agua de lluvia. En la ciudad un promedio de 750 edificios públicos y privados utilizan sistemas para la recolección y utilización del recurso pluvial. También han desarrollado un sistema urbano a gran escala para establecer zonas de retención y almacenamiento, preservando la naturaleza en los bordes de los ríos y acoplando superficies para que se inunden en la época de lluvia, y así evitar que los desbordamientos afecten otras zonas.

Sistema *Rojison*

En Tokio a nivel comunitario, se utiliza el sistema “Rojison”, un sistema simple creado por los residentes locales en el distrito de Mukojima para aprovechar el agua de lluvia recogida de los tejados de las casas, utilizándola para riego de jardines, reserva de agua en caso de emergencias y para la extinción de incendios. Está instalación recibe el agua de lluvia del techo de la casa, para almacenarla en un pozo subterráneo y luego extraerla por medio de una bomba manual (Ver Figura 1.43).

Sumida

En el Coliseo de lucha de Sumo Ryogoku Kokugikan, se aprovecha una azotea de 8.400 m² como superficie de captación, el agua de lluvia recogida se vierte en un tanque de almacenamiento de 1.000 m³ y utilizan para limpieza de superficies, baños y aires acondicionados. La municipalidad está ampliando este sistema para las nuevas instalaciones públicas.

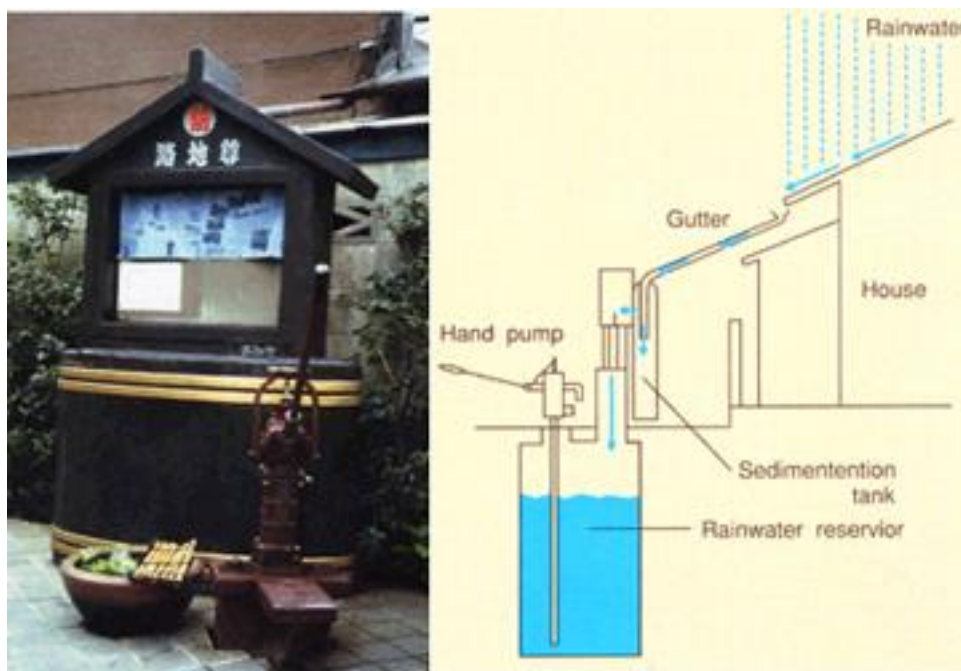


Figura 1.43 Sistema *Rojison* para captación a nivel comunitario Tokio, Japón

Fuente: Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano, producción de traspatio, ambientes controlados, agricultura de temporal y recarga de acuíferos. CIDECALLI-CP 2010. México 2010.

- India

Según los estudios de la FAO la India está considerada como uno de los 6 países que más están en peligro por falta de agua. Por esta razón muchas autoridades están desarrollando programas que lleven al ahorro, uso eficiente del agua, así como el aprovechamiento del recurso pluvial y el apoyo a nuevas tecnologías que lo permitan. Es el país más poblado del mundo con 1200 millones de habitantes y en muchas regiones agrícolas, así como en las mega ciudades se viven problemas por la escasez y contaminación de agua. La solución que se ha tomado para enfrentar estos problemas son las técnicas de aprovechamiento de agua lluvia.

La población urbana en la India ha crecido casi cinco veces en las últimas décadas. Hace unos años la mayoría de ciudades eran autosuficientes y contaban con suficientes cuerpos de agua, en la actualidad estas fuentes han desaparecido por completo. Los municipios se han estirado hasta el límite en busca de agua para sus poblaciones en aumento. En la actualidad las fuentes subterráneas son el principal suministro y son extraídas por gobierno y entidades privadas. En este país, 19 ciudades se enfrentan a situaciones de creciente escasez de agua, en la actualidad, en urbes como Chennai y Nueva Delhi, los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia son obligatorios.

Los sistemas para captar el agua de lluvia, son de bajo impacto, de poco costo y puede ayudar a aumentar las reservas. Razón por la cual, los gobiernos locales y nacionales están implementando leyes y buscando fondos que lleven a fomentar y aumentar la captación de lluvia. Un 50% de los fondos de desarrollo rural son usados para promover sistemas de cosecha de lluvia en el campo.

Los sistemas de captación de agua de lluvia en techos son obligatorios en las nuevas construcciones en 18 de los 28 estados de India. Por ejemplo:

- En Bangalore se está implementando una disminución en los impuestos para las personas que implementan sistemas de captación de agua de lluvia en sus hogares. Según las autoridades locales, si se aprovecha el agua de lluvia en esta ciudad tendrían suministro para 6 meses.
- En Delhi están desarrollando un programa que busca dar incentivos económicos y soporte técnico para todas aquellas personas o empresas que tengan el interés de implementar este tipo de sistemas y se está exigiendo en edificios gubernamentales.
- En Mumbai se están desarrollando una serie de regulaciones para asegurar que el uso de sistemas para captar el agua de lluvia se aplique y a partir del 2002, se declaró obligatorio que las nuevas construcciones con un área de 1000 m² instalen este tipo de sistemas. Sin embargo, estas leyes no se han implementado con éxito por falta de monitoreo.

Figura 1.44 SCALL a nivel vivienda para uso en Nueva Delhi, India



Fuente: Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano, producción de traspatio, ambientes controlados, agricultura de temporal y recarga de acuíferos. CIDECALLI-CP 2010. México 2010.

- Singapur

La tierra en esta isla asiática es escasa y cara, aproximadamente 86% de la población de Singapur vive en edificios de gran altura y se enfrentan a una demanda creciente de agua. Desde 1986, cuando se reconoció el grave problema de escases al que se enfrentaba el país, se están implementando esquemas para la captación de agua de lluvia. El promedio de lluvia anual en Singapur es de 2.400 mm y se está buscando que 50% de la superficie se utilice para captar el agua de lluvia.

El mayor esquema de captación agua se encuentra en el estuario Sungei, en la localidad de Sedar al noreste del país, con un área de captación de 3200 hectáreas, aquí el agua es recolectada y luego pasa por un sistema de purificación para distribuirla. Pero también existen otros ejemplos:

- Aeropuerto Changi

Se implementaron sistema para captar el agua de lluvia que escurre por las pistas, las áreas verdes y los techos, que es almacenar en depósitos. El agua se utiliza principalmente para las reservas antiincendios y para los inodoros. La utilización del agua de lluvia ha reducido de un 28-33% el uso de agua en las instalaciones y ha generado un ahorro aproximado de 390,000 dólares de Singapur.

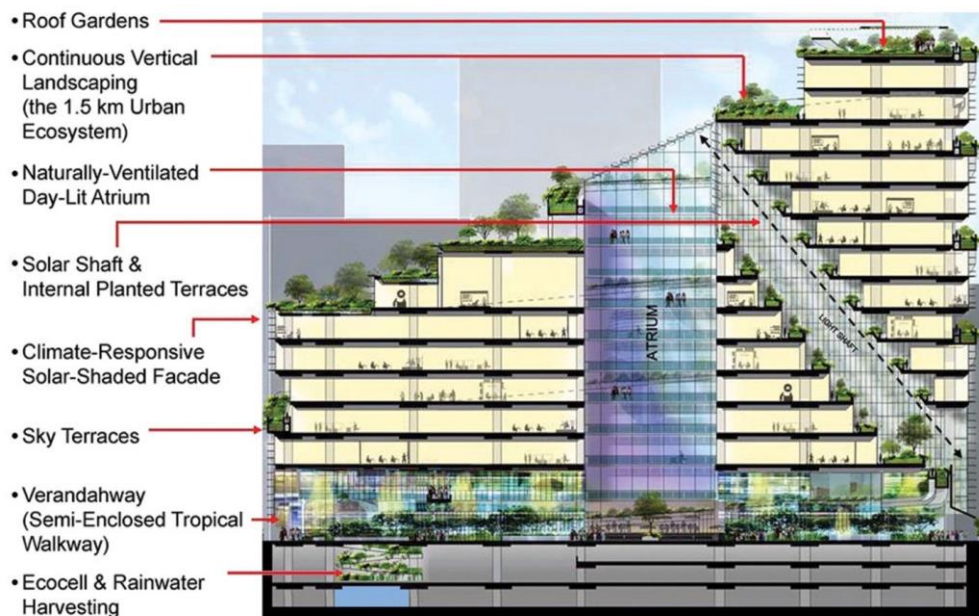
- Recolección en edificios altos

Este sistema ha sido implementado en el techo de edificios de 15 plantas. El agua que escurre por los techos, se capta y es dirigida a dos tanques de almacenamiento de donde se extrae para su utilización en la descarga de sanitarios. La calidad del agua es aceptable en cuanto a color, turbidez y contenido bacteriológico, sin embargo, según los estudios, los sólidos totales y niveles de cloruro eran altos. Según los cálculos se ha conseguido un ahorro del 13,7% del agua.

- Zonas residenciales urbanas

En una zona urbana de 742 hectáreas y con un total de 49.000 departamentos, se han activado equipos para captar y aprovechar el agua de lluvia que han resultado muy efectivos. Por medio de un programa de cómputo se determina el agua almacenada y cuando esta se termina se abre de forma automática para recibir el suministro público.

Figura 1.45
Aprovechamiento de agua de lluvia en edificios altos



Fuente: SOLARIS <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1634>

- Bangladesh

La recolección de agua de lluvia se ha desarrollado como una alternativa para tener un suministro de agua potable, ya que en algunas zonas las reservas de agua están contaminadas con arsénico. Desde 1997 a partir de un programa desarrollado por la ONG Foro para el Agua y Saneamiento, se han instalado en este país alrededor de 1000 sistemas de captación de agua pluvial, especialmente en zonas rurales. El agua recogida en tanques que pueden ser de 500 a 3.200 litros, se utiliza para beber, cocinar y ha tenido una gran aceptación por los residentes locales al ser considerada una fuente segura. Los estudios han demostrado que si el agua se mantiene bien almacenada y protegida puede durar hasta 4 o 5 meses sin que tenga índices de contaminación bacteriana. En los últimos años también se están emprendiendo campañas para recolectar el agua de lluvia en zonas urbanas y así garantizar el suministro doméstico.



Figura 1.46 Agua de lluvia almacenada Bangladesh

Fuente: Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano, producción de traspatio, ambientes controlados, agricultura de temporal y recarga de acuíferos. CIDECALLI-CP 2010. México 2010.

- Tailandia

Según datos del banco mundial, en Tailandia la población rural representa el 50% del total. Se estima que menos de la cuarta parte de la población cuenta con sistemas públicos de abastecimiento de agua, el resto depende de las fuentes de agua de dudosa calidad por lo que las enfermedades principales que aquejan a los tailandeses son relacionadas con el agua y saneamiento.

Ante la urgente necesidad de agua limpia para la población se han construido más de 10 millones de cisternas para la captación de agua de lluvia, y se almacena suficiente agua para una vivienda con seis personas y puede abastecer hasta seis meses. Los volúmenes de las cisternas son de 1000 a 3000 litros y fueron fabricadas en arcilla por la población con apoyo del gobierno (Figura 1.47).



Figura 1.47 Colector de agua de lluvia, Tailandia

Fuente: Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano, producción de traspatio, ambientes controlados, agricultura de temporal y recarga de acuíferos. CIDECALLI-CP 2010. México 2010.

Captación en Australia

En este enorme país viven dos situaciones distintas de falta de suministro por un lado en la zona rural, en donde la densidad de población es muy baja, el agua debe recorrer grandes distancias a través de kilómetros de tubería, haciendo que esta sea muy costosa o que en algunos lugares remotos no se suministre el servicio. Por lo tanto, se ve al agua lluvia como una solución a la mano para los problemas de suministro. Por otro lado, en la grande urbe australiana están teniendo que enfrentar una crisis por falta de agua, el aumento de la población y el fracaso para aumentar las reservas, agravados por los efectos del cambio climático, están provocando que muchas ciudades se empiecen a quedar sin suministro.

Además, ante la escasez de agua, en gran parte del país la captación de agua de lluvia se ha convertido en un requisito y la instalación de tanques para almacenar el recurso pluvial es obligatoria en las nuevas construcciones. En algunos estados de Australia se han dado grandes pasos para promover una legislación que lleve a la eficiencia en el uso de agua, por ejemplo:

- Victoria

Desde julio de 2005, las nuevas casas y departamentos deben cumplir con los requisitos de gestión del agua de lluvia señalados en los 5 Star standard: sistemas ahorradores de agua, tanque para captar agua pluvial que se puede utilizar en la descarga de escusados.

- Sur de Australia

Las nuevas construcciones deben contar con un tanque para el almacenamiento de agua de lluvia conectados a la casa.

- Sídney y Nuevo Sur Gales

Las regulaciones del Índice para Construcciones y Sustentabilidad (BASIX por sus siglas en inglés) proponen un 40% de reducción en el uso de agua de suministro público, para lo cual proponen la utilización de sistemas ahorradores y captación de agua de lluvia en tanques que se use para escusados y lavado de ropa. En los juegos olímpicos de Sídney 2000 se aplicaron sistemas de captación de agua de lluvia para su reuso en los escusados de la villa olímpica (Figura 1.48).

- Costa de Oro

En los nuevos desarrollos, tanto casas como negocios, se exige tanques de 3,000 litros que deben estar conectados a las lavadoras de ropa y las llaves que se encuentran en el exterior.

- Queens land

En este estado se ofrece un descuento de 1500 dólares para las personas que instalen sistemas para la captación de agua de lluvia en sus casas.



Figura 1.48 Colector de agua de lluvia en Melbourne, Australia

Fuente: Rainwater harvesting could save Australia billions <http://www.eco-business.com/news/rainwater-harvesting-could-save-australia-billions/>

Captación en Europa

El aprovechamiento del agua de lluvia en Europa, se debe sobre todo al alto precio del agua en muchos países, entre más alta es la tarifa mejor la amortización. Los países en donde tiene un mayor costo son Dinamarca (1.84 Euro/m³) y Alemania (1.73 Euro/m³), este último es el país en donde más se ha desarrollado la captación de agua. Sin embargo, existen programas y apoyos para la aplicación de tecnologías en Austria, Suiza, y Bélgica.

Hay un creciente interés por aprovechar el agua de lluvia en los países de Europa del Este como República Checa, Eslovaquia, Polonia o Hungría. En primer lugar, se están viendo forzados a alcanzar el nivel de tecnología y exigencia medio ambiental del resto de la Unión Europea. Debido al bajo precio del agua los sistemas para casas aún no son muy comunes, sin embargo, los subsidios del gobierno y las facilidades de implantación, están llevando a que aprovechen la tecnología que se está desarrollando en Alemania.

- Alemania

En octubre de 1998, como parte de una gran escala de redesarrollo urbano en Berlín, se instalaron sistemas de captación de agua de lluvia en Potsdamer Platz, zona en la cual se recoge el agua que cae en los techos y se almacena en un tanque subterráneo que tiene capacidad para 3.500 m³. Esta agua se aprovecha para la descarga de inodoros, riego de zonas verdes (incluyendo los techos con cubierta vegetal) y la reposición de un estanque artificiales.



Figura 1.49 SCALL de desarrollo urbano en Potsdamer Platz en Berlín, Alemania

Fuente: Captación en el mundo http://hidropluviales.com/wp-content/uploads/2012/11/Berlin_Potsdamer_Platz_1.jpg

Captación en América

- Estados Unidos de América

En Estados Unidos La gestión del recurso pluvial es una práctica cada vez más común en estados como: Maine, California, Oregón y Washington. Sin embargo, en los estados del oeste y del sudoeste, en donde se encuentran en zonas áridas y más necesitadas del recurso, el gobierno estadounidense ha puesto especial interés en los sistemas para la captación de agua de lluvia, siendo el más avanzado Texas. En algunos se ha creado una legislación que exige la implementación de estos equipos, también se dan incentivos en los impuestos o facilidades en presentamos, por ejemplo, en Arizona el gobierno ofrece un crédito del 25% para las personas que adquieran sistemas de captación, incluso se aplica para los constructores.

- Texas

Durante las primeras décadas del siglo XX un gran número de habitantes construyeron cisternas y sistemas de captación para resolver sus necesidades diarias, sin embargo, con la introducción de los sistemas de distribución de agua superficial éstos se volvieron obsoletos. No obstante, durante los últimos 15 años se ha observado un renovado interés por este tipo de sistemas, prueba de ello es que se estima que

actualmente se encuentran en operación alrededor de 15 mil en todo Texas, algunos de los cuales también son utilizados para uso doméstico. Este renovado interés ha sido impulsado por el gobierno a través de la difusión de manuales para la instalación de métodos para captar el agua de lluvia, así como la creación de un Comité específico para la evaluación de los sistemas y la exención de impuestos de propiedad para este tipo de tecnologías. Por otro lado, en este estado se creó y opera una de las principales organizaciones para la captación y utilización del agua pluvial, la Asociación Americana de Sistemas de Captura de agua de Lluvia (ARCSA por sus siglas en inglés).

- Nuevo México

En los condados de Santafé, Albuquerque y Armadillo: los residentes que tenga un terreno de 2,500 pies cuadrados deben instalar sistemas de captación de agua de lluvia. De igual forma, todos los desarrollos comerciales, deben instalar equipos en sus techos para reusar el agua de lluvia en el riego de áreas verdes.



Figura 1.50 Sistema familiar de captación de agua de lluvia en Texas, USA

Fuente: Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano, producción de traspatio, ambientes controlados, agricultura de temporal y recarga de acuíferos. CIDECALLI-CP 2010. México 2010.

- Canadá

Como parte de un programa piloto para la conservación del agua, en Vancouver se entrega un subsidio para la compra de tanques plásticos de 75 galones que permitan almacenar el escurrimiento pluvial. Se utilizan para recolectar el agua de lluvia proveniente de los techos que luego es utilizada para regar los jardines, actividad que demanda alrededor del 40% del suministro de agua durante el verano. Algunas proyecciones indican que cada tanque podría ahorrar cerca de 1.300 galones de agua durante los meses de verano, cuando la demanda de agua es más alta.

- Honduras

Los habitantes de las comunidades del municipio de Orocuina, hasta 1992 tenían que recorrer diariamente distancias de hasta 2.5 km para abastecerse de agua de baja calidad, situación que se hacía más difícil en la temporada seca. En respuesta a este problema, la Universidad Nacional Autónoma de Honduras diseñó e instaló cinco sistemas basados en pilas recolectoras para almacenamiento de agua de lluvia. Los sistemas consistían en colocar canaletes alrededor del techo de las viviendas y estos se conectaban a las pilas recolectoras construidas con materiales locales como arena, grava o piedra. La capacidad de almacenamiento podía ser de 1 m³ hasta 4 m³, los tamaños de las estructuras dependían de las posibilidades económicas de la población y de las necesidades de consumo según el tamaño del grupo familiar. El periodo de utilización del agua fue de alrededor de 40 días considerando el consumo diario de 25 litros por persona. Este proyecto redujo el gasto económico en agua y dotó de mayor tiempo a los habitantes para desempeñar tareas diversas relacionadas con su actividad primaria.

- Nicaragua

En 2004 las organizaciones Georg Fischer y Mercy Ship implementaron un proyecto para construir sistemas de captación pluvial en las áreas de acceso más limitado al agua. El ejemplo más claro se vivió en el departamento de León, en donde fueron instalados 7 tanques con capacidades que variaron entre los 14m³ y los 71 m³, los cuales permitieron a los habitantes abastecerse de agua durante la temporada seca para distintas actividades, todas ellas relacionadas con el consumo humano.

- República Dominicana

En general más de la mitad del país goza con más de 100 días de lluvia al año, ante la escasez de agua presente en el país, algunas ONG ayudaron a instalar sistemas de captación de agua de lluvia en más de 500 hogares.

- Islas del caribe

Los sistemas de captación del agua de lluvia para uso doméstico son una solución común para el abasto de agua. La mayoría de los países de la región utilizan las tecnologías de captación del agua de lluvia en techos y pisos. Algunos cuentan con legislación y normatividad para captar la lluvia logrando la autosuficiencia como: Islas Vírgenes, Barbados y las Islas Turcos y Caicos.

- Brasil

En los trópicos semiáridos del noreste del país, la precipitación anual varía ampliamente entre 200 y 1000 mm, la gente captaba el agua de lluvia de forma tradicional cavando hoyos en la tierra. Sin embargo, en los últimos años un grupo de ONGs están trabajando para que se pueda aprovechar el agua de lluvia de forma más amplia y para conseguirlo, unieron sus esfuerzos con el gobierno e iniciaron un proyecto que tiene estipulada la construcción de un millón de cisternas para almacenar el escurrimiento pluvial en un período de cinco años, con el cual se busca beneficiar a 5 millones de personas. La mayoría de estos tanques están hechos de placas de hormigón prefabricado o de concreto con malla de alambre.

Por otro lado, ciudades como Sao Paulo también están empezando a verse afectadas por la falta de agua, aunque en la época de tifones reciben fuertes lluvias que causan inundaciones. Las agencias de gobierno están empezando a exigir la implementación de equipos para captar el agua de lluvia en techos que tengan una superficie mayor a 500m². Debido al aumento en el consumo y la escasez en el suministro, los sistemas para aprovechar el agua de lluvia se están haciendo cada vez más populares. Otro ejemplo del creciente interés por la captación del escurrimiento pluvial en Brasil fue la creación de la Asociación Brasileña de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, fundada en 1999.

Fuente: Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano, producción de traspatio, ambientes controlados, agricultura de temporal y recarga de acuíferos. CIDECALLI-CP 2010. México 2010.

1.3.3 Situación actual de los sistemas de captación de agua de lluvia en México

Hemos constatado que en México la precipitación anual es de 1,489 miles de millones de m³, de ésta se estima que 73.2% se evapotranspira y regresa a la atmósfera. Si este recurso fuera captado y aprovechado se podría utilizar en diversos usos no potables y recargar los acuíferos abatidos, teniendo en cuenta que el país ha pasado en las últimas décadas de una situación de exceso de agua y otra de baja disponibilidad.

Por esta razón, una gestión integral y sustentable del agua de lluvia puede ser una solución para tres de los principales problemas que se están generando:

1. Aumentar la disponibilidad: al aprovechar el agua de lluvia para usos que no impliquen su consumo como sanitarios, limpieza de superficies, procesos industriales, lavado de vehículos, riego de áreas verdes o cultivos y sobre todo para la recarga de acuíferos.
2. Mitigar inundaciones: al controlar y almacenar el agua de lluvia, se evita que sature la infraestructura urbana que es cada vez más ineficiente debido a que se han incrementado los volúmenes de agua que deben ser desalojados.
3. Evitar contaminación de fuentes naturales: al retener y limpiar el escurrimiento pluvial se evita que arrastre basuras, sedimentos y grasas a ríos, canales, lagos y humedales. También se evita que la tierra absorba estos desechos y que contamine las reservas subterráneas de agua.

En las zonas rurales de México, son comúnmente utilizados los estanques o presas de tierra, los aljibes, ollas de agua, papalotes o molinos de viento, bombas de pistón, los pozos ademados y equipados con bomba, el transporte de agua en camiones cisterna, los manantiales canalizados o entubados, las trampas del agua de lluvia, los techos cuenca, las plantas desaladoras y las plantas solares. De lo antes mencionado, realmente muy poco ha podido adaptarse para mantener en forma sostenida el abastecimiento de agua para consumo humano de los habitantes sobre todo del medio rural (Anaya, 2010).

El Colegio de Posgraduados ha establecido el Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI), donde se promueve la captación, purificación y envasado del agua de lluvia, dando especial atención a las comunidades rurales. Actualmente, se han realizado diversos proyectos comunitarios en México, utilizando las tecnologías desarrolladas en el CIDECALLI-CP y en otras instituciones, muchas veces han resultado casos de éxito, como los siguientes ejemplos:

Estado de México

“Purificación de agua de lluvia almacenada en una cisterna revestida con geo membrana de PVC para consumo humano del grupo étnico Mazahua”

Michoacán

“Proyecto: Captación y purificación de agua de lluvia para consumo humano en tres comunidades de la meseta tarasca del estado de Michoacán”

Puebla

“Antecedentes y perspectivas del aprovechamiento de agua de lluvia con fines agrícolas y domésticos en la región de Tecamachalco, Puebla, México”

Guanajuato

“Captación y aprovechamiento de agua de lluvia para la producción de hortalizas en el traspatio en la comunidad de Tirados de Abajo, municipio de Tarimoro, Guanajuato”

Captación pluvial y su reutilización mediante humedales artificiales en la microcuenca Santa Ana, Guanajuato”

Morelos

“Captación y tratamiento de agua de lluvia a nivel domiciliario y colectivo en los municipios de Ocuituco y Tototlpan en el estado de Morelos”

El éxito de estos y muchos otros proyectos de captación pluvial ha impulsado un rápido crecimiento en el ámbito de aplicación demostrando que muchas comunidades han puesto en marcha sistemas para captar el agua y que la gente ha tomado una actitud positiva hacia el uso del agua de lluvia para los diferentes usos domésticos. Por esta razón, la captación de agua tiene el potencial de ser un gran éxito en la solución de la escasez de agua en todo México.

Existen, además, organizaciones dedicadas a la investigación, desarrollo de tecnologías e implementación de proyectos, que tienen como punto de partida la captación de agua de lluvia:

El Instituto Internacional de Recursos Renovables A.C. trabaja para promover prácticas sustentables para que la gente pueda hacerlas parte de su vida diaria a través de tres programas distintos: Agua, Biogás y Desarrollo Rural. El Programa de agua está dedicado a desarrollar e implementar un modelo de captación de lluvia que se pueda adoptar a gran escala en la ciudad de México con el fin de solucionar el problema de escasez de agua.

Por su parte, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), a través de la Sub coordinación de Tecnología Apropiada e Industrial, con el apoyo de la Fundación Gonzalo Río Arronte y en colaboración con algunas universidades y diversas organizaciones, plantearon colaborar en la solución ante la situación de alta presión en los recursos hídricos en el país, iniciando acciones en la cuenca del lago de Pátzcuaro en al año 2003 donde se presentaba una problemática grave desde hace cerca de cincuenta años.

Para el año 2003 se transfirió a los habitantes de esta región un paquete de ocho tecnologías apropiadas: cisterna, captación de agua de lluvia, sanitario ecológico, lavadero ecológico, huerto familiar, tanque de riego, bicibomba y caja de desinfección solar. Dicho paquete ofreció proporcionar a las viviendas rurales el abastecimiento de agua y saneamiento por medio de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia, el tratamiento y reúso de agua gris y negra, el aprovechamiento de agua gris tratada en pequeñas áreas de cultivo de traspatio para autoconsumo, así como la desinfección de agua a través del aprovechamiento de la radiación solar.

El IMTA continuó la transferencia de estos paquetes en los estados de Chiapas, Zacatecas, Morelos, Guerrero, Chihuahua, Estado de México, en la Península de Yucatán y San Luis Potosí.

En el capítulo siguiente se detallará el trabajo realizado por el IMTA y los diferentes casos donde se transfirieron las tecnologías apropiadas para manejo integral del agua para comunidades rurales, después se proporcionará una descripción detallada de cada tecnología y su funcionamiento, con el fin de dar a conocer el antecedente directo del presente trabajo donde se instaló un paquete de ocho tecnologías apropiadas en siete viviendas de la comunidad del Palo Seco, en el municipio de Villa Juárez en San Luis Potosí.

1.3.4 Definición y clasificación de SCALLs

Un sistema de captación de agua de lluvia consiste en la recolección y almacenamiento de agua precipitada, para ser utilizada posteriormente para cualquier uso.

Los Sistemas para captación de agua de lluvia, para uso doméstico y consumo humano a nivel de familia y comunitario representan una solución para abastecer en cantidad y calidad a poblaciones rurales, periurbanas y urbanas que sufren la carencia de este vital líquido.



Figura 1.51 Canaletas para captación pluvial

Fuente: Manual de sistemas de captación de agua de lluvia nivel vivienda. IMTA 2015

Cuadro 1.9 Clasificación de los SCALLs

NIVEL	VIVIENDA	COMUNITARIO
• Captación	Techos de las Viviendas	Áreas impermeabilizadas con geo sintéticos.
• Recolección	Canaletas de galvanizado, PVC, etc.	Líneas de conducción
• Interceptor	Trampas de sólidos, cuello de ganso, mallas, etc.	Cribas y sedimentadores
• Almacenamiento	Cisternas de tipo capuchino, ferro cemento, concreto armado, etc.	Ollas/Cisternas
• Tratamiento	Filtro biológico, caja de desinfección.	Planta purificadora

Fuente: Manual de sistemas de captación de agua de lluvia nivel vivienda. IMTA 2015



Figura 1.52 SCALL a nivel vivienda. Quiroga, Michoacán
 Fuente: Manual de sistemas de captación de agua de lluvia nivel vivienda. IMTA 2015

Captación

La captación está conformada por el techo de la edificación, el mismo que deberá contar con pendiente y superficie adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo se debe considerar la proyección horizontal del techo.

Conducción

Recolección y Conducción: Está conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo.



Figura 1.53 Techo para captación y tubería para conducción
 Fuente: Manual de sistemas de captación de agua de lluvia nivel vivienda. IMTA 2015

Interceptor

Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente

Almacenamiento

Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario, en especial durante el período de sequía. Los tipos de tanques de almacenamiento de agua de lluvia que pueden ser empleados en el medio rural pudieran ser construidos con materiales como mampostería, ferrocemento, concreto o prefabricadas.

Cuadro 1.10 Dimensionamiento de la Cisterna según el volumen

Cisterna (m3)	Diámetro (m)	Altura (m)
1000	19.00	4.80
500	19.00	2.40
100	8.00	2.40
50	5.40	2.40
35	4.50	2.40
20	3.80	2.40
11	2.96	2.40



Figura 1.54 Cisterna de 11 m³ instalada en Pátzcuaro, Michoacán, México.
Fuente: Manual de sistemas de captación de agua de lluvia a nivel vivienda. IMTA 2015

1.3.5 Consideraciones para el diseño e instalación del SCALL

1. Localización del Sitio para establecer el SCALL
2. Determinación de la demanda de agua por familia o por comunidad
3. Cálculo de la precipitación aprovechable (datos de al menos 10 años).
4. Dimensionamiento del área de captación para la cosecha de agua.
5. Diseño de la línea de conducción entre elementos del sistema
6. Diseño del elemento de eliminación de sólidos por medio de sedimentación, filtración o trampa de sólidos.
7. Diseño del sistema de almacenamiento del agua captada.

Determinación de la demanda: a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de la familia o familias a ser beneficiadas en cada uno de los meses.

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$

Donde:

Nu: número de usuarios que se benefician del sistema.

Nd: número de días del mes analizado

Dot: dotación (L/persona- día)

Di: demanda mensual (m³)

Determinación de la precipitación promedio mensual; a partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos 10 ó 15 años se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados. Este valor puede ser expresado en mm/mes, litros/m²/mes, capaz de ser recolectado en la superficie horizontal del techo.

Donde:

PN_{ijk}: Precipitación neta del día i, mes j, año k, mm

P_{ijk}: Precipitación total del día i, mes j, año k, mm

ncaptación: Eficiencia de captación de agua de lluvia (0.765)

$$PN_{ijk} = P_{ijk} \times n_{captación}$$

Área de Captación: El área de captación del agua de lluvia se obtiene con la siguiente ecuación.

$$A_{captación} = a \times b$$

Donde:

A: Área de captación, m²

a: Ancho de la casa, m.

b: Largo de la casa, m

En caso de que no exista el área de captación del SCALL, se diseñara en función de la demanda anual de los habitantes a beneficiar y de la precipitación pluvial anual.

$$A_{ec} = \frac{D_{anual}}{\sum_{j=1}^{12} \bar{PN}_j}$$

j = No. del mes con lluvia, j = 1, ..., 12

Donde:

A_{ec}= es el área efectiva de captación necesaria, para abastecer la demanda de agua a una comunidad en

D_{anual}= Demanda de agua anual que necesita una población.

$\sum_{j=1}^{12} \bar{PN}_j$ = Suma de las precipitaciones medias netas que originan un escurrimiento

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS APROPIADAS EN MATERIA DE AGUA PARA COMUNIDADES RURALES

2.1 Oferta tecnológica del IMTA

En este capítulo se describe el trabajo realizado en comunidades donde se han instalado tecnologías apropiadas (TA) en viviendas, con el fin de obtener un manejo integral del agua. El común denominador en las comunidades seleccionadas es su alto grado de marginación, reflejado en las carencias con respecto al abastecimiento de agua y saneamiento.

2.1.1 Trabajo del IMTA, transferencia de paquetes integrales y sus casos de éxito (2003-2016)

En México existen más de 180.000 localidades rurales (INEGI, 2010). De estas, 137.000 tienen una población menor a 100 habitantes, lo que representa una gran dispersión, por lo cual se presenta una baja o nula cobertura de abastecimiento de agua. Además, algunas de estas regiones se caracterizan por ser zonas de baja precipitación y en ocasiones el suelo no permite escurrimientos, por lo que carecen de fuentes superficiales. Por otra parte, existen localidades que extraen el agua de pozos a una profundidad mayor a los 200 metros, lo que significa altos costos de bombeo, lo que resulta difícil al no haber una adecuada gestión de recursos económicos para financiar el costo de operación y mantenimiento de la red de agua potable.

Los sistemas convencionales de distribución de agua en viviendas que se encuentran dispersas (muy común en zonas rurales), representan un alto costo de instalación. Por estas razones, la población recurre al abastecimiento de agua mediante la compra de agua en camiones aljibe durante la época de estiaje y en verano a la captación improvisada de agua de lluvia, para lo que la almacenan en recipientes de poca capacidad y, cuando las condiciones lo permiten, en reservorios comunitarios comúnmente conocidos como “ollas”. Estas, en el mejor de los casos, son estanques impermeabilizados con geosintéticos, cuya operación a cielo abierto y la falta de áreas de captación protegidas y sin mantenimiento, sirven para el almacenamiento de agua. Con el paso del tiempo el agua resulta contaminada por la intrusión de animales, basura y sedimentos, además de la generación de algas por la incidencia de la radiación solar.³⁷

Para atender esta problemática, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), desde el 2003 realiza proyectos para el diseño, adaptación y transferencia de tecnología para el abastecimiento mediante sistemas de captación de agua de lluvia, tanto a nivel de viviendas como a nivel comunitario. La implementación de los SCALL por parte del IMTA en México se realiza mediante programas para la recuperación ambiental de cuencas. Entre las regiones atendidas se incluyen (Figura 2.1):

- La cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán.
- La región Huasteca de San Luis Potosí, San Luis Potosí.
- La región de los Altos de Morelos, Morelos.
- La cuenca del río Apatlaco, Morelos.
- Península de Yucatán (tres estados: Campeche, Yucatán y Quintana Roo).

Como áreas demostrativas de TA para el manejo integral del agua, se han implementado en viviendas de localidades ubicadas en los estados de Zacatecas, Chiapas, Michoacán y Estado de México.

³⁷ Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales. UNESCO 2015.



Figura 2.1 Regiones con Transferencia de Tecnologías Apropriadas

Fuente: Tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua en el sector rural. IMTA, SEMARNAT 2014.

En cada región, para realizar el proceso de selección de comunidades y/o beneficiarios, se aplica la metodología para la transferencia de TA en el medio rural, indígena y zonas periurbanas del IMTA. El proceso se inicia con un diagnóstico socioeconómico y técnico para conocer y evaluar la situación con respecto a la infraestructura de abastecimiento y su relación con la marginación. De los resultados obtenidos, se determinan el tipo y cantidad de tecnologías a transferir, se diseña la estrategia para la capacitación, la entrega de materiales, la instalación, la asesoría, la supervisión y el seguimiento.

Las tecnologías que el IMTA ha instalado a nivel vivienda en diversas comunidades son: cisterna para almacenar agua de lluvia con su instalación para la captación, sanitario ecológico seco, lavadero ecológico, bici bomba, tanque regulador de nivel, huerto familiar y filtro de flujo lento.

En el desarrollo de estos proyectos se consideró instalar en cada vivienda el paquete completo de tecnologías con el fin de obtener el manejo integral del agua, esto es: captación y almacenamiento del agua de lluvia en cisternas con capacidad suficiente para cubrir las necesidades familiares en época de estiaje; parte del agua almacenada se utiliza para beber desinfectada previamente en una caja de desinfección solar o en un filtro de flujo lento; para lavar ropa y trastes se instaló un lavadero ecológico (bio filtro), el cual limpia el agua gris que puede reutilizarse para riego de las plantas de ornato. En el huerto familiar se siembran verduras para el consumo familiar y se riega por medio del tanque regulador, que utiliza el agua de la cisterna y se llena de agua por medio de la bici bomba. Por otra parte, el sanitario seco (como su nombre lo indica), no utiliza agua y los desechos acumulados, después de un tiempo se utilizan como composta.

En el Cuadro 2.1 se resumen los alcances a nivel vivienda, desde el año 2003 al 2014 mostrando un alto impacto técnico producto de la instalación de TA.

Cuadro 2.1 Tecnologías transferidas a nivel vivienda 2003 - 2014

Región	TECNOLOGÍAS TRANSFERIDAS A NIVEL VIVIENDA 2003 - 2014**															TOTAL tecnologías instaladas	Total Beneficiados
	Cisternas (m3)					Captación	Caja solar	Lámina fibrocem	SAAC			Lavadero	Sanitario ecológico	Sanitario ecológico seco			
	5	11-12	15-17	20-35	50				HF	TDF	Bici bomba						
Cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán	305	641	12	2	1	701	1,317	35	824	824	777	1,201	648	23	7,311	20,701	
Zinacantán, Chiapas	-	10	-	-	-	10	10	-	10	10	10	10	10	-	80	250	
Guadalupe, Zacatecas	-	10	-	-	-	10	10	-	10	10	10	10	10	-	80	250	
Cuenca del río Apatlaco y Altos de Morelos	-	-	-	468	127	568	452	-	293	293	409	369	-	542	3,521	17,285	
Cacahuatpec Guerrero	-	-	-	-	28	28	28	-	28	28	28	28	28	-	224	840	
Villa de Allende, Estado de México	-	-	-	15	-	15	10	-	10	10	10	10	-	-	80	184	
La Huasteca, San Luis Potosí	-	235	-	1	31	267	-	-	-	-	-	-	-	-	534	1,641	
Península de Yucatán *Supervisión	-	-	-	24	-	24	-	-	4	4	51	75	-	87	269	1,345	
TOTAL:	305	896	12	510	187	1,623	1,827	35	1,179	1,179	1,295	1,703	696	652	12,099	42,496	

Fuente: Tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua en el sector rural. IMTA, SEMARNAT 2014.

*HF: Huerto familiar **TDF: Tanque de descarga de fondo

Según datos del manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de la UNESCO 2015, el IMTA a la fecha, ha instalado 1910 sistemas de captación de agua de lluvia en viviendas de comunidades rurales marginadas, lo que representa un volumen de almacenamiento de 31471 m³. A nivel comunitario, ha instalado 23 cisternas tipo capuchino, lo que representa un volumen de 4141 m³. Se rehabilitaron y techaron 10 ollas de almacenamiento de agua de lluvia recuperando 30727 m³ para el almacenamiento del agua pluvial. Han diseñado e instalado dos modelos SCALL de gran escala, uno de 2.800 m³ instalado en la localidad de Felipe Neri, Tlalnepantla, Morelos, y el segundo, el más grande hasta ahora en México de 20.000 m³ de capacidad, que está en proceso de instalación en la comunidad indígena autogobernada de Cherán, Michoacán.

Además, han creado un sistema de búsqueda y consulta, que proporciona datos e información específica sobre las organizaciones que desarrollan, transfieren, venden, difunden e investigan sobre tecnologías apropiadas que actualmente se utilizan alrededor del mundo.

2.1.2 La Casa ecológica

Ante la necesidad de la falta de abastecimiento y saneamiento del agua en las viviendas, de la limitación de recursos económicos en zonas marginadas y atender a la población que vive en la pobreza, en 2007 se desarrolló en el IMTA un modelo de casa ecológica para investigar y evaluar la pertinencia de las tecnologías apropiadas que se transfieren para el abastecimiento y saneamiento del agua a nivel vivienda y desarrollar otras más que ayuden en la calidad de vida de las viviendas rurales.

La casa ecológica está hecha de bloques de adobe colocados a doble espesor, con varas de carrizo puestas tanto en forma horizontal como vertical como refuerzo a lo largo y ancho de la casa, convirtiéndola en una construcción sismo- resistente. El techo es de madera con láminas de fibrocemento de fabricación local y hojas de poliestireno que sirven como aislante térmico.

Cuenta 66 m² de superficie habitable y comprende sala, comedor, tres recámaras y baño. El inodoro, la regadera y el fregadero cuentan con dispositivos ahorradores de agua. Además, cuenta con:

- Sistema de captación, conducción y almacenamiento de agua de lluvia. A través del techo de lámina de fibrocemento se realiza la captación del agua de lluvia. El agua captada se conduce mediante canaletas y tuberías de PVC, que luego de pasar por varios filtros llega a una cisterna con capacidad de 50 mil litros para su almacenamiento.
- Fogón ahorrador de leña que reduce notablemente su consumo y aumenta el aprovechamiento del calor producido.
- Sistema de desinfección solar, el cual elimina hasta el 99.99% de las bacterias en el agua, para consumo humano.
- Sistema de tratamiento de aguas residuales para que puedan ser reutilizadas sólo en riego parcelario.
- Tanque séptico, una trampa de grasas, un filtro anaerobio de flujo ascendente y un humedal de flujo subsuperficial, las aguas negras y grises generadas son tratadas para poder ser reutilizadas.
- Dos sistemas de bombeo: uno funciona con energía solar y sirve para llenar el tinaco de la casa; mientras que el otro trabaja mediante la acción mecánica del pedaleo de una bicicleta (bici bomba) que sirve para llevar el agua al tanque de descargas de fondo.
- Huerto familiar, el cual está destinado a la producción de alimentos con fines de consumo, este mide 6 x 12 metros. El sistema de riego está compuesto por un Tanque de Descargas de Fondo que al llenarse automáticamente abre una válvula que libera el agua y esta riega el huerto.
- Calentador solar de agua y con un sistema que produce electricidad a partir de la luz solar, haciendo uso de fotoceldas. Este sistema actualmente es muy utilizado, tal como lo es en algunos hoteles.
- Baño seco el cual es un sistema que no utiliza agua. Por medio de una taza especial, permite la separación de los desechos sólidos (que se van a un área de almacenamiento para ser transformados en composta) y líquidos (que pasan a un pozo de absorción). El sistema se basa en la instalación de dos cámaras las cuales son alternadas, mientras una está en uso, la otra permanece en reposo (de 6 a 12 meses) en proceso de descomposición de la materia fecal.
- Compostero, el cual se encuentra en el exterior de la casa y ayuda a separar los residuos sólidos que pueden utilizarse después como composta la cual permite nutrir el jardín y el huerto familiar.

La casa ecológica ha llamado la atención de diversas instituciones y cada vez se muestra un mayor interés por este tipo de innovaciones.³⁸

³⁸Fuente: La casa ecológica <https://www.imta.gob.mx/index.php/hidraulica/la-casa-ecologica>



Figura 2.2 Casa ecológica rural en el IMTA, Morelos, México

Fuente: La casa ecológica <https://www.imta.gob.mx/index.php/hidraulica/la-casa-ecologica>

2.2 Definición, uso y consideraciones de diseño de las tecnologías apropiadas

En este capítulo se describen de manera detallada las 8 tecnologías apropiadas que se seleccionaron para instalarse en 7 viviendas de la comunidad de el Palo Seco, en Villa Juárez, San Luis Potosí, así como sus consideraciones de diseño.

2.2.1 Sistema de Captación

La captación es una tecnología apropiada que se utiliza para la recolección de agua de lluvia en techos y es conducida por medio de canaletas y tubos a una cisterna de almacenamiento.

Es importante considerar que el agua de lluvia no debe captarse cuando los techos de las viviendas son de asbesto-cemento o de cartón con chapopote porque contienen contaminantes que se liberan al contacto con el agua, así como también por la descomposición que se genera por el deterioro de las láminas, no siendo apta para consumo humano; por lo que se sugiere sustituirlos por láminas de fibrocemento, láminas galvanizadas o techo de concreto.

Otro aspecto importante que se debe tener en cuenta es el área necesaria para captar la cantidad de agua que se requiere para el llenado de nuestra cisterna, esto durante el periodo de lluvias. Dicha área varía de región a región y está en función de la precipitación de la zona principalmente.

La selección de materiales, equipo y herramientas, así como el procedimiento para la instalación del sistema de captación de agua de lluvia se realizó de acuerdo a lo descrito en los manuales de instalación del IMTA. Este procedimiento será de acuerdo al tipo de techo con el que se cuente el cual podrá ser de concreto totalmente horizontal o lámina galvanizada de 2 aguas.

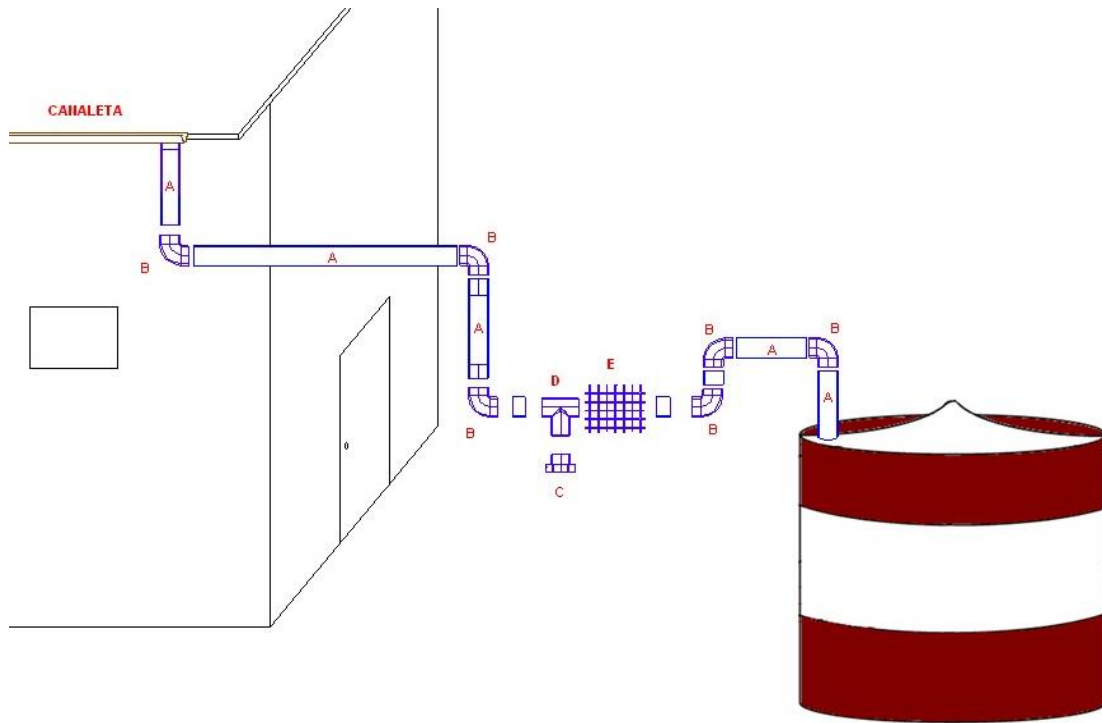


Figura 2.3 Elementos de la línea de conducción

Fuente: Tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua en el sector rural. IMTA, SEMARNAT 2015
 A. Tramo de tubería de PVC sanitario de 4" B. Codo de 90° de PVC sanitario de 4" C. Tapón de PVC sanitario de 4" para limpieza de sólidos D. Tee de PVC sanitario de 4" E. Malla de mosquitero para atrapar los sólidos



Figura 2.4 Sistema de conducción de agua de lluvia

Fuente: Tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua en el sector rural. IMTA, SEMARNAT 2015

2.2.2 Cisterna capuchina

La cisterna tipo capuchina es una tecnología apropiada para almacenar agua en cantidad y calidad suficiente para satisfacer las necesidades básicas de agua en una vivienda rural. Consiste en una estructura cilíndrica de tabique colocado tipo capuchino (de canto), reforzada con malla electro soldada del No. 10 en la que se pueden almacenar hasta 20,000 litros de agua.



Figura 2.5 Cisterna tipo capuchino

Fuente: Tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua en el sector rural. IMTA, SEMARNAT 2015

Debe ubicarse en un lugar lo más cercano posible al techo, desde donde se drenará el agua de lluvia hacia las canaletas y finalmente hacia la cisterna, debe colocarse en lugares con suelo resistente. No debe colocarse en lugares que impidan la circulación de personas o vehículos.

Las dimensiones del sistema dependen de la ubicación de la cisterna con respecto al techo. Los materiales empleados para su construcción varían dependiendo de las características del techo, si es techo de lámina o losa de concreto

La selección de materiales, equipo y herramientas, así como el procedimiento para la instalación de la cisterna capuchina se realizaron de acuerdo a lo descrito en los manuales de instalación del IMTA.

2.2.3 Lavadero ecológico

El lavadero ecológico es una tecnología apropiada que se utiliza para tratar, mediante un sistema de filtrado biológico, el agua proveniente del lavadero que se genera durante el lavado de ropa, trastes, cocinado, lavado corporal y de manos (agua gris). Consiste en una estructura de cinco cámaras de tabique reforzado con malla: una trampa de grasas, dos filtros anaerobios y dos filtros de materiales graduados.

- ✓ Sistema combinado aerobio-anaerobio
- ✓ Se integran por dos procesos o dos reactores biológicos en serie y se diseñan de ésta manera para minimizar las debilidades de los procesos individuales, se potencian los beneficios y resultan más económicos.
- ✓ Soportan cargas orgánicas muy altas (reactor anaerobio) y obtienen un efluente de muy buena calidad (pulimento en el reactor aerobio).
- ✓ En aplicaciones rurales se utilizan filtros anaerobios seguidos de un humedal
- ✓ Son conocidos también con el nombre de biofiltros.

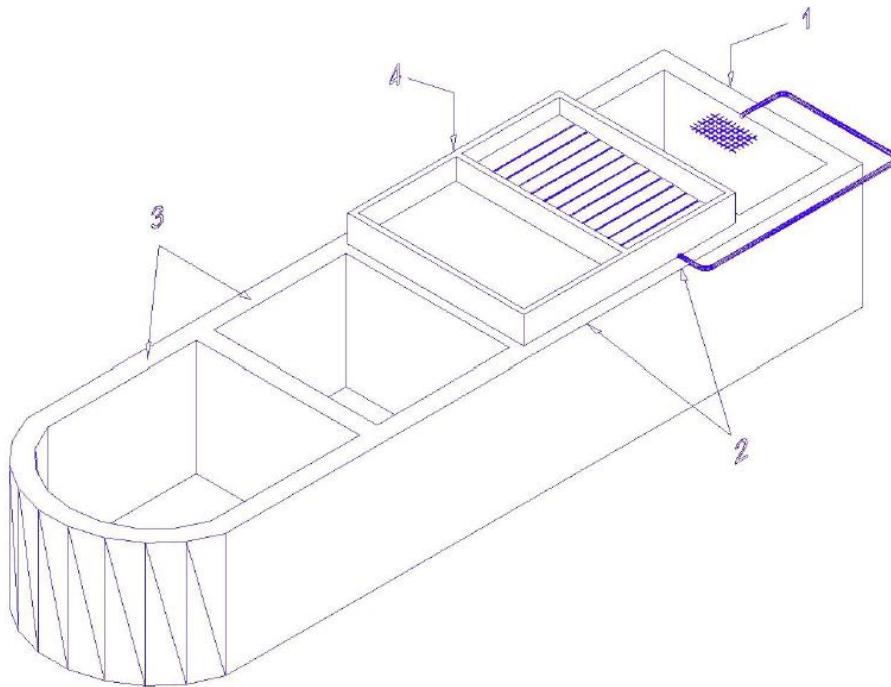


Figura 2.6 Perspectiva del lavadero ecológico

1. Trampa de grasas 2. Filtros anaerobios 3. Filtros aerobios/humedal artificial 4. Lavadero

Fuente: Biodigestores, aplicaciones IMTA, SEMARNAT, 2015

- ✓ Componentes
- ✓ Trampa de grasa: es un dispositivo que se utiliza para separar los residuos sólidos y las grasas que bajan por los artefactos de lavado y de preparación de alimentos.

"Son de carácter obligatorio para el acondicionamiento de las descargas de los lavaderos, lavaplatos u otros aparatos sanitarios instalados en restaurantes, cocinas de hoteles, hospitales y similares". -OMS, 2003.

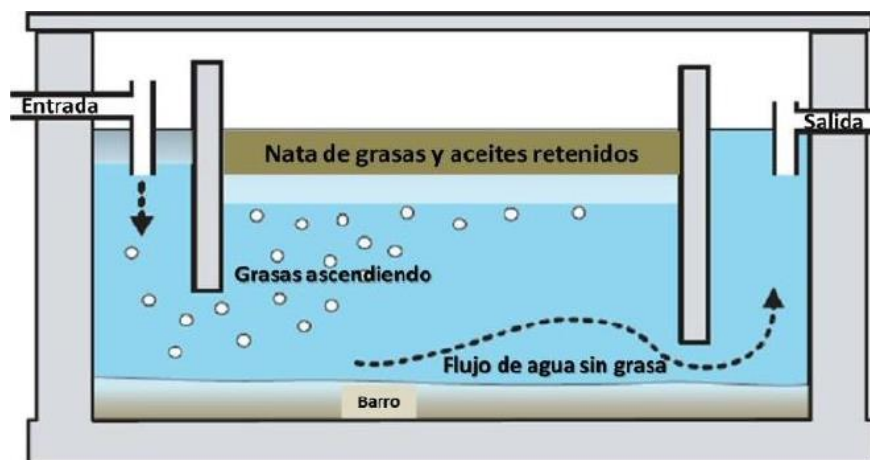


Figura 2.7 Esquema tipo de una trampa de grasas

Fuente: Curso de ecotecias lavadero ecológico y sanitario ecológico seco. IMTA, México 2015

- ✓ Filtro anaerobio: es un reactor biológico de cama fija. Al fluir las aguas residuales por el filtro, se atrapan las partículas y se degrada la materia orgánica por la biomasa que está adherida al material del filtro.

Esta tecnología consiste en un tanque de sedimentación (o fosa séptica) seguido de una o más cámaras de filtración. Los materiales comúnmente usados para el filtro incluyen grava, piedras quebradas, carboncillo, o piezas de plástico formadas especialmente.

Al proporcionar una gran superficie para la masa bacteriana, hay un mayor contacto entre la materia orgánica y la biomasa activa que la degrada efectivamente en este caso para el aumento de la superficie de contacto se utilizan anillos de PET para la fijación de las bacterias que se alimentarán del material contaminante presente en el agua, además sirven para hacer un flujo uniforme en el interior del biofiltro.

El Tiempo de retención hidráulico (TRH) es un parámetro de diseño muy importante que afecta el desempeño del filtro. Lo normal y recomendable es un TRH de entre 0.5 y 1.5 días.

Parámetros de diseño

Según la Asociación brasileña de normas técnicas, la determinación del volumen útil, el área horizontal y la eficiencia de acuerdo con Castaño (2002), se realiza a partir de las siguientes ecuaciones:³⁹

$$V = 1.60 \times N \times C \times TRH \quad A = V/H \quad E = 100(1 - 0.87 \times TRH^{-0.50})$$

Donde:

V = Volumen total del filtro (m³)

N = Número de habitantes (hab)

C = Contribución por habitante (L/hab/d)

TRH = Tiempo de retención hidráulico (d)

A = Área horizontal (m²)

H = profundidad útil del filtro (m)

³⁹ Fuente: Curso de ecotecias lavadero ecológico y sanitario ecológico seco. IMTA, México 2015

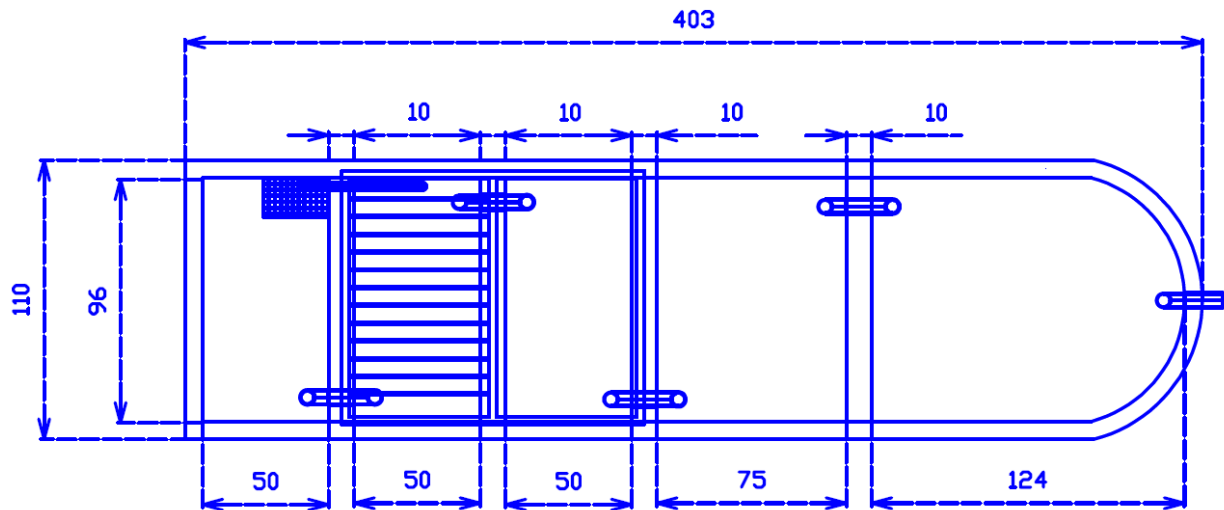


Figura 2.8 Vista en planta del Biofiltro (medidas en cm).

Fuente: Curso de ecotecias lavadero ecológico y sanitario ecológico seco. IMTA, México 2015



Figura 2.9 Celdas con anillos de PET para fijar las bacterias

Fuente: Curso de ecotecias lavadero ecológico y sanitario ecológico seco. IMTA, México 2015

- ✓ Humedal artificial: Los humedales artificiales son sistemas de depuración en donde la vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar.

El funcionamiento se basa en la diversidad de microorganismos que se reproducen dentro del sistema, que biodegradan la mayoría de los contaminantes orgánicos presentes. Es importante la presencia de plantas vasculares que acondicionan un hábitat propicio para la proliferación de microorganismos y aprovechan los compuestos nitrogenados y fosforados presentes en el agua.

La selección de materiales, equipo y herramientas, así como el procedimiento para la instalación del lavadero ecológico se realizó de acuerdo a lo descrito en los manuales de instalación del IMTA.

Tienen tres funciones básicas:

1. Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
2. Utilizar y transformar los elementos por medio de los microorganismos.
3. Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo o nulo consumo de energía.



Figura 2.10 Humedal del lavadero ecológico

Fuente: Curso de ecotecnias lavadero ecológico y sanitario ecológico seco. IMTA, México 2015

2.2.4 Sanitario ecológico seco

El sanitario ecológico seco es un sistema de disposición de excretas, que separa la orina y las *excretas in situ*, por medio de una taza separadora. Al mismo tiempo, 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, flores o frutales. Este sanitario no requiere de agua ni conexión al drenaje, por lo que lo hace un sistema viable y funcional, principalmente en lugares donde el agua es muy escasa.

✓ Funcionamiento

Funciona mediante el uso de una taza separadora, el orín sale de las cámaras a través de 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. La excreta cae dentro de la cámara y se adiciona material secante (cal, aserrín, cenizas, tierra), en proporciones equivalentes, con el fin de aislarla de moscas y cucarachas que prematuramente diseminan la excreta y trasladan mecánicamente en sus patas, trompas o tracto gastrointestinal a los agentes infecciosos.

El sanitario funciona de forma alterna, mientras una cámara se encuentra en uso, la otra está en descomposición o vacía (cuando se usa por primera vez); generalmente una familia de 6 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 gases que se generan en el interior de la cámara.

A continuación, se enlistan las ventajas del sanitario seco:

- No utiliza agua
- No se conecta al alcantarillado
- No contamina las aguas subterráneas
- No contamina el medio ambiente
- Su construcción es fácil y económica
- Produce abono

✓ Componentes

1. Firme de concreto.
2. Sistema de almacenamiento de doble cámara de 1.70 m x 1.30 m.
3. Taza separadora y mingitorio de cerámica vitrificada.
4. Mangueras de drenado para el orín.
5. Caseta o cuarto de 1.70 m de ancho x 1.30 m de largo y 2.10 m de altura al frente x 1.90 m de altura por la parte posterior.
6. Techo de losa de concreto.
7. Tubo ventilador para la salida de gases.
8. Ventila en la caseta para la circulación de aire

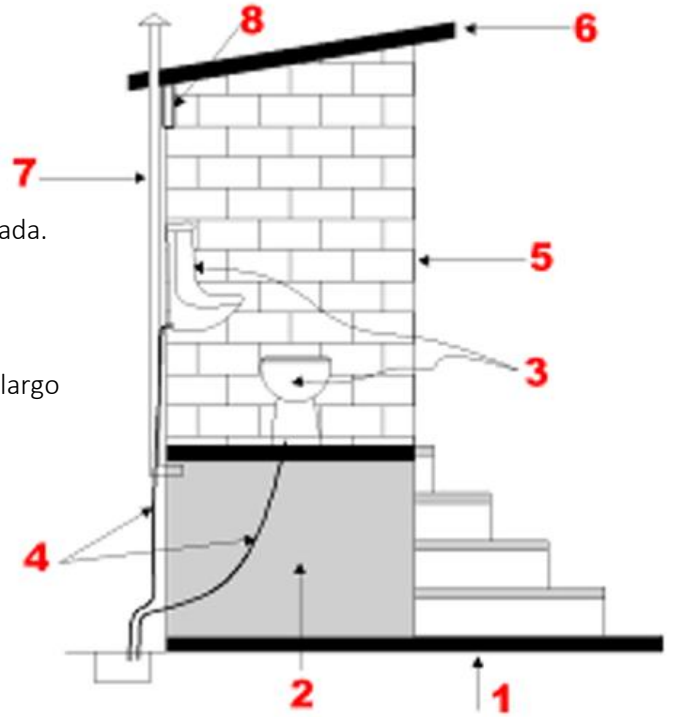


Figura 2.11 Sanitario ecológico seco
 Fuente: Curso de ecotecnias lavadero ecológico y sanitario ecológico seco. IMTA, México 2015

✓ Datos para el diseño:

1. Producción de desechos (L/p/d).
2. No. Habitantes.
3. $V = Q \times T$. Donde Q= producción de desecho (L/d), T= tiempo de residencia en la cámara (d).

✓ Consideraciones:

Generación de excretas = 50 L/p/año = 0.136 L/p/d.
 Material secante = misma cantidad que excretas.

✓ Ejemplo

Familia de 5 integrantes, T = 6 meses (180 d)
 $V = (0.136 + 0.136) (L/p/d) * 5 (p) * 180 (d) = 245 L = 0.245 m^3$

Resultado por cámara = 0.245 m³

La selección de materiales, equipo y herramientas, así como el procedimiento para la instalación del sanitario ecológico seco se realizó de acuerdo a lo descrito en los manuales de instalación del IMTA.

2.2.5 Tanque regulador de nivel

El tanque Regulador de nivel (TRN), es una tecnología apropiada que consiste en un dispositivo auto-operante para regar por gravedad pequeñas superficies, como un huerto familiar, en forma intermitente a partir de caudales pequeños. El dispositivo funciona como un amplificador de gasto por la acumulación de agua que ingresa a un tanque de almacenamiento de 200 litros de capacidad.

Permite mantener una carga estática constante para riego que optimiza el uso del agua para riego del huerto domiciliario. Mediante un sifón permite vaciar el tanque de tal manera que el desperdicio de agua sea mínimo.

Se aplica en comunidades donde se tienen posibilidades de establecer sistemas de producción en huertos familiares, es económico y fácil de construir, no requiere mano de obra especializada; necesita poco mantenimiento y los materiales son de fácil adquisición.

✓ Componentes

Se compone de un tanque de polietileno de alta densidad con capacidad para 200 litros, el sistema de sifoneo auto-operante es formado por tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro, a éste tanque se instala la tubería regante para un huerto por manguera de goteo.

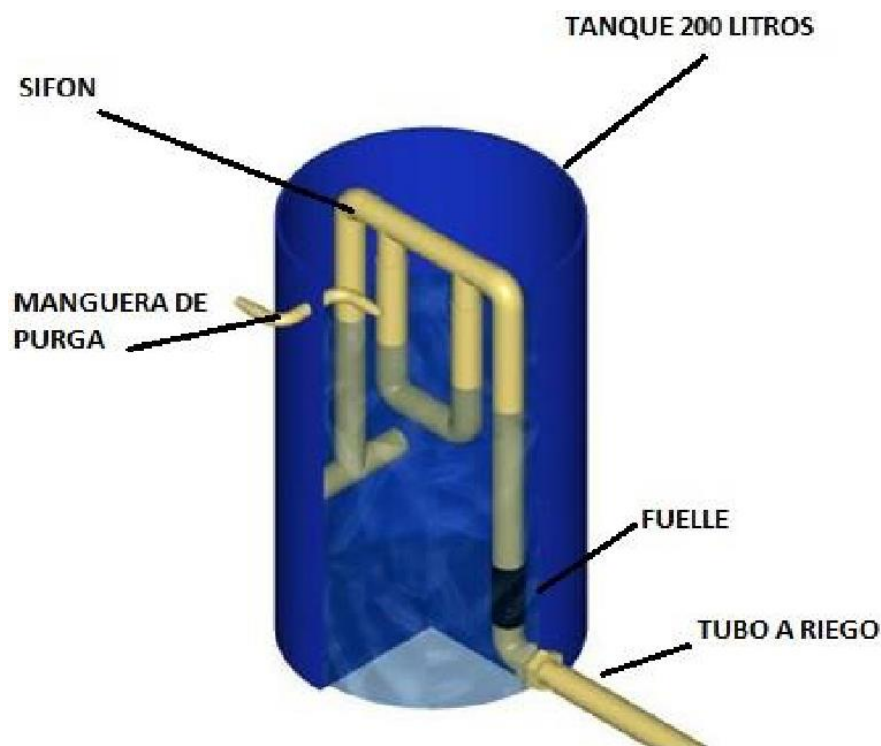


Figura 2.12 Tanque regulador de nivel
Fuente: Curso de ecotecias TRN. IMTA, México 2015

✓ Operación

1. Se realiza el llenado del tanque hasta alcanzar el nivel máximo.
2. Una vez llenado, se purga el sifón y comienza el riego, en base al uso consuntivo del riego se deberá mantener el nivel regulado para optimizar el uso de las mangueras por goteo de tal forma que la carga estática sea constante.
3. Una vez completado el ciclo de riego, se deja de abastecer el tanque y éste por medio del sifón vacía el tanque completamente para aprovechar toda el agua para riego.

✓ Capacidades

Permite generar una carga constante de 0.1 bar (1 mca) para operar el riego controlado por medio de manguera de goteo. Con dicha carga y en base al uso consuntivo del huerto a regar, es posible generar una capacidad de 4 litros/hora/metro.

Es importante mencionar que el TRN es necesario ser acoplado a manguera para riego por goteo con un rango de operación mínimo de 0.1 bar, de lo contrario la eficiencia del dispositivo se verá disminuida.



Figura 2.13 Sifón auto operante en el interior del Tanque de 200 litros

Fuente: Curso de ecotecnias TRN. IMTA, México 2015

2.2.6 Huerto familiar

Es una tecnología apropiada que consiste en una pequeña superficie destinada para la producción de alimentos con fines de autoconsumo a nivel familiar.

En los huertos las familias pueden cultivar productos de buena calidad como parte de su dieta en cantidades suficientes para el sustento alimentario de una familia de hasta 6 miembros.

A continuación, se detallan los parámetros a considerar, así como el procedimiento para la instalación de un huerto familiar en una superficie de 3 x 4 m (12 m²). Este huerto puede ser regado con la tecnología apropiada Tanque Regulador de Nivel (TRN).

✓ Parámetros a considerar para desarrollar el huerto

1. Tamaño del huerto

El tamaño de un huerto familiar puede ir desde 1 m² hasta 500 m², esto depende de

las siguientes consideraciones:

- Agua para el riego. Terreno.
- Pendiente del terreno (máximo 2 %). Medio ambiente (lluvia). Tipo de suelo.
- Vegetación predominante (árboles). Mano de obra para las labores.
- Voluntad de los participantes para llevar a cabo un huerto familiar.

2. Forma del Huerto

En la producción de hortalizas es necesario aprovechar todo el espacio posible y disponible, es por ello que las formas del área de producción pueden ser variadas (triangulares, cuadradas, rectangulares, trapezoidales o semicirculares), pero las más adecuadas por su facilidad en las labores de cultivos son los huertos cuadrados o rectangulares.

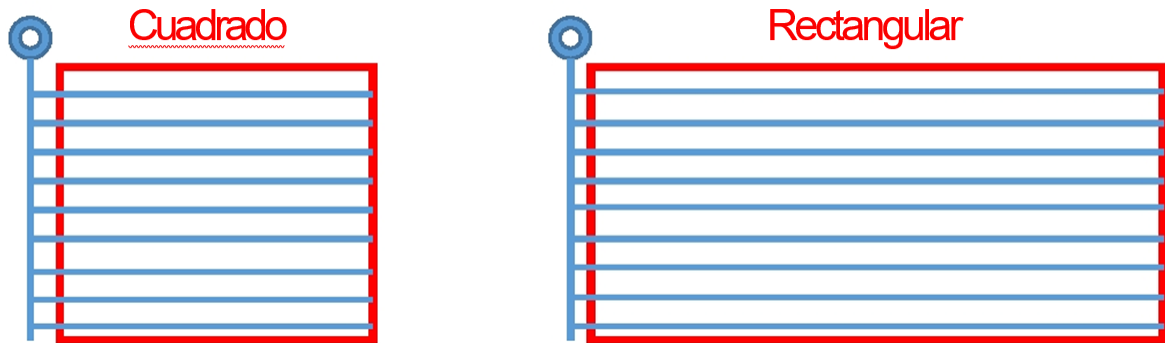


Figura 2.14 Formas más adecuadas para el huerto familiar
Fuente: Curso de ecotecnias Huerto Familiar. IMTA, México 2015

3. Bordos

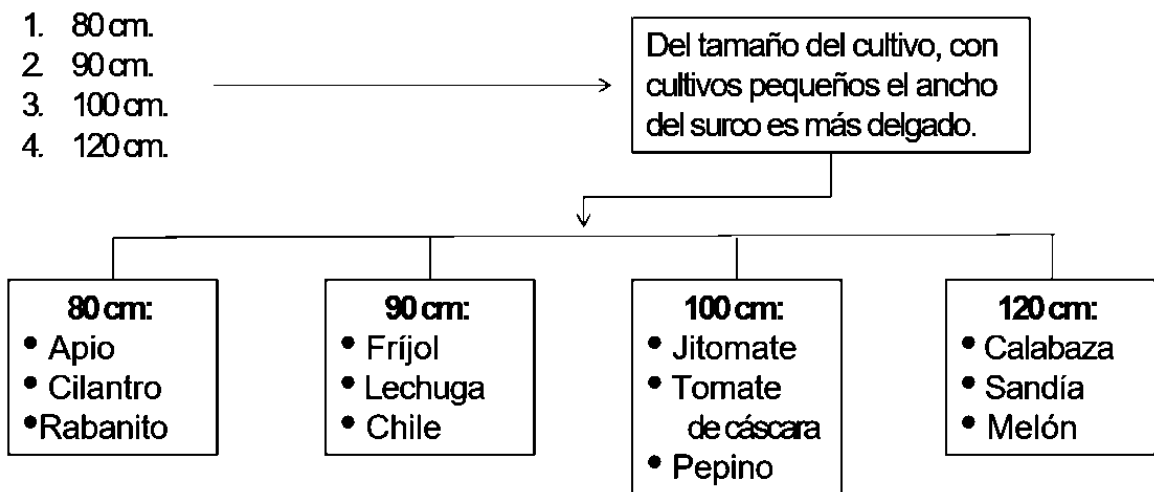


Figura 2.15 Ancho de los bordos según el cultivo
Fuente: Curso de ecotecnias Huerto Familiar. IMTA, México 2015

Largo de los bordos

Se recomienda que los surcos sean menores de 25 m, mayores longitudes pueden perjudicar la eficiencia del sistema de riego.

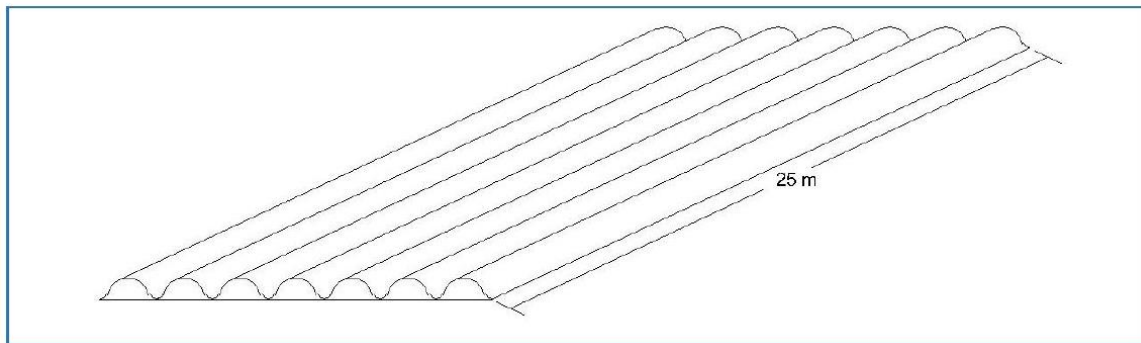


Figura 2.16 Largo de los bordos

Fuente: Curso de ecotecnias Huerto Familiar. IMTA, México 2015

Altura y forma de bordos

La altura ideal para los bordos es de 30 a 40 cm, y la forma de ellos debe de ser trapezoidal

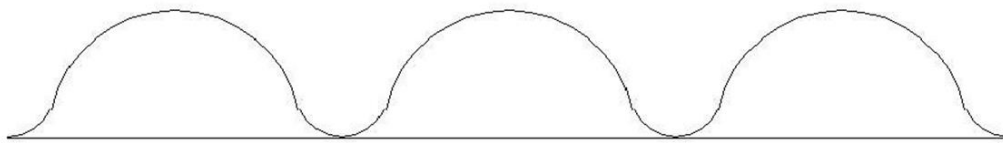


Figura 2.17 Forma trapezoidal de los bordos

Fuente: Curso de ecotecnias Huerto Familiar. IMTA, México 2015

Dirección de los bordos

La dirección de todos los bordos levantados dentro del huerto familiar debe ser en dirección transversal a la cabecera del huerto, y tienen que ser lo más rectos posible.

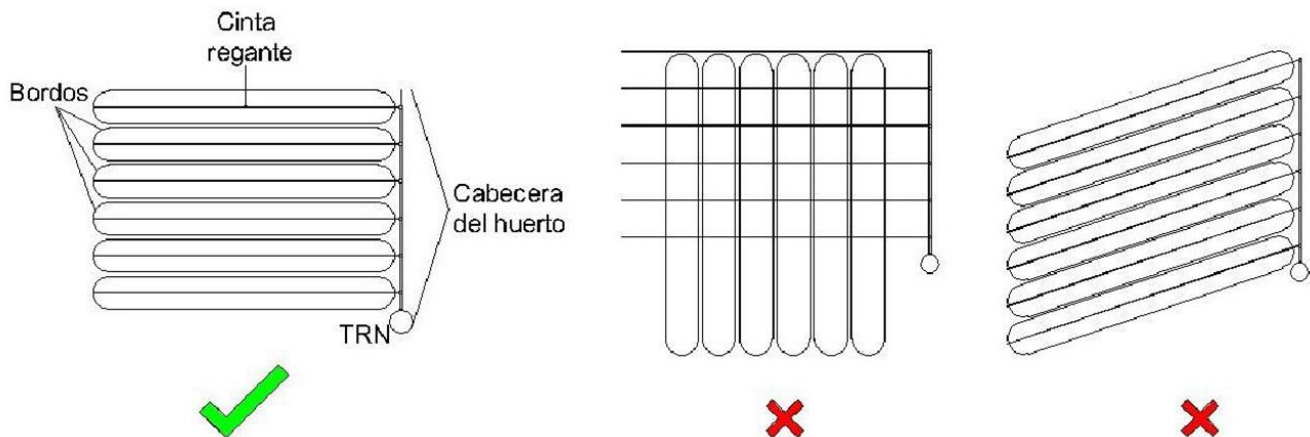


Figura 2.18 Dirección de los bordos

Fuente: Curso de ecotecnias Huerto Familiar. IMTA, México 2015

4. Colocación del sistema de riego (Tanque Regulador de Nivel)

- El Tanque Regulador de Nivel va colocado en una esquina de la cabecera del Huerto.
- La tubería principal se sitúa sobre toda la longitud de la cabecera del huerto.
- Las cintillas regantes van colocadas en la parte media de cada bordo.

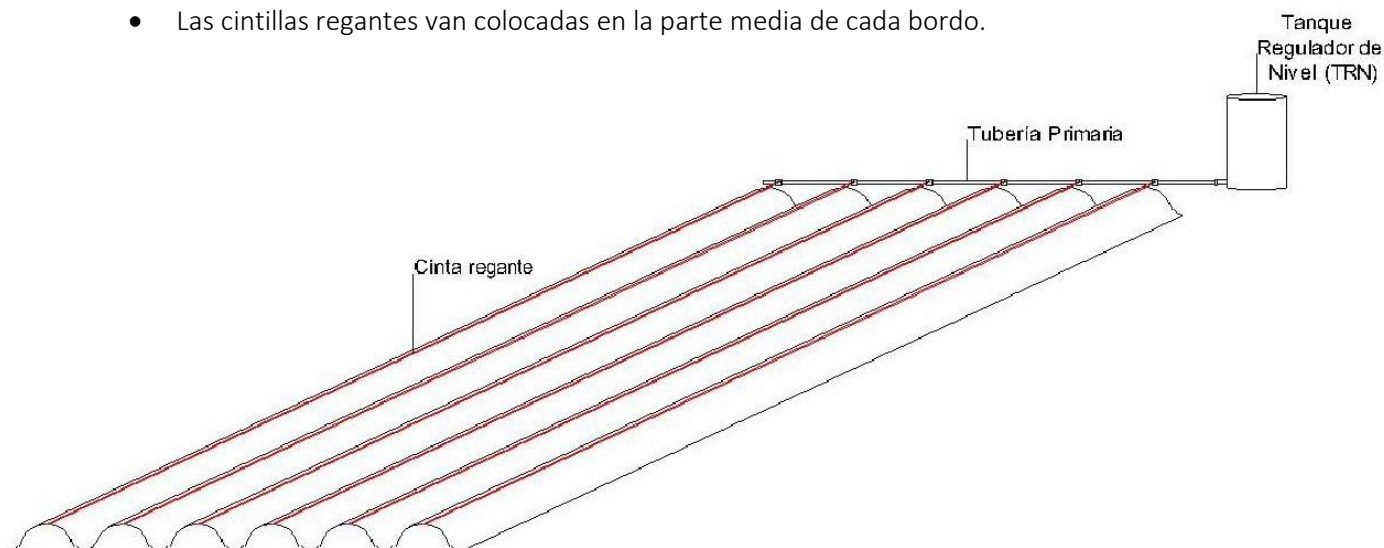


Figura 2.19 Colocación del TRN en relación al huerto
Fuente: Curso de ecotecnias Huerto Familiar. IMTA, México 2015

Cuadro 2.2 Hortalizas que se pueden producir

No.	Hortalizas de Raíz	Hortalizas de tallo y hoja	Hortalizas de Fruto	Otras
1	Rábano	Pápalo	Tomate	Maíz
2	Cebolla	Quelites	Tomate de cáscara	Girasol
3	Zanahoria	Lechugas	Pepino	Sorgo
4	—	Verdolagas	Chiles	Frijol
5	—	Espinacas	Calabacitas	Ejotes
6	—	Acelgas	Berenjena	Albahaca
7	—	Cilantro	Chayote	Orégano
8	—	Epazote	Melón	Ámica

Fuente: Curso de ecotecnias Huerto Familiar. IMTA, México 2015

5. Siembra

- Siembra directa: la semilla es depositada directamente sobre el terreno de producción.
- Siembra indirecta: consiste en colocar las semillas sobre un almacigo donde las semillas germinan, crecen y se desarrollan durante los primeros 25 o 32 días de su vida, para después ser trasplantados al lugar definitivo de producción.

Cuadro 2.3 Distancia entre plantas en el huerto

Especie	Distancia (cm)
Acelga	25
Apio	25
Cebola	15
Cilantro	15
Chícharo	35
Chile	15
Espinaca	15
Fríjol ejotero	25
Jitomate	25
Fresa	25
Lechuga	30
Pepino	10
Rábano	35
Tomate verde	20
Albahaca	20

Fuente: Curso de ecotecnias Huerto Familiar. IMTA, México 2015

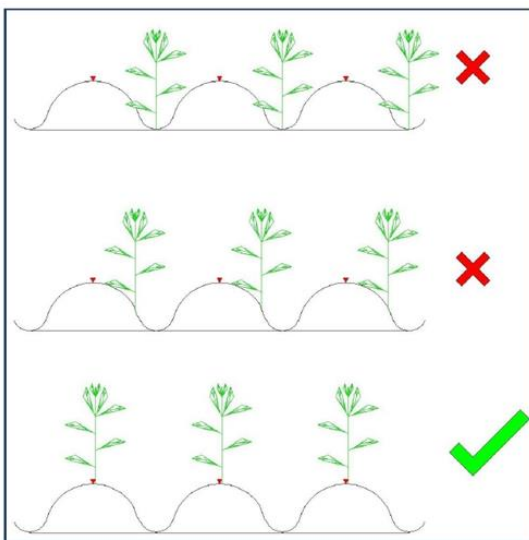


Figura 2.20 Ubicación del surco para hacer la siembra o trasplante

Fuente: Curso de ecotecnias Huerto Familiar. IMTA, México 2015

La selección de materiales, equipo y herramientas, así como el procedimiento para la implementación de un huerto familiar se realizó de acuerdo a lo descrito en los manuales de instalación del IMTA. Además, se detallan las particularidades del riego en cuanto a duración y cantidad de agua según los requerido en las etapas de crecimiento.

2.2.7 Bici bomba

La bici bomba es un dispositivo que permite bombear pequeños caudales de agua para su uso en la vivienda, mediante la acción mecánica del pedaleo de una bicicleta se accionan los impulsores de una bomba que extraen el agua de un depósito para enviarlo a otro a través de una manguera.

✓ Componentes

Se compone de una base metálica a la cual se le acopla una bomba con el rotor para acoplar sobre éste una llanta de bicicleta que permita hacerlo girar.

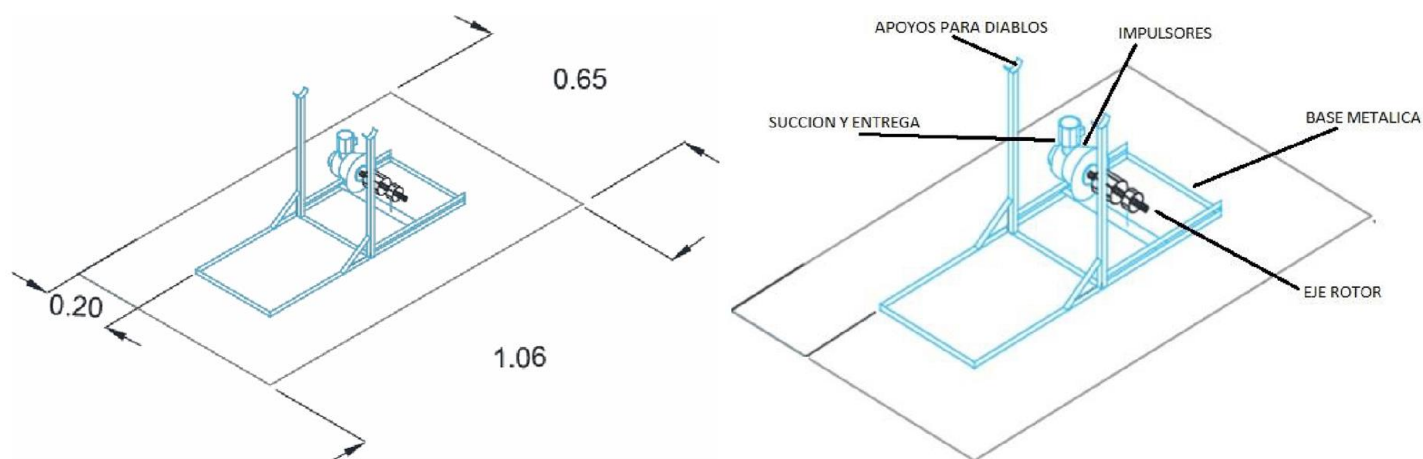


Figura 2.21 Componentes de la bici bomba

Fuente: Curso de ecotecias Características y capacidades de la Bici bomba. IMTA, México 2015

✓ Operación

- Se compone de una base metálica a la cual se le acopla una bomba con el rotor para acoplar sobre éste una llanta de bicicleta que permita hacerlo girar.
- -Con este dispositivo se puede bombear agua desde la cisterna, aljibe o noria, hasta el punto de uso de agua, como puede ser el lavadero, tinaco de la vivienda, un huerto familiar u otro.
- Para iniciar la operación se deben conectar las mangueras o tubos de succión y entrega de agua, y purgar la succión, es posible operar el dispositivo con bicicleta de entre rin 14 y rin 28.

✓ Capacidad

Las pruebas de medición de caudal realizadas por el IMTA reportan un rango de operación entre 0.111 hasta 0.602 lps.



Figura 2.22 Bici bomba en operación

Fuente: Curso de ecotecnias Características y capacidades de la Bici bomba. IMTA, México 2015

La selección de materiales, equipo y herramientas, así como el procedimiento para la instalación de la bici bomba se realizó de acuerdo a lo descrito en los manuales de instalación del IMTA.

2.2.8 Filtro de flujo lento

✓ Principio de funcionamiento

La filtración es el proceso de remoción de contaminantes mediante el paso del agua a través de un medio poroso. La filtración lenta en arena (FLA) consiste en un conjunto de procesos físicos – químicos y biológicos que destruye los microorganismos patógenos del agua. El filtro biológico de arena es una adaptación del FLA para el uso intermitente en una vivienda.

El filtro de flujo lento purifica el agua en una sola operación mediante la sinergia de procesos físico-químicos y biológicos que en el lecho filtrante (arena) se desarrollan.

Las principales ventajas de este sistema son:

- La reducción de microorganismos patógenos hasta en un 100% si se implementa adecuadamente
- Ocupa poco espacio y es de fácil operación y mantenimiento
- Puede aplicarse a prácticamente cualquier núcleo de población, por el tamaño que tiene está diseñado para una familia promedio dando un gasto de hasta 12 lts/día.

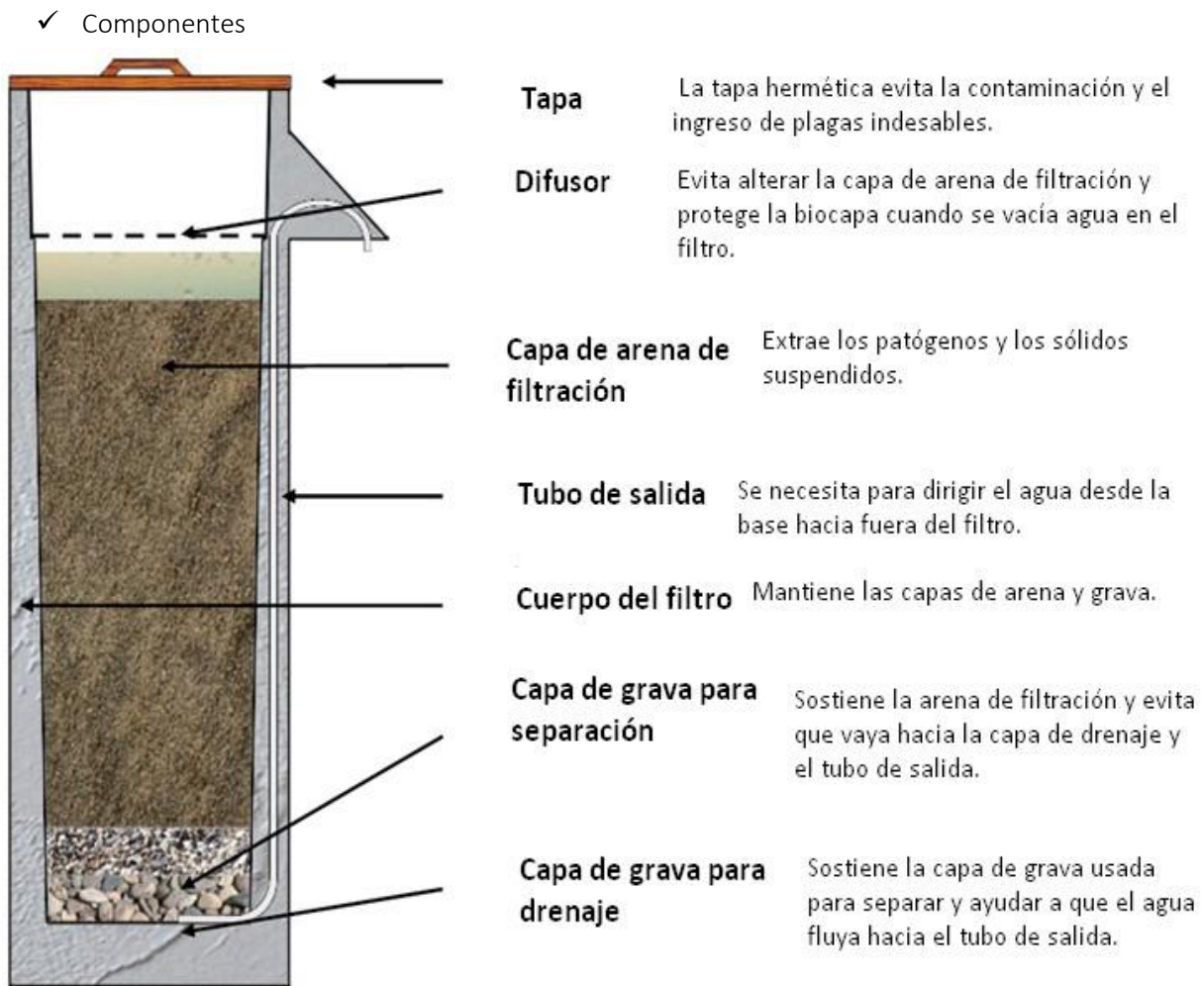


Figura 2.23 Componentes del Filtro de Flujo Lento

Fuente: Curso de ecotecias Desinfección. IMTA, México 2015

El filtro de arena cuenta con cinco zonas bien definidas:

- I. Zona de reservorio para el agua de entrada. Es en donde se vierte el agua en el filtro. (16cm)
- II. Zona de agua estancada. Esta agua mantiene la arena mojada a la vez que deja que el oxígeno pase a la biocapa. (5cm)
- III. Zona biológica. Se desarrolla en los 5-10 cm (2-4") superiores de la superficie de arena. La arena de filtración extrae los patógenos, las partículas suspendidas y otros contaminantes.
- IV. Zona no-biológica. Virtualmente no contiene microorganismos vivos, debido a la falta de nutrientes y oxígeno. (40 – 45 cm)
- V. Zona de grava. Mantiene la arena en su lugar y evita que el tubo de salida se tapone. (15 cm)

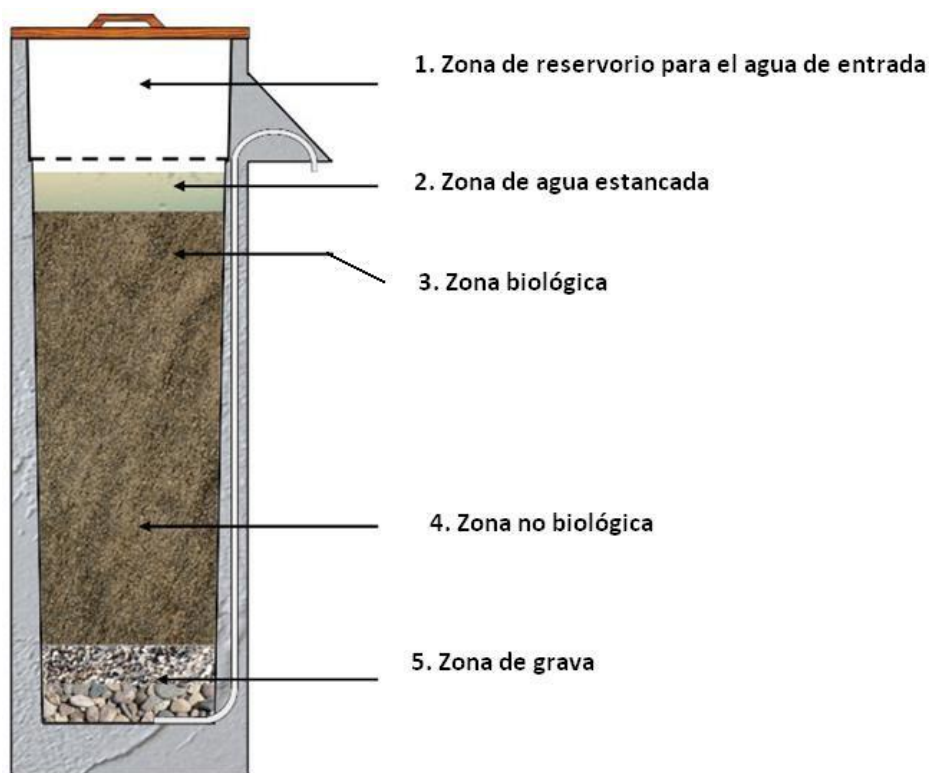


Figura 2.24 Zonas en el interior del Filtro

Fuente: Curso de ecotecnias Desinfección. IMTA, México 2015

Cuadro 2.4 Valores recomendados

Parámetros de diseño	Valores recomendados
Velocidad de filtración	0.15 m ³ /m ² x h
Profundidad de la cama de filtro	0.54m
Medio de Filtro	Tamaño efectivo (TE) = 0.15-0.35 mm; 0.6 mm para zeolita.
Altura del Agua	50mm
Sistema de Drenaje	Grava ½" y grava ¼"
Volumen	12 litros

Fuente: Curso de ecotecnias Desinfección. IMTA, México 2015

Cuadro 2.5 Medidas del Filtro

Altura(cm)	Lado(cm)	Lado interno (cm)
94	315	26.9

Fuente: Curso de ecotecnias Desinfección. IMTA, México 2015

Cuadro 2.6 Altura y volumen del material de filtrado

Altura			Volumen		
Grava ½"	Grava ¼"	Arena Malla 24/ Zeolita 0.6mm	Grava ½"	Grava ¼"	Arena Malla 24/ Zeolita 0.6mm
7 cm	8 cm	50 cm	3 L	3.25 L	26 L

Fuente: Curso de ecotecnias Desinfección. IMTA, México 2015

✓ Operación

Figura 2.25 Principio de operación de filtro de flujo lento



Carrera del filtro

Cuando el nivel está al máximo, el peso empuja el agua a través del difusor y del filtro (carga hidráulica), conforme la carga disminuye, el flujo a través del filtro se hace más lento.

El agua de la superficie contiene el oxígeno disuelto, nutrientes y contaminantes requeridos para formar la capa biológica

Las partículas suspendidas más grandes y los patógenos quedan atrapados en la parte superior de la arena donde ocupan los espacios de los poros entre los granos de arena, disminuyendo la tasa de filtración.



Periodo de pausa

El flujo de agua se detiene. El agua permanecerá al mismo nivel del tubo de salida. El tiempo de pausa permite a los microorganismos en la biocapa consumir los patógenos y nutrientes del agua. El flujo se restablecerá cuando éstos sean consumidos.

Si el periodo de pausa es demasiado largo, la biocapa consumirá todos los nutrientes y eventualmente morirá lo cual disminuirá la eficiencia del filtro. El periodo de pausa deberá ser de la menos una hora hasta un máximo de 48 horas.

Los patógenos remanentes al pasar por la capa no-biológica morirán por la falta de nutrientes y oxígeno.

Fuente: Curso de ecotecnias Desinfección. IMTA, México 2015

- ✓ Eficiencia

El IMTA reporta los siguientes valores

Cuadro 2.7 Eficiencia del modelo de FFL

	Bacteria	Virus	Protozoarios	Helmintos	Turbiedad	Fierro
Laboratorio	>96.5 %	70 a >99%	>99.9%	hasta un 100%	95% < 1 UNT	SD
Campo	87.9 a 98.5%	SD	SD	99.9%	85%	90%

Fuente: Curso de ecotecnias Desinfección. IMTA, México 2015

Consideraciones para mantener la eficiencia (IMTA, 2015):

- ✓ El agua cruda no presenta una turbiedad mayor a 50 UNTN.
- ✓ Se permite la formación de la biocapa, se requieren al menos 30 días.
- ✓ No se varía la fuente de agua, ya que la biocapa debe, de preferencia trabajar a la misma concentración.
- ✓ La fuente de agua (lluvia, subterránea, ríos, lagos), no está altamente contaminada.

La selección de materiales, equipo y herramientas, así como el procedimiento para la instalación del filtro de flujo lento se realizó de acuerdo a lo descrito en los manuales de instalación del IMTA.

CAPÍTULO 3. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍAS APROPIADAS. ESTUDIO DE CASO: COMUNIDAD DE PALO SECO EN VILLA JUAREZ, SLP.

3.1 Criterios para selección de sitios para Implementar las tecnologías apropiadas

La selección de esta comunidad se hizo con base en su alto grado de marginación, reflejado en las carencias con respecto al abastecimiento de agua y saneamiento. La comunidad no cuenta con red de alcantarillado ni abastecimiento de agua potable.

Otra característica importante de la comunidad es la dispersión de sus viviendas lo que permite tener el área disponible para la construcción del paquete de tecnologías dentro de la propiedad y en áreas cercanas a las viviendas, además, la ubicación donde se localiza representa costos elevados en caso de que se proyectara una obra para abastecer mediante agua entubada.

En este caso, fue necesario que los beneficiarios contaran con la mano de obra necesaria en los integrantes de la familia, ya que el recurso económico comprendía la compra de materiales, pero no la mano de obra para la construcción.

Debido a la necesidad urgente de mejorar la cantidad y calidad de agua disponible para uso y consumo en las viviendas, se detectó una participación activa por parte de los pobladores, los cuales se mostraron constantes desde el inicio, durante y al finalizar la ejecución de la obra y aún en la etapa de evaluación, lo que resulta ser uno de los factores determinantes más importantes para decidir si aplicar o no proyectos similares.

Otro de los factores más importantes a considerar es la precipitación media anual de la zona de estudio, la cual de acuerdo a estudios del IMTA deberá ser mayor a 500 mm, de lo contrario la capacidad de abastecimiento de los sistemas tenderá a ser insuficiente aún en la temporada de lluvias. Además, se debe tomar en cuenta la infraestructura existente que servirá como área de captación, la idea principal es aprovechar la mayor área posible, en caso de que esta sea muy pequeña se deberán construir, adaptar y ampliar las áreas de captación con la finalidad de acrecentar los resultados esperados.

A continuación, se describe el marco físico como un análisis descriptivo de la zona de estudio.

3.2 Marco Físico

3.2.1 Localización geográfica

- Localización del estado de San Luis Potosí.

El estado de San Luis Potosí se encuentra situado en la parte central de la República Mexicana (Figura 3.1), entre la sierra madre oriental, las sierras de Zacatecas y la planicie costera del golfo, ocupando el 3.4% de la superficie total del país. Colinda al norte con el estado de Coahuila, al noreste con Nuevo León y Tamaulipas, al este con Veracruz, al sur con Guanajuato, Querétaro e Hidalgo, al suroeste con Jalisco y al oeste con Zacatecas. Su ubicación geográfica corresponde con las coordenadas geográficas al norte 24° 29', al sur 21° 10' de latitud norte; al este 98° 20', al oeste 102° 18' de longitud oeste (INEGI, 2010).

El estado de San Luis Potosí cuenta con 58 municipios, los cuales se encuentran distribuidos en cuatro zonas geográficas principales: Región Huasteca, Región Media, Región Centro y Altiplano Potosino.

Su nombre oficial es Estado Libre y Soberano de San Luis Potosí y con su extensión territorial de 63.068 km² es el decimoquinto estado por extensión de la República Mexicana (INEGI, 2010).



Figura 3.1 Localización de San Luis Potosí

Fuente <http://www.map-of-mexico.co.uk/espanola/mapa-de-sanluispotosi.htm>

- Localización del municipio de Villa Juárez

Villa Juárez es un municipio del estado mexicano de San Luis Potosí. Se fundó en el año 1643 como Santa Gertrudis de Carbonera. En el año 1928 el nombre cambió a Villa Juárez en honor al ex presidente Benito Juárez, uno de los presidentes más admirados de México. Se encuentra ubicada a 22° 19' 26" de latitud norte, 100° 15' 58" de longitud oeste y 1100 metros sobre el nivel medio del mar, por lo que pertenece a la llamada zona media del estado (Ver figura 3.2) (INAFED, 2015).

El municipio se extiende cubriendo 18 comunidades como son El Granjenal, Palo Seco, Agua del Medio, Guaxcamá, Puerta del Río, El Matorral, Santo Domingo, Las Fincas, El Tejocote, San Isidro, Buenavista y La Gavia. En el mismo, aún viven grupos de indígenas. Colinda al norte con el municipio de Cerritos; al este y al sur con el municipio de Rioverde; al oeste con el municipio de San Nicolás Tolentino.⁴⁰

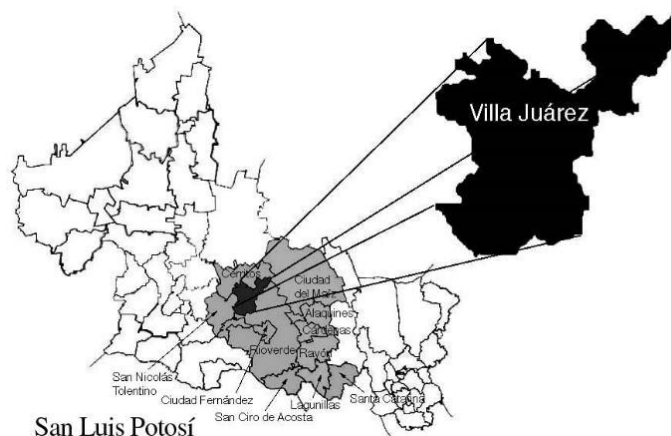


Figura 3.2 Localización de Villa Juárez, San Luis Potosí

Fuente: <http://www.delmineralguaxcama.com.mx>

⁴⁰Fuente: Enciclopedia de los municipios de México <http://web.archive.org/web/20110617035709/http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/sanluispotosi/municipios/24052a.htm>

- Localización de la comunidad de Palo Seco

La comunidad de Palo Seco es una población perteneciente al municipio de Villa Juárez, en el Estado de San Luis Potosí, se encuentra a 8 km al noreste de la cabecera Municipal. Cuenta con 1291 habitantes, se encuentra a 1110 metros sobre el nivel del mar. En las coordenadas: Longitud: -100.191944 O, Latitud: 22.35416667 N (INEGI, 2010).



Figura 3.3 Ubicación de Palo Seco en Villa Juárez San Luis Potosí

Fuente: Google Earth - INEGI 2015

3.2.2 Vías de comunicación

El municipio de Villa Juárez se encuentra a 119 km hacia el norte de la capital del Estado por la carretera Matehuala y en dirección oeste por la carretera 75 D. La comunidad de Palo Seco se encuentra a 8 km al noreste de la cabecera Municipal de Villa Juárez por el camino Villa Juárez – Palo Seco (INEGI, 2015).

3.2.3 Clima

De acuerdo a la clasificación de climas de Köppen modificada por Enriqueta García, se clasifica como BSo_{hw}, el cual pertenece al grupo de climas secos, subtipo seco semi cálido. La temperatura media anual es de 21 °C, con una máxima absoluta de 42°C y una mínima absoluta de 5° C. La temperatura cálida queda comprendida durante los meses de marzo a octubre, mientras que el periodo frío tiene lugar de noviembre a febrero. La precipitación pluvial anual en promedio es de 549 mm; el periodo de lluvias se presenta en los meses de mayo a septiembre. La época de sequía de noviembre a abril (CONAGUA, 2010).

3.2.4 Características, tipo y uso de suelo

La región comprendida por el norte, centro, sur y este del municipio, se haya enclavada en una gran planicie que se compone por suelos aluviales ausentes de roca; en la parte oeste predominan las calizas y en menor grado los conglomerados, también se detecta material yesífero. El tipo de suelo detectado en la zona puntual del proyecto es Vp/3a, suelo vertisol pélico, de textura fina (arcilla), sobre terreno plano a ligeramente ondulado, con pendientes menores a 8 % (INAFED, 2015).

Las condiciones climáticas y edáficas, aunadas a la falta de agua, determinan que esta zona no sea favorable para el desarrollo de actividades agrícolas o pecuarias rentables, únicamente para autoconsumo,

así como tampoco existen especies de flora silvestre de interés comercial. Actualmente en el área circundante a la zona del proyecto se realizan en menor medida actividades agrícolas con producciones bajas de sorgo y girasol.

3.2.5 Ecosistema

Flora: el tipo de vegetación existente en el área del proyecto y zona circundante, se clasifica como Matorral submontano, con fisonomía de matorral espinoso, subinermes, nopalera. Este tipo de vegetación está conformado por arbustos o árboles bajos no espinosos y algunos espinosos, caducifolios, entre los bosques de encino de baja densidad. Se encuentran al oriente de las Mesas del Norte y Central y en la Sierra Madre Oriental. En el área del proyecto este tipo de vegetación se desarrolla sobre llanura o terreno plano, en suelo pobre en materia orgánica, lo cual limita su desarrollo, presentando un porte arbustivo o de matorral (CONABIO, 2010).

Fauna: la fauna se caracteriza por las especies dominantes como: víbora, coyote, tejón, mapache, liebre, tuzas, tlacuaches, armadillo, aves silvestres y de rapiña.

3.2.6 Hidrología superficial y subterránea

En el área no existen corrientes superficiales de carácter perenne que tengan alguna importancia para fines de riego, solamente se detectan diversos arroyos de condición intermitente en todo el territorio que únicamente conducen agua en épocas de lluvias; como ejemplo encontramos arroyos como: La Mora, El Santo, El Tigre, Tecolotes, Las Crucitas, Las Aves, El Nacimiento y La Estrella.

Normalmente los escurrimientos son de bajo aporte y escurren siguiendo la pendiente natural del terreno sin llegar a formar un cauce definido y se infiltran rápidamente.

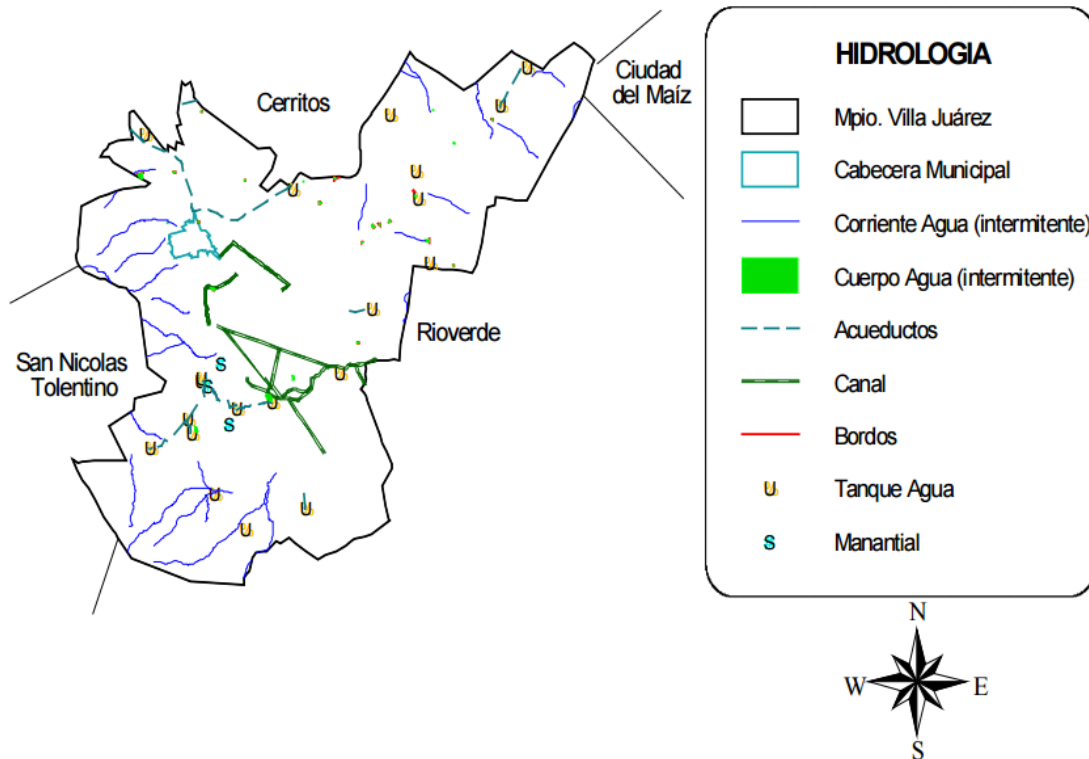


Figura 3.4 Hidrología superficial Villa Juárez, San Luis Potosí

Fuente: <http://www.campopotosino.gob.mx/monografias2014/Villa%20Ju%C3%A1rez.12.pdf>

El área de estudio se ubica en la porción central del estado, al este de la Sierra El Tablón; en esta zona se tiene la presencia de dos acuíferos, uno contenido en material granular heterogéneo ubicado en la parte central de la zona, con espesor mayor a 300 m y permeabilidad que varía de baja a alta debido a la ocurrencia de yesos y conglomerados calcáreos; y otro acuífero contenido en las calizas del Cretácico Inferior, con permeabilidad secundaria debido a fallas, fracturas y alto grado de disolución.

3.2.7 Perfil Sociodemográfico

En la localidad de Palo Seco hay 1291 habitantes, de los cuales 609 hombres y 682 mujeres. El porcentaje de analfabetismo entre los adultos es del 13.51% (13.97% en los hombres y 13.11% en las mujeres). Los ciudadanos se dividen en 501 menores de edad y 790 adultos, de cuales 188 tienen más de 60 años (INEGI 2010).

El grado de escolaridad promedio es de 4.27 (equivalente a 4°- 5° de primaria). Aparte de que hay 217 habitantes analfabetos mayores de 15 años, 69 de los jóvenes entre 6 y 14 años no asisten a la escuela. De la población mayor a 15 años, 148 no tienen ninguna escolaridad, 948 tienen una escolaridad incompleta, 112 tienen una escolaridad básica y 21 cuentan con una educación media. Un total de 37 habitantes de la generación de jóvenes entre 15 y 24 años de edad han asistido a la escuela (INEGI, 2010).

3.2.8 Indicadores de rezago social y vivienda

La vivienda es el espacio afectivo y físico donde los cónyuges, hijos y otros parientes cercanos, estructuran y refuerzan sus vínculos familiares a lo largo de las distintas etapas de su curso de vida. Asimismo, la vivienda constituye un espacio determinante para el desarrollo de las capacidades y opciones de las familias y de cada uno de sus integrantes (INEGI, 2010).

La población que habita viviendas con pisos de tierra o que carecen de agua entubada, drenaje, excusado, energía eléctrica y espacio suficiente, está expuesta a mayores impedimentos para gozar de una vida larga y saludable, asimismo este tipo de viviendas dificultan el aprendizaje de los menores de edad, entre otras privaciones cruciales en la vida de las familias y sus integrantes. En esta comunidad -según INEGI- para el 2010 se registraron 335 viviendas particulares habitadas, de éstas 20 no contaban con excusado sanitario, 62 no contaban con agua entubada, 280 sin drenaje y 53 con energía eléctrica (Cuadro 3.1).

El índice de rezago social es una medida que permite diferenciar a las localidades censales del país según el impacto global de las carencias que padece la población, como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas y la disponibilidad de bienes (INEGI, 2010).



Figura 3.5 Vivienda en Palo Seco, Villa Juárez, S.L.P.

Cuadro 3.1 Indicadores de Rezago social

CLAVE LOCALIDAD	240520015	%
ENTIDAD FEDERATIVA	SAN LUIS POTOSÍ	
MUNICIPIO	VILLA JUÁREZ	
LOCALIDAD	PALO SECO	
POBLACIÓN TOTAL	1,291	100
POBLACIÓN DE 15 AÑOS O MÁS ANALFABETA	217	16.8
POBLACIÓN DE 6 A 14 AÑOS QUE NO ASISTE A LA ESCUELA	69	5.3
POBLACIÓN DE 15 AÑOS Y MÁS CON EDUCACIÓN BÁSICA INCOMPLETA	948	73.4
POBLACIÓN SIN DERECHO-HABIENCIA A SERVICIOS DE SALUD	929	72.0
VIVIENDAS PARTICULARES HABITADAS	335	100.0
VIVIENDAS CON PISO DE TIERRA	94	28.1
VIVIENDAS QUE NO DISPONEN DE EXCUSADO O SANITARIO	24	7.2
VIVIENDAS QUE NO DISPONEN DE AGUA ENTUBADA DE LA RED PÚBLICA	62	18.5
VIVIENDAS QUE NO DISPONEN DE DRENAJE	280	83.6
VIVIENDAS QUE NO DISPONEN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	53	15.8
VIVIENDAS QUE NO DISPONEN DE LAVADORA	156	46.6
VIVIENDAS QUE NO DISPONEN DE REFRIGERADOR	184	54.9
ÍNDICE DE REZAGO SOCIAL	0.118354	
GRADO DE REZAGO SOCIAL	Alto	
LUGAR QUE OCUPA EN EL CONTEXTO NACIONAL	51,438	

Fuente: datos de CONEVAL con base en el Censo de Población y Vivienda 2010

3.3 Diagnóstico de la Situación Actual

3.3.1 Fuentes habituales de suministro de agua

En la comunidad de Palo Seco, el suministro de agua se realiza mediante una red de abastecimiento, de un pozo se extraen 25 l/s que se envían a un depósito para distribuirla a la comunidad por tandeo tres horas al día, tres veces por semana.

En el área de influencia, sólo se presentan dos tanques que captan el agua de lluvia, los cuales son utilizados como abrevadero para el ganado, se observan en la Figura 3.6.

Viviendas sin cobertura de agua

En la comunidad se encuentra un área que comprende el 18.5% de las viviendas, es decir, 62 viviendas situadas en una colonia en la parte más alejada de la cabecera municipal, las cuales **NO** cuentan con el servicio, **esta zona es identificada como el área a beneficiar.**

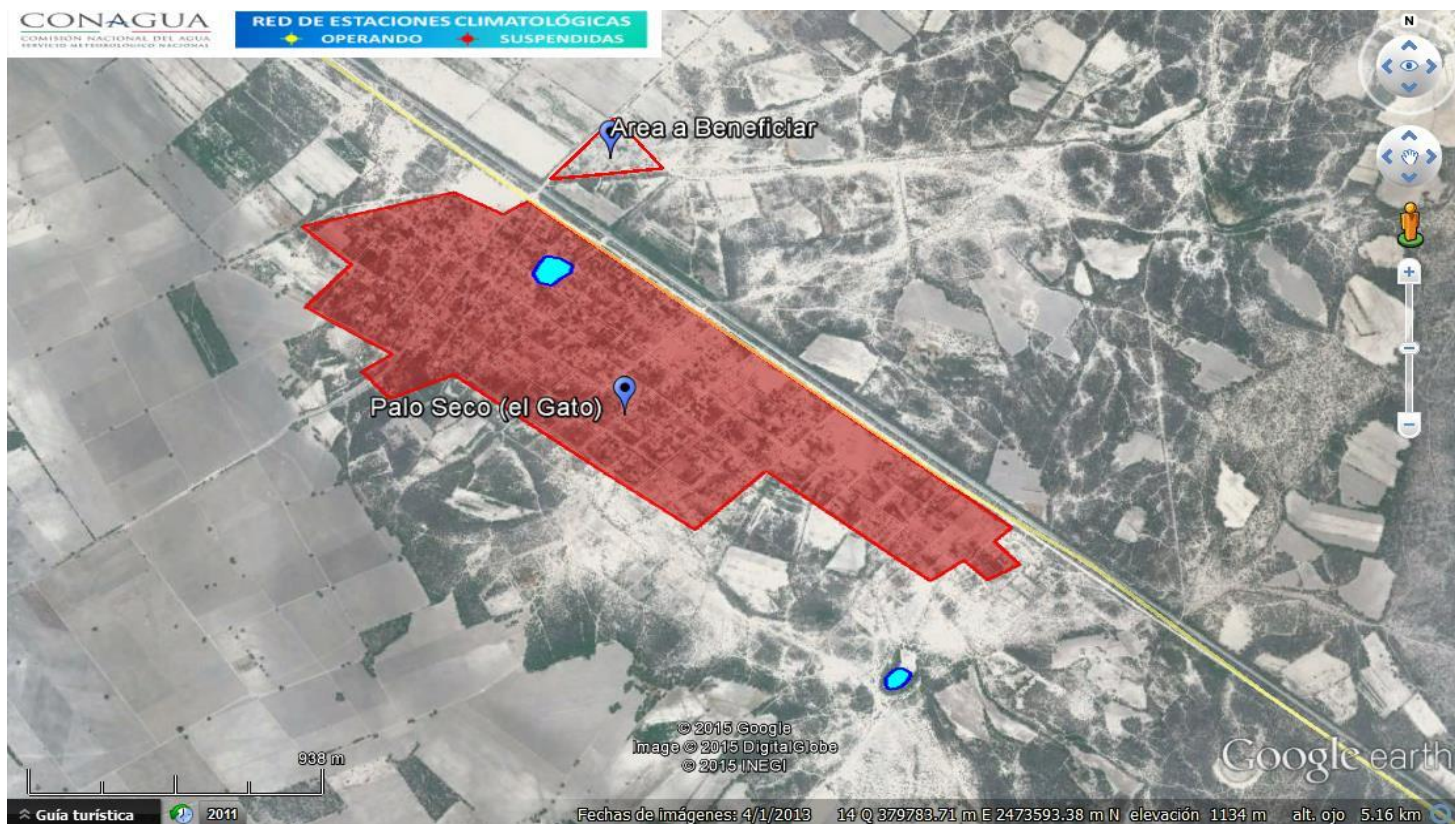


Figura 3.6 Cuerpos de agua cercanos al área a beneficiar

Fuente: Fuente: Google Earth - INEGI 2015

3.3.2 Análisis descriptivo de la problemática en el área a beneficiar

El área a beneficiar no cuenta con red de agua potable ni drenaje, los tanques de captación que se encuentran a 2 y 5 km únicamente se utilizan como abrevadero para ganado, los pobladores tienen que desarrollar sus actividades con un gasto de tan solo 400 a 600 litros por mes, el cual debe ser acarreado en tinas de 20 litros en fletes de 2 kilómetros en bicicleta o a pie desde otras viviendas que cuentan con el servicio de agua entubada, además, en ocasiones existen conflictos con comisariados ejidales vecinos al abastecerse de agua de tomas domiciliarias donde no tienen permitido, lo anterior es necesario al no contar con agua disponible para el uso diario.

La pileta comunitaria del área a beneficiar no abastece a la comunidad por las siguientes razones:

- Presenta fisuras y agrietamientos severos, lo que ocasiona que el agua se infiltre
- No cuenta con la capacidad necesaria (sólo 20 m³)
- No recibe mantenimiento por parte de los habitantes ni por el municipio
- No es abastecida regularmente por el municipio (sólo 3 veces al año por falta de recursos)
- El agua en el interior de la cisterna presenta mala calidad en sus características organolépticas
- Existe presencia de larvas de mosquitos y otros vectores patógenos asociados a aguas contaminadas
- Presenta una acumulación de moho, el cual deteriora las paredes de la pileta y genera malos olores

En esta parte de la comunidad la falta de agua es histórica, al carecer de fuentes superficiales y subterráneas de agua, los pobladores en ocasiones intentan captar agua de lluvia con sistemas improvisados y, por lo tanto, ineficientes. Esto da como resultado que tengan que comprar pipas de agua a un costo promedio de \$500 en caso de contar con recursos económicos y llegar a un acuerdo entre los pobladores.

Al no existir red de alcantarillado, la disposición de los residuos sanitarios se realiza en letrinas de diferentes tipos en el mejor de los casos, de lo contrario se realiza por medio de la orina y defecación al aire libre. En general, las personas de la comunidad utilizan sanitarios que descargan en letrinas, los cuales permiten la infiltración de los residuos al subsuelo. Las letrinas, en su mayoría, están fuera de servicio por deterioro y por falta de una adecuada operación y mantenimiento.

El agua gris que se genera del lavado de ropa y trastes, en el mejor de los casos, se almacena en tinas para su posterior rehúso en el riego de plantas, comúnmente se derrama en el suelo desperdiciando ciertos volúmenes que pueden ser tratados y reutilizados.



Figura 3.7 Captación pluvial improvisada por un habitante de la comunidad de Palo Seco



Figura 3.8 Letrina en mal estado en una vivienda de la comunidad de Palo Seco (izquierda)
 Figura 3.9 Agua de la pileta comunitaria con presencia de larvas y otros patógenos (derecha)

3.3.3 Encuestas prospectivas

En las viviendas se aplicó un cuestionario para determinar la situación actual del abastecimiento de agua y saneamiento, además de obtener información de los beneficiarios, sus familias, enfermedades, características de sus viviendas etc., se obtiene información para evaluar la factibilidad técnica para instalar los paquetes que incluyen la captación, cisterna, baño ecológico seco, lavadero, tanque regulador, huerto familiar, bicibomba, y filtro de flujo lento en las viviendas. La ficha de encuesta por beneficiario se observa en el Anexo I. La información general se presenta en los cuadros siguientes.

Cuadro 3.2 Datos sociodemográficos de los beneficiarios potenciales

No. de vivienda	Total hombres	Total mujeres	Total personas	Total menores de 5 años	Principal fuente de ingresos	Ingresos familiares por mes	Nivel educativo padre	Nivel educativo madre	Nivel educativo niños
Vivienda 1	1	1	2	0	Agricultura	1,000	Ninguno	Secundaria	No
Vivienda 2	3	4	7	1	Agricultura	1,000	Primaria	Secundaria	Secundaria
Vivienda 3	1	0	1	0	Ninguno (Incapacitado Visualmente)	1,000	Ninguno	No	No
Vivienda 4	1	2	3	0	Agricultura	1,000	Primaria	Primaria	Secundaria
Vivienda 5	1	1	2	0	Agricultura	1,000	Ninguno	Ninguno	No
Vivienda 6	3	3	6	1	Agricultura	1,000 a 2,000	Primaria	Primaria	Secundaria
Vivienda 7	3	2	5	1	Agricultura	1,000 a 2,000	Primaria	Primaria	Secundaria
Vivienda 8	1	1	2	0	Agricultura	1,000	Primaria	Primaria	No
Vivienda 9	2	2	4	1	Jornalero	1,000	Primaria	No	No
Vivienda 10	1	2	3	1	Venta de carbón	1,000	No	Secundaria	No
Vivienda 11	4	2	6	0	Venta de carbón	1,000	Primaria	No	Primaria

Vivienda 12	1	2	3	0	Jornalero	1,000 a 2,000	Primaria	Primaria	Primaria
Vivienda 13	3	2	5	1	Jornalero	1,000	Primaria	Primaria	Primaria
Vivienda 14	4	1	5	0	Agricultura	1,000	Secundaria	Secundaria	Primaria, Secundaria
Vivienda 15	3	2	5	1	Remesas	1,000 a 2,000	No	Secundaria	Primaria, Secundaria
Vivienda 16	2	1	3	1	Agricultura	1,000 a 2,000	Secundaria	Secundaria	No
Vivienda 17	2	1	3	1	Agricultura	1,000 a 2,000	Secundaria	Secundaria	No
Vivienda 18	3	1	4	1	Agricultura	1,000 a 2,000	Primaria	Secundaria	Preescolar, Primaria
Vivienda 19	2	2	4	1	Agricultura	2,001 a 3,000	Primaria	Secundaria	Primaria
Vivienda 20	2	2	4	2	Agricultura	1,000	Secundaria	Primaria	No
Vivienda 21	3	2	5	1	Artesanías, agricultura	1,000	Primaria	Secundaria	Preescolar, Primaria
Vivienda 22	1	4	5	3	Agricultura	1,000 a 2,000	Primaria	Secundaria	Primaria

Cuadro 3.3 Características de las viviendas de los beneficiarios potenciales

Vivienda					
No. de vivienda	Material construcción en paredes	Material de techos	Material del piso	Régimen de propiedad Ejidal (S/No)	Régimen de propiedad Pequeña propiedad (S/No)
Vivienda 1	Adobe	Lámina metálica	Cemento, firme	Sí	No
Vivienda 2	Combinado	Lámina de asbesto	Cemento, firme	Sí	No
Vivienda 3	Adobe	Lámina metálica	Tierra	Sí	No
Vivienda 4	Tabique	Losa	Cemento, firme	Sí	No
Vivienda 5	Adobe	Lámina metálica	Tierra	Sí	No
Vivienda 6	Tabique	Lámina metálica	Tierra	Sí	No
Vivienda 7	Tabique	Lámina metálica	Tierra	Sí	No
Vivienda 8	Tabique	Lámina metálica	Cemento, firme	Sí	No
Vivienda 9	Tabique	Lámina metálica	Tierra	Sí	No
Vivienda 10	Adobe	Lámina metálica	Tierra	Sí	No
Vivienda 11	Tabique	Losa	Cemento, firme	Sí	No
Vivienda 12	Tabique	Losa	Cemento, firme	Sí	No
Vivienda 13	Combinado	Lámina metálica	Cemento, tierra	Sí	No
Vivienda 14	Tabique	Losa	Tierra	Sí	No
Vivienda 15	Tabique	Combinado	Tierra	Sí	No
Vivienda 16	Adobe	Combinado	Tierra	Sí	No
Vivienda 17	Tabique	Lámina metálica	Cemento, firme	Sí	No
Vivienda 18	Tabique	Lámina metálica	Cemento, firme	Sí	No
Vivienda 19	Tabique	Losa	Cemento, firme	Sí	No
Vivienda 20	Tabique	Losa	Cemento, firme	Sí	No
Vivienda 21	Tabique	Losa	Tierra	Sí	No
Vivienda 22	Combinado	Combinado	Cemento, firme	Sí	No

Cuadro 3.4 Servicios con los que cuentan los beneficiarios potenciales

Servicios con los que cuenta							
No. de vivienda	Agua entubada (de la llave) (Sí/No)	Frecuencia de agua entubada (hrs x día) / (días x semana)	En tiempo de estiaje (secas) cuentan con agua (Sí/No)	Electricidad (Sí/No)	Drenaje (red) (Sí/No)	Sanitario (Letrina)	Lavadero completo (Sí/No)
Vivienda 1	No	No	No	Sí	No	No	No
Vivienda 2	No	No	Sí (de pipas)	Sí	No	No	No
Vivienda 3	No	No	No	Sí	No	No	No
Vivienda 4	No	No	No	Sí	No	Letrina	Sí (suelto)
Vivienda 5	No	No	No	Sí	No	Letrina	Sí (suelto)
Vivienda 6	No	No	No	Sí	No	No	Sí
Vivienda 7	No	No	No	Sí	No	Letrina	Sí (Lavadora)
Vivienda 8	No	No	No	Sí	No	No	No
Vivienda 9	No	No	No	Sí	No	Letrina	No
Vivienda 10	No	No	No	Sí	No	Letrina	No
Vivienda 11	No	No	No	Sí	No	Letrina	No
Vivienda 12	No	No	No	Sí	No	Letrina	No
Vivienda 13	No	No	No	Sí	No	Letrina	No
Vivienda 14	No	No	No	Sí	No	Letrina	No
Vivienda 15	No	No	No	Sí	No	Letrina	No
Vivienda 16	No	No	No	Sí	No	Letrina	No
Vivienda 17	No	No	No	Sí	No	No	No
Vivienda 18	No	No	No	Sí	No	No	No
Vivienda 19	No	No	No	Sí	No	No	No
Vivienda 20	No	No	No	Sí	No	No	No
Vivienda 21	No	No	No	Sí	No	No	No
Vivienda 22	No	No	No	Sí	No	Letrina	No

Cuadro 3.5 Abastecimiento actual y almacenamiento en las viviendas

Abastecimiento de agua actual								Forma de almacenamiento
No. de vivienda	Actual abastecimiento de agua para uso	Actual abastecimiento de agua para beber	Método de desinfección de agua: Hervir/Cloran/Plata coloidal/Otro	Tiempo destinado al acarreo/día	Quien(s) acarrea(n) el agua...	Estimado gastos agua embotellada/mes (\$)	Estimado gasto	Almacenan agua: Piletas/Cubeta/Tinaco/Cisterna/Tambo/Otro
Vivienda 1	Pila comunal	Pila comunal	Cloración	Más de 2 horas	Todos	No	No	Tambo
Vivienda 2	Pila comunal	Pila comunal	Cloración	91 a 120 minutos	Todos	No	No	Tambo

Vivienda 3	Acarreo de otra vivienda	Acarreo de otra vivienda	Cloración	61 a 90 minutos	Hombre	No	No	Cubeta
Vivienda 4	Acarreo de otra vivienda	Acarreo de otra vivienda	Cloración	31 a 60 minutos	Mujer	No	No	Tambo
Vivienda 5	Acarreo de otra vivienda	Acarreo de otra vivienda	Cloración	61 a 90 minutos	Todos	No	No	Cubeta
Vivienda 6	Acarreo de otra vivienda	Acarreo de otra vivienda	Cloración	31 a 60 minutos	Todos	No	No	Cubeta
Vivienda 7	Acarreo de otra vivienda	Acarreo de otra vivienda	Cloración	1 a 30 minutos	Hombres	No	No	Tinaco
Vivienda 8	Acarreo de otra vivienda	Acarreo de otra vivienda	Cloración	61 a 90 minutos	Todos	No	No	Tambo y cubeta
Vivienda 9	Pila comunal	Pila comunal	No desinfectan	31 a 60 minutos	Mujer	No	No	Tambo
Vivienda 10	Pila comunal	Pila comunal	No desinfectan	1 a 30 minutos	Hombre y mujer	No	No	Tambo
Vivienda 11	Pila comunal	Pila comunal	No desinfectan	1 a 30 minutos	Hombre y mujer	No	No	Tambo
Vivienda 12	Pipa	Pipa	No desinfectan	Más de 2 horas	Hombre	No	No	Tambo
Vivienda 13	Llave pública o hidrante	Llave pública o hidrante	No desinfectan	31 a 60 minutos	Mujer	No	No	Tambo
Vivienda 14	Llave pública o hidrante	Llave pública o hidrante	Hierven el agua	31 a 60 minutos	Hombre	No	No	Tambo
Vivienda 15	Acarreo de otra vivienda	Embotellada	No desinfectan	31 a 60 minutos	Niños y mujer	\$168.00	No	Tambo
Vivienda 16	Acarreo de otra vivienda	Acarreo de otra vivienda	Cloración	31 a 60 minutos	Hombre	No	No	Tambo
Vivienda 17	Acarreo de otra vivienda	Acarreo de otra vivienda	Cloración	31 a 60 minutos	Hombre	No	No	Tambo
Vivienda 18	Acarreo de otra vivienda	Acarreo de otra vivienda	Cloración	1 a 30 minutos	Hombre	No	No	Tambo y cubeta
Vivienda 19	Acarreo de otra vivienda	Acarreo de otra vivienda	Hierven el agua	1 a 30 minutos	Hombre	No	No	Tambo
Vivienda 20	Acarreo de otra vivienda	Acarreo de otra vivienda	Cloración	Más de 2 horas	Hombre	No	No	Tinaco
Vivienda 21	Llave pública o hidrante	Llave pública o hidrante	No desinfectan	1 a 30 minutos	Hombre y mujer	No	No	Tambo
Vivienda 22	Llave pública o hidrante	Acarreo de otra vivienda	Hierven el agua	1 a 30 minutos	Hombre	No	No	Tinaco

Cuadro 3.6 Enfermedades en el área a beneficiar

No. de vivienda	Enfermedades											
	Enferman adultos diarrea y problemas estomacales	Cada cuanto adultos	Enferman niños diarrea y problemas estomacales	Cada cuanto niños	Enfermedades de la piel adultos (manchas, verrugas, granos, uñas)	Cada cuanto adultos	Enfermedades de la piel niños (manchas, verrugas, granos, uñas negras)	Cada cuanto niños	Enfermedades respiratorias adultos (gripe, tos)	Cada cuanto adultos	Enfermedades respiratorias niños (gripe, tos)	Cada cuanto niños
Vivienda 1	Sí	1 vez al mes	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 2	Sí	1 vez al mes	Sí	1 vez al mes	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 3	Sí	1 vez al mes	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 4	Sí	1 vez al mes	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 5	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 6	Sí	1 vez al año	Sí	1 vez al año	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 7	No	No	Sí	Cada 2 meses	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 8	Sí	1 vez al año	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 9	No	No	No	No	No	No	No	No	Sí	1 vez al año	No	No
Vivienda 10	No	No	No	No	No	No	No	No	Sí	1 vez al año	Sí	No
Vivienda 11	No	No	No	No	No	No	No	No	Sí	1 vez /año	No	No
Vivienda 12	No	No	No	No	No	No	No	No	Sí	1 vez /año	No	No
Vivienda 13	No	No	No	No	Sí	1 vez	No	No	Sí	1 vez/año	Sí	1 vez
Vivienda 14	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 15	Sí	1 vez al año	Sí	1 vez al año	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 16	No	No	Sí	1 vez al año	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 17	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 18	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 19	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 20	No	No	Sí	1 vez al año	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 21	No	No	Sí	2 veces	No	No	No	No	No	No	No	No
Vivienda 22	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No

Cuadro 3.7 Frecuencia de aseo personal de los beneficiarios potenciales

Frecuencia de las prácticas de higiene (aseo personal)

No. de vivienda	Frecuencia con que se bañan hombres	Frecuencia con que se bañan mujeres	Frecuencia con que se bañan niños
Vivienda 1	Diario	Diario	No
Vivienda 2	Diario	Diario	Diario
Vivienda 3	1 vez a la semana	No	No
Vivienda 4	Cada tercer día	Cada tercer día	Cada tercer día
Vivienda 5	Cuando hay agua	Cuando hay agua	No
Vivienda 6	Cuando hay agua	Cuando hay agua	Cuando hay agua
Vivienda 7	Diario	Diario	Cada tercer día
Vivienda 8	Cada tercer día	1 vez a la semana	1 vez a la semana
Vivienda 9	Cada tercer día	Cada tercer día	Cada tercer día
Vivienda 10	Cuando hay agua	1 vez a la semana	1 vez a la semana
Vivienda 11	1 vez a la semana	1 vez a la semana	1 vez a la semana
Vivienda 12	Diario	Diario	Diario
Vivienda 13	Cada tercer día	Cada tercer día	Cada tercer día
Vivienda 14	Cuando hay agua	1 vez a la semana	1 vez a la semana
Vivienda 15	Cuando hay agua	1 vez a la semana	1 vez a la semana
Vivienda 16	Diario	Diario	Diario
Vivienda 17	Diario	Diario	Diario
Vivienda 18	Cada tercer día	1 vez a la semana	1 vez a la semana
Vivienda 19	Cuando hay agua	1 vez a la semana	1 vez a la semana
Vivienda 20	Cada tercer día	Cada tercer día	cada 2 días
Vivienda 21	Cuando hay agua	1 vez a la semana	1 vez a la semana
Vivienda 22	Cada tercer día	Cada tercer día	Cada tercer día

Cuadro 3.8 Problemas ambientales

Problemas ambientales

No. de vivienda	Donde descargan el agua que usan para lavado de ropa y trastes	Problemas ambientales: Agua estancada alrededor de la	Excretas	Basura
Vivienda 1	En las plantas	Sí	No	No
Vivienda 2	En las plantas	Sí	No	No
Vivienda 3	En las plantas	Sí	No	Sí
Vivienda 4	En las plantas	Sí	No	No
Vivienda 5	En las plantas	No	No	No
Vivienda 6	Al suelo	Sí	No	No

Vivienda 7	En las plantas	No	No	No
Vivienda 8	En las plantas	No	No	No
Vivienda 9	Al suelo	No	No	No
Vivienda 10	Al suelo	No	No	No
Vivienda 11	Al suelo	No	No	No
Vivienda 12	Al suelo	No	No	No
Vivienda 13	Al suelo	No	No	Sí
Vivienda 14	Al suelo	No	No	No
Vivienda 15	Al suelo	No	No	No
Vivienda 16	Al suelo	No	No	No
Vivienda 17	Al suelo	No	No	No
Vivienda 18	Al suelo	No	No	No
Vivienda 19	Al suelo	No	No	No
Vivienda 20	Al suelo	No	No	No
Vivienda 21	Al suelo	No	No	No
Vivienda 22	Al suelo	No	No	No



Figura 3.10 Encuestas prospectivas a beneficiarios en la comunidad

Después de analizar la información de las encuestas se determinó una lista de 7 beneficiarios los cuales además de ser los más afectados, contaban con el espacio necesario para la construcción de las tecnologías en sus viviendas, además de tener la posibilidad de aportar la mano de obra para su construcción.

3.4 Cálculo de la precipitación aprovechable

3.4.1 Datos climáticos

✓ Estaciones a utilizar

Cerca de nuestra área de estudio se encontraron tres estaciones climatológicas y la distancia a la que se encuentran:

1. Estación Villa Juárez a 8.72 km
2. Estación Cerritos a 12.01 km
3. Estación Granjenal a 13.63 km

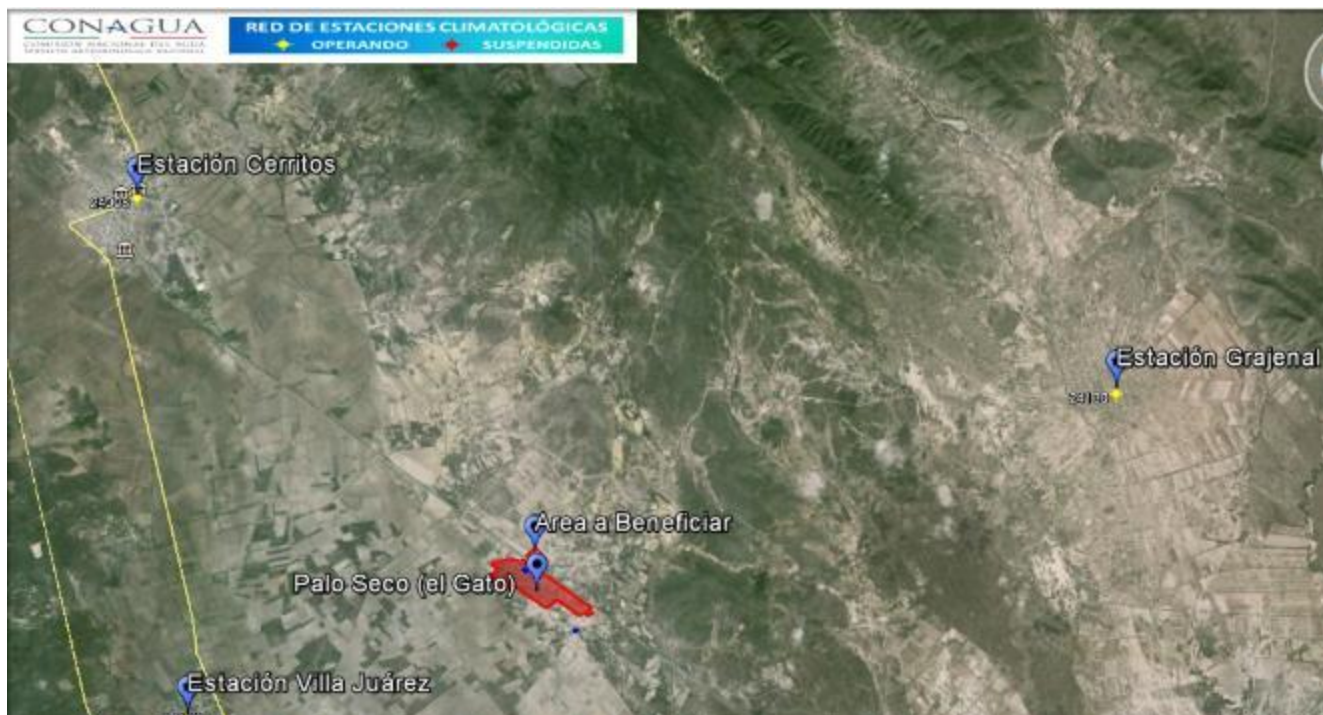


Figura 3.11 Estaciones climatológicas cercanas al área de estudio
Fuente: CONAGUA, Google Earth - INEGI 2015

✓ Datos faltantes

En la mayoría de los estudios hidrológicos se tiene la necesidad de recurrir a métodos para completar los datos faltantes de alguna estación climatológica, para nuestro estudio usaremos el método del Weather Service, cuya fórmula es la siguiente:

$$P_x = \frac{\sum(P_i - W_i)}{W_i} \quad W_i = \frac{1}{D^2}$$

Dónde: P_x = Precipitación Buscada
 D = Distancia en Km
 P_i = Precipitación Auxiliar (mm)
 W_i = Variable Auxiliar

Cuadro 3.9 Estimación de datos faltantes para la estación 24103 Villa Juárez

24103	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Oct	Nov	Dic
1980	17.1	10.9	0	14	7	5.5	13	79.6	92.0	131	11	30
1981	16.8	0	10	35.6	133	0	88.5	45	36.5	15.5	0	6
1982	17.1	5.5	5	28.5	111	6	38.1	18.5	51	180	20	0
1983	34	1	0	0	84	38	261.5	47.5	35.5	92	33	1.5
1984	79	9	20	0	44	72	138	27	51	4	5	16.5
1985	7	1	3.5	138.6	69	172.5	95.6	16.3	75.8	18.5	2	9.5
1986	0	1	0	80.5	18.5	148.3	141.1	11.4	36	51.7	16.4	10.7
1987	10.5	9	9.5	14	110.5	112.9	112.2	10	193	0	3	0
1988	16.5	3.5	7.5	45.5	11.5	132.5	208	203.5	68	13.5	1	3.5
1989	2	10.5	1.5	50.5	31	43	25	156.5	46	2.5	2	39.5
1990	7.03	7	14.5	42	84	52	20.5	94	106	45.1	10	4.5
1991	9.5	16	0	0	70	110.5	266	31.5	138.3	16.9	102.2	16.1
1992	112.3	3	10.5	49.5	118.5	136.5	61.1	5.4	40	45.4	16.7	3.2
1993	7.8	1.3	0	10.2	140.7	165.4	63.5	11.7	263.6	56.1	22.3	3.5
1994	15.4	0.6	8.2	65.4	119.4	67.3	45.5	99.7	61.8	169	8.7	6
1995	5.4	6.7	0.8	9	20	5.5	47.1	182.5	17.5	1	5.1	18.2
1996	0	7	1.7	14.7	47	85.4	37.9	154.4	262.9	35.6	36.8	1.5
1997	8.7	15.1	144.9	170.1	155.6	69.7	68	33.2	2.4	198.8	11	0
1998	4.7	0	10	0	60.3	101	24.9	154.8	225.9	105.5	6	0.5
1999	0.6	0	0	92	38	102.5	150.1	44.8	59.3	0	8.8	17.1
2000	8.1	0	1.1	38.2	165.1	152.2	5.4	46.5	28	46.8	15.3	32.3
2001	12.5	23	10.9	31.9	120.8	138.8	48.2	183.8	82.5	12.8	25.7	0
2002	27.2	41.3	6.7	15.5	121	66.8	49	23.4	209.3	38.7	33	5.2
2003	20.4	0.8	3.1	31.2	18	91.2	182.8	2.3	97.2	61.4	11.1	0.3
2004	22.5	8	77.3	11.6	53.3	149.5	107.6	49	88.5	85.4	7.4	7.3
2005	10.2	26.8	7.2	2.4	21.7	25.4	145	63.5	167.3	26.2	3.2	2.1
2006	24.2	0	15.5	16.8	154.9	11	346	329.3	310.7	54.5	61.3	53.4
2007	18.4	37.8	16.4	60.9	60.8	145.7	292.8	188.1	110.3	6.4	17.1	0
2008	0.7	3	4	5.3	149	146.6	234.6	285.2	167.5	13.5	7.8	0
2009	9.3	0	12.9	0	98.8	128.2	40.1	34	241.2	65.5	5.5	42
2010	23	100.8	0	41.6	77.6	91.7	222.7	63.3	107.1	2.5	0	0
2011	0	0	5.5	1.2	0	89.5	115.5	87.0	88.0	51.5	16.4	10.7

Fuente: Elaboración propia con datos de ERIC III

3.4.2 Estimación de la precipitación media

Para este proyecto es necesario determinar la precipitación promedio de un área específica. Se utilizará el método de los polígonos de Thiessen el cual consiste en colocar en un mapa las estaciones pluviométricas y el área de la cuenca en análisis, se forman triángulos con las estaciones próximas y se trazan mediatrices a los lados formando polígonos para cada estación. La precipitación promedio se calcula con la siguiente fórmula:

$$Pm = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i * P_i)}{A}$$

Donde a_i = área del polígono
 P_i = precipitación de la estación en mm
 A = área total

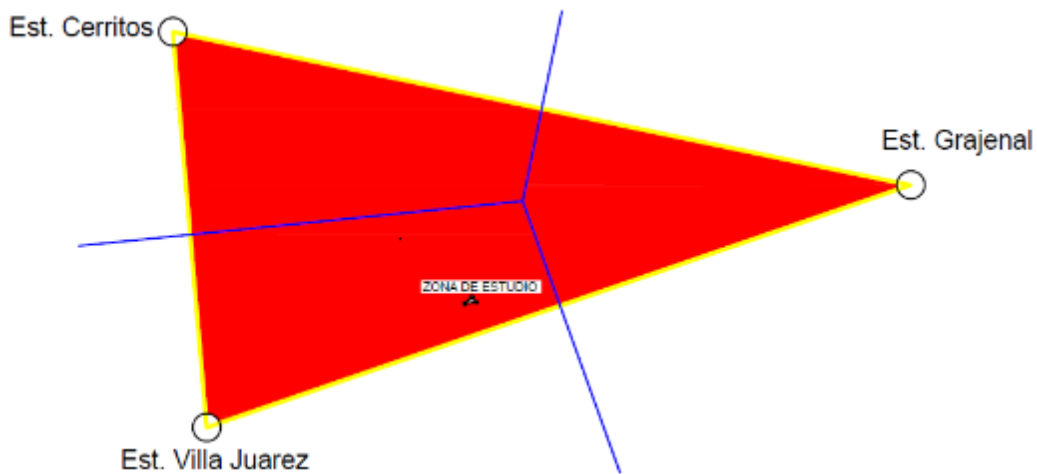


Figura 3.12 Polígonos de Thiessen
 Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA

En la Figura 3.12 se indica que el área de estudio se encuentra dentro del polígono de la estación Villa Juárez en un 100%, por lo que la precipitación media que se toma es la de esta estación, es decir 635 mm anuales.

3.4.3 Análisis estadístico de la Precipitación

El análisis estadístico de la precipitación es utilizado en hidrología con la finalidad de predecir eventos máximos de precipitación. El tratamiento estadístico de la información tiene como objeto determinar un período de retorno T_r de un evento, el cual se define como el intervalo promedio de tiempo en el que ocurren dos eventos de precipitación de la misma intensidad y duración (Campos, 2007).

Para calcular el periodo de retorno se compararon los siguientes métodos:

Log Pearson tipo III, Gumbel simple, Gamma incompleta y el método General de valores extremos (GVE)

El método con el mejor ajuste fue el General de Valores Extremos obteniéndose los siguientes valores de Precipitación

Cuadro 3.10 Comparativa de métodos de distribución de probabilidad

Comparativa				
Mínimos cuadrados	76.39	Log-Pearson Tipo III		GVE
	28.14	Gumbel Simple		
	27.89	Gamma incompleta		
	22.10	GVE		
Tr	Log-Pearson tipo III	Gumbel Simple	Gamma Incompleta	GVE
	X	X	X	X
2	84.5	69.4	69.7	66.9
5	100.9	102.3	99.4	92.9
10	103.1	124.0	117.7	109.7
25	103.2	151.4	142.9	130.5
50	103.6	171.8	160.4	145.7
100	103.7	192.0	169.2	160.5

Fuente: Elaboración propia con datos de Eric III

- ✓ Curvas P-D-Tr (Precipitación, duración, periodo de retorno)

Las curvas mencionadas son gráficas en las cuales se concentran las características de las tormentas con respecto a su variable de magnitud. Para obtener estas curvas se considera una serie de excedentes anuales la cual considera los valores más altos de todo el registro, este tipo de serie se utiliza cuando se cuenta con más de 10 años de registro, lo cual es el caso en estudio.

Aplicando la fórmula de Bell para periodos de retorno y duración de lluvias se pueden graficar las curvas P-D-Tr utilizando una escala logarítmica (Cuadro 3.11 y Figura 3.13).

$$P_{Tr}^t = (0.35 * Ln Tr + 0.76) * (0.54 * t^{0.25} - 0.50) * P_2^{60}$$

Donde Tr = Periodo de retorno
 t = Duración en minutos
 P⁶⁰ = Precipitación en 60 minutos

Cuadro 3.11 Valores de duración de lluvias en función del periodo de retorno

P-D-Tr		Duración									
Tr	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	1440
2	8.03	12.27	15.22	17.51	21.03	24.94	27.97	31.26	34.00	36.37	87.22
5	10.22	15.62	19.37	22.29	26.77	31.74	35.60	39.78	43.27	46.29	111.01
10	11.88	18.15	22.51	25.90	31.11	36.89	41.38	46.23	50.29	53.80	129.01
25	14.07	21.50	26.66	30.68	36.85	43.69	49.01	54.76	59.56	63.72	152.80
50	15.72	24.03	29.80	34.29	41.19	48.84	54.78	61.21	66.58	71.23	170.80
100	17.38	26.57	32.94	37.90	45.53	53.99	60.55	67.66	73.59	78.74	188.80

Fuente: Elaboración propia con datos de CNA

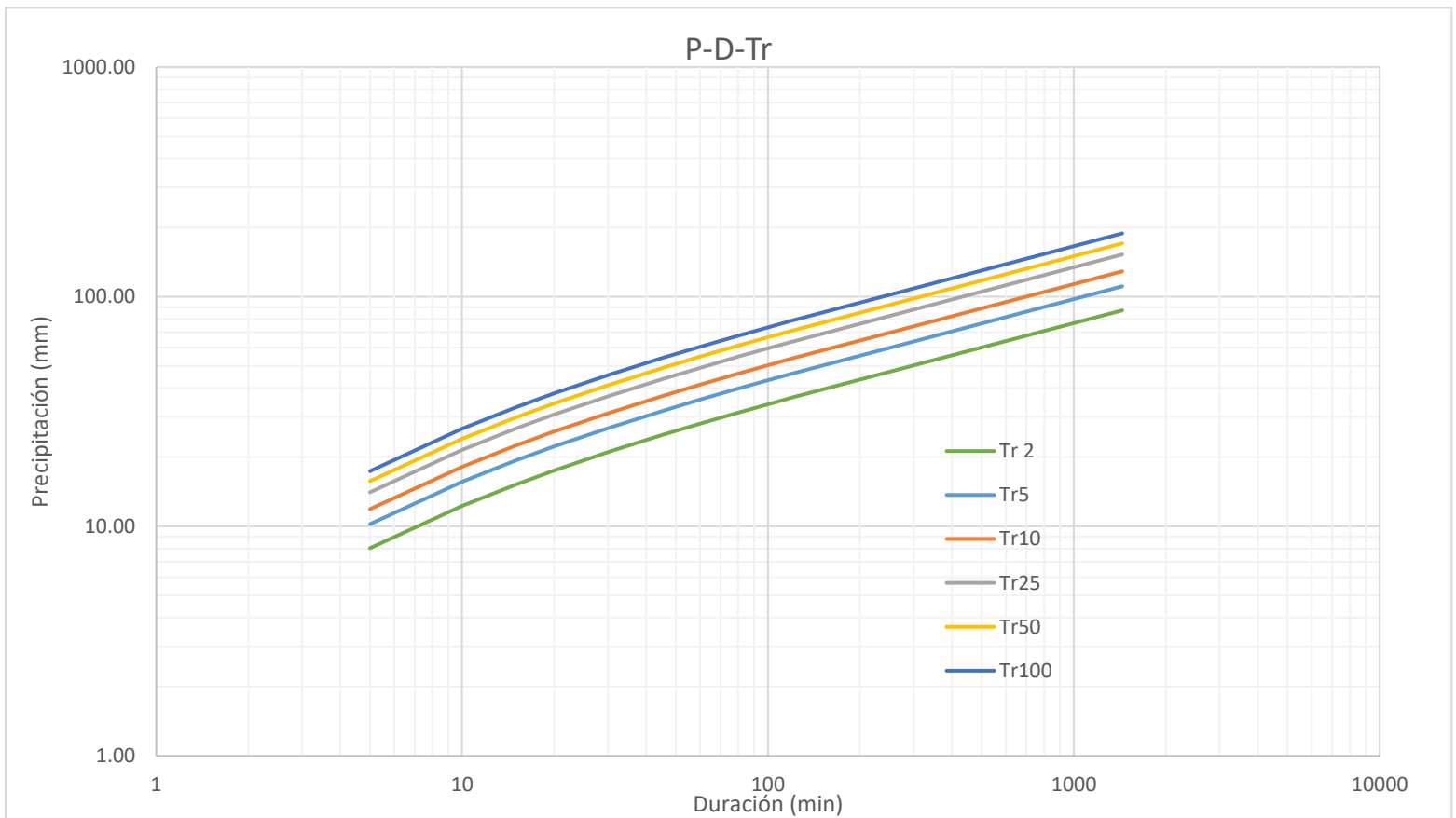


Figura 3.13 Curvas P-D-Tr

Fuente: Elaboración propia con datos de CNA

- ✓ Curvas I-D-Tr (Intensidad, duración, periodo de retorno)

Las curvas mencionadas son gráficas en las cuales se concentran las características de las tormentas con respecto a su variable de frecuencia (Cuadro 3.12 y Figura 3.14).

Cuadro 3.12 Valores de intensidad de lluvia en función del periodo de retorno

Tr	I-D-Tr										
	Duración										
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120	1440
2	96.35443	73.635	60.8733	52.53	42.0683	33.25	27.97	23.44	20.398	18.2	3.6341
5	122.6399	93.723	77.4795	66.86	53.5445	42.32	35.6	29.84	25.963	23.1	4.6255
10	142.5241	108.92	90.0416	77.7	62.2259	49.19	41.38	34.68	30.172	26.9	5.3754
25	168.8096	129.01	106.648	92.03	73.7022	58.26	49.01	41.07	35.737	31.9	6.3668
50	188.6938	144.2	119.21	102.9	82.3836	65.12	54.78	45.91	39.946	35.6	7.1168
100	208.578	159.4	131.772	113.7	91.065	71.98	60.55	50.75	44.156	39.4	7.8667

Fuente: Elaboración propia con datos de CNA

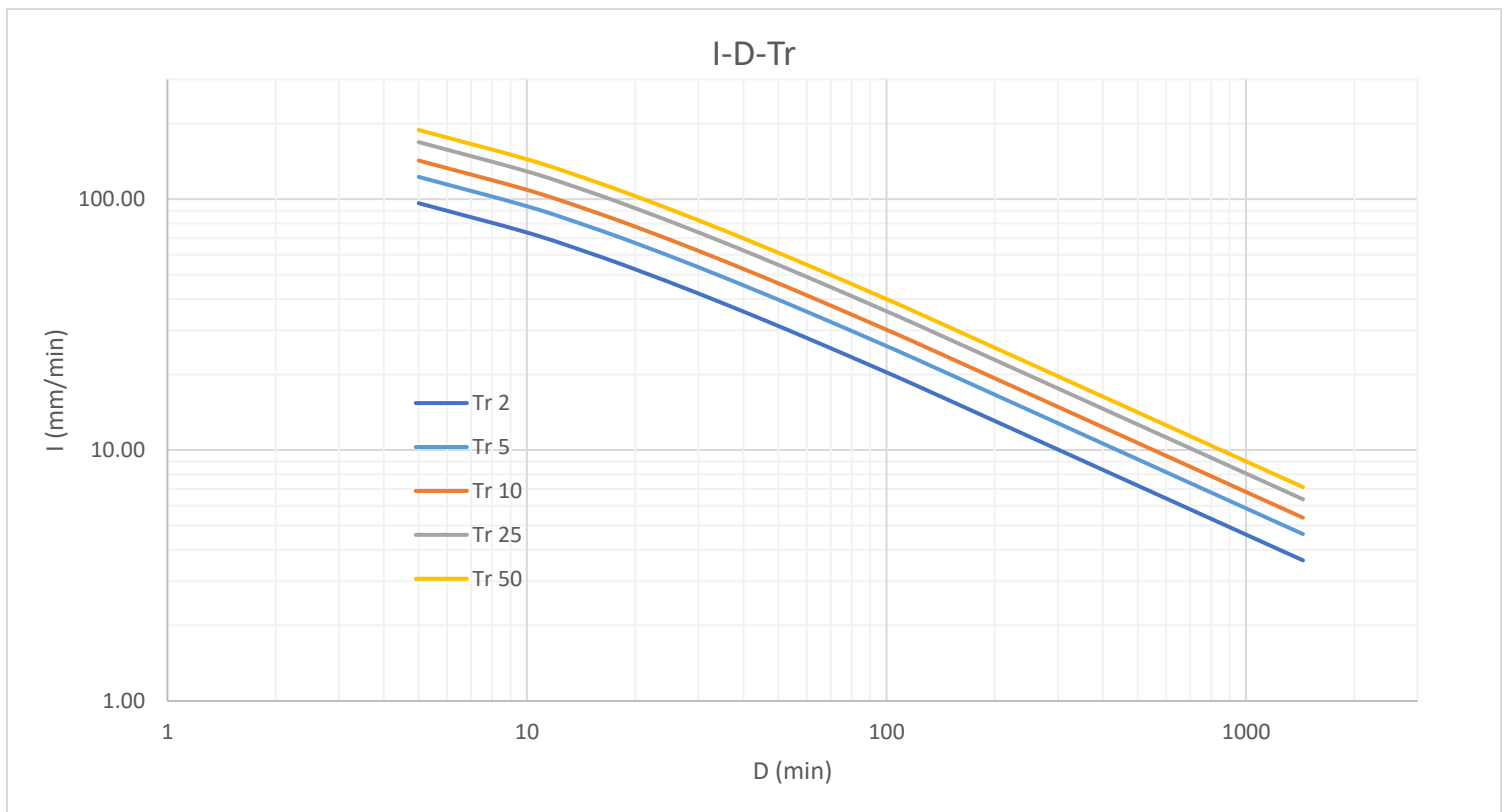


Figura 3.14 Curvas I-D-Tr
Fuente: Elaboración propia con datos de CNA

En ingeniería hidráulica, conocer los eventos máximos de precipitación respecto a sus variables de magnitud y frecuencia nos ayuda a estimar los caudales de diseño al momento de dimensionar una obra, por ejemplo: un sistema de almacenamiento.

3.5 Determinación de la demanda, áreas de captación y volumen potencial de captación

El sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia domiciliarios para la comunidad de Palo Seco, municipio de Villa Juárez, S.L.P se definió considerando los factores técnicos, sociales y condiciones de vivienda en el sitio del proyecto.

Los datos de la precipitación tomados de la estación Villa Juárez son los siguientes:

Cuadro 3.13 Valores de precipitación (promedio mensual) para la zona de estudio

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
16.62	10.93	12.76	34.90	78.56	89.47	115.48	86.96	111.10	51.35	16.40	10.66

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Normales www.smn.gob.mx

Los datos se obtuvieron con registros de precipitación de 30 años.

Tomando los meses con precipitación mayor a 40 mm

Cuadro 3.14 Valores de precipitación de los meses que superan los 40mm

Meses con lluvia	mm
Mayo	78.56
Junio	89.47
Julio	115.48
Agosto	86.96
Septiembre	111.10
Octubre	51.35

Se tienen 5 meses con lluvia y se toma como ejemplo el dimensionamiento de un sistema de captación de agua de lluvia para una vivienda rural formada por 5 habitantes.

- ✓ Demanda

La demanda de agua estará en función de los siguientes usos por persona por día:

Cuadro 3.15 Valores de usos de agua con fines domésticos

Uso	Litros diarios
Consumo	2
Aseo personal	10
Cocinar	4
Lavado de ropa	12
Higiene doméstica	8
Total	36 l/h/día

Fuente: Valores guía de la OMS “Cantidad de agua necesaria para uso doméstico”

Como se describió en el subcapítulo 1.3.5. la determinación de la demanda se obtiene:

A partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de la familia o familias a ser beneficiadas en cada uno de los meses.

Donde:

Nu: número de usuarios que se benefician del sistema.

Nd: número de días del mes analizado

Dot: dotación (L/persona - día)

Di: demanda mensual (m³)

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$

Cuadro 3.16 Demanda anual de agua con fines domésticos

<i>Demanda de agua</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
$D_j = (Nu * Dt * Nd_j) / 1000 =$	5.5	m ³ /mes
<i>Nu</i> =	5	Habitantes
<i>Dt</i> =	36	l/hab/día
<i>Nd_j</i> =	30.4	Días/mes
<i>Demanda anual</i> =	65.664	m ³ /año

La demanda anual por vivienda es de 65.66 m³ = 65, 664 L anuales

- ✓ Cálculo de la disponibilidad de agua

A partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos 30 años se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados. Este valor puede ser expresado en mm/mes, litros/m²/mes, capaz de ser recolectado en la superficie horizontal del techo.

Donde:

PN_{ijk}: Precipitación neta del día i, mes j, año k, mm

P_{ijk}: Precipitación total del día i, mes j, año k, mm

n_{captación}: Eficiencia de captación de agua de lluvia (0.765)

$$PN_{ijk} = P_{ijk} \times n_{captación}$$

Cuadro 3.17 Método del coeficiente

Precipitación acumulada método del coeficiente

<i>Meses con lluvia</i>	mm	coeficiente	$P_{nj} = P_j * \eta$ (mm/mes)	P _{neto} acum (mm)
<i>Mayo</i>	78.56	0.765	60.1	60.1
<i>Junio</i>	89.47	0.765	68.4	128.5
<i>Julio</i>	115.48	0.765	88.3	216.9
<i>Agosto</i>	86.96	0.765	66.5	283.4
<i>Septiembre</i>	111.10	0.765	85.0	368.4
<i>Octubre</i>	51.35	0.765	39.3	407.7

Cuadro 3.18 Precipitación total real vs ajustada por método del coeficiente

Meses con lluvia	Pneta acum (mm)	
	Pn real	Pn coef
Mayo	78.6	60.1
Junio	168.0	128.5
Julio	283.5	216.9
Agosto	370.5	283.4
Septiembre	481.6	368.4
Octubre	532.9	407.7

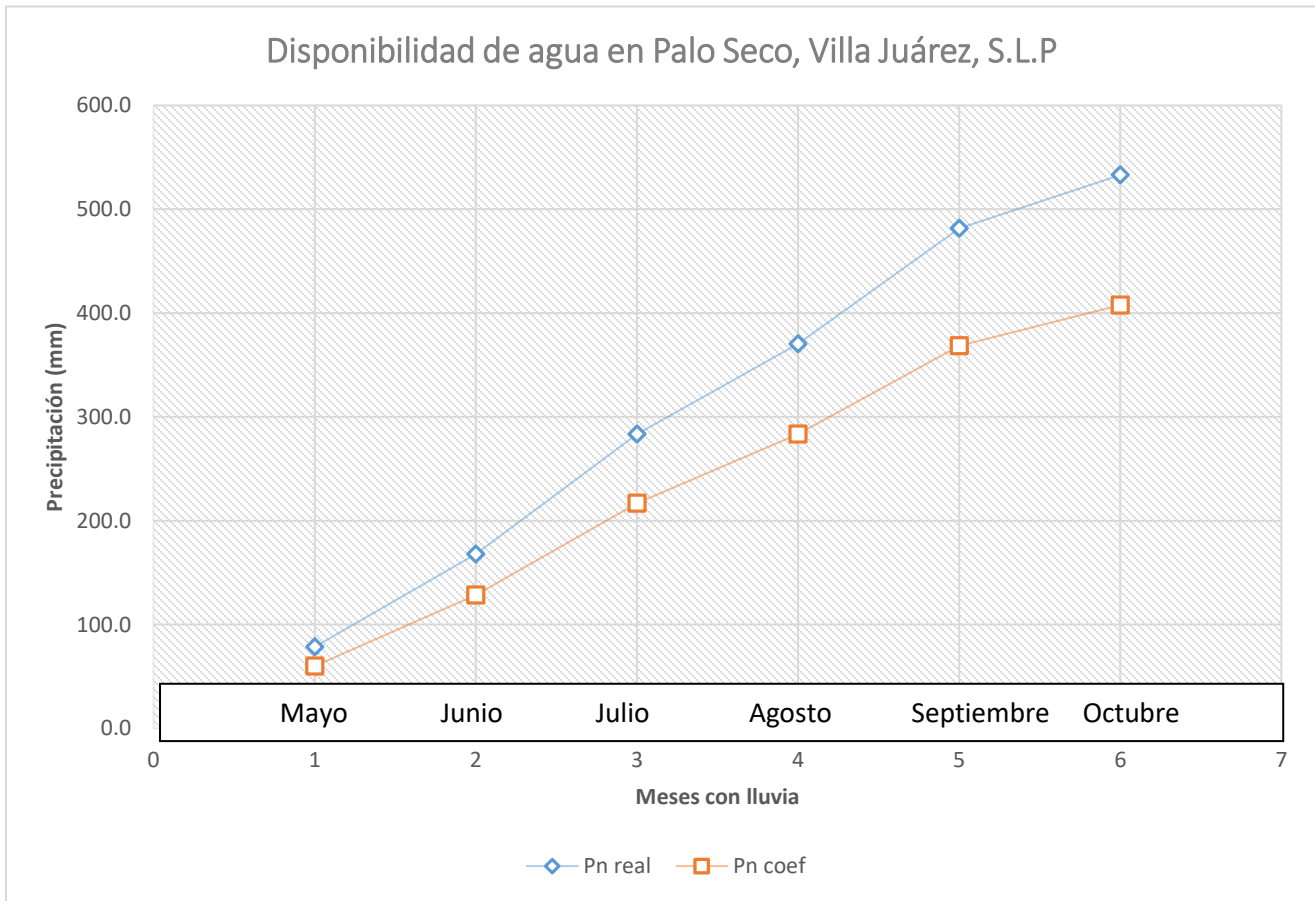


Figura 3.15 Disponibilidad de agua en Palo Seco, S.L.P.

Área de Captación

El área de captación del agua de lluvia se obtiene con la siguiente ecuación.

$$A_{captación} = a \times b$$

Donde:

A: Área de captación, m²

a: Ancho de la casa, m.

b: Largo de la casa, m

Para las viviendas de los 7 beneficiarios se reportan las siguientes áreas de captación en los techos de sus viviendas, tomando en cuenta la precipitación anual acumulada (ajustada con el coeficiente de captación de agua de lluvia) se puede estimar un volumen potencial de captación:

Cuadro 3.19 Áreas y volúmenes de captación en las viviendas de Palo Seco

<i>no.</i> <i>Vivienda</i>	<i>Área de</i> <i>Captación (m²)</i>	<i>Pa acum</i> <i>coef. (mm)</i>	<i>Vol</i> <i>Teórico</i> <i>(litros)</i>
1	88.2	407.7	35957.73
2	125	407.7	50960.51
3	55	407.7	22422.62
4	85	407.7	34653.14
5	64.6	407.7	26336.39
6	30.8	407.7	12556.67
7	25.6	407.7	10436.71
		TOTAL	193323.78

El volumen de captación total es de 193, 323.78 L ~ **200, 000 L** al año tomando en cuenta únicamente los meses con registros mayores a 40 mm, correspondientes a los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre.

3.6 Factibilidad socio económica

Para este trabajo se utilizó el análisis costo beneficio (ACB), es propuesta aceptada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en la evaluación de proyectos de agua potable para América Latina y el Caribe, se basa en identificar y valorar monetariamente las contribuciones que el proyecto tiene para la sociedad. Dichas contribuciones se comparan posteriormente de manera homogénea, llevándolas al momento actual, obteniéndose así el valor actual neto (VAN), esto es, un valor numérico que resume todas las características del proyecto y que proporciona un criterio de eficiencia en el cual fundamentar antes de tomar cualquier decisión. Otro indicador en el ACB es la Tasa interna de retorno de inversión (TIR) y se define como la tasa de descuento que hace cero el VAN de un proyecto, si la TIR es positiva (>0), el proyecto es rentable y si es mayor a la tasa de descuento, entonces la inversión merece la pena.

De acuerdo al BID el debate a favor y en contra de la utilización -en proyectos de este tipo- de criterios financieros (basados solamente en el VAN y TIR) frente a criterios “sociales” resulta difícil de resolver. Frank (2000) y Sen (2000) analizan esta situación y consideran que cualquier evaluación económica puede y debería incluir elementos sociales para empatar cuestiones de eficiencia y equidad. Algunos manuales recientes (De Rus *et al.*, 2010) argumentan explícitamente a favor de usar el término “evaluación socioeconómica”.

Con relación a la evaluación ACB, la normativa establecida por el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) establece que debe utilizarse “siempre que los beneficios sociales puedan valorizarse o expresarse en valores monetarios”. Para ello se sugiere el cálculo de un VAN social que refleje el valor en el inicio del proyecto, del conjunto de beneficios netos sociales y los costos sociales considerando la preferencia inter temporal expresada a través de la tasa social de descuento vigente en el SNIP.

Entonces, para aplicar adecuadamente la metodología debemos tomar en cuenta los precios sociales, los cuales, son valores que reflejan el verdadero costo para la sociedad de las unidades de recursos utilizados en la ejecución y operación del proyecto. Hay recursos utilizados en proyectos similares y se ha estandarizado para uniformar su aplicación, para este caso tomaremos en cuenta los siguientes:

La tasa social de descuento (TSD) refleja en qué medida, desde el punto de vista de una sociedad, un beneficio presente es más valioso que el mismo beneficio obtenido en el futuro. Esta definición ha dado lugar a dos interpretaciones, que conforman las dos principales teorías del descuento social, la de la tasa de preferencia temporal de la sociedad y la del coste de oportunidad social del capital (Souto, 2001).

En México, la TSD se recalculó en 2015 de acuerdo con la metodología clásica internacionalmente aceptada, desarrollada por Harberger (1972) y con la consultoría y el apoyo del Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional, pasando del 12% al **10%**.

El valor social del tiempo se refiere a los beneficios por ahorro de tiempo de viaje generados por un proyecto y corresponden a la sumatoria de las valoraciones individuales de los usuarios.

Para este proyecto el valor social del tiempo está dado por el ahorro del tiempo de los beneficiarios en el acarreo de agua a sus viviendas, tomaremos como base el salario promedio de un jornal de trabajo en la zona, el cual asciende a \$120 pesos por 8 horas al día, por tanto, el valor social del tiempo se estima en **\$15 pesos por hora**, esta metodología coincide con la propuesta por el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP).

Los costos y beneficios se cuantifican y valoran monetariamente, se aplica la metodología de ACB y la rentabilidad se estima de acuerdo a los indicadores de VAN y TIR.

Cuadro 3.20 Inversión inicial para instalar 7 paquetes de tecnologías para el manejo integral del agua en comunidades rurales. Palo Seco, Villa Juárez, S.L.P. 2016

Concepto	importe	unidad
Sistema de captación de agua de lluvia en el techo de la vivienda	2500	\$
Cisterna capuchina, unidad de almacenamiento de 23,000 L	15000	\$
Baño ecológico seco	7000	\$
Lavadero ecológico seco	6000	\$
Huerto familiar	1500	\$
Tanque regulador de nivel	800	\$
Filtro de flujo lento	1000	\$
Bici bomba	2600	\$
Costo por paquete	36400	\$
Total de viviendas	7	viviendas
Total de inversión por 7 paquetes de tecnologías apropiadas	254800	\$

Una característica principal de las tecnologías apropiadas es que no tienen dependencia de energía eléctrica, por lo tanto, no se generan costos de operación, se fijó un monto de \$100 pesos mensuales por paquete para su mantenimiento en caso de ser necesario, lo anterior de acuerdo a la comunicación directa de los beneficiarios, es en promedio lo que se gasta para diferentes mantenimientos (compra de cemento para sellar fugas, tubería de PVC dañada, cintillas de riego fisuradas, etc.)

Cuadro 3.21 Costos de operación y mantenimiento

Concepto	importe	unidad
Mantenimiento mensual	100	\$
Mantenimiento anual	1200	\$
Número de viviendas	7	\$
TOTAL de costo de mantenimiento anual	8400	\$/año

Cuadro 3.22 Ingreso anual por captación de agua de lluvia

Concepto	importe	Unidad
Volumen de pipa/camión cisterna	5000	Litros
Costo pipa	500	Pesos
Precio por litro	0.1	\$/litro
Volumen de captación	200000	litros/año
TOTAL de Ingresos anuales por captación de agua	20000	\$/año

Cuadro 3.23 Cálculo de ingreso por tiempo de acarreo ahorrado por los beneficiarios

Concepto	importe	unidad
Tiempo promedio por acarreo por vivienda diario	1	horas
Tiempo promedio por acarreo por vivienda mes	30.4	horas
Tiempo promedio por acarreo por vivienda anual	364.8	horas
Valor social del tiempo VST por acarreo en horas	15	\$/hora
Ingreso por ahorro de tiempo de acarreo por vivienda	5472	\$/año
Número de viviendas	7	
TOTAL de Ingresos por ahorro de tiempo de acarreo al año	38304	\$/año

Cuadro 3.24 Cálculo de ingresos por producción en el huerto familiar

Concepto	Jitomate	Lechuga	Cilantro	Acelga	Calabaza	unidad
Plantas/m ²	6	25	36	25	6	plantas
Producción promedio por planta	30	1	4	6	-	piezas
Producción total	180	25(a)	144 (b)	150 (b)	-	piezas
Promedio de piezas/kg	12	25(a)	144 (b)	150 (b)	-	piezas/kg
Producción en kg	15	-	-	-	3 (c)	kg
Precio unitario promedio	8	4	3	4	8	\$
Ganancia/m ²	120	100	432	600	228	\$/m ²
ciclo del cultivo	240	60	120	365	220	días
ciclos por año	1.52	6	3	1	2	ciclos
ganancia/m ² por año	182.4	600	360	600	456	\$/m ² /año
Área huerto familiar	12	12	12	12	12	m ²
Ganancia por huerto familiar	2188.8	7200	4320	7200	5472	\$/año
total de huertos familiares	7	7	7	7	7	huertos
TOTAL de Ingresos por producción en huertos familiares al año	\$15,321.60	\$50,400	\$30,240	\$50,400	\$38,304	\$/año

Cuadro 3.25 Cálculo de ingreso por producción de abono humano

Concepto	importe	unidad
Producción de residuos fecales diarios por habitante por día	0.15	kg/h/d
Producción de residuos fecales diarios por habitante por año	54.75	kg/h/a
Número de habitantes por vivienda	5	habitantes
Numero viviendas con baño ecológico seco	7	viviendas
Producción de abono humano por año	1916.25	kg
Precio mínimo del abono en la zona	4	\$/kg
TOTAL de Ingresos por producción de abono humano al año	7665	\$/año

3.26 Resumen de ingresos totales

Concepto	importe	unidad
TOTAL de Ingresos por captación de agua	20000	\$/año
TOTAL de Ingresos por ahorro de tiempo de acarreo	38304	\$/año
TOTAL de Ingresos por producción de jitomate en huertos familiares al año	15322	\$/año
TOTAL de Ingresos por producción de abono humano al año	7665	\$/año
TOTAL de Ingresos anuales por 7 paquetes de tecnologías apropiadas	81291	\$/año

Fórmulas de indicadores de rentabilidad:

El Valor Actual Neto (VAN)

Dónde: I_t son los ingresos en el año t .
 C_t son los costos en el año t .
 I_0 es la inversión inicial.
 r es la tasa de descuento.
 t es la vida útil del proyecto.

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{I_t - C_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Un proyecto es rentable para un inversionista si el VAN es mayor que cero.

- VAN > 0 ~ Proyecto Rentable (realizarlo).
- VAN < 0 ~ Proyecto NO Rentable (archivarlo).
- VAN = 0 ~ Proyecto Indiferente.

La Tasa interna de rentabilidad (TIR)

Dónde: TIR es la tasa interna de rentabilidad
 I_t son los ingresos en el año t .
 C_t son los costos en el año t .
 I_0 es la inversión inicial.
 t es la vida útil del proyecto.

$$0 = \sum_{t=0}^T \frac{I_t - C_t}{(1+TIR)^t} - I_0$$

Si la TIR de una inversión está por encima de la tasa de interés que refleja la rentabilidad de la mejor alternativa, entonces la inversión merece la pena.

Usando el paquete Excel, particularmente las funciones financieras, para la instalación de paquetes de tecnologías apropiadas para el manejo del agua en comunidades rurales, los resultados de los indicadores sociales y financieros son:

Cuadro 3.27 Flujo de caja de instalación de tecnologías apropiadas

Flujo de caja								
Año	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Beneficios	0	81291	81291	81291	81291	81291	81291	81291
Costos	254800	8400	8400	8400	8400	8400	8400	8400
Flujo neto	-254800	72891	72891	72891	72891	72891	72891	72891
Año	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Beneficios	81291	81291	81291	81291	81291	81291	81291	81291
Costos	8400	8400	8400	8400	8400	8400	8400	8400
Flujo neto	72891	72891	72891	72891	72891	72891	72891	72891

Cuadro 3.27 Resultado de los indicadores de rentabilidad

Indicadores ACB	
TSD	10%
VAN Ben	562093.4
VAN Costos	289719.15
R B/C	1.940132
VAN	299,611.70
TIR	27.8929%

El valor positivo de \$299,611.70 en el VAN indica la alta rentabilidad socioeconómica del proyecto. A pesar del cambio en el valor del dinero a través del tiempo, el valor positivo de la TIR = 27.8929%, significativamente mayor a la TSD = 10%, indica también una alta rentabilidad socioeconómica del proyecto.

Con la ejecución del proyecto, no solo se aumenta el gasto diario disponible para la vivienda y se ahorra tiempo por el acarreo de agua, además se disminuirían significativamente los malestares físicos ocasionados por el acarreo (dolores de espalda y piernas), también deberá ser posible observar una disminución de enfermedades en la población atribuibles al consumo del agua. Estos beneficios resultan en una importante oportunidad para ser estimados y valorados, se consideran en este estudio como “beneficios intangibles”.

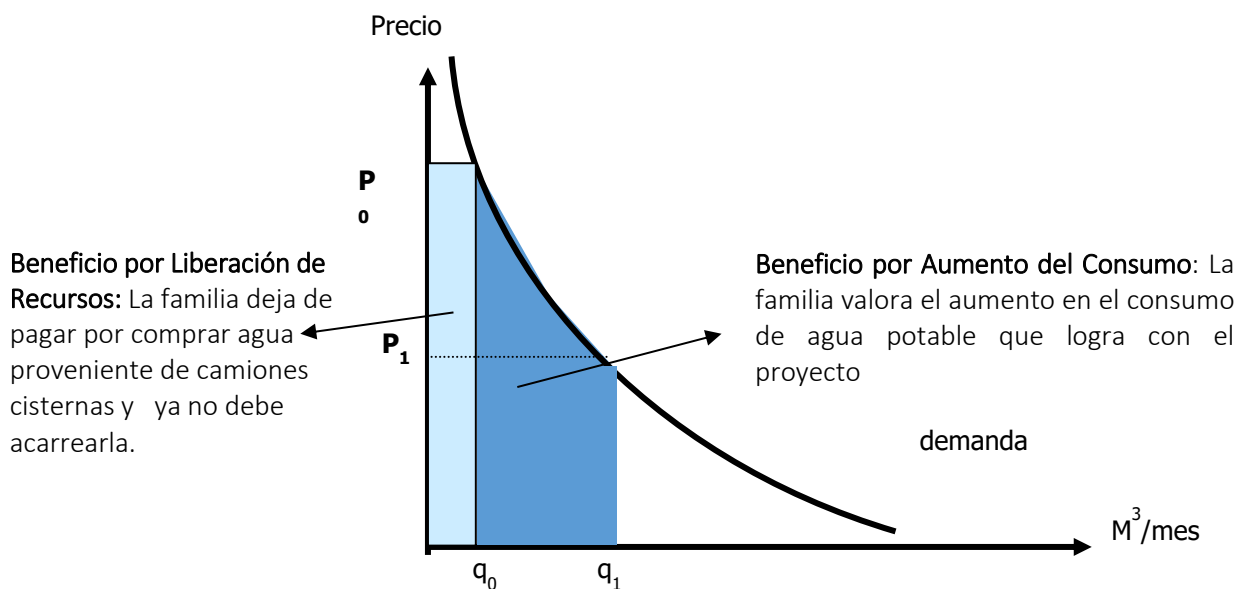


Figura 3.16 Distribución de los beneficios

Inicialmente, la familia consumía sólo $q_0 = 0.6 \text{ m}^3$ de agua al mes, el costo normal en el camión cisterna es de $P_0 = \$100/\text{m}^3$; P_0 incluye: pago de agua (camión cisterna); más la estimación de todos los costos que conlleva acarrear el agua hasta su hogar: valor del tiempo, incomodidad, etc. Con el proyecto, la familia aumenta su consumo a $q_1 = 5 \text{ m}^3$ agua al mes, el costo baja a $P_1 = \$0/\text{mes}$ en los meses de lluvia ya que la fuente de abastecimiento es el agua pluvial.

Los ingresos calculados en este análisis resultaron de \$81 291 al año en total, es decir, \$11 613 /familia/año o **\$967.75 por familia por mes**. Esto se traduce en un aumento importante en el ingreso familiar.

El ingreso familiar es la principal variable que determina el grado de pobreza en una sociedad (Foster *et al.*, 1984), este parámetro es el criterio principal utilizado en indicadores como el índice de pobreza, índice de bienestar y la medición multidimensional de la pobreza en México, los cuales son medidos por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL).

Entonces, resulta interesante proponer estudios a futuro acerca de lo que ocurriría si los proyectos de abastecimiento con agua pluvial alcanzaran una eficiencia máxima, y por consecuencia el mayor ingreso posible, ¿Cómo influirían de manera real en la mejora de los indicadores de pobreza en México? ¿Cómo podrían adaptarse las políticas públicas para mejorar los indicadores de bienestar y pobreza a través de proyectos de abastecimiento de agua pluvial? Para responder a lo anterior será necesario que universidades, entidades de investigación, economía, ciencias sociales y el gobierno a través de las secretarías de desarrollo social municipal, estatales y a nivel federal, desarrollen las estrategias para resolver y/o mejorar la problemática que se presenta relacionada con la distribución de recursos hídricos en nuestro país mediante la implementación de proyectos similares.

3.7 Curso taller de tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua IMTA-ABISO-UASLP

El proyecto fue promovido con apoyo de la Fundación Gonzalo Río Arronte y como parte fundamental se llevó a cabo un curso teórico-práctico donde participaron además de los beneficiarios de la comunidad, diferentes fundaciones de toda la República provenientes de los estados de Guanajuato, Jalisco, Guerrero, Michoacán, Chiapas, Yucatán, Quintana Roo, Tabasco, etc. Donde los participantes pudieron capacitarse en la instalación y operación de las tecnologías. Además del personal de la UASLP, se contó con la participación del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y la Asociación Agua y Bienestar Social ABISO A.C.

En coordinación con las autoridades comunitarias y beneficiarios se realizaron reuniones de información, talleres de capacitación e implementación de sistemas de captación, conducción y almacenamiento de agua de lluvia, lavadero ecológico, baño ecológico seco, huerto familiar regado con TRN, bicibomba y filtro de flujo lento.

Una de las ideas principales de los cursos es la difusión de las ventajas de ser una comunidad eficiente en agua para los beneficiarios, además resulta indispensable la realización de talleres de capacitación, proporcionar manuales de instalación, dar asesorías técnicas, implementación y seguimiento de la transferencia de los paquetes integrales tecnológicos, para su adecuada instalación, operación y mantenimiento (Figuras 3.17 - 3.22).



Figura 3.17 Capacitación fundaciones



Figura 3.18 Lista de asistencia



Figura 3.19 Capacitación beneficiarios



Figura 3.20 Instalación SCALL



Figura 3.21 Construcción cisterna



Figura 3.22 Construcción lavadero

En el anexo II se muestra la memoria fotográfica del curso taller y el proceso constructivo de las tecnologías en la comunidad.

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Medición de volúmenes de captación y eficiencia

Para evaluar la eficiencia de los SCALLs es necesario estimar los volúmenes potenciales de captación por lo cual se instalaron 2 pluviómetros en los techos de dos viviendas con la finalidad de conocer la lámina de agua en mm de cada evento de precipitación, ésta se interpreta como la altura del nivel del agua que se acumula sobre el techo de la vivienda sin infiltrarse o evaporarse sobre el área unitaria en un tiempo determinado.

Se comisionó a dos habitantes de la comunidad para medir la altura de agua en las cisternas al inicio y final de la lluvia, se resta la altura inicial de la altura final y se obtiene la altura de agua a la que llega cada cisterna en un evento de lluvia determinado. La forma de la cisterna es cilíndrica, por lo tanto, con la fórmula de volumen del cilindro, podemos obtener el volumen de agua de lluvia captada en las cisternas.

$$V_c = \text{volumen de agua captada}$$

$$V_c = \pi r^2 H$$

r = radio de la cisterna

H = altura de agua en la cisterna

Ejemplo de medición de volúmenes:

- El área de captación es de 88.2 m^2 ($10.5\text{m} \times 8.4\text{m}$)
- La lamina de lluvia medida en los pluviómetros fue de: 30 mm (30 l/m^2)
- $88.2 \text{ m}^2 \times 30 \text{ l/m}^2 = 2646 \text{ litros}$ (volumen potencial de captación)
- La altura de agua dentro de la cisterna al término de la lluvia fue de 18 cm , $H = 0.18 \text{ m}$
- El volumen real captado fue de: $\pi * r^2 * H = \pi * (2^2) * 0.16 \text{ m} = 2.261 \text{ m}^3 = 2261 \text{ litros de agua captados}$
- $\% \text{ Eficiencia} = (\text{volumen real} / \text{volumen teórico}) * 100 = (2261 \text{ L} / 2646 \text{ L}) * 100 = 85.5\% \text{ eficiencia}$

De los eventos de precipitación se obtuvieron los siguientes datos:

Cuadro 4.1 Cálculos de precipitación 17 de octubre

Precipitación		30	mm	LOCALIZACIÓN		PALO SECO - VILLA JUAREZ - SLP		
Fecha		17 de octubre de 2015		Duración		2 horas		
Clave	Casa	Área de captación m^2	Precipitación (mm)	Vol. teórico (litros)	$h_2 - h_1 = H$ Agua Cist (m)	Vol. captado (m^3)	Vol. captado (litros) 17 Oct 15	Eficiencia SCALL 17 Oct 15
R	1	88.2	30	2646	0.18	2.2619	2261.9	85.5
E	2	125	30	3750	0.25	3.1416	3141.6	83.8
A	3	55	30	1650	0.1	1.2566	1256.6	76.2
I	4	85	30	2550	0.13	1.6336	1633.6	64.1
T	5	64.6	30	1938	0.1	1.2566	1256.6	64.8
P	6	30.8	30	924	0.05	0.6283	628.3	68.0
J	7	25.6	30	768	0.03	0.3770	377.0	49.1
Total		474.2				10.6	10555.8	70.2

Cuadro 4.2 Cálculos de precipitación 19 de abril

Precipitación		65	mm	LOCALIZACIÓN		PALO SECO - VILLA JUAREZ - SLP		
Fecha		19 de abril de 2016				Duración	4.5 horas	
Clave	Casa	Área de captación m ²	Precipitación (mm)	Vol. teórico (litros)	h2 - h1 = H Agua Cist (m)	Vol. captado (m ³)	Vol. captado (litros) 19 Abr 16	Eficiencia SCALL 19 Abr 16
R	1	88.2	65	5733	0.4	5.0265	5026.5	87.7
E	2	125	65	8125	0.55	6.9115	6911.5	85.1
A	3	55	65	3575	0.22	2.7646	2764.6	77.3
I	4	85	65	5525	0.3	3.7699	3769.9	68.2
T	5	64.6	65	4199	0.25	3.1416	3141.6	74.8
P	6	30.8	65	2002	0.11	1.3823	1382.3	69.0
J	7	25.6	65	1664	0.07	0.8796	879.6	52.9
Total		474.2				23.9	23876.1	73.6

Cuadro 4.3 Cálculos de precipitación 10 de mayo

Precipitación		120	mm	LOCALIZACIÓN		PALO SECO - VILLA JUAREZ - SLP		
Fecha		10 de mayo de 2016				Duración	8 hrs	
Clave	Casa	Área de captación m ²	Precipitación (mm)	Vol. teórico (litros)	h2 - h1 = H Agua Cist (m)	Vol. captado (m ³)	Vol. captado (litros) 10 May 16	Eficiencia SCALL 10 May 16
R	1	88.2	120	10584	0.78	9.8018	9801.8	92.6
E	2	125	120	15000	1.1	13.8230	13823.0	92.2
A	3	55	120	6600	0.43	5.4035	5403.5	81.9
I	4	85	120	10200	0.6	7.5398	7539.8	73.9
T	5	64.6	120	7752	0.45	5.6549	5654.9	72.9
P	6	30.8	120	3696	0.2	2.5133	2513.3	68.0
J	7	25.6	120	3072	SD	SD	SD	SD
Total		474.2				44.7	44736.3	80.3

Cuadro 4.4 Cálculos de precipitación 29 de junio

Precipitación		60	mm	LOCALIZACIÓN		PALO SECO - VILLA JUAREZ - SLP		
Fecha		29 de junio de 2016				Duración	4 hrs	
Clave	Casa	Área de captación m ²	Precipitación (mm)	Vol. teórico (litros)	h2 - h1 = H Agua Cist (m)	Vol. captado (m ³)	Vol. captado (litros) 29 Jun 16	Eficiencia SCALL 29 Jun 16
R	1	88.2	60	5292	0.4	5.0265	5026.5	95.0
E	2	125	60	7500	0.55	6.9115	6911.5	92.2
A	3	55	60	3300	0.2	2.5133	2513.3	76.2
I	4	85	60	5100	0.3	3.7699	3769.9	73.9
T	5	64.6	60	3876	0.2	2.5133	2513.3	64.8
P	6	30.8	60	1848	SD	SD	SD	SD
J	7	25.6	60	1536	SD	SD	SD	SD
Total		474.2				20.7	20734.5	80.4

Cuadro 4.5 Cálculos de precipitación 15 de julio

Precipitación		75	mm	LOCALIZACIÓN			PALO SECO - VILLA JUAREZ - SLP	
Fecha		15 de julio de 2016					Duración	5 hrs
Clave	Casa	Área de captación m ²	Precipitación (mm)	Vol. teórico (litros)	h2 - h1 = H Agua Cist (m)	Vol. captado (m ³)	Vol. captado (litros) 15 Jul 16	Eficiencia SCALL 15 Jul 16
R	1	88.2	75	6615	0.49	6.1575	6157.5	93.1
E	2	125	75	9375	0.7	8.7965	8796.5	93.8
A	3	55	75	4125	0.28	3.5186	3518.6	85.3
I	4	85	75	6375	0.38	4.7752	4775.2	74.9
T	5	64.6	75	4845	0.28	3.5186	3518.6	72.6
P	6	30.8	75	2310	0.12	1.5080	1508.0	65.3
J	7	25.6	75	1920	SD	SD	SD	SD
Total		474.2		35565.0			28274.3	80.8

Cuadro 4.6 Cálculos de precipitación 29 de julio

Precipitación		40	mm	LOCALIZACIÓN			PALO SECO - VILLA JUAREZ - SLP	
Fecha		29 de julio de 2016					Duración	3 hrs
Clave	Casa	Área de captación m ²	Precipitación (mm)	Vol. teórico (litros)	h2 - h1 = H Agua Cist (m)	Vol. captado (m ³)	Vol. captado (litros) 29 Jul 16	Eficiencia SCALL 29 Jul 16
R	1	88.2	40	3528	0.27	3.3929	3392.9	96.2
E	2	125	40	5000	0.36	4.5239	4523.9	90.5
A	3	55	40	2200	0.15	1.8850	1885.0	85.7
I	4	85	40	3400	0.2	2.5133	2513.3	73.9
T	5	64.6	40	2584	0.16	2.0106	2010.6	77.8
P	6	30.8	40	1232	0.06	0.7540	754.0	61.2
J	7	25.6	40	1024	SD	SD	SD	SD
Total		474.2		18968.0		15.1	15079.6	79.5

Los SCALLs que muestran mayor eficiencia son los de las viviendas 1, 2 y 3, lo que resulta razonable ya que los beneficiarios de estas viviendas poseen mayor capacidad física y técnica al tratarse de hombres entre 25 y 40 años con conocimiento básico de albañilería, lo que se traduce en una ventaja importante al momento de realizar acciones de mejora y mantenimientos que ayudan a aumentar la eficiencia de su sistema.

Por otro lado, en las viviendas donde el sistema de captación resulta tener menor eficiencia, los beneficiarios son mujeres y adultos mayores, los cuales dependen de sus vecinos y/o familiares para la adecuada implementación y mantenimiento de sus sistemas de captación, almacenamiento y las demás tecnologías, aun cuando se trata de cuestiones sencillas como: reparar una fisura en una cisterna, fijar una canaleta, instalar una lámina como techo de la vivienda, reemplazar una tubería, etc.

Para evaluar la eficiencia del sistema por vivienda, se agrupan los datos para conocer la cantidad de agua captada en cada vivienda. Para los eventos de precipitación donde no se cuenta con los datos de volumen real, se puede hacer una estimación a partir del volumen teórico y la eficiencia obtenida de las lluvias en las que sí se cuenta con datos. La información se muestra en los cuadros siguientes (Cuadro 4.7 – 4.13)

Cuadro 4.7 Volumen total captado en la vivienda no. 1

Vivienda No. 1							
Fecha	Área de Captación m ²	Precipitación (mm)	Vol. Teórico (litros)	h2 - h1 = H Agua Cist (m)	Vol. captado (m ³)	Vol. captado (litros)	Eficiencia SCALL (%)
17-oct	88.2	30.0	2646	0.18	2.26	2261.95	85.49
19-abr		65.0	5733	0.40	5.03	5026.55	87.68
10-may		120.0	10584	0.78	9.80	9801.77	92.61
29-jun		60.0	5292	0.40	5.03	5026.55	94.98
15-jul		75	6615	0.49	6.16	6157.52	93.08
29-jul		40	3528	0.27	3.39	3392.92	96.17
TOTAL			390.0				31667.25

Cuadro 4.8 Volumen total captado en la vivienda no. 2

Vivienda No. 2							
Fecha	Área de Captación m ²	Precipitación (mm)	Vol. Teórico (litros)	h2 - h1 = H Agua Cist (m)	Vol. captado (m ³)	Vol. captado (litros)	Eficiencia SCALL (%)
17-oct	125.0	30.0	3750	0.25	3.14	3141.59	83.78
19-abr		65.0	8125	0.55	6.91	6911.50	85.06
10-may		120.0	15000	1.10	13.82	13823.01	92.15
29-jun		60.0	7500	0.55	6.91	6911.50	92.15
15-jul		75	9375	0.70	8.80	8796.46	93.83
29-jul		40	5000	0.36	4.52	4523.89	90.48
TOTAL			390.0				44107.96

Cuadro 4.9 Volumen total captado en la vivienda no. 3

Vivienda No. 3							
Fecha	Área de Captación m ²	Precipitación (mm)	Vol. Teórico (litros)	h2 - h1 = H Agua Cist (m)	Vol. captado (m ³)	Vol. captado (litros)	Eficiencia SCALL (%)
17-oct	55.0	30.0	1650	0.11	1.38	1382.30	83.78
19-abr		65.0	3575	0.22	2.76	2764.60	77.33
10-may		120.0	6600	0.43	5.40	5403.54	81.87
29-jun		60.0	3300	0.20	2.51	2513.27	76.16
15-jul		75	4125	0.28	3.52	3518.58	85.30
29-jul		40	2200	0.15	1.88	1884.96	85.68
TOTAL			390.0				17467.26

Cuadro 4.10 Volumen total captado en la vivienda no. 4

Vivienda No. 4							
Fecha	Área de Captación m ²	Precipitación (mm)	Vol. Teórico (litros)	h2 - h1 = H Agua Cist (m)	Vol. captado (m ³)	Vol. captado (litros)	Eficiencia SCALL (%)
17-oct	85.0	30.0	2550	0.13	1.63	1633.63	64.06
19-abr		65.0	5525	0.30	3.77	3769.91	68.23
10-may		120.0	10200	0.60	7.54	7539.82	73.92
29-jun		60.0	5100	0.30	3.77	3769.91	73.92
15-jul		75	6375	0.38	4.78	4775.22	74.91
29-jul		40	3400	0.20	2.51	2513.27	73.92
TOTAL			390.0				24001.77

Cuadro 4.11 Volumen total captado en la vivienda no. 5

Vivienda No. 5							
Fecha	Área de Captación m ²	Precipitación (mm)	Vol. Teórico (litros)	h2 - h1 = H Agua Cist (m)	Vol. captado (m ³)	Vol. captado (litros)	Eficiencia SCALL (%)
17-oct	64.6	30.0	1938	0.10	1.26	1256.64	64.84
19-abr		65.0	4199	0.25	3.14	3141.59	74.82
10-may		120.0	7752	0.45	5.65	5654.87	72.95
29-jun		60.0	3876	0.20	2.51	2513.27	64.84
15-jul		75	4845	0.28	3.52	3518.58	72.62
29-jul		40	2584	0.16	2.01	2010.62	77.81
TOTAL			390.0				18095.57

Cuadro 4.12 Volumen total captado en la vivienda no. 6

Fecha	Área de Captación m ²	Precipitación (mm)	Vol. Teórico (litros)	h2 - h1 = H Agua Cist (m)	Vol. captado (m ³)	Vol. captado (litros)	Eficiencia SCALL (%)
17-oct	30.8	30.0	924	0.05	0.63	628	68.00
19-abr		65.0	2002	0.11	1.38	1382	69.05
10-may		120.0	3696	0.2	2.51	2513	68.00
29-jun		60.0	1848	SD	1.23	1225	
15-jul		75	2310	0.12	1.51	1508	65.28
29-jul		40	1232	0.06	0.75	754	61.20
TOTAL			390.0				8011.16

Cuadro 4.13 Volumen total captado en la vivienda no. 7

Vivienda No. 7							
Fecha	Área de Captación m ²	Precipitación (mm)	Vol. Teórico (litros)	h2 - h1 = H Agua Cist (m)	Vol. captado (m ³)	Vol. captado (litros)	Eficiencia SCALL (%)
17-oct	25.6	30.0	768	0.03	0.38	376.99	49.09
19-abr		65.0	1664	0.07	0.88	879.65	52.86
10-may		120.0	3072	SD	1.57	1565.96	
29-jun		60.0	1536	SD	0.78	782.98	
15-jul		75	1920	SD	0.98	978.73	
29-jul		40	1024	SD	0.52	521.99	
TOTAL			390.0				5106.30

En las siguientes gráficas se muestran los datos de eficiencia y agua captada de los eventos de precipitación por cada vivienda (Figura 4.1 y Figura 4.2)

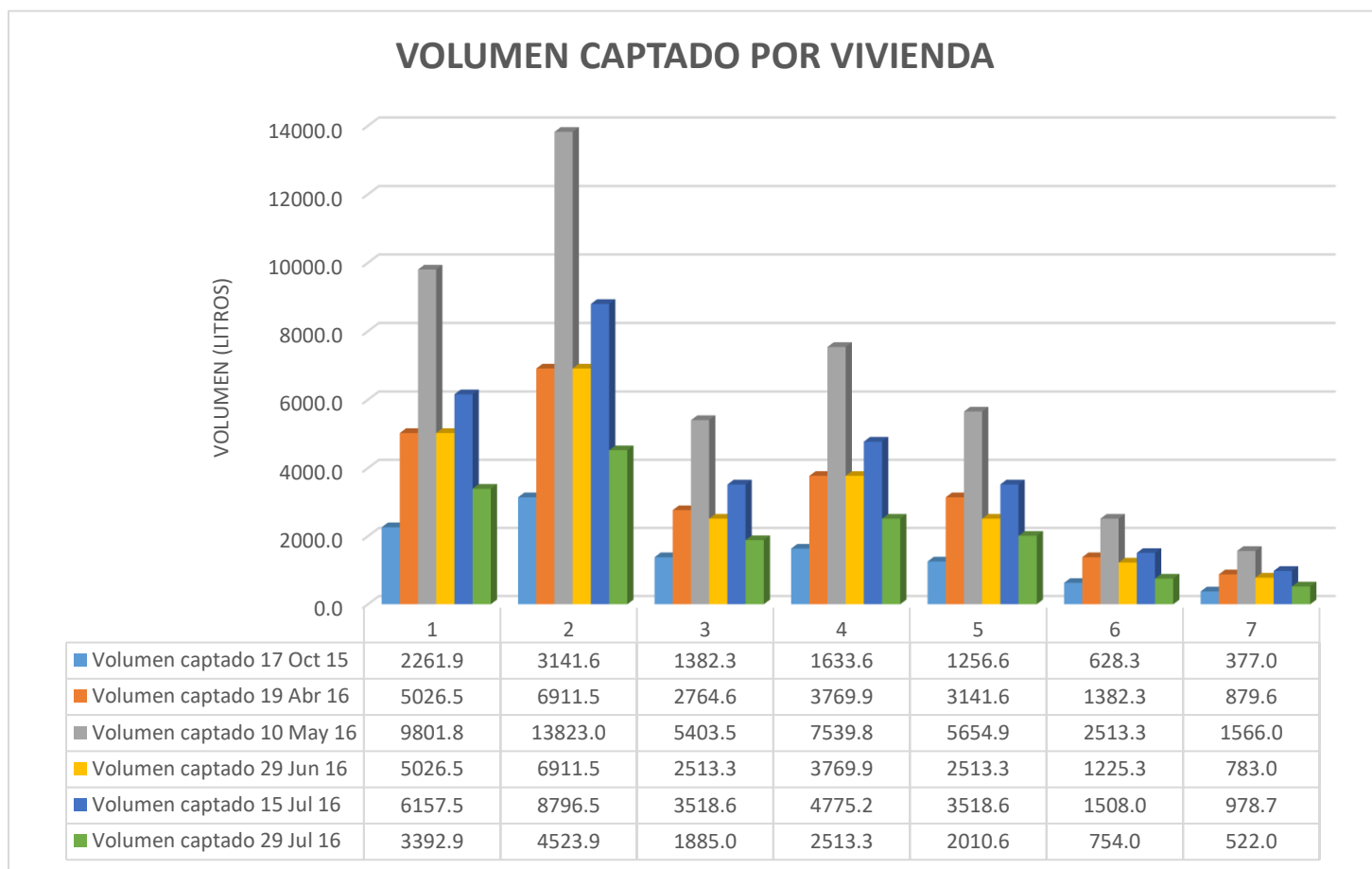


Figura 4.1 Volúmenes captados por vivienda

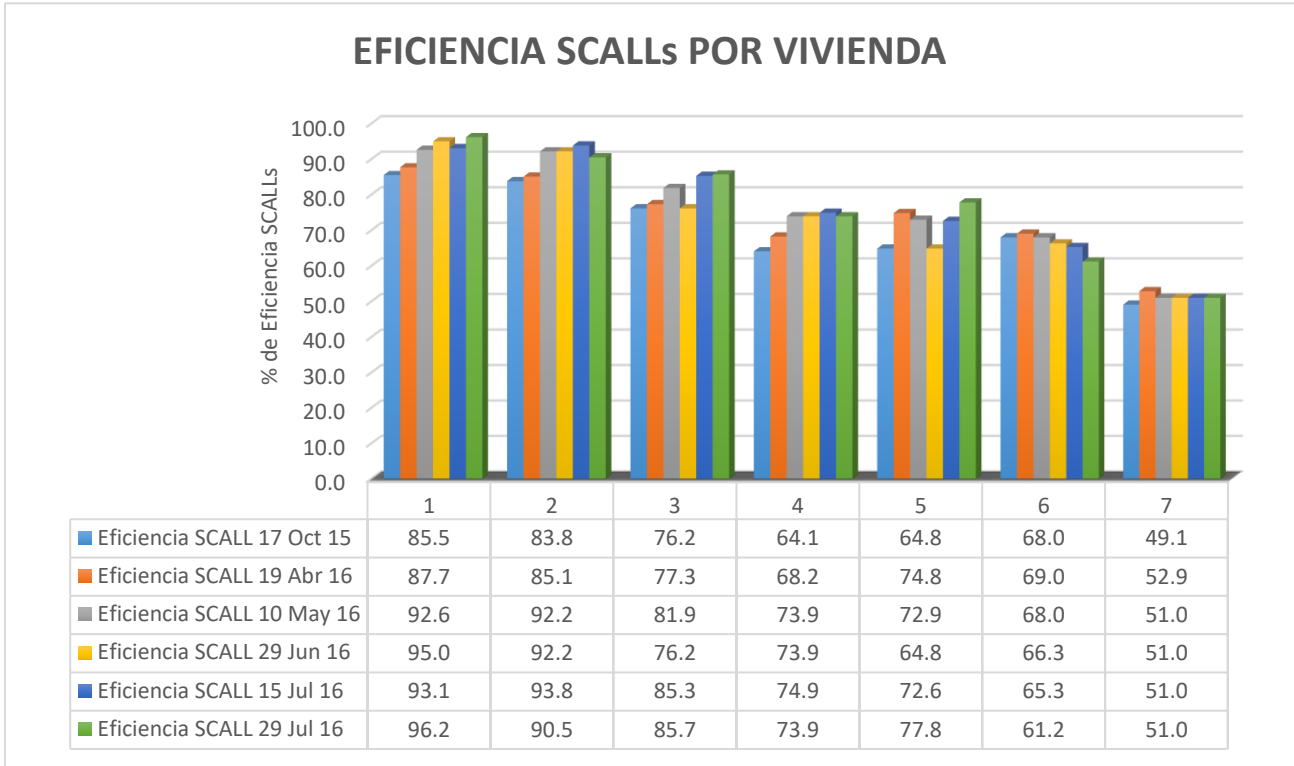


Figura 4.2 Eficiencia de SCALL en cada lluvia por vivienda

A partir de los valores obtenidos se pueden establecer objetivos para mejorar los indicadores de cada vivienda mediante acciones de mejora, rediseño y optimización, por ejemplo: mejorar la conducción, reducir las fugas de agua, ajustar las pendientes, impermeabilizar en caso de ser necesario, cambiar tuberías, canaletas, sellos o cualquier elemento dañado, etc.

Además, en la medida de lo posible deberá aumentarse el área de captación para mejorar el abastecimiento de cada vivienda.

Finalmente se muestra el volumen total captado, la eficiencia promedio y se compara el abastecimiento actual con el anterior.

Cuadro 4.14 Volumen total y eficiencia promedio

VOLUMEN CAPTADO		
Vivienda	Vol. Total (litros)	Eficiencia SCALL (%)
1	31667	91.7
2	44108	89.6
3	17467	81.7
4	24002	71.5
5	18096	71.3
6	8011	66.3
7	5106	51.0
TOTAL	148457.3	74.7

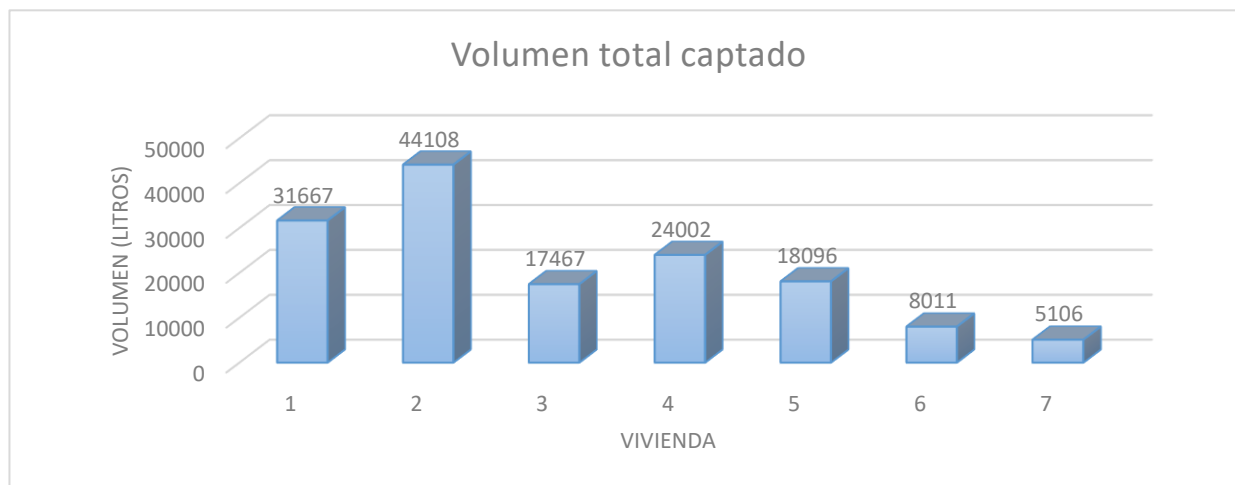


Figura 4.3 Volumen total captado en los SCALLs

La estimación del volumen total de captación de agua de lluvia es de 148,457 litros en las 7 viviendas lo que representa un aumento extraordinario en la cantidad de agua disponible para uso doméstico.

A partir de la demanda anual por vivienda de 65,664 litros, que calculamos en el capítulo anterior, evaluamos el potencial de abastecimiento de los SCALLs y lo comparamos con la dotación promedio de aproximadamente 600 litros mensuales, es decir 7200 litros anuales, que se tenían anteriormente en las viviendas de los beneficiarios y resulta lo siguiente:

Cuadro 4.15 Agua disponible. Abastecimiento anterior vs actual

Vivienda	Demanda (litros)	Dotación anterior (litros)	% Abastecimiento anterior	Dotación actual (litros)	% Abastecimiento actual
1	65664	7200	10.96	31667	48.23
2	65664	7200	10.96	44108	67.17
3	65664	7200	10.96	17467	26.60
4	65664	7200	10.96	24002	36.55
5	65664	7200	10.96	18096	27.56
6	65664	7200	10.96	8011	12.20
7	65664	7200	10.96	5106	7.78
TOTAL	459648			148457.3	

La dotación promedio anterior al proyecto la cual consistía solo del agua acarreada por los beneficiarios y ocasionalmente de agua prevista por un camión cisterna con recursos del gobierno municipal (almacenada en la pila comunal en mal estado), solo abastecía en un 10.96% de la demanda estimada para esta comunidad.

Por otra parte, se llegó a un aumento en la dotación de hasta 67.2 % de la demanda, lo anterior resulta muy benéfico pues al tener más agua disponible para uso doméstico, los beneficiarios experimentaron un aumento en su calidad de vida principalmente en la frecuencia de aseo e higiene personal, más agua para cocinar los alimentos, limpieza doméstica, la posibilidad de regar plantas en su huerto familiar, plantas ornamentales en sus viviendas, etc.

Hubo dos viviendas donde el impacto por el aumento de agua disponible para consumo fue muy bajo y se pudo atribuir a lo siguiente: el diseño inadecuado en la instalación del SCALL en una de las viviendas no cumplió con las características necesarias para su adecuado funcionamiento, por ejemplo, las pendientes del sistema de conducción de agua a la cisterna no eran adecuadas, además el área de captación es insuficiente y/o el techo no tiene las adecuaciones necesarias para conducir el agua por la canaleta o tubería hacia el interior de la cisterna.

Además, en estas viviendas los beneficiarios no mostraron interés en seguir con las adecuaciones para el buen funcionamiento de su sistema, siendo este el mayor de los problemas presentes, pues el hecho de tener que invertir un determinado tiempo y trabajo crea indisposición y desinterés para mejorar el sistema y aprovechar los beneficios que se pueden obtener.

En ambos casos será necesario llevar a cabo un rediseño para la adecuada instalación/operación del sistema y aumentar las áreas de captación, de esta manera será posible mejorar los indicadores, aumentar el volumen de agua de lluvia captada y mejorar la eficiencia del sistema.

Con la ejecución y operación del proyecto se observa que el precio de abastecimiento de agua potable disminuye de manera significativa, los beneficiarios que cuentan con el paquete de tecnologías han percibido un ahorro de recursos al eliminar o reducir el acarreo de agua en cubetas y/o al dejar de comprar agua de pipas en tambos u otros depósitos.

Se observa un mayor consumo de agua debido a que el precio de abastecimiento de agua con el proyecto ha disminuido, el consumo de agua potable se ha incrementado lo que satisface necesidades y aumenta el bienestar de la población.

4.2 Calidad del agua de las tecnologías apropiadas

4.2.1 Normatividad aplicable en México

El abastecimiento de agua para consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y/o de la piel, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.

En México existe la Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, "salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

Un análisis físico-químico de una muestra de agua mediante la evaluación de algunos parámetros y características físicas, químicas y biológicas nos permite evaluar la calidad del agua y si es apta para consumo humano (potable).

4.2.2 Análisis de calidad de agua

En este capítulo se desarrolla la evaluación de la calidad del agua de lluvia captada y almacenada en una de las cisternas con base en algunos parámetros destacados de la NOM-127-SSA1-1994, que indica los niveles máximos de algunos contaminantes comunes en agua para abastecimiento humano a nivel domiciliario.

Además, se evaluó la calidad de agua a la entrada y salida del lavadero ecológico para medir la capacidad para remover algunos contaminantes y poder reutilizarla para riego del huerto familiar con base en los parámetros descritos en la Norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites

máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, en esta norma se especifican los límites máximos permisibles de agua tratada para uso agrícola. Para ello se requirió de un muestreo y análisis de los resultados como se indica a continuación.

Los puntos de muestreo seleccionados fueron:

- Agua captada y almacenada en una cisterna capuchina (Figura 4.4)
- Agua a la entrada y salida del lavadero ecológico seco (Figura 4.5)



Figura 4.4 Toma de muestras de agua de captación y almacenada en la cisterna



Figura 4.5 Toma de muestras de entrada y salida del lavadero ecológico

Los parámetros a determinar en la muestra de la cisterna fueron los siguientes:

Organolépticos: color, olor, turbiedad, sólidos disueltos totales (SDT)

Fisicoquímicos: dureza total (mg CaCO₃/L), dureza de calcio (mg CaCO₃/L), dureza de magnesio (eq. mg CaCO₃/L), Cloro libre residual (mg/L), cloruros (mg/L), fluoruros (mg/L), nitritos (mg/L), nitratos (mg/L), sulfatos (mg/L)

Microbiológicos: microorganismos mesófilos aerobios(mg/L), coliformes totales (NMP/100 ml) y coliformes fecales (NMP/100 ml).

De los resultados obtenidos en los análisis FQB, se obtiene lo siguiente:

Cuadro 4.16 Análisis físico químico bacteriológico muestra de agua de cisterna

ANALISIS FÍSICO QUÍMICO BACTERIOLÓGICO MUESTRA DE AGUA DE CISTERNA				
Parámetro	UNIDADES	Concentración Encontrada	LMP	Cumple
pH	1 A 14	8.14	6.5 - 8.5	SI
Color	unidades Co/Pt	0	20	SI
Olor		INODORA	INODORA	SI
Sabor		INSIPIDA	INSIPIDA	SI
Turbiedad	UTN	1	10	SI
Calcio	mg/L	8	NE	SI
DUREZA TOTAL	mg/L	210	500	SI
DUREZA DE CALCIO	mg CaCO ₃ /L	194	NE	SI
DUREZA DE MAGNESIO	mg MgCO ₃ /L	16	NE	SI
CLORUROS	mg/L	8.5	250	SI
FLORUROS	mg/L	0.6	1.5	SI
MAGNESIO	mg/L	7.05	NE	SI
NITRITOS	mg/L	NO DETECTADO	1	SI
NITRATOS	mg/L	6.8	10	SI
POTASIO	mg/L	5.8	NE	SI
SULFATOS	mg/L	9.5	250	SI
SDT	mg/L	225	1000	SI
MOOS MESOF AEROBIOS	mg/L	AUSENTES	NE	SI
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	2.3	<1.10	NO
COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	NO DETECTADO	NO DETECTADO	SI

NE significa que estos parámetros no están especificados en la norma

Límites máximos permisibles por la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, publicada en junio del 2000.

Los parámetros organolépticos se eligieron debido a que son indicadores inmediatos de contaminación visible. Los fisicoquímicos se eligieron para analizar el grado de contaminantes disueltos y el grado de corrosión o alcalinidad. Por último, los parámetros microbiológicos se eligieron por las consecuencias negativas que tienen en la salud.

De los resultados obtenidos en los análisis de campo y laboratorio, se interpreta lo siguiente:

1) En su aspecto físico en el momento de la toma de muestras del agua de la cisterna, no se detectó olor, se observa de aspecto cristalino con una turbiedad baja de 1 UTN, se observó cristalina, se hizo además una prueba de sabor resultando agradable.

2) En la parte química, la muestra no presenta metales pesados, el pH de 8.1 se considera aceptable, la concentración de sólidos disueltos totales determinados fue de 225 mg/L, son bajos en comparación con el LMP de 1000 mg/L, se presenta una dureza total de 210 mg CaCO₃. Presenta una alcalinidad baja y es expresada por la concentración de carbonatos de calcio, la concentración de cloruros, fluoruros, nitratos, sulfatos y potasio también resultan muy bajas; situándose muy por debajo de los límites máximos permitidos, en todos los parámetros físico químicos se cumple con la normatividad.

3) En la parte microbiológica, no hay presencia de coliformes fecales, pero si coliformes totales en una concentración de 23 NMP/100 ml, sin embargo, mediante el método de cloración son eliminados en un 100%, por lo que la calidad del agua es óptima.

Los parámetros a determinar en las muestras de lavadero fueron los siguientes:

De contaminantes básicos: se determinaron la temperatura (°C), grasas y aceites (mg/L), sólidos suspendidos totales (mg/L), DBO₅ (mg O₂/L), DQO (mg O₂/L), coliformes fecales (NMP/100 ml), nitrógeno total (mg/L) y fósforo total (mg/L). Lo anterior de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, donde se especifican los LMP para uso agrícola. Para este estudio no se analizaron metales pesados debido a que se trata de una muestra de agua de lluvia en una zona donde no se detectan fuentes potenciales de contaminación, como las presentes en zonas urbanas e industriales.

De los resultados obtenidos en los análisis FQB, se obtiene lo siguiente:

Cuadro 4.17 Análisis físico químico bacteriológico de muestra de agua (Entrada)

ANÁLISIS FQB DE MUESTRA DE AGUA RESIDUAL DE LAVADERO (ENTRADA)				
Parámetro	UNIDADES	Concentración Encontrada	LMP	Cumple
pH	1 A 14	8.67	6.5 - 8.5	NO
DBO	mg O ₂ /L	110	150	SI
DQO	mg O ₂ /L	830	N.A.	NA
SST	mg/L	808	150	NO
GRASAS Y ACEITES	mg/L	4	15	SI
NITROGENO	mg/L	8	40	SI
FOSFORO	mg/L	22	20	NO
COLIFORMES FECALES	NMP/100ml	2100	1000	NO

Límites máximos permisibles según norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

Para obtener muestras representativas de la entrada y salida del lavadero ecológico, se le pidió al beneficiario realizara en ese momento las actividades domésticas de lavado de ropa con el detergente que se utiliza habitualmente, lo anterior hasta llenar el filtro para obtener una muestra de agua tratada en la salida del lavadero y evaluar la eficiencia del tratamiento.

De los resultados de los análisis de campo y laboratorio, obtenidos de la muestra de agua con detergente, mugre y otros contaminantes, en la entrada de lavadero ecológico, se interpreta lo siguiente:

Observamos que la muestra a la entrada del lavadero la cual contiene detergente y mugre proveniente del lavado de ropa presenta un pH alto de 8.67 debido a los aditivos de fosfato en los detergentes como el tripolifosfato de sodio los cuales actúan como bases haciendo que el agua del lavado sea alcalina (pH alto), esto es necesario para la acción del detergente; además los fosfatos reaccionan con los iones calcio y magnesio del agua de manera que no actúan con el detergente y por último ayudan a mantener las grasas y el polvo en suspensión, lo que facilita que sean eliminados.

El DBO es la prueba que mide el oxígeno utilizado durante un periodo de incubación especificado, para la degradación bioquímica de materia orgánica, la muestra de entrada resulta con un DBO de 100 mg/L, por lo tanto, cumple con el límite máximo permisible de la norma (150 mg/L).

La DQO o Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual. A pesar de que el límite no está especificado en la norma, es por mucho una medida representativa de la contaminación orgánica de un efluente siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas y nos da una idea muy real del grado de toxicidad, la muestra de entrada presenta una concentración de 830 mg/L de DQO.

Los sólidos suspendidos son los principales responsables de la turbiedad en el agua, por los que su medición es una excelente referencia de la calidad de una muestra de agua. La concentración en la muestra de entrada es de 808 mg/L, por lo tanto, no cumple con la norma mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

El problema con las grasas y aceites es que son menos densos que el agua e inmiscibles con ella, se difunden por la superficie, de modo que pequeñas cantidades de grasas y aceites pueden cubrir grandes superficies de agua, reducen la oxigenación en la interfase aire-agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar, afectando a la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto. Encarecen los tratamientos de depuración, y algunos, especialmente los minerales, suelen ser tóxicos. En la muestra de entrada se presenta una concentración de 4 mg/L por lo tanto cumple con la norma NOM-001-SEMARNAT-1996.

Al igual que el fósforo, el nitrógeno es un elemento utilizado en la fabricación de detergentes, los cuales en presencia excesiva resultan en nutrientes indeseados que forman un exceso de masa vegetal que al morir y descomponerse consume la mayor parte del oxígeno creando condiciones anaerobias. La concentración de nitrógeno es de 8 mg/L y cumple con los LMP.

Los detergentes hechos a base de fosfatos provocan un efecto destructor en el medio ambiente pues aceleran el proceso de eutrofización de las aguas de lagos y ríos. Como el uso de detergentes fosfatados ha generado problemas muy graves en el agua, algunos países han prohibido el uso de detergentes de este tipo. En cuanto a nosotros, demasiado fosfato puede causar problemas de salud, como es daño a los riñones y osteoporosis. La concentración de fosforo en la muestra es de 22 mg/L, excede marginalmente el LMP de la norma.

Las bacterias coliformes son patógenas para el humano y capaces de generar enfermedades diarreicas que, dependiendo del colectivo, pueden desencadenar la muerte. En la muestra de agua sin tratamiento a la entrada del lavadero, se determinó una concentración de 2100 NMP/100 ml, por lo que excede por más del doble el LMP.

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de los análisis FQB de la muestra de agua tratada, a la salida del lavadero ecológico:

Cuadro 4.18 Análisis físico químico bacteriológico de muestra de agua (Salida)

ANÁLISIS FQB DE MUESTRA DE AGUA TRATADA DE LAVADERO (SALIDA)				
Parámetro	UNIDADES	Concentración Encontrada	LMP	Cumple
pH	1 A 14	8.26	6.5 - 8.5	SI
DBO	mg O ₂ /L	18	150	SI
DQO	mg O ₂ /L	30	N.A.	NA
SST	mg/L	4	150	SI
GRASAS Y ACEITES	mg/L	0.6	15	SI
NITROGENO	mg/L	1	40	SI
FOSFORO	mg/L	4	20	SI
COLIFORMES FECALES	NMP/100ml	192	1000	SI

Límites máximos permisibles según norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

Cuadro 4.19 Comparación de concentraciones de contaminantes a la entrada y salida del lavadero

TASA DE REMOCIÓN CALCULADA MUESTRAS DE LAVADERO [E] VS [S]			
Parámetro	Concentración INICIAL	Concentración FINAL	REMOCIÓN [%]
pH	8.67	8.26	NA
DBO (mg/L)	110	18	83.64
DQO (mg/L)	830	30	96.39
SST (mg/L)	808	4	99.50
GRASAS Y ACEITES (mg/L)	4	0.6	85.00
NITROGENO (mg/L)	8	1	87.50
FOSFORO	22	4	81.82
COLIFORMES FECALES NMP/100ml	2100	192	90.86

El pH se redujo de 8.67 a 8.26, esa pequeña pero significativa reducción de alcalinidad resulta en que la calidad de agua a la salida del tratamiento en el lavadero ecológico cumpla con el LMP destacado en la norma.

En cuanto a los demás contaminantes, se experimentó una remoción muy efectiva de todos los contaminantes analizados, descritos anteriormente, por lo tanto, se considera que el tratamiento es altamente eficaz por la gran capacidad de reducir la concentración de los contaminantes básicos descritos en la NOM-001-SEMARNAT-1996.

La remoción de DBO y DQO de 83.6% y 96.39% respectivamente, sugiere que los reactores anaerobios en serie en el interior del lavadero soportan cargas orgánicas muy altas. En el caso de la remoción del exceso de nutrientes como fósforo y nitrógeno, al fluir el caudal por el biofiltro se atrapan las partículas y se degrada la materia orgánica por las bacterias fijas en el material del reactor.

Los humedales en serie cumplen también con la tarea de remover la DBO que no se logra remover en el biofiltro, además los sólidos suspendidos y los patógenos del influente quedan atrapados en el material graduado poroso en las últimas dos cámaras del lavadero. En este caso la remoción de sólidos alcanzó un 99.5%, y la eliminación de coliformes un 90.86%.

Es importante mencionar que una vez concluido el lavadero debe usarse de manera regular. El abandono prolongado puede ocasionar que las bacterias presentes en las cámaras 2 y 3 empacadas con PET, se mueran y descompongan, por lo que el biofiltro pierde eficiencia de tratamiento.

No debe usarse cloro, amoníaco, gasolina, tiner, pesticidas, etc. El agua tratada del biofiltro podrá destinarse al riego de frutales, plantas de ornato, lavado de patios, etc.

4.2.3 Algunos métodos de desinfección

Observamos que la captación pluvial ofrece agua de excelente calidad, no obstante, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas de almacenamiento para uso y consumo humano es necesario someter a tratamientos de potabilización, los cuales pueden ser físicos, químicos, biológicos y/o combinaciones. Su uso y campo de aplicación queda definido según las limitaciones y ventajas que ofrecen cada uno de ellos. A continuación, se presentan algunas opciones simples de desinfección.

La desinfección es el proceso que se lleva a cabo para eliminar o controlar los microorganismos en el agua que pudieran afectar negativamente su calidad, causando, entre otras cosas, enfermedades debidas a la actividad microbiana. Debe notarse la diferencia entre desinfección y esterilización, la cual destruye todos los organismos (Hooper, 1987).

- Desinfección solar del agua (SODIS)

La desinfección solar del agua (SODIS) es una solución simple, de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento de agua para consumo humano a nivel doméstico, en lugares en los que la población consume agua cruda y microbiológicamente contaminada. El agua para consumo humano se obtiene exponiendo al sol por algunas horas el agua contaminada en botellas de plástico transparente de politereftalato de etileno (PET).

Los microorganismos patógenos son vulnerables a dos efectos de la luz solar: la radiación en el espectro de luz UV-A (longitud de onda 320-400nm) y el calor de la radiación infrarroja que calienta el agua a unos 50-55°C e inactiva bacterias y virus (incluyendo al *Vibrio cholerae*). Se produce una sinergia entre estos dos efectos, ya que el efecto combinado de ambos es mucho mayor que la suma de cada uno de ellos independientemente. No se conocen bien los mecanismos involucrados, pero se cree que el proceso induce cambios en los ácidos nucleicos de los microorganismos.

- Ebullición

La ebullición es uno de los métodos más eficaces y accesibles para la desinfección del agua. A pesar de esto, su uso en el medio rural está restringido por la creciente escasez de combustible, principalmente leña. En 1987, el consumo total de leña en el medio rural en México fue de 15.69 millones de toneladas, cuyo uso se destinó principalmente a la preparación de alimentos y al calentamiento del agua como

segunda prioridad (SEMIP, 1988). Desde el punto de vista ambiental, se espera que las restricciones en contra del uso de la leña aumenten para prevenir una mayor deforestación, sobre todo en las zonas con problemas agudos de erosión.

- Cloración

Es un tratamiento común entre la población para potabilizar agua. El cloro elimina muchos microorganismos y virus, evita coloración y sobre todo tiene efecto residual. La cloración incluye el uso de cloro gaseoso (Cl_2) y sus derivados, como: hipoclorito de sodio ($NaClO$) en solución, hipoclorito de calcio ($Ca(ClO)_2$) sólido y dióxido de cloro (ClO_2) en solución. Cada uno requiere parámetros especiales de operación, como tiempo de contacto, pH del agua y concentración, que deben ser especificados por el fabricante.

4.3 Evaluación de funcionamiento de huerto asistido con TRN

Para evaluar el funcionamiento del huerto familiar con TRN, se presentan los resultados del cultivo realizado en una de las viviendas beneficiadas, resultando lo siguiente:

El beneficiario decidió sembrar calabaza, en este caso es importante mencionar que la siembra de calabaza es recomendable hacerla a partir de marzo o abril para cosecharla en septiembre. En este caso se realizó siembra directa, en cuanto a los requerimientos de suelo, la calabaza es poco exigente, adaptándose con facilidad.

Los requerimientos de riego son por periodos cortos de tiempo, pero frecuentes, teniendo cierta humedad constante, teniendo cuidado de no encharcar el terreno, necesitan muchas horas de luz, así que el huerto cerca de la vivienda es un sitio donde pueden obtenerla. La calabaza se desarrolla adecuadamente a una temperatura de entre 20° y 30° C. Algunos de los cultivos compatibles con la calabaza son la col, lechugas, maíz, acelgas, judías o tomate, con estas combinaciones se aportan nutrientes al suelo que benefician a todas las plantas, así que pueden tomarse en cuenta para el máximo aprovechamiento de nutrientes.

La densidad de cultivo fue de 3 a 4 plantas por m^2 , recomendado por la carta técnica de cultivo de calabaza (SAGARPA), la superficie del huerto es de $12 m^2$; se plantaron en total 36 plantas. Para este caso se recomendó regar diariamente 60 minutos al día, es decir 3 riegos de 20 min a las 9 am, después a las 2 pm y por último a las 5 pm.

Se obtuvieron de 0.8 a 1kg de calabaza por planta es decir un aproximado de 30 a 35 kg.

De la implementación del huerto familiar con surcos se concluye que puede ser reemplazada y/o complementada, en lugar de utilizar surcos como se realizó (según la metodología), se recomienda el uso de cultivos familiares bio intensivos, con la finalidad de facilitar la implementación de una tecnología para mejorar la producción agrícola en un área cercana a la vivienda.

La palabra biointensivo se refiere al desarrollo biológico potente del suelo, mientras que el método biointensivo es un tipo de agricultura viable para la producción orgánica e intensa de alimentos, que no emplea maquinaria ni químicos. En la década de los ochenta del siglo pasado, en California, Estados Unidos, Ecology Action (Acción Ecológica) inició este método y ahora se usa en más de 130 países (SEMARNAT, 2010).

Se recomienda consultar el manual de SEMARNAT "El huerto familiar biointensivo. Introducción al método de cultivo biointensivo, alternativa para cultivar más alimentos en poco espacio y mejorar el suelo".



Figura 4.6 Pruebas de riego con TRN y llenado de TRN



Figura 4.7 Primer desarrollo vegetativo de la calabaza



Figura 4.8 Ejemplo de cultivo bio intensivo (propuesta para maximizar el espacio y rendimiento)

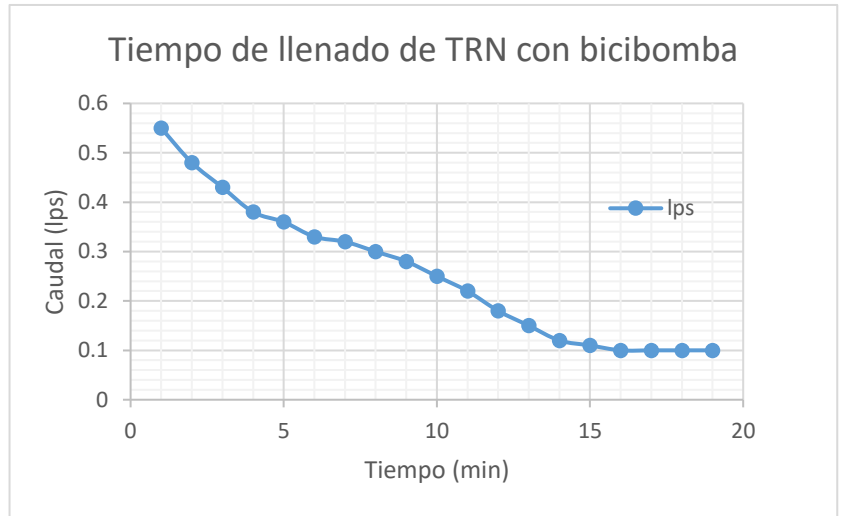
4.4 Evaluación de funcionamiento de bicibomba

Se realizaron pruebas de pedaleo y medición de caudal en las que se determinó un rango de operación de entre 0.2 lps hasta 0.5 lps, arrojando la siguiente tabla y curva de caudal para llenar un TRN de 200 litros.

Cuadro 4.20 Caudal f (velocidad)

Velocidad de pedaleo	Qmed (lps)
Lenta	0.1 - 0.2
Media	0.3
Rápida	0.4 - 0.5

Figura 4.9 Gráfica de Tiempo de llenado de TRN



Además, se bombe un caudal de 0.3 lps venciendo una carga hidráulica de 5m (Figura 4.10). lo que indica que la bicibomba funciona de manera correcta.

Si al operar la bicibomba no sale agua, se recomienda revisar que no haya ingresado aire a la manguera de succión, por lo que será necesario purgarla.

Se debe colocar la bomba lo más cerca posible a la fuente de succión y la descarga lo más cerca posible del área de almacenamiento o uso. Cuando se cambie la bicibomba de lugar, hay que purgar nuevamente.



Figura 4.10 Prueba de bombeo

4.5 Funcionamiento y adopción social de filtro de flujo lento y baño ecológico seco

De estas tecnologías podemos mencionar que el baño ecológico seco tuvo un gran éxito en la comunidad, pues el beneficiario comprende y aprovecha sus beneficios tales como el hecho de que no requieren agua, son higiénicos, su construcción es sencilla al igual que su mantenimiento, mientras sigan siendo bien manejados no emiten malos olores. Lo anterior se obtuvo mediante comunicación directa de los beneficiarios.

Por otro lado, es lamentable el bajo impacto logrado en el uso de la tecnología de filtro de flujo lento, pues el interés por este método de desinfección de agua para consumo humano resultó nulo en ésta comunidad, principalmente por los usos y costumbres, las familias prefieren consumir el agua directa de la cisterna, hervirla, clorarla o comprarla. Este aspecto tendrá que retomarse con una nueva estrategia durante su transferencia a futuro.

4.6 Beneficios

4.6.1 Económicos

La captación y almacenamiento de agua, permite a los beneficiarios reducir drásticamente la compra de pipas para uso doméstico lo cual representa un ahorro muy importante en el gasto familiar.

La producción de vegetales en el huerto familiar reduce la necesidad de comprar en el mercado local.

4.6.2 Sociales

Los integrantes de la familia experimentan un acceso más directo y cercano al agua en sus viviendas. Lo que representa un aumento directo en su calidad de vida, salud y bienestar social.

Se promueve el desarrollo rural y el mejoramiento de las condiciones socioeconómicas de las familias.

El acceso y disponibilidad de agua ha empezado a incidir en algunos cambios en los hábitos de uso y reúso.

Se ha visto favorecida la convivencia e integración familiar por el aumento en la disposición de tiempo.

Se eliminan prácticas comunes como la defecación al aire libre, que conlleva a enfermedades gastrointestinales, respiratorias y dermatológicas.

Con los huertos familiares se reducirán los problemas asociados con la desnutrición infantil por la producción con fines de autoconsumo e intercambio o comercialización de excedentes.

Se promueve la participación social en la solución de los problemas del manejo y desabasto de agua dentro de la comunidad

4.6.3 Ambientales

Reducción en la extracción de agua proveniente de otras fuentes.

Se eleva la calidad del aire al reducirse defecación, contaminación de patios y calles por aguas grises y negras.

Aprovechamiento de suelos con fines de cultivo doméstico en el huerto familiar.

Con el aumento de agua disponible se experimenta un cambio en el paisaje rural de la comunidad.

Se promueve el uso sustentable de los recursos naturales.

CONCLUSIONES

El trabajo de transferencia tecnológica mantuvo, aceptación e impactos técnicos, sociales y ambientales en la comunidad, gracias a la participación activa de los beneficiarios, con este proyecto se observa la posibilidad de cambiar hábitos y costumbres locales en beneficio de su entorno de bienestar social y ambiental. La aceptación de las tecnologías por parte de las familias, así como la efectividad de las mismas se puede considerar como muy satisfactoria. Estos factores están relacionados con la transferencia, funcionamiento, mantenimiento y conservación que dan las familias a las tecnologías, garantizando su durabilidad.

Durante el desarrollo de esta transferencia tecnológica, pudo observarse una participación femenina muy importante, sobre todo en las reuniones para tomar acuerdos. Se pudo detectar que las tecnologías apropiadas más idóneas para la comunidades de Palo Seco son, en primer lugar, el sistema de captación de agua de lluvia y cisterna de almacenamiento (de acuerdo a lo comunicado por los beneficiarios), el lavadero ecológico y el baño seco en segundo lugar, ya que anteriormente no se contaba con infraestructura de este tipo, en tercer lugar el huerto con TRN y finalmente las tecnologías que presentaron menor impacto por el poco o uso que los beneficiarios podían darles, fueron la bici bomba y el filtro de flujo lento, este último resulta complicado implementarlo ya que ocupa mucho espacio dentro de las viviendas, además los habitantes prefieren consumir agua de botella o garrafón, considerándose el filtro de flujo lento como innecesario para este caso de estudio.

Los aspectos de abastecimiento y saneamiento fueron en general muy altos y satisfactorios dentro del proyecto, lo que indica que ahora las familias cuentan con una cobertura de dotación y saneamiento importante, mejorando a mediano plazo su calidad de vida. Disponer de agua -en cantidad y calidad suficiente- permite crear condiciones dignas para el aseo e higiene diaria, las cuales son determinantes para que una familia o localidad acceda a una mejor calidad de vida.

Por otro lado, es lamentable el bajo impacto logrado en el uso de la tecnología de filtro de flujo lento, pues el interés por este método de desinfección de agua para consumo humano resultó nulo en ésta comunidad, principalmente por los usos y costumbres, las familias prefieren consumir el agua directa de la cisterna, hervirla, clorarla o comprarla. Este aspecto tendrá que retomarse con una nueva estrategia durante su transferencia a futuro.

Por lo general, son las mujeres (adultas, jóvenes y niñas) quienes realizan las labores de acarreo, ocupándoles gran parte de su tiempo y ocasionándoles malestares físicos como dolores de espalda y de piernas. Con la ejecución del proyecto, disminuirán significativamente los malestares físicos ocasionados por el acarreo, como dolores de espalda y piernas, seguramente se reducirán las enfermedades de la población atribuibles al consumo del agua. Estos beneficios por la falta de información y dificultad para estimarse, se consideran en este estudio como “intangibles”.

El problema del abastecimiento del agua en las comunidades rurales es una situación que seguramente seguirá existiendo en nuestro país. Las acciones del gobierno resultan insuficientes ante la magnitud del problema. Por consecuencia, se requiere continuar con la implementación de tecnologías de bajo costo y fácil instalación para la población rural, que es la más vulnerable y la que más se expone a las enfermedades relacionadas con el uso y consumo de agua de mala calidad por falta del recurso, en calidad y en cantidad suficiente.

La falta de abastecimiento por métodos convencionales y falta de recursos financieros (o su inadecuada administración), crea la situación idónea para el desarrollo e implementación de tecnologías simples, eficientes y de bajo costo, pero a la vez, socialmente adoptadas por la población.

El abastecimiento de agua a través de la captación de lluvia, en zonas donde la precipitación es viable para esta alternativa, sugiere que cada día se incorporen más instituciones privadas y públicas comprometidas con el bienestar y mejora en la calidad de vida de quienes menos tienen. Por lo tanto, esto nos da la impresión de que el problema es finito y, a un largo plazo, superable.

La utilización de tecnologías para el manejo integral del agua en comunidades rurales trae beneficios enormes en poblaciones que carecen de un sistema de abastecimiento de agua potable. La principal desventaja en el caso de los SCALLs es que dependen de la temporada de lluvias y de la intensidad con que estas se presenten.

La gestión sustentable del agua es esencial para erradicar la pobreza y permitir a la gente vivir una vida más sana y más productiva, involucrándola de manera informada, comprometida y activa en la solución local con impacto regional, trascendiendo en un modelo de vida para las nuevas generaciones que tendrán, seguramente, viviendas con tecnologías alternativas.

Para asegurar el apropiamiento es indispensable capacitar a la población para el manejo integral del recurso: protección de las fuentes de agua, captación de agua, abastecimiento, tratamiento para contar con la calidad de agua requerida para consumo humano, tratamiento del agua residual y reúso en actividades productivas; todo esto, considerando el alto beneficio social, económico y ambiental.

RECOMENDACIONES

La implementación de tecnologías apropiadas es recomendable llevarla a cabo en comunidades que no cuenten con una fuente de abastecimiento y almacenamiento eficiente. El diagnóstico de la situación actual de una comunidad debe hacerse orientado hacia la mejora de indicadores particulares de cada comunidad, deberán ser indicadores concretos, visibles, cuantificables y medibles (dotación anterior vs actual, frecuencia de actividades de higiene, conocimiento previo vs actual, etc.)

Es necesario iniciar con un cálculo lo más aproximado de la precipitación aprovechable en el análisis descriptivo de la zona de estudio, además debe aprovecharse la mayor área de captación posible, para maximizar los resultados esperados.

Es muy beneficioso delegar a un encargado o un comité que sea la representación directa con el proveedor de la tecnología, de esta manera es posible facilitar la comunicación y aprovisionamiento de materiales, resolver dudas, incertidumbres, etc. También es conveniente identificar a los beneficiarios que posean habilidades y conocimientos útiles para la transferencia tecnológica, para aumentar la velocidad de avance.

Se debe buscar una estrategia eficiente para difundir la información al realizar talleres demostrativos con la terminología adecuada que pueda ser fácilmente comprendida por los habitantes de una comunidad donde se vaya a realizar un proyecto de este tipo.

No sólo es importante la transferencia tecnológica, es más importante aún la transferencia de los conocimientos para la adecuada implementación de las propias tecnologías. Resulta indispensable, crear en el usuario un amplio sentido de pertenencia lo cual será posible solo si es consciente de las ventajas de las tecnologías y comprende su funcionamiento, además deberán ser sensibilizados y motivados a mejorar las condiciones de vida en la que se encuentran junto con sus familias, tomando en cuenta los factores cognitivos, técnicos, ambientales, económicos y organizativos que son fundamentos base para la sostenibilidad e incidirán en el éxito o fracaso de su aceptación e incorporación.

REFERENCIAS

1. Anaya G., 2008. Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia. Innovaciones tecnológicas ante el cambio climático. Centro Internacional de demostración Y capacitación en aprovechamiento del Agua de Lluvia.
2. Anaya G., 2010. Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano, producción de traspatio, ambientes controlados, agricultura de temporal y recarga de acuíferos. CIDECALLI-CP 2010. México 2010.
3. Agencia estatal de meteorología de España
<http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/provincias/ayuda>
4. Ballén J., 2006. Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua. João Pessoa, Brasil. 5 a 7 de junio. Disponible en:
<http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoH.pdf>
5. Captación en el mundo
http://hidropluviales.com/wp-content/uploads/2012/11/Berlin_Potsdamer_Platz_1.jpg
6. CEPIS-OPS-COSUDE, 2004. Guía para el diseño y construcción de captación en manantiales. Capítulo II. Fuentes de abastecimiento, tipos de sistemas y periodos de diseño.
7. CONAGUA, 2015. Estadísticas del agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Comisión Nacional del Agua. Ediciones. 2013-15.
8. CONAGUA, 2012. Regiones Hidrológico Administrativas (RHA). Atlas digital del agua en México
9. CONAGUA, 2015. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento 2015. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado.
10. CONAPO-INEGI, 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. Programa Nacional Hídrico 2014-2018
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5339732&fecha=08/04/2014
11. Córdova, M., 2007. Desarrollo, evaluación, difusión y transferencia de tecnologías apropiadas en materia de agua para comunidades rurales y periurbanas marginadas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Hidráulica.
12. Córdova, M., 2007. Tecnologías apropiadas en materia de agua en comunidades rurales periurbanas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Hidráulica.
13. Córdova, M., 2009. Tecnologías apropiadas en materia de agua para comunidades rurales marginadas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Hidráulica.
14. Córdova, M., 2015. *Manual de sistemas de captación de agua de lluvia nivel vivienda. IMTA 2015.*
15. De Rus, G., O. Betancor and J. Campos, 2007. *Manual de Evaluación Económica de Proyectos de Transporte.* Banco Interamericano de Desarrollo. Washington DC.

16. Diario Oficial de la Federación, 2000. Modificación a la norma oficial mexicana nom-127-ssa1-1994 Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Normas oficiales mexicanas SSA. 22 de noviembre, 2000.
17. Distribución global del agua: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html#global>
18. El agua, sus diferentes usos y conservación: <http://www.portaleducativo.net/segundo-basico/392/El-agua-sus-diferentes-usos-conservacion>
19. El ciclo del agua <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.htm>
20. El derecho humano al agua y al saneamiento http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
21. FAO, 2000. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia” René Van Veenhuizen y Matías Prieto-Celi. Editado por La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Santiago de Chile, 2000.
22. FAO, 2011. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. El Estado de los Recursos de Tierras y Aguas del Mundo para la Alimentación y la Agricultura (SOLAW) <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf>
23. FAO, 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile
24. FAO-Aquastat, 2012. *Sistema de Información sobre el Uso del Agua en la Agricultura y el Medio Rural de la FAO.* Disponible en: www.fao.org/nr/water/aquastat/data/.
25. Frank, R.H., 2000. “Why is cost-benefit analysis so controversial?”, en Adler, M.D. and Posner, E.A (ed.). *Cost-benefit analysis: legal, economic and philosophical perspectives*. The University of Chicago Press.
26. Gleick, P. H., 1996: Water resources. In *Encyclopedia of Climate and Weather*, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823
27. Harberger, A.C.,1972. “On Measuring the Social Opportunity Cost of Public Funds”. In: *Project evaluation: Collected papers*. Chicago: University of Chicago Press.
28. Herrera A., 2010. Estudio de alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia. Instituto Politécnico Nacional.
29. Importancia del agua en los seres vivos <http://importanciadelagua.biz/importancia-del-agua-en-seres-vivos>
30. Importancia del agua para la vida <http://importanciadelagua.biz/importancia-del-agua-en-la-vida>
31. INAH, 2000. Revista de Divulgación del Patrimonio Cultural de Yucatán. México.

32. INECC, 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Mortalidad por enfermedades diarreicas en cuencas hidrográficas.
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/639/mortalidad.pdf>
33. Jouravlev A., 2011. Lineamientos de política pública para el sector de agua potable y saneamiento, junio 2011.
34. La casa ecológica <https://www.imta.gob.mx/index.php/hidraulica/la-casa-ecologica>
35. MEA, 2005. *Ecosystems and human well-being: Our human planet. Summary for Decision Makers. Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press. Washington D.C. 2005.
36. Medición de la precipitación <http://es.slideshare.net/aurayudis/factores-agroecologicos-clima>
37. Moncho, R.; Belda, F; Caselles, V. 2009. *Climatic study of the exponent "n" in IDF curves: application for the Iberian Peninsula* (pdf). Tethys, n.º6: 3-14. DOI: 10.3369/tethys.2009.6.01.
38. OMS, 2008. Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales. Organización Panamericana de la Salud.
39. OMS, 2009. Cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico. Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud.
40. OPS-OMS, 2004. Cooperación Alemana al Desarrollo. Tecnologías apropiadas en Agua y Saneamiento. Curso de Auto instrucción. Lima, Perú.
41. Precipitación <https://www.ecured.cu/Precipitaci%C3%B3n#Clasificaci.C3.B3n>
42. Rainwater harvesting could save Australia billions
<http://www.eco-business.com/news/rainwater-harvesting-could-save-australia-billions/>
43. Reutilización de agua en las viviendas. Aquae Fundación.
<http://www.iagua.es/2008/02/reutilizacion-de-agua-en-las-viviendas>
44. SEMARNAT, 2012. Informe de la situación del medio ambiente en México. Disponible en http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_1_2.html#a1
45. SEMARNAT, 2014. Estadística Climatológica de la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).
46. SEMARNAT, 2014. Tecnologías apropiadas para el manejo integral del agua en el sector rural. IMTA-SEMARNAT.
47. Sen, A., 2000. "The discipline of cost-benefit analysis", en Adler, M.D. and Posner, E.A (ed.). *Cost-benefit analysis: Legal, economic and philosophical perspectives*. The University of Chicago Press. Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América latina y el Caribe, manual técnico. Instituto Interamericano De Cooperación Para La Agricultura (IICA), Costa Rica, 1998.
48. SOLARIS <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=1634>

49. Souto, G., 2001. Trabajo y capital en la evaluación pública de proyectos, Madrid: Instituto de Estudios Fiscales, Serie Investigaciones VI/2001.
50. Toledo, A., 2006. Agua, hombre y paisaje. Instituto nacional de ecología y cambio climático UNESCO, 2015. Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales.
51. WRI, 1999. Water: Critical shortages ahead En: WRI, UNEP, UNDP, y WB. World Resources 1998-99: Environmental change and human health. 1999. Disponible en: http://pubs.wri.org/pubs_content_text.cfm?ContentID=1030.
52. WWAP, 2015. United Nations World Water Assessment Programme - World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris, UNESCO.
53. WWAP, IGRAC, 2014. International Groundwater Resources Assessment Center / Centro Internacional de Evaluación de los Recursos de Aguas Subterráneas.

12. De donde se abastecen de agua:

Para uso: Llave pública ó hidrante Acarreo de otra vivienda Río, lago, arroyo, manantial Pozo Pipa Pluvial No especificado

Para beber: Llave pública ó hidrante Acarreo de otra vivienda Río, lago, arroyo, manantial Pozo Pipa No especificado Pluvial Embotellada

13. Desinfectan el agua: (Si) / (No)

Hervir..... <input type="checkbox"/>	Cloran... <input type="checkbox"/>	Plata coloidal (Microdyn)... <input type="checkbox"/>
Otro: _____		

14. Cuanto tiempo al día destina al acarreo del agua:

- 1 a 30 minutos
- 31 a 60 minutos
- 61 a 90 minutos
- 91 a 120 minutos
- Más de 120 minutos

Quien lo hace (hombre , mujer , niños)

15. En caso de comprar agua embotellada o pipas. Estimar lo que gastan. (Pesos)

Agua embotellada

Costo Garrafón \$ _____ No. Garrafrones X semana _____

Pipas

Pipa Particular \$ _____ Pipa Ayuntamiento \$ _____

No de pipas al año _____ Gasto al año _____

Donde almacenan el agua

Piletas..... <input type="checkbox"/>	Cisterna..... <input type="checkbox"/>
Cubeta..... <input type="checkbox"/>	Capacidad _____
Tinaco..... <input type="checkbox"/>	Tambo..... <input type="checkbox"/>
Otro: _____	

16. Indique de que se enferman (hombres H, mujeres, M y niños N) y cada cuanto.

	Adultos	Niños	Cada cuanto
Diarreas y problemas estomacales			
Enfermedades de la piel			
Enfermedades respiratorias			

17. ¿Con que frecuencia se bañan los miembros de la familia?

Adultos: _____ Niños: _____

18. ¿Donde descargan el agua que utilizan para el lavado de ollas, platos, cubiertos y ropa?

- Suelo Drenaje Lago
- Río Barranca Plantas

19. Problemas ambientales para verificar por el entrevistador

Agua estancada en los alrededores de la vivienda.....	<input type="checkbox"/>
Excretas.....	<input type="checkbox"/>
Basura.....	<input type="checkbox"/>

20. ¿Ha sido beneficiado con algún programa social?

Indique: _____

21. ¿Algún miembro de la familia participa en trabajo comunitario?

Indique _____

22. Modo de construcción de las tecnologías

Estaría dispuesto a construir sus propias tecnologías.....	<input type="checkbox"/>
Estaría dispuesto a ayudar a sus vecinos.....	<input type="checkbox"/>
Contrataría a un albañil.....	<input type="checkbox"/>
Otro: _____	

23. Tecnologías que se podrían transferir

Cuenta con el espacio adecuado para la construcción de cisterna 20m ³ <input type="checkbox"/> (16m ²)	(Si) / (No)
Cuenta con el techo adecuado para la captación de agua de lluvia	(Si) / (No)
Cuenta con el espacio adecuado para la captación de agua de lluvia 20m ³ <input type="checkbox"/> Hasta 35m ²	(Si) / (No)
Cuenta con el espacio adecuado para la construcción del Baño seco (4m ²)	(Si) / (No)
Cuenta con el espacio adecuado para la construcción del Lavadero ecológico (5x3m ²)	(Si) / (No)
Cuenta con el espacio adecuado para la construcción del Filtro de Flujo Lento (FFL):	(Si) / (No)
Cuenta con el espacio adecuado para la construcción del Huerto Familiar hasta 48 m ² (6 x 8 m)	(Si) / (No)

24. Croquis de la vivienda: (dibujar la distribución de la vivienda con el predio)

ANEXO II. Memoria fotográfica del curso taller y del proceso constructivo



Fotografías 1 y 2. Construcción de muro capuchino



Fotografías 3 y 4. Construcción de lavadero ecológico



Fotografías 5 y 6. Fabricación de TRN



Fotografía 7. Instalación de SCALL



Fotografía 8. Huerto familiar



Fotografías 9, 10 y 11. Filtro de flujo lento, baño seco y bici bomba