



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

*“SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA, COMO
ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE Y
APROVECHAMIENTO DE LA MISMA”*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

JORGE ALEJANDRO CORIA MARTÍNEZ

ASESOR:

M. I. ELIZABETH PAULINE CARREÑO ALVARADO

JULIO DEL 2012, MORELIA MICHOACÁN

TLALOC: AUTOR: RAFAEL SÁNCHEZ DE ICAZA



DEDICATORIAS:

A mi Madre:

Ana María Martínez Nuñez, quien me dio la vida y ha sido el motor que me ha empujado a continuar estos años, por acompañarme en los buenos y malos momentos y que gracias por su infinito amor, cariño, comprensión y apoyo incondicional he podido llegar hasta este momento.

Gracias por todo mamá, por darme una carrera y por creer en mí.

A mi Hermana:

Gabriela Ivonne Coria Martínez, por aconsejarme y ser mi guía para estudiar, por estar conmigo y apoyarme siempre, gracias de verdad, ya que no solo me has motivado sino has sido mi modelo a seguir.

A mi Padre:

Gabriel Coria Uribe, a ti por haber sido mi inspiración para estudiar tan hermosa carrera "Ingeniería Civil", gracias por enseñarme el camino.

A mi Pareja:

Omayra Jannelly Díaz García, por el tiempo el apoyo y aliento durante esta etapa tan valiosa de mi vida

A mi familia muchas gracias, hoy este trabajo es por ustedes y para ustedes, ¡GRACIAS!



AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo mi alma Máter por abrirme las puertas y a la Facultad de Ingeniería Civil, por formarme profesionalmente con un espíritu de servicio a la comunidad y elevadas normas éticas; en donde he pasado parte de mi vida, no me queda más que agradecerle a esta institución y ofrecerle todo mi esfuerzo para poner muy en alto su nombre en donde quiera que me encuentre.

A mis sinodales:

*M. I. Juan Pablo Molina Aguilar
Ing. Jorge Leonel Angel Hurtado
Por sus consejos y valiosa colaboración durante la revisión de esta tesis y por su amistad brindada la cual continuara aun cuando ya haya egresado*

A mi Asesora de tesis:

M. I. Elizabeth Pauline Carreño Alvarado por ser Asesora, Tutora y Amiga, por sus consejos, tiempo y apoyo incondicional en la elaboración de esta tesis y durante mis días de estudiante.



RESUMEN

Tomando en cuenta la cantidad de agua con que contamos actualmente y en donde podemos apreciar que la demanda ha sobrepasado la disponibilidad del vital líquido, hoy sabemos que la disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km³, de los cuales el 97.5% es agua salada y solo el 2.5% es decir 35 millones de km³, es de agua dulce. De esta cantidad casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo.

Por lo que la captación de agua de lluvia viene a ser un método para abastecernos de un poco más de este vital líquido, este que es un sistema ancestral ha sido practicado en diferentes épocas y culturas. Resulta ser un medio fácil y sensato de obtener agua para el consumo humano y para el uso agrícola. En aquellos lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se cuenta con la suficiente cantidad y calidad de agua para consumo humano, se puede recurrir al agua de lluvia como fuente de abastecimiento.

El agua de lluvia puede ser interceptada, colectada y almacenada en depósitos especiales para su uso posterior. Esto haría posible el hacer más llevadero el tiempo de secas y en un futuro sobrevivir el periodo de estiaje sin tanto conflicto, el suministro del vital líquido en aquellas viviendas o regiones que no cuentan con un sistema de agua potable adecuado o que en su defecto este servicio es de costo elevado, esto como consecuencia del mal uso del agua y por factores tales como la deforestación masiva en el planeta, el agua irá escaseando progresivamente lo cual significa que en un futuro no muy lejano, el sistema de captación de agua de lluvia será un mecanismo de sobrevivencia. Factores que se toman en cuenta en un sistema de captación de aguas pluviales:

- ▮ Precipitación media por año
- ▮ Precipitación mínima por año
- ▮ Precipitación máxima por día
- ▮ Consumo diario
- ▮ Superficies recolectoras
- ▮ Espacio para el almacenamiento
- ▮ Red de abastecimiento o distribución

En el contexto doméstico podemos decir que la captación de lluvia, se puede utilizar la superficie del techo como captación. A este sistema se le conoce como el modelo SCAPT (Sistema de captación pluvial en techos). La ventaja de este sistema es que además de su captación, minimiza la contaminación del agua. Nota: Para uso agrícola, se requieren de mayores superficies de captación, por lo que se requiere de superficies permeables extensas, para coleccionar la mayor cantidad de agua posible.

Características funcionales:

La cosecha de agua se determina por la superficie captadora. Entre mayor sea la superficie mayor será la captación pluvial. Por lo general se utiliza la azotea de una casa.

Las tuberías utilizadas para el desalojo de agua pluvial pueden ser utilizadas para los sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia. El filtro es el componente más importante en un sistema de captación pluvial. Dicho filtro debe de tener a capacidad de retener las partículas orgánicas y minerales encontradas en la superficie captadora y en la lluvia. Su funcionamiento debe de ser auto-purgante para no requerir de mayor mantenimiento y limpieza.



La cisterna, aunque similar a una cisterna de agua potable tiene las siguientes diferencias constructivas:

- ▶ *Cuando no hay suficiente precipitación, debe de recibir agua de la cisterna de agua potable.*
- ▶ *Debe de tener una salida de seguridad que permita filtrar a la canalización o a una superficie libre el exceso de agua.*
- ▶ *La superficie flotante debe de estar debajo de una malla para evitar la succión de sedimentos y partículas.*

El tamaño de la cisterna se calcula basándose en datos estadísticos de precipitación pluvial, dimensión de superficie captadora y la cantidad requerida de agua para la vivienda o edificación, para el sistema de bombeo se puede aplicar un sistema hidroneumático y/o un tinaco, también es posible instalar bombas mecánicas y/o de tracción, finalmente la tubería de distribución no difiere de un sistema tradicional y puede ser instalada por un plomero.

Ventajas sociales y Ambientales:

- ▶ *Alta calidad físico-química del agua de lluvia.*
- ▶ *Ideal para comunidades dispersas o alejadas debido a que es un sistema independiente.*
- ▶ *Empleo de mano de obra.*
- ▶ *Materiales locales.*
- ▶ *El sistema no requiere de energía para su operación.*
- ▶ *De fácil mantenimiento.*
- ▶ *Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.*
- ▶ *Conservación de los recursos acuíferos.*
- ▶ *Evita la saturación de sistemas de tubería en las ciudades.*



ÍNDICE

RESUMEN -----	4
INDICE -----	6
LISTADO DE FIGURAS -----	8
LISTADO DE GRAFICAS -----	12
LISTADO DE IMÁGENES -----	14
LISTADO DE MAPAS -----	18
LISTADO DE TABLAS -----	20
NOMENCLATURAS -----	25
INTRODUCCIÓN -----	27
1 EL AGUA EN EL MUNDO -----	28
1.1 EL CICLO DEL AGUA (HIDROLOGICO)-----	36
1.1.1 LA PRECIPITACIÓN-----	36
1.1.2 DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL MUNDO-----	39
1.1.3 USOS DEL AGUA DULCE-----	41
1.1.4 USOS DEL AGUA DE LLUVIA-----	42
1.1.5 SITUACION DEL AGUA EN MÉXICO-----	43
1.1.6 SITUACION DEL AGUA EN MICHOACAN-----	53
1.1.7 EL AGUA Y EL CAMBIO CLIMATICO-----	66
1.2 DEFINICIONES DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA-----	68
1.3 IMPULSO DE NUEVAS ALTERNATIVAS PARA EL SUMINISTRO DE AGUA-----	69
1.4 DESARROLLO SOSTENIBLE Y USO SUSTENTABLE DEL AGUA-----	70
1.5 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO-----	71
1.5.1 OBJETIVO GENERAL-----	71
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS-----	71
2 ANTECEDENTES -----	72
2.1 BREVE HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA-----	72
2.2 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA, EN EL MUNDO-----	75
2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE CAPITACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN MÉXICO-----	80
2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA-----	84
2.5 DISCUSIÓN GENERAL-----	93
3 CONSIDERACIONES PARA DISEÑO DE LOS SCALL -----	97



3.1	APLICACIÓN	97
3.2	FACTIBILIDAD	98
3.2.1	DETERMINACION DE LA DEMANDA DE AGUA	99
3.2.2	CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL NETA	100
3.3	COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA	101
3.4	MATERIALES	102
3.4.1	AREA DE CAPTACIÓN	102
3.4.2	RECOLECCION Y CONDUCCIÓN	107
3.4.3	INTERCEPTOR Y FILTRO	1099
3.4.4	CAPTACION ÓPTIMA DEL TANQUE	121
3.4.5	ALMACENAMIENTO	125
3.4.6	BOMBEO / DISTRIBUCION	133
3.4.7	COSTOS	134
3.5	LA CANTIDAD DE AGUA QUE NECESITAMOS	136
4	EJEMPLOS DE CÁLCULO, DISEÑO Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	137
4.1	EJEMPLOS DE DISEÑO	137
4.1.1	METODO PROPUESTO POR EL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACION PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD (IPN-CIIDIR) OAXACA, MEXICO 2007	137
4.1.2	METODO DE LA UNIDAD DE APOYO TECNICO PARA EL SANEAMIENTO BASICO DEL AREA RURAL LIMA, PERU 2004	141
4.2	BREVE ANALISIS DE LOS EJEMPLOS	147
5	CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA	148
5.1	LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DEL AGUA	148
5.2	CARACTERISTICAS DEL AGUA DE LLUVIA ANTE OTROS TIPOS DE AGUA	150
5.3	CONTAMINACION DEL AGUA DE LLUVIA	152
5.4	ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA	154
5.4.1	DESINFECCION DEL AGUA DE LLUVIA	162
5.4.2	DESINFECCION QUIMICA	162
5.4.3	DESINFECCION POR EBULLICIÓN	165
5.4.4	DESINFECCION SOLAR	165
5.5	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SCALL	166
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	169
6.1	CONCLUSIONES	169
6.2	RECOMENDACIONES	169
	GLOSARIO	171
	REFERENCIAS	175



LISTADO DE FIGURAS

<i>FIGURA 1.1. EL CICLO DEL AGUA.-----</i>	<i>36</i>
<i>Fuente: http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html</i>	
<i>FIGURA 1.2. MECANISMOS QUE GENERAN EL EFECTO INVERNADERO EN EL PLANETA. -----</i>	<i>67</i>
<i>Fuente: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).</i>	
<i>FIGURA 2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS CHULTUNES. FIGURA 2.2. CHULTUM TIPO BÓVEDA. -----</i>	<i>75</i>
<i>Fuente: Chultunes en los alrededores de la laguna Yaxha, Petén. Calderón, México 2006.</i>	
<i>FIGURA 2.3. INSTALACIÓN PARA LA UTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA A NIVEL COMUNITARIO TOKIO, JAPÓN.-----</i>	<i>76</i>
<i>Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA).</i>	
<i>FIGURA 2.4. MODELO DE SISTEMA INTEGRAL DE GESTIÓN DEL AGUA. -----</i>	<i>77</i>
<i>Fuente: Eddea Arquitectura y Urbanismo, Sevilla, España.</i>	
<i>FIGURA 2.5. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA “HEALTHY HOUSE” EN TORONTO, CANADÁ. -----</i>	<i>79</i>
<i>Fuente: http://www.cmhc-schl.gc.ca/popup/hhtoronto/suppl.htm.</i>	
<i>FIGURA 2.6. DIAGRAMA DE CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA, TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS GRISES Y NEGRAS.-----</i>	<i>80</i>
<i>Fuente: COLPOS CIDECALLI-CP, 2006</i>	
<i>FIGURA 2.7. SISTEMA MODERNO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE LLUVIA -----</i>	<i>81</i>
<i>Fuente: Texas Water Development Board, 2004</i>	
<i>FIGURA 2.8. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA COLPOS-1 DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.-----</i>	<i>81</i>
<i>Fuente: CIDECALLI 2008.</i>	
<i>FIGURA 2.9. ESTANQUE PARA PECES DE ORNATO Y COMESTIBLES Y RIEGO DE HUERTO FAMILIAR COLPOS-2 DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO. -----</i>	<i>82</i>
<i>Fuente: CIDECALLI 2008.</i>	
<i>FIGURA 2.10. PLANTA PURIFICADORA DE AGUA DE LLUVIA COLPOS-3 DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.-----</i>	<i>83</i>
<i>Fuente: CIDECALLI 2008.</i>	
<i>FIGURA 2.11. ABREVADERO PARA PEQUEÑAS EXPLOTACIONES GANADERAS COLPOS-4 DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.-----</i>	<i>83</i>
<i>Fuente: CIDECALLI 2008.</i>	



FIGURA 2.12. CISTERNA PARA RIEGO EN INVERNADEROS COLPOS-5 COLEGIO DE POSTGRADUADOS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.-----	84
Fuente: CIDECALLI 2008.	
FIGURA 2.13. SISTEMAS SCALL. -----	85
Fuente: Sistemas de recuperación de agua de lluvia y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Tropical Agrícola (CATIE). Turrialba, Costa Rica, 2006.	
FIGURA 2.14. CAPTACIÓN EN MANANTIALES. -----	85
Fuente: Agua para vivir por Jeff Conant.	
FIGURA 3.1 SISTEMA ESTÁNDAR DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN TECHOS. -----	102
Fuente: http://is-arquitectura.es/nuevas-tecnologias-en-viviendas .	
FIGURA 3.2. PROYECCIÓN HORIZONTAL DEL TEJADO. -----	102
Fuente: Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento manual técnico.	
FIGURA 3.3. CROQUIS DEL ÁREA DE CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA EN UN HOGAR-----	106
Fuente: Gay A. L., 2008, CIDECALLI, México.	
FIGURA 3.4. POSICIÓN ADECUADA DE LAS CANALETAS. -----	107
Fuente: Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento, Manual técnico.	
FIGURA 3.5. CAPTACIÓN Y RECOLECCIÓN DE AGUA EN UN TECHO PLANO. -----	107
Fuente: Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento manual técnico	
FIGURA 3.6. MATERIALES Y FORMAS DE ALGUNAS CANALETAS. -----	108
Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso.	
FIGURA 3.7. CANALETAS CON MALLA PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN. -----	108
Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso.	
FIGURA 3.8. CANALETA CON REJILLA Y VÁLVULA PARA EL LAVADO DURANTE LAS PRIMERAS LLUVIAS -----	108
Fuente: CONAFOVI, 2005	
FIGURA 3.9. DETALLE DE INGRESO A INTERCEPTOR.-----	109
Fuente: Captación de agua de lluvia para consumo humano: especificaciones técnicas.	
FIGURA 3.10. FILTRO LENTO DE ARENA ESTÁNDAR. -----	111
Proyecto realizado en Nicaragua con apoyo de la agencia canadiense ACDT y la universidad de Calgary en el Municipio de Nandalme, Granada, Nicaragua	
FIGURA 3.11. DISPOSITIVO INTERCEPTOR DE LAS PRIMERAS AGUAS. -----	113
Fuente: Guía de diseño para captación del agua de lluvia.	



FIGURA 3.12. DISPOSITIVO INTERCEPTOR SIMPLE DE LAS PRIMERAS AGUAS. -----	113
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. Manual técnico.</i>	
FIGURA 3.13. DISPOSITIVO FIRST FLUSH: -----	114
<i>Fuente: Proyecto Experimental Una Sistema para Captar Aguas Pluviales y filtración para La Universidad de ECOSUR</i>	
FIGURA 3.14. FILTRO SOBRE ALMACENAMIENTO DE FERROCEMENTO. -----	114
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento manual técnico.</i>	
FIGURA 3.15. CARBÓN ACTIVADO. -----	114
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento manual técnico.</i>	
FIGURA 3.16. FILTRO CASERO CARPOM. -----	115
<i>Fuente: División de saneamiento ambiental, ministerio de salud. Tegucigalpa, honduras.</i>	
FIGURA 3.17. DISPOSITIVO COMBINADO. -----	115
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento manual técnico.</i>	
FIGURA 3.18. VISTAS DEL FILTRO HORIZONTAL. -----	116
<i>Fuente: Proyecto Experimental Una Sistema para Captar Aguas Pluviales y filtración para la Universidad de ECOSUR</i>	
FIGURA 3.19. FILTRO OPTIMAX-PRO. -----	116
<i>Fuente: GRAF Iberica.</i>	
FIGURA 3.20. CAPAS DE FILTRADO. -----	117
<i>Fuente: GRAF Iberica</i>	
FIGURA 3.21. FASES DE LIMPIEZA. -----	117
<i>Fuente: GRAF Iberica.</i>	
FIGURA 3.22. FILTRO AUTO LIMPIANTE MINIMAX -----	117
FIGURA 3.23. FILTRO INDUSTRIAL OPTIMAX EXTERNO -----	118
FIGURA 3.24. FILTRO INDUSTRIAL UNIVERSAL EXTERNO -----	118
FIGURA 3.25. FILTRO-UNIVERSAL EXTERNO -----	118
FIGURA 3.26. FILTRO BAJANTE 50 -----	119
FIGURA 3.27. FILTRO BAJANTE SIMPLE -----	119
FIGURA 3.28. FILTRO BAJANTE 100-----	119
FIGURA 3.29. FILTRO BAJANTE PREMIUM -----	119
FIGURA 3.30. FILTRO BAJANTE SEPARADOR DE HOJAS -----	120



FIGURA 3.31. FILTROS DE BAJANTE RECTANGULARES -----	120
FIGURA 3.32. FILTRO DE BAJANTE QUATTRO-----	120
FIGURA 3.33. VISTA EN PLANTA Y LONGITUDINAL DEL SEDIMENTADOR (CEPIS, 2005) -----	121
FIGURA 3.34. INSTALACIÓN DEL FILTRO MODULAR DE SEDIMENTOS -----	121
FIGURA 3.35. TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y SUS ELEMENTOS. -----	123
<i>Fuente: Proyecto Experimental: Un Sistema para Captar Aguas Pluviales y filtración para La Universidad de ECOSUR.</i>	
FIGURA 3.36. DIAGRAMA DE BOMBEO DE AGUA ALMACENADA -----	133
FIGURA 3.37. BOMBA EMAS-FLEXI. -----	133
<i>Fuente: Soluciones innovadoras para el suministro de agua en comunidades rurales dispersas de Honduras</i>	
FIGURA 3.38. CONTROL-BOMBA AQUA-SILENTIO. -----	134
FIGURA 3.39. CONSUMO DOMESTICO POR PERSONA.-----	136
FIGURA 4.1. ESTRUCTURA PARA TANQUE DE FERROCEMENTO. -----	140
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento manual técnico</i>	
FIGURA 5.1. LOS QUÍMICOS TÓXICOS LLEGAN AL AGUA DE MUCHAS MANERAS. -----	152
<i>Fuente: Agua para vivir por Jeff Conant.</i>	
FIGURA 5.2. ACTIVIDADES HUMANAS QUE PROPICIAN LA CONTAMINACIÓN. -----	152
<i>Fuente: Lluvia ácida, editado por el gobierno del distrito federal.</i>	
FIGURA 5.3. ESCALA DE POTENCIAL DE HIDROGENÓ (PH). -----	152
<i>Fuente: Lluvia acida, gobierno del distrito federal 1999.</i>	
FIGURA 5.4. FORMACIÓN DE LA LLUVIA ÁCIDA. -----	153
<i>Fuente: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/lluvia_acida.</i>	
FIGURA 5.5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA FIMEM. -----	158
<i>Fuente: IMTA 2004.</i>	
FIGURA 5.6. SISTEMA DE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS MODIFICADA (FIMEM). -----	160
<i>Fuente: IMTA 2004.</i>	
FIGURA 5.7. MÉTODOS DE DESINFECCIÓN. -----	162
<i>Fuente: Agua para vivir por Jeff Conant.</i>	
FIGURA 5.8. EQUIPO DE REACTIVOS PARA CLORO Y PH MÁS UN RECIPIENTE GRADUADO EN CM ³ .-----	163
<i>Fuente: Uso y mantenimiento de los aljibes. Capacitación en agua potable.</i>	



LISTADO DE GRAFICAS

GRAFICA 1.1. POBLACION MUNDIAL, SEGÚN REGIONES Y DESARROLLO -----	28
Fuente: UNDESA. World Population Prospects: The 2008 Revision. Medium Fertility variant, 2010-2050. Consultado en: http://esa.un.org/unpd/wpp2008/index.htm (15/07/2010)	
GRAFICA 1.2. FUENTE DE SUMINISTRO DE ENERGIA 2008 -----	31
Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de: ICOLD. World Register of Dams. Francia, 2003. World Commission of Dams. Dams and Development: A New Framework for Decision-making, Annex V, Sudáfrica, 2000.	
GRAFICA 1.3. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO PERCAPITA EN PAISES SELECCIONADOS (M ³ /HAB) -----	32
Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de: ICOLD. World Register of Dams. Francia, 2003. World Commission of Dams. Dams and Development: A New Framework for Decision-making, Annex V, Sudáfrica, 2000.	
GRAFICA 1.4. TARIFAS DOMESTICAS DE AGUA POTABLE, SANEAMIENTO E IMPUESTOS ASOCIADOS AL SERVICIO EN ALGUNAS CIUDADES DEL MUNDO (TARIFAS EN PESO/M ³ , PARA UN CONSUMO DE 15M ³ /MES) -----	35
Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. 2010. Elaborado a partir de: GWI. Global Water Tariff Survey 2008. Consultado en: www.globalwaterintel.com/survey2008.xls Para el caso de México: Conagua, Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. 2010. Nota: Valores en pesos. Paridad de cálculo de la tabla: 1 dólar = 13 pesos.	
GRAFICA 1.5. DISTRIBUCIÓN GLOBAL DEL AGUA. -----	39
Fuente: http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html	
GRAFICA 1.6. CONSUMO DE AGUA EN MÉXICO. -----	41
Fuente: Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. Manual técnico IPN 2007	
GRAFICA 1.7. CONSUMOS SUSTITUIBLES POR AGUA DE LLUVIA. -----	42
Fuente: Sistemas de recuperación de agua de lluvia, 2009.	
GRAFICA 1.8. VALORES MEDIOS ANUALES DE LOS COMPONENTES DEL CICLO HIDROLOGICO DE MEXICO (Km ³) -----	48
Nota: La precipitación media anual se refiere al periodo 1971-2000. Los valores restantes son medias reportadas al 2009. La recarga natural de acuíferos reportada en la gráfica más 9 km ³ de recarga incidental conforma la recarga media total. Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. 2010. Elaborado a partir de: Conagua. Subdirección General Técnica. 2010 Conagua. Subdirección General de Administración del Agua. 2010.	
GRAFICA 1.9. VARIACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA PER CÁPITA DEL AGUA DE 1950 A 2005 EN (M ³ /HAB/AÑO). -----	48
Fuente: Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT y CONAGUA 2008.	
GRAFICA 1.10. PRECIPITACION PLUVIAL, POR MES EN MEXICO. -----	50
Nota: Las sumas pueden no coincidir por el redondeo de las cifras. Fuente: Conagua. Coordinación del Servicio Meteorológico Nacional. 2010	



GRAFICA 1.11. DISTRIBUCIÓN DE VIVIENDAS SIN AGUA ENTUBADA EN LA REPÚBLICA MEXICANA.-----	50
<i>Fuente: Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, CIDECALLI 2008.</i>	
GRAFICA 1.12 VIVIENDAS CON AGUA ENTUBADA-----	58
<i>Fuente: El Reto del Suministro del Agua Potable Secretaría de Planeación y Desarrollo Estatal Michoacán 2002 – 2008 http://www.cplade.michoacan.gob.mx</i>	
GRAFICA 1.13. VIVIENDAS CON SERVICIO DE AGUA ENTUBADA-----	58
<i>Fuente: El Reto del Suministro del Agua Potable Secretaría de Planeación y Desarrollo Estatal Michoacán 2002 – 2008</i>	
GRAFICA 1.14. CAUDAL DE AGUA PARA CONSUMO DOMICILIARIO -----	59
<i>Fuente: El Reto del Suministro del Agua Potable Secretaría de Planeación y Desarrollo Estatal Michoacán 2002 – 2008</i>	
GRAFICA 1.15. COSTOS DE PRODUCCIÓN Y OPERACIÓN PESOS/M ³ -----	60
<i>Fuente: El Reto del Suministro del Agua Potable Secretaría de Planeación y Desarrollo Estatal Michoacán 2002 – 2008</i>	
GRAFICA 3.1. DEMANDA PARA DIFERENTES USOS DEL AGUA DE ACUERDO CON LOS CRITERIOS PLANTEADOS-----	99
GRAFICA 5.1. PH HISTÓRICO PERÍODO 1987–1998 -----	154
<i>Fuente: Lluvia acida, gobierno del distrito federal.</i>	



LISTADO DE IMÁGENES

<i>IMAGEN 1.1. TECNOLOGÍAS PARA AGUA POTABLE</i> -----	61
<i>Fuente: El Reto del Suministro del Agua Potable Secretaría de Planeación y Desarrollo Estatal Michoacán 2002 – 2008</i>	
<i>IMAGEN 1.2. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA COLPOS-3CISTERNA PARA PLANTA PURIFICADORA (2,000 M³)</i> -----	64
<i>IMAGEN 1.3. MUNICIPIOS MICHOACANOS</i> -----	65
<i>IMAGEN 1.4. CISTERNA TIPO CAPUCHINA. PÁTZCUARO, MICHOACÁN 11,000 LITROS</i> -----	66
<i>A. IMAGEN 2.1 SASSI DE MATERA, ITALIA UN PUEBLO ABSOLUTAMENTE ESCULPIDO EN ROCA.</i> -----	73
<i>Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 1999.</i>	
<i>B. IMAGEN 2.2 ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA VERTICAL DE SASSI DE MATERA, ITALIA.</i> -----	73
<i>Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 1999.</i>	
<i>C. IMAGEN 2.3 CISTERNA A CIELO ABIERTO PARA LA RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA EN LA REPÚBLICA DE YEMEN.</i> -----	73
<i>Fuente: Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia, Colombia 2006.</i>	
<i>IMAGEN 2.4 ELEMENTOS DEL CHULTUN: ÁREA DE CAPTACIÓN, CANALETAS Y DEPÓSITO.</i> -----	74
<i>Fuente: Estudio antropológico sobre sistemas de riego y captación de agua, IMTA 2004.</i>	
<i>IMAGEN 2.5. MINI REPRESAS EN CÁRCAVAS.</i> -----	87
<i>Fuente: CATIE Turrialba, Costa Rica, 2006.</i>	
<i>IMAGEN 2.6. LAGUNA CON TALUD DE PIEDRA, ARENA Y CEMENTO.</i> -----	87
<i>Fuente: CATIE Turrialba, Costa Rica, 2006.</i>	
<i>IMAGEN 2.7. LAGUNA REVESTIDA CON POLIETILENO PARA CULTIVO DE PECES.</i> -----	87
<i>Fuente: CATIE Turrialba, Costa Rica, 2006.</i>	
<i>IMAGEN 2.8. DIQUE CON GAVIONES.</i> -----	88
<i>Fuente: CATIE Turrialba, Costa Rica, 2006.</i>	
<i>IMAGEN 2.9. VISTA LATERAL DE UN DIQUE DE SACOS CON ARENA Y PLÁSTICO.</i> -----	88
<i>Fuente: CATIE Turrialba, Costa Rica, 2006.</i>	
<i>IMAGEN 2.10. VISTA LATERAL DE DIQUES DE PIEDRA UBICADOS SEGÚN LA PENDIENTE.</i> -----	88
<i>Fuente: CATIE Turrialba, Costa Rica, 2006.</i>	
<i>IMAGEN 2.11. ATAJADOS.</i> -----	88
<i>Fuente: CATIE Turrialba, Costa Rica, 2006.</i>	



IMAGEN 2.12. HONDONADAS.-----	89
<i>Fuente: CATIE Turrialba, Costa Rica, 2006.</i>	
IMAGEN 2.13. CAPTACIÓN DE AGUA IN SITU PARA CULTIVOS ANUALES.-----	89
<i>Fuente: CATIE Turrialba, Costa Rica, 2006.</i>	
IMAGEN 2.14. ZANJA REVESTIDA.-----	89
<i>Fuente: CATIE Turrialba, Costa Rica, 2006.</i>	
IMAGEN 2.15. TERRAZAS DE CULTIVO.-----	89
<i>Fuente: CATIE Turrialba, Costa Rica, 2006.</i>	
IMAGEN 2.16. ANILLO DE CAPTACIÓN EN CERROS.-----	90
<i>Fuente: Instituto Nicaraguense De Tecnologia Agropecuaria (INTA) Somoto, Nicaragua.</i>	
IMAGEN 2.17. FRANJAS FILTRANTES.-----	90
<i>Fuente: Departamento de Ing. Hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.</i>	
IMAGEN 2.18. SUPERFICIES PERMEABLES.-----	90
<i>Fuente: Departamento de Ing. Hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia</i>	
IMAGEN 2.19. DIAGRAMA DE DREN FILTRANTE.-----	90
<i>Fuente: Departamento de Ing. Hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.</i>	
IMAGEN 2.20 HUMEDAL.-----	91
<i>Fuente Departamento de Ing. Hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.</i>	
IMAGEN 2.21. CUNETAS VERDES.-----	91
<i>Fuente: Departamento de Ing. Hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.</i>	
IMAGEN 2.22. DEPÓSITOS DE INFILTRACIÓN.-----	91
<i>Fuente: Departamento de Ing. Hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.</i>	
IMAGEN 2.23. DEPÓSITOS DE DETENCIÓN EN SUPERFICIE.-----	91
<i>Fuente: Departamento de Ing. Hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.</i>	
IMAGEN 2.24 ESTANQUE DE RETENCIÓN.-----	92
<i>Fuente: Departamento de Ing. Hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.</i>	
IMAGEN 2.25. CUBIERTAS VEGETADAS.-----	92
<i>Fuente: Departamento de Ing. Hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia</i>	



IMAGEN 2.26 CAPTA NIEBLAS. -----	93
<i>Fuente: XV Congreso Nacional De Hidráulica Oaxaca, México, 1998.</i>	
IMAGEN 3.1. ÁREA DE CAPTACIÓN DE AZULEJOS DE CERÁMICA DE ARCILLA. -----	103
<i>Fuente: Proyecto Experimental: un sistema para captar aguas pluviales y filtración para la Universidad de ECOSUR.</i>	
IMAGEN 3.2. TECHOS DE ESCUELAS UTILIZADOS COMO ÁREAS DE CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA. -----	104
IMAGEN 3.3. TECHO DE CUENCA EN LA COMUNIDAD DEL TECONGO, AGUASCALIENTES -----	104
IMAGEN 3.4. LADERA RECUBIERTA CON GEOMEMBRANA DE PVC ACONDICIONADA -----	104
IMAGEN 3.5 VIVIENDA RURAL DONDE SE PLANTEÓ EL PROYECTO SCALL -----	106
<i>Fuente: Gay A. L., 2008, CIDECALLI, México.</i>	
IMAGEN 3.6. TANQUES SUPERFICIALES DE PVC Y TANQUES ENTERRADOS DE LÁMINA GALVANIZADA. -----	126
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento manual técnico.</i>	
IMAGEN 3.7. TANQUE DE FERROCEMENTO. -----	127
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso.</i>	
IMAGEN 3.8. TANQUE DE CONCRETO. -----	128
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso.</i>	
IMAGEN 3.9. TANQUE DE TABIQUE – CEMENTO. -----	128
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso.</i>	
IMAGEN 3.10. CISTERNAS REVESTIDAS CON GEOMEMBRANA DE PVC -----	128
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso.</i>	
IMAGEN 3.11. CISTERNA DE METAL. -----	129
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso</i>	
IMAGEN 3.12. CISTERNA DE POLIETILENO. -----	129
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso.</i>	
IMAGEN 3.13. CISTERNA DE MADERA DE PINO CON TENSORES, PARA ALMACENAR 5 M ³ -----	129
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso.</i>	
IMAGEN 3.14. TANQUE SOTERRADO CARAT. -----	130
<i>Fuente: Sistemas de recuperación de agua de lluvia.</i>	
IMAGEN 3.15. TANQUE CILÍNDRICO DE FERROCEMENTO. -----	132
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento manual técnico.</i>	



<i>IMAGEN 5.1. SISTEMA A NIVEL DOMICILIARIO DE AGUA DE LLUVIA EN JUMILTEPEC, MORELOS.</i> -----	157
<i>Fuente: IMTA 2004.</i>	
<i>IMAGEN 5.2. SISTEMA FIMEM, PLANTA GENERAL Y EJES DE TRAZO.</i> -----	158
<i>Fuente: IMTA 2004.</i>	
<i>IMAGEN 5.3. PRUEBA DE JARRAS.</i> -----	159
<i>Fuente: IMTA 2004.</i>	
<i>IMAGEN 5.4. DESINFECCIÓN CON RAYOS UV.</i> -----	165
<i>Fuente: http://www.drinking-water.org.</i>	



LISTADO DE MAPAS

MAPA 1.1. GRADO DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HIDRICO, 2009 -----	33
<i>Nota: Los valores mostrados corresponden a los países con mayor grado de presión, así como a los países de referencia presentados en este capítulo.</i>	
<i>Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. 2010. Elaborado a partir de: FAO. Information System on Water and Agriculture, Aquastat. Consultado en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=es (4/11/2010).</i>	
MAPA 1.2. COBERTURA DE AGUA POTABLE EN EL MUNDO, 2008.-----	34
<i>Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. 2010. Elaborado a partir de: ONU. UNICEF-OMS Programa conjunto de vigilancia del abastecimiento de agua y el saneamiento. Progresos en materia de agua y saneamiento. UNICEF, Nueva York y OMS, Ginebra, 2010 (Datos de 2008).</i>	
MAPA 1.3. COBERTURA DE SANEAMIENTO EN EL MUNDO, 2008.-----	34
<i>Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. 2010. Elaborado a partir de: ONU. UNICEF-OMS Programa conjunto de vigilancia del abastecimiento de agua y el saneamiento. Progresos en materia de agua y saneamiento. UNICEF, Nueva York y OMS, Ginebra, 2010 (Datos de 2008).</i>	
MAPA 1.4. EJEMPLOS DE VULNERABILIDAD ACTUAL DE LOS RECURSOS DE AGUA DULCE Y DE SU GESTIÓN; AL FONDO, MAPA DE ESTRÉS ----	39
<i>Fuente: El cambio climático y el agua, IPCC 2008, http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf</i>	
MAPA 1.5. MODELO DE FUTUROS CAMBIOS EN LA PRECIPITACIÓN, PODEMOS APRECIAR LA MEDIA DE 15 MODELOS DE LOS CAMBIOS DE PRECIPITACIÓN (UNIDAD: MM/DÍA) PARA LOS MESES DE F (IZQUIERDA) Y JJA (DERECHA). ESTOS CAMBIOS ESTÁN BASADOS EN EL ESCENARIO A1B DEL IE-EE, Y CORRESPONDEN AL PERIODO 2080-2099 COMPARADO CON 1980-1999. LOS PUNTOS INDICAN ÁREAS EN QUE LA MAGNITUD DEL VALOR MEDIO DEL AGREGADO MULTIMODELOS EXCEDE DE LA DESVIACIÓN TÍPICA ENTRE MODELOS. -----	40
<i>Fuente: El cambio climático y el agua, IPCC 2008.</i>	
MAPA 1.6. CLIMAS DE MÉXICO. -----	40
<i>Fuente: http://urgentarchitecture.net/mapping-mapeo</i>	
MAPA 1.7. REGIONES HIDROLOGICAS ADMINISTRATIVAS-----	45
<i>Fuente: Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT Y CONAGUA 2011.</i>	
MAPA 1.8. DATOS DEMOGRAFICOS, SOCIOECONOMICOS Y DE AGUA RENOVABLE POR RHA, 2009. -----	46
<i>Nota: La población al año 2009 fue calculada con base en las proyecciones de CONAPO 2006-2030. Población al mes de diciembre. AR: Agua renovable. El PIB por RHA fue calculado con base en el Valor Agregado Censal Bruto de los censos económicos 2004.</i>	
<i>Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. 2010. Elaborado a partir de datos de: INEGI. Censos Generales y Conteos. INEGI. Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa, 2003-2008. Base 2003. INEGI. Marco Geoestadístico Municipal, Versión 3.1.1. Año 2008.</i>	
MAPA 1.9. CONTRASTE REGIONAL ENTRE EL DESARROLLO Y LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA, 2008 -----	46
<i>Fuente: Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT y CONAGUA 2008.</i>	
MAPA 1.10. REGIONES HIDROLOGICAS -----	47
<i>Fuente: Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT y CONAGUA 2008.</i>	



MAPA 1.11. DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION ANUAL EN MEXICO, 1971-2000. -----	50
Fuente: Conagua. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. 2010	
MAPA 1.12. PRECIPITACION MEDIA ANUAL 1941 – 2005-----	51
Fuente: smn.conagua.gob.mx, http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=10	
MAPA 1.13 ACUÍFEROS SOBREEXPLOTADOS POR REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA, 2007. -----	52
Fuente: Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT y CONAGUA 2010.	
MAPA 1.14. GRADO DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO. -----	53
Fuente: Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT y CONAGUA 2008.	
MAPA 1.15. DISTRITOS DE DESARROLLO DEL ESTADO DE MICHOACAN -----	55
Fuente: Análisis Económico, Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco México www.redalyc.org , Análisis Económico Núm. 54, vol. XXIII Tercer cuatrimestre de 2008	
MAPA 1.16. PRECIPITACION EN EL EDO. DE MICHOACAN / DISTRIBUCION DE LLUVIA EN EL ESTADO-----	56
Fuente: 2011 INEGI: http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/mich/precipit.cfm?c=444&e=16	
MAPA 1.17. CLIMAS DEL ESTADO DE MICHOACAN-----	57
*Referido al total de la superficie estatal.	
Fuente: Elaborado con base en INEGI. Carta de Climas 1:1 000 000.	
http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mich/territorio/clima.aspx?tema=me&e=16	
MAPA 1.18. PRINCIPALES PAÍSES EMISORES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO. -----	67
Fuente: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)	
MAPA 1.19. CAMBIOS REGISTRADOS EN LAS PRECIPITACIONES. -----	68
Fuente: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).	
MAPA 5.1. PH DEL AGUA DE LLUVIA EN DIFERENTES REGIONES DEL MUNDO. -----	153
Fuente: Lluvia acida, gobierno del distrito federal.	
MAPA 5.2. MAPA, MUNICIPIOS DE CASO DE ESTUDIO. -----	156
Fuente: IMTA 2004.	



LISTADO DE TABLAS...

TABLA 1.1. PAÍSES DEL MUNDO CON MAYOR POBLACIÓN 2010 -----	28
<i>Fuente: UNDESA. World Population Prospects: The 2008 Revision. Medium Fertility variant, 2010-2050. Consultado en: http://esa.un.org/unpd/wpp2008/index.htm (15/07/2010)</i>	
TABLA 1.3. PAISES DEL MUNDO CON MAYOR EXTRACCION DE AGUA Y PORCETAJES DE USO AGRICOLA, INDUSTRIAL Y ABASTECIMIENTO PÚBLICO -----	30
<i>Nota: Los usos consideran el agrícola, industrial incluyendo enfriamiento de centrales de energía y el abastecimiento público. Los años de reporte de cada país varían entre 2000 y 2009. Los valores para México están actualizados al año 2009. 1 km³ = 1 000 hm³ = mil millones de m³. Fuente: FAO. Information System on Water and Agriculture, Aquastat. 2008. Consultado en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=es (6/10/2010).</i>	
TABLA 1.4. PAISES CON MAYOR SUPERFICIE CON INFRAESTRUCTURA DE RIEGO -----	31
<i>Nota: Los años de reporte de cada país varían de 1993 a 2008. Fuente: FAO. Information System on Water and Agriculture, Aquastat. 2010. Consultado en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=es, (24/09/2010). Para México: Conagua. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. 2010.</i>	
TABLA 1.5. EVOLUCION DE LA META 7.C, DE LOS ODM EN MEXICO. -----	34
<i>Fuente: UNICEF-OMS. Programa conjunto de vigilancia del abastecimiento de agua y el saneamiento. Progresos en materia de saneamiento y agua. Informe de actualización 2010.</i>	
TABLA 1.6. REQUERIMIENTOS DE AGUA DE ALGUNAS ESPECIES DE ANIMALES -----	42
<i>Fuente: CIDECALLI 2008.</i>	
TABLA 1.7. POBLACION POR ENTIDAD FEDERATIVA AL AÑO 2030. -----	44
<i>Fuente: Planeación del agua un enfoque social y sistemático.</i>	
TABLA 1.7.1. POBLACION TOTAL POR ENTIDAD FEDERATIVA SEGÚN SEXO, AÑOS CENSALES 2005 Y 2010. -----	44
<i>a / Incluye una estimación de población por un total de 2 625 310 personas, correspondientes a 647 491 “viviendas sin información de ocupantes”. Cifras al 17 de octubre. b/ Incluye una estimación de población por un total de 1 344 585 personas, correspondientes a 448 195 “viviendas sin información de ocupantes”. Cifras al 12 de junio. Fuente: Para: 2005 INEGI. Estados Unidos Mexicanos. II Censo de Población y Vivienda, 2005. Consulta Interactiva de dato. En: www.inegi.org.mx (28 de agosto de 2006). Para 2010: INEGI. Estados Unidos Mexicanos. Censo de Población y vivienda 2010. Resultados definitivos. Tabulados básicos. En: www.inegi.org.mx (4 de marzo de 2011).</i>	
TABLA 1.8. TENDENCIAS EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN MEXICO -----	45
<i>Fuente: planeación del agua un enfoque social y sistemático.</i>	



TABLA 1.9. NUMERO DE ESTACIONES CLIMATOLOGICAS E HIDROMETRICAS EN MEXICO, 2009. -----	47
<i>Nota: De un total de 5 368 estaciones climatológicas, 3 324 están en operación al cierre de la edición 2010.</i>	
<i>Fuente: Para estaciones hidrométricas: Conagua. Subdirección General Técnica. 2010. Para estaciones climatológicas: Conagua. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. 2010.</i>	
TABLA 1.10. AGUA RENOVABLE PERCAPITA, POR RHA. -----	49
<i>Nota: Las cantidades expresadas en esta tabla son de carácter indicativo y para fines de planeación; no pueden ser utilizadas por sí solas para realizar concesiones de agua o determinar la factibilidad de un proyecto. Los cálculos de agua renovable se refieren a valores históricos de acuerdo con la disponibilidad de estudios hidrológicos.</i>	
<i>a) Se conforma por el escurrimiento natural medio superficial interno más las importaciones, menos las exportaciones procedentes de otros países.</i>	
<i>b) Se consideran las aguas residuales de la Ciudad de México.</i>	
<i>Nota: Las sumas pueden no coincidir por el redondeo de cifras.</i>	
<i>Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. 2010. Elaborado a partir de: Conagua. Subdirección General Técnica. CONAPO. Proyecciones de la Población de México 2005-2050. México, 2008.</i>	
TABLA 1.11. PRECIPITACION PLUVIAL NORMAL MENSUAL POR RHA, 1971-2000 (MILÍMETROS).-----	50
<i>Nota: Las sumas pueden no coincidir por el redondeo de las cifras.</i>	
<i>Fuente: Conagua. Coordinación del Servicio Meteorológico Nacional. 2010.</i>	
TABLA 1.12. PRECIPITACION MEDIA ANUAL 1941 – 2005-----	51
<i>Fuente: smn.conagua.gob.mx, http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12&Itemid=10</i>	
TABLA 1.13. ACUÍFEROS DEL PAÍS, POR REGIÓN HIDROLÓGICOADMINISTRATIVA, 2007.-----	52
<i>Fuente: Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT y CONAGUA 2010.</i>	
TABLA 1.14. DATOS DEL ESTADO DE MICHOACAN-----	54
<i>Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico, http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/perspectivas/perspectiva-mic.pdf</i>	
TABLA 1.15. COBERTURA EN ZONAS URBANAS-----	59
<i>Fuente: El Reto del Suministro del Agua Potable Secretaría de Planeación y Desarrollo Estatal Michoacán 2002 – 2008</i>	
TABLA 1.16. RETOS DEL SUMINISTRO DEL AGUA POTABLE -----	60
<i>Fuente: El Reto del Suministro del Agua Potable Secretaría de Planeación y Desarrollo Estatal Michoacán 2002 – 2008</i>	
TABLA 1.17. PRESUPUESTO DE INVERSIÓN EN MILLONES DE PESOS -----	61
<i>Fuente: El Reto del Suministro del Agua Potable Secretaría de Planeación y Desarrollo Estatal Michoacán 2002 – 2008</i>	
TABLA 1.18. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO DE MICHOACÁN-----	63
<i>Fuente: El Reto del Suministro del Agua Potable Secretaría de Planeación y Desarrollo Estatal Michoacán 2002 – 2008</i>	
TABLA 2.1. TIPOS DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN PLUVIAL. -----	95
TABLA 2.2. CONTINUACIÓN TIPOS DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN PLUVIAL. -----	96
TABLA 3.1. COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO (CE) DE LOS DIFERENTES MATERIALES EN EL ÁREA DE CAPTACIÓN.-----	100



TABLA 3.2. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y COSTO DE INVERSIÓN POR PERSONA PARA UN SISTEMA FAMILIAR Y CUATRO SISTEMAS COMUNITARIOS. -----	100
<i>Fuente CIDECALLI-CP, 2009</i>	
TABLA 3.3. COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO (CE) DE LOS DIFERENTES MATERIALES UTILIZADOS EN EL ÁREA DE CAPTACIÓN. -----	101
<i>Fuente: CIDECALLI, 2005</i>	
TABLA 3.4. COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO CR. -----	103
TABLA 3.5. VOLUMEN DE AGUA CON RELACIÓN AL ÁREA DE CAPTACIÓN (AC) EN M ² Y LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN MM. -----	105
TABLA 3.6. ALGUNOS DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO BÁSICOS RECOMENDADOS PARA LOS FILTROS LENTOS DE ARENA. -----	109
<i>Fuente: Proyecto Experimental Una Sistema para Captar Aguas Pluviales y filtración para la Universidad de ECOSUR (Logsdon et al. 2002; Comité 1997).</i>	
TABLA 3.7. COMPARATIVA ENTRE UN TANQUE SUPERFICIAL Y ENTERRADO. -----	126
<i>Fuente: Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento, Manual técnico.</i>	
TABLA 3.8. COSTOS DE DIFERENTES CISTERNAS PARA ALMACENAMIENTO DEL AGUA PLUVIAL -----	132
<i>Fuente: The Texas Manual on Rainwater Harvesting, 2005; *CIDECALLI, 2005</i>	
TABLA 3.9. CARACTERISTICAS DE CONTROL-BOMBA AQUA-SILENTIO. -----	134
TABLA 3.10. TABLA DE COSTOS DE DIFERENTES OBRAS. -----	135
TABLA 3.11. CONSUMO DE AGUA DOMESTICO. -----	136
<i>Fuente: planeación del agua un enfoque social y sistemático.</i>	
TABLA 4.1. VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN. -----	138
TABLA 4.2. CÁLCULO PARA UN ÁREA DE TECHO DE 60 M ² . -----	139
TABLA 4.3. CÁLCULO PARA UN ÁREA DE CAPTACIÓN DE 290 M ² . -----	140
TABLA 4.4. VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN. -----	141
TABLA 4.5. DEMANDA TOTAL MENSUAL, -----	142
TABLA 4.6. CÁLCULO PARA UN TECHO DE 100 M ² . -----	142
TABLA 4.7. CÁLCULO PARA UN TECHO DE 150 M ² . -----	143
TABLA 4.8. CÁLCULO PARA UN TECHO DE 200 M ² . -----	143
TABLA 4.9. CÁLCULO PARA UN TECHO DE 250 M ² . -----	143
TABLA 4.10. RESUMEN DE RESULTADOS. -----	144
TABLA 4.11. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN PARA LAS CONDICIONES DEL EJEMPLO 2. -----	144
TABLA 4.12. VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN. -----	145



TABLA 4.13. DEMANDA TOTAL MENSUAL. NÚMERO DE INTEGRANTES DE LA FAMILIA 4.-----	145
TABLA 4.14. CÁLCULO PARA UN TECHO DE 237 M2.-----	146
TABLA 4.15. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN PARA LAS CONDICIONES DEL EJEMPLO 3.-----	146
TABLA 5.1. LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS.-----	148
Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.	
TABLA 5.2. LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ORGANOLÉPTICAS.-----	149
Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.	
TABLA 5.3. LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.-----	149
Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.	
TABLA 5.4. LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS RADIATIVAS.-----	149
Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.	
TABLA 5.5. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.-----	150
Fuente: Hidroquímica y contaminación por Óscar Pintos Rodríguez.	
TABLA 5.6. TURBIDEZ.-----	150
Fuente: Hidroquímica y contaminación por Óscar Pintos Rodríguez.	
TABLA 5.7. DUREZA.-----	151
Fuente: Hidroquímica y contaminación por Óscar Pintos Rodríguez.	
TABLA 5.8. CLORUROS.-----	151
Fuente: Hidroquímica y contaminación por Óscar Pintos Rodríguez.	
TABLA 5.9. SULFATOS.-----	151
Fuente: Hidroquímica y contaminación por Óscar Pintos Rodríguez.	
TABLA 5.10. NITRÓGENOS.-----	151
Fuente: Hidroquímica y contaminación por Óscar Pintos Rodríguez.	
TABLA 5.11. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL AGUA DE LLUVIA ENVASADA.-----	155
Fuente: CIDECALLI 2008.	
TABLA 5.12. RESULTADO DEL DIAGNÓSTICO EN LAS COMUNIDADES ESTUDIADAS.-----	156
Fuente: Comisión Estatal de Agua y Medio Ambiente de Morelos (CEAMA, 2001; INEGI, 2000).	
TABLA 5.13. PARÁMETROS DE DISEÑO DE LAS UNIDADES DE FILTRACIÓN.-----	159
Fuente: IMTA 2004.	



<i>TABLA 5.14. GRANULOMETRÍA DE LAS UNIDADES DE FILTROS. -----</i>	<i>159</i>
<i>Fuente: IMTA 2004.</i>	
<i>TABLA 5.15. CALIDAD DEL EFLUENTE Y EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO. -----</i>	<i>161</i>
<i>Fuente: IMTA 2004.</i>	
<i>TABLA 5.16. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA DE DIFERENTES COMUNIDADES. -----</i>	<i>161</i>
<i>Fuente: IMTA 2004.</i>	
<i>TABLA 5.17. PROPORCIÓN DE CLORO. -----</i>	<i>164</i>
<i>Fuente: Uso y mantenimiento de los aljibes. Capacitación en agua potable. INTA, Argentina 2008.</i>	



NOMENCLATURAS

SCAPT	<i>Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techos.</i>
FAO	<i>Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Food and Agriculture Organization).</i>
CO ₂	<i>Dióxido de carbono.</i>
H ₂ O	<i>Vapor de agua.</i>
CH ₄	<i>Gas metano.</i>
N ₂ O	<i>Oxido nitroso.</i>
HFC	<i>Hidrofluorocarbonos.</i>
IPCC	<i>Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.</i>
OMM	<i>Organización Meteorológica Mundial.</i>
PNUMA	<i>Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.</i>
CONAGUA	<i>Comisión Nacional del Agua.</i>
UNESCO	<i>Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.</i>
ONG	<i>Organizaciones No Gubernamentales.</i>
DTU	<i>Unidad de Desarrollo de Tecnología (Development Technology Unit).</i>
CIDECALLI Chapingo.	<i>Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia de la Universidad Autónoma Chapingo.</i>
SAGARPA	<i>Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México.</i>
COLPOS	<i>Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma Chapingo.</i>
SCALL	<i>Sistemas de Captación del Agua de Lluvia.</i>
NOM	<i>Norma Oficial Mexicana.</i>
PNUD	<i>Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.</i>
OMS	<i>Organización Mundial de la Salud.</i>
ZMCM	<i>Zona Metropolitana de la Ciudad de México.</i>
IMTA	<i>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.</i>
FIMEM	<i>Filtración en Múltiples Etapas Modificada.</i>
CEAMA	<i>Comisión Estatal de Agua y Medio Ambiente de Morelos.</i>
UNATSABAR	<i>Unidad De Apoyo Técnico Para El Saneamiento Básico Del Área Rural</i>
FLA	<i>Filtración Lenta en Arena Lima, Perú.</i>
UV	<i>Radiación ultravioleta</i>
Cr	<i>Coefficiente de escurrimiento (adimensional).</i>
Q	<i>Gasto de la canaleta (m³/s).</i>
A	<i>Área de la sección transversal (m²).</i>
n	<i>Coefficiente de rugosidad de la canaleta</i>
Rh	<i>Radio hidráulico (m).</i>
Pm	<i>Perímetro mojado (m).</i>
S	<i>Pendiente.</i>
Ppi	<i>Precipitación promedio mensual del mes "i" de todos los años evaluados (mm/mes).</i>
N	<i>Número de años evaluados.</i>
Pi	<i>Valor de precipitación mensual del mes "i" (mm).</i>



<i>Di</i>	<i>Demanda mensual (m³).</i>
<i>Nu</i>	<i>Número de usuarios que se benefician del sistema.</i>
<i>Nd</i>	<i>Número de días del mes analizado.</i>
<i>Dot</i>	<i>Dotación (L/persona/día).</i>
<i>Ai</i>	<i>Oferta de agua en el mes "i" (m³).</i>
<i>Ppi</i>	<i>Precipitación promedio mensual (litros/m²).</i>
<i>Ac</i>	<i>Área de captación (m²).</i>
<i>Aai</i>	<i>Oferta acumulado al mes "i".</i>
<i>Dai</i>	<i>Demanda acumulada al mes "i".</i>
<i>Vi</i>	<i>Volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes "i".</i>
<i>Ai</i>	<i>Volumen de agua que se captó en el mes "i".</i>
<i>Di</i>	<i>Volumen de agua demandada por los usuarios para el mes "i".</i>
<i>V</i>	<i>Volumen de agua captada al año (m³).</i>
<i>Ppa</i>	<i>Precipitación promedio anual (mm).</i>
<i>°C</i>	<i>Grados Celsius o grados centígrados.</i>
<i>km/h</i>	<i>Kilómetros por hora.</i>
<i>mm/hora</i>	<i>Milímetros por hora.</i>
<i>m³/habitante/año</i>	<i>Metro cubico por habitante por año</i>
<i>m/s</i>	<i>Metro por segundo</i>
<i>litro/m²/día</i>	<i>Litro por metro cuadrado por día</i>
<i>Litros/persona/día</i>	<i>Litro por persona por día.</i>
<i>NMP/100 ml</i>	<i>Número Más Probable por 100 ml</i>
<i>UFC/100 ml</i>	<i>Unidades Formadoras de Colonias por 100 mililitros</i>
<i>UTN</i>	<i>Unidades de Turbiedad Nefelométricas.</i>
<i>mg/l</i>	<i>Miligramos por litro.</i>
<i>ppm</i>	<i>Partes por millón.</i>
<i>UPt – co</i>	<i>Unidades de platino cobalto.</i>
<i>PV</i>	<i>Peso vivo.</i>
<i>kg PV</i>	<i>Kilogramo peso vivo.</i>



INTRODUCCIÓN

El estudio de la presente tesis surge por la gran necesidad de obtención y/o abasto de agua en cantidad y calidad necesaria que vivimos actualmente, ya que existe sobre explotación y contaminación de las fuentes de agua superficiales y subterráneas, que recaen en escases de tan vital liquido, hoy podemos apreciar que en algunas comunidades y/o en nuestro mismo municipio se da un desabasto de éste y como consecuencia, el suministro de agua potable que adquirimos tiene un valor elevado o muy elevado en algunos casos.

Alzando un poco la vista podemos conocer la situación del recurso del agua no solo el más cercano a nosotros sino en nuestro país o en todo el mundo, la forma en la que esta va variando y escaseando cada vez mas y mas gracias al desperdicio de la misma, a la falta de tratamiento de aguas residuales o altos índices de contaminación o incluso se ve afectada la reserva del vital liquido por el calentamiento global, apreciamos ya en algunos lugares desastres por el mismo recurso, ya sea por el exceso (inundaciones) como es el caso de Tabasco que año con año sufre con los estragos que causan las inundaciones o su cara adversa la sequía o falta de agua, que actualmente podemos apreciar la forma en que están siendo afectados los estados del norte del país como Durango en donde el precio del abastecimiento de agua potable resulta de verdad caro y escaso.

Ante estos panoramas la captación de agua de lluvia representa un medio fácil por el cual podemos aprovechar este recurso natural para obtener agua de muy buena calidad misma que podemos emplear para consumo humano, uso doméstico, consumo animal y producción agrícola. En nuestro país o en muchos lugares del mundo que cuenten con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para el consumo humano o para satisfacer las necesidades básicas, ante esto actualmente podemos recurrir al agua de lluvia como fuente de captación para el almacenamiento y abastecimiento y asimismo, ayuda a prevenir la presencia de enfermedades gastrointestinales, ayuda a mitigar los efectos de la sequía en el consumo animal y en la producción de cultivos.

Este sistema consiste en que el agua de lluvia sea interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso y/o suministro. En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra utilizar la superficie de techos como área o zona de captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (Sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua. Adicionalmente, los excedentes de agua pueden ser empleados en la producción de algunos alimentos que puedan complementar su dieta o simplemente para el riego de áreas verdes como el jardín. Otras aplicaciones para la captación del agua de lluvia puede ser para “uso agrícola” el cual necesita de mayores superficies de captación por obvias razones, en estos casos se requiere de extensas superficies impermeables para recolectar la mayor cantidad posible de agua aunque el principio y más grande motor sea el mismo un “SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE Y APROVECHAMIENTO DE LA MISMA”, esto con la finalidad de disponer de agua en cantidad y calidad, con el objeto de lograr un desarrollo sustentable de nuestra sociedad y por qué no de la humanidad.

Para un buen funcionamiento es importante identificar los principales componentes de un Sistema de Captación del Agua de Lluvia (SCALL), como es su funcionamiento, los criterios de diseño más sobresalientes, las características de los materiales de construcción, la forma de construir estos sistemas, su operación, mantenimiento y sobre todo las consideraciones más propicias o climáticamente ideales para que nuestro sistema funcione , de tal forma que la puesta en marcha de los proyectos sea factible con un enfoque de sostenibilidad.

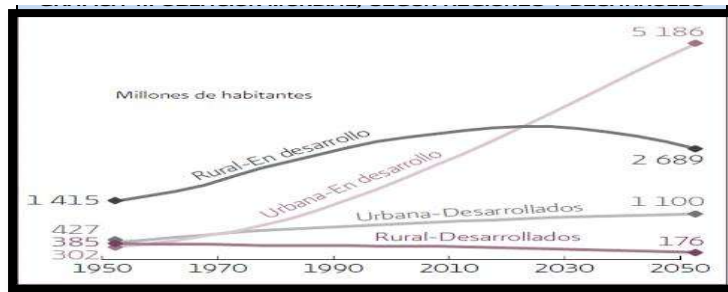
Cabe mencionar que la captación de agua de lluvia se practica desde hace varios miles de años según reportes del medio oriente; sin embargo, su utilización no se ha generalizado. Este como muchos otros detalles que se mencionaran más adelante nos sirven como base para decir que los sistemas de captación de agua de lluvia representan una verdadera opción para hacer frente a la escasez de este vital recurso, además de ser una biotecnología eficiente y eficaz que nos puede ayudar en el combate a la escases del recurso que nos afecta seriamente en la disponibilidad.

1 EL AGUA EN EL MUNDO

Para hablar del agua en el mundo de este vital y valioso recurso es necesario analizarlo desde diferentes puntos de vista como son:

Aspectos socioeconómicos y demográficos:

Retomando un poco de la historia de nuestra población a nivel mundial apreciamos que mientras en 1950, la población mundial ascendía a 2,529 millones de personas, para el 2010, había aumentado a 6,909 millones. A partir de los últimos sesenta años, el crecimiento se concentró principalmente en las regiones en desarrollo, tendencia que se mantiene al 2050, como se observa en la Gráfica 1.1 y la Tabla 1.1. Estimando que para 2050, la población mundial será de 9,150 millones.¹



GRAFICA 1.1. POBLACION MUNDIAL, SEGÚN REGIONES Y DESARROLLO

TABLA 1. PAISES DEL MUNDO CON MAJOR POBLACION 2010

No	País	Población (millones de habitantes)	Densidad de población (hab/km ²)
1	China	1 354.1	141
2	India	1 214.5	369
3	Estados Unidos de América	317.6	33
4	Indonesia	232.5	122
5	Brasil	195.4	23
6	Pakistán	184.8	232
7	Bangladesh	164.4	1 142
8	Nigeria	158.3	171
9	Rusia	140.4	8
10	Japón	127.0	336
11	México	108.0	55
12	Filipinas	93.6	312
13	Vietnam	89.0	268
14	Etiopía	85.0	77
15	Egipto	84.5	84
16	Alemania	82.1	230
17	Turquía	75.7	97
18	Irán	75.1	46
19	Tailandia	68.1	133
20	República Democrática del Congo	67.8	29
21	Francia	62.6	114
23	Italia	60.1	199
24	Sudáfrica	50.5	41

Componentes del ciclo hidrológico en el mundo.

Del agua que técnicamente está disponible para consumo humano, solo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos relativamente poco profundos, cuya renovación es producto de la infiltración. Mucha de esta agua teóricamente utilizable se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo cual dificulta o encarece su utilización efectiva.

Precipitación

La precipitación pluvial constituye una parte importante del ciclo hidrológico, ya que produce el agua del planeta. Sin embargo, la precipitación varía regional y estacionalmente. Y a su vez de la precipitación podemos determinar el coeficiente de variación el cual da una aproximación a la

¹ UNDESA. World population prospects: The 2008 Revision. Medium Fertility Variant, 2010-2050. Consultado en <http://esa.un.org/unpd/wpp2008/index.htm> (15/07/2010).



variabilidad de la precipitación pluvial en el año. Entre mayor es dicho coeficiente, mayor variabilidad habrá a lo largo del año. En general, las ciudades a mayores latitudes se caracterizan por tener una precipitación pluvial uniforme a lo largo del año, en tanto que las ciudades más cercanas al ecuador, tienen una precipitación pluvial acentuada en el verano.²

Agua renovable

El agua renovable per cápita de un país resulta de la operación de dividir sus recursos renovables entre el número de habitantes. Según este criterio, México se encuentra en el lugar número 86 mundial de 177 países de los cuales se dispone de información, como se observa en la Tabla 1.2.

TABLA 2. PAISES CON MAYOR AGUA RENOVABLE PER CAPITA, 2010

No	País	Población (miles habitantes)	Agua renovable (miles de millones de m ³)	Agua renovable per cápita (m ³ /hab/año)
1	Guayana Francesa	220	134	609 091
2	Islandia	315	170	539 683
3	Guyana	763	241	315 858
4	Surinam	515	122	236 893
5	Congo	3 615	832	230 152
6	Papua Nueva Guinea	6 577	801	121 788
7	Bhután	687	78	113 537
8	Gabón	1 448	164	113 260
9	Islas Salomón	511	45	87 476
10	Canadá	33 259	2 902	87 255
11	Noruega	4 767	382	80 134
12	Nueva Zelanda	4 230	327	77 305
13	Perú	28 837	1 913	66 338
14	Bolivia	9 694	623	64 215
15	Belice	301	19	61 628
16	Liberia	3 793	232	61 165
17	Chile	16 804	922	54 868
18	Paraguay	6 238	336	53 863
19	Laos	6 205	334	53 747
20	Colombia	45 012	2 132	47 365
23	Brasil	191 972	8 233	42 886
60	Estados Unidos de América	311 666	3 069	9 847
86	México	108 555	460	4 263
96	Francia	62 036	204	3 284
104	Turquía	73 928	232	2 898
145	Sudáfrica	49 668	50	1 007

Cambio climático

Las diversas estimaciones coinciden en prevenir, hacia fines del siglo XXI, incrementos de la temperatura a nivel mundial, de dos a cuatro grados centígrados. Entre los escenarios generados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), se espera que

² Fuente: Conagua. Subdirección General de Programación. 2010. Elaborado a partir de: World Climate. Consultado en: <http://www.worldclimate.com>. (06/09/2010).
 Conagua. Subdirección General Técnica. 2010.



dicho aumento en la temperatura impacte de manera significativa el ciclo hidrológico, generando mayor variabilidad en patrones tradicionales de precipitación, humedad del suelo y escurrimiento, entre otras afectaciones como las que actualmente vemos y vivimos³.

Lo anterior dificultará la actividad de otros sectores económicos que dependen de la disponibilidad de los recursos hídricos, como la producción alimentaria, generación de energía y conservación ambiental, además del suministro de agua potable y saneamiento. Para encarar esta problemática, es indispensable entonces desarrollar estrategias de adaptación que consideren el agua como un eje toral en un enfoque multi - sectorial.

▮ Fenómenos hidrometeorológico extremos

Los fenómenos hidrometeorológico extremos, tales como sequías, inundaciones y huracanes, son eventos naturales que con frecuencia resultan en desastres con pérdidas humanas y materiales. En el análisis de los desastres, se encuentra que los daños estimados como porcentajes del PIB son significativamente mayores en países subdesarrollados, lo que puede acentuarse de continuar la tendencia global a la concentración de la población en localidades urbanas.

Considerados como desastres de origen climático e hidrometeorológico, las sequías, inseguridad alimenticia, temperaturas extremas, inundaciones, incendios forestales, infestaciones de insectos, movimientos de tierra asociados a situaciones de origen hidrológico y las tormentas de viento⁴. Este tipo de acontecimientos representa una porción significativa de los daños estimados ocasionados por desastres, lo que representó en 2009 daños por 35,409 millones de dólares, el 85% del total de daños ocasionados por todo tipo de desastres.

Cabe destacar que los desastres, tanto en número como en sus consecuencias, se están incrementando a nivel mundial como resultado del cambio climático.

El agua es un recurso limitado y su uso debe ser eficiente y sostenible. El agua es un recurso limitado y su uso debe ser eficiente y sostenible. El agua es un recurso limitado y su uso debe ser eficiente y sostenible.

▮ Usos del agua e infraestructura

En el siglo XX, mientras la población mundial se triplicó las extracciones de agua se sextuplicaron. Esta situación aumenta el grado de presión sobre los recursos hídricos a nivel mundial.

▮ Uso industrial

La industria es uno de los principales motores de crecimiento económico. La industria es uno de los principales motores de crecimiento económico. La industria es uno de los principales motores de crecimiento económico.

No	País	Extracción total de agua (km ³ /año)	% Uso agrícola	% Uso industrial	% Uso abastecimiento público
1	India	761.0	90.4	2.23	7.4
2	China	554.1	64.6	23.21	12.2
3	Estados Unidos de América	478.4	40.2	46.11	13.7
4	Pakistán	183.5	94.0	0.76	5.3
5	Irán	93.3	92.2	1.18	6.6
6	Japón	88.4	62.5	17.87	19.7
7	Indonesia	82.8	91.3	0.68	8.0
8	México	80.6	76.7	9.20	14.1
9	Filipinas	78.9	83.1	9.45	7.4
10	Vietnam	71.4	68.1	24.14	7.8
11	Egipto	68.3	86.4	5.86	7.8
12	Rusia	66.2	19.9	59.82	20.2
13	Iraq	66.0	78.8	14.70	6.5
14	Brasil	59.3	61.8	17.96	20.3
15	Uzbekistán	58.3	93.2	2.06	4.7
16	Tailandia	57.3	90.4	4.85	4.8
17	Canadá	46.0	11.8	68.68	19.6
18	Italia	44.4	45.1	36.71	18.2
19	Turquía	40.1	73.8	10.72	15.5
20	Francia	40.0	9.8	74.47	15.7
21	Alemania	38.9	2.9	82.12	14.9
22	Ucrania	37.5	52.5	35.39	12.2
23	Sudán	37.3	96.7	0.70	2.7
42	Sudáfrica	12.5	62.7	6.05	31.2

³ IPCC. *Climate Change and Water*, IPCC Technical Paper VI, Ginebra, Suiza,

⁴ Fuente: Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media l
<http://www.ifrc.org/Docs/pubs/disasters/wdr2010/WDR2010-full.pdf> (21/10/2011)



Uso agrícola

Como uso del agua para riego resulta fundamental para el desarrollo agrícola. De la superficie cultivada, sólo el 19% (FAO. Aquastat. 2010) tiene infraestructura de riego, sin embargo produce más de una tercera parte de los cultivos del mundo (FAO. Water and Food Security, 2010). También es importante mencionar que en los últimos años la agricultura ha utilizado mayor cantidad de agroquímicos, que han derivado en la contaminación de suelos y acuíferos. México ocupa el sexto lugar a nivel mundial en superficie con infraestructura de riego, mientras que los primeros lugares los ocupan China, India y los Estados Unidos de América, como se muestra en la Tabla 1.4.

TABLA 4. PAISES CON MAYOR SUPERFICIE CON INFRAESTRUCTURA DE RIEGO

No	País	Superficie con infraestructura de riego con dominio total: total (miles ha)	Superficie cultivada (miles ha)	Infraestructura de riego respecto a superficie cultivada (%)
1	India	66 334	169 320	39.2
2	China	62 559	122 543	51.1
3	Estados Unidos de América	24 722	173 200	14.3
4	Pakistán	19 270	21 200	90.9
5	Irán (República Islámica del)	8 132	18 770	43.3
6	Indonesia	6 722	37 100	18.1
7	Tailandia	6 415	18 850	34.0
8	México	6 460	26 900	24.0
9	Bangladesh	5 050	8 700	58.0
10	Turquía	4 970	24 505	20.3
11	Viet Nam	4 585	9 415	48.7
12	Federación de Rusia	4 454	123 442	3.6
13	Uzbekistán	4 223	4 620	91.4
14	Italia	3 950	9 768	40.4
15	España	3 671	17 300	21.2
16	Iraq	3 525	5 450	64.7
17	Egipto	3 422	3 542	96.6
18	Afganistán	3 199	7 910	40.4
19	Japón	3 128	4 628	67.6
20	Brasil	2 878	68 500	4.2
21	Francia	2 670	19 331	13.8
22	Kazajstán	2 314	22 800	10.1
23	Chile	1 900	1 722	110.3
31	Sudáfrica	1 498	15 450	9.7

Generación de energía hidroeléctrica

La electricidad desempeña un papel clave en la reducción de las actividades económicas y la mejora de la calidad de vida, la salud y de educación, especialmente en mujeres y niños.

La Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas) prácticamente se ha duplicado la generación de energía en pasando de 6,115 a 12,267 millones de toneladas equivalentes de petróleo en los procesos de generación de energía eléctrica. El enfriamiento de las centrales termoeléctricas y la turbinación de las centrales hidroeléctricas. En 2008, del suministro total de energía primaria un 2.2% era energía generada mediante hidroelectricidad, como se observa en la Grafica 1.2.



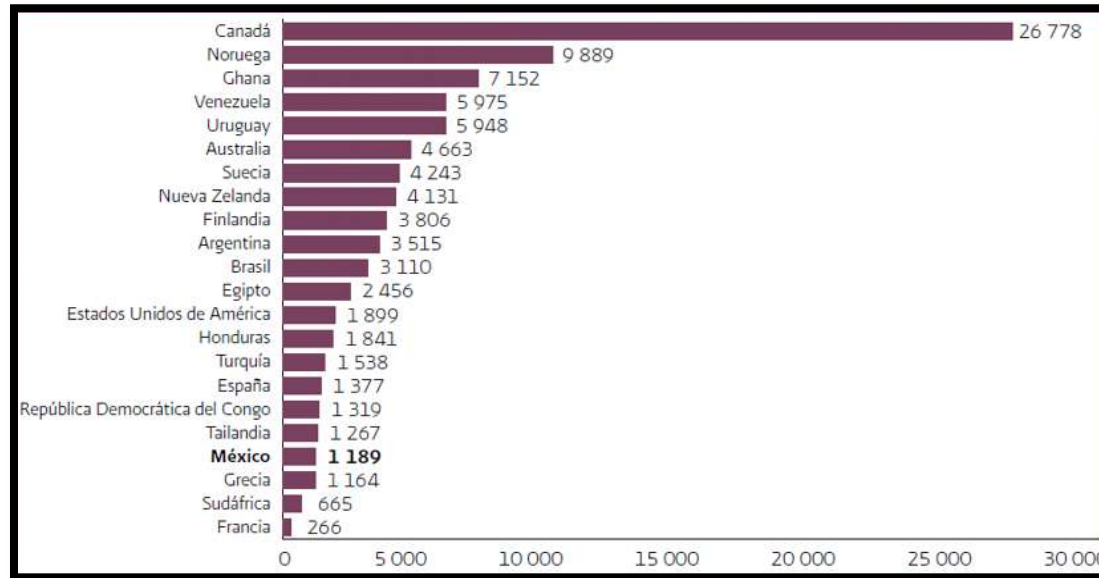
GRAFICA 1.2. FUENTE DE SUMINISTRO DE ENERGÍA 2008

Presas de almacenamiento en el mundo

La capacidad de almacenamiento de agua para su aprovechamiento en diversos usos y el control de avenidas para evitar inundaciones, son directamente proporcionales al grado de desarrollo hidráulico de los países. Un indicador que permite su valoración es la capacidad de almacenamiento per cápita. Cabe destacar que México ocupa el lugar número 19 a nivel mundial en capacidad de almacenamiento per cápita, como se muestra en la Grafica 1.3.



GRAFICA 3. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO PER CAPITA EN PAISES SELECCIONADOS (m³/hab)



GRAFICA 1.3. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO PERCÁPITA EN PAÍSES SELECCIONADOS (m³/hab)

▮ Huella hídrica

Una forma de medir el impacto de las actividades humanas en los recursos hídricos es la denominada huella hídrica (water footprint), la cual resulta de sumar el agua que utiliza cada persona para sus diversas actividades y la que es necesaria para producir los bienes y servicios que consume. Los cuatro factores principales que determinan la huella hídrica de un país son: el nivel de consumo, el tipo de consumo (por ejemplo: la cantidad de carne que consume cada persona), el clima y la eficiencia con la que se utiliza el agua. De acuerdo con este concepto, cada ser humano utiliza en promedio 1,240 m³ de agua por año; sin embargo las diferencias son muy grandes entre los países. Por ejemplo, en México la huella hídrica es de 1,441 m³ de agua por persona al año, mientras que en los Estados Unidos de América, uno de los países con mayor huella hídrica, se utilizan 2,483 m³, mientras que en China es de 702 m³, una de las huellas hídricas más pequeñas. En estos cálculos se incluye tanto el agua extraída de los acuíferos, lagos, ríos y arroyos (denominada agua azul), como el agua de lluvia que alimenta los cultivos de temporal (denominada agua verde).

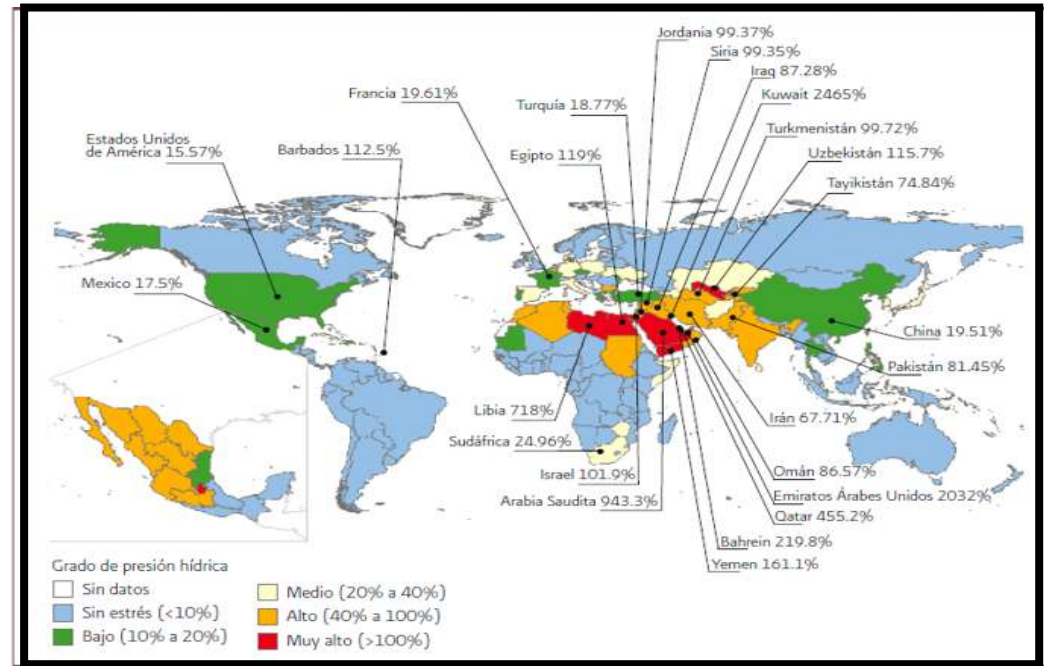
▮ Agua virtual

Un concepto íntimamente ligado al de la huella hídrica es el que se refiere al contenido de agua virtual. El contenido de agua virtual de un producto es la cantidad de agua que fue empleada en su proceso productivo. El intercambio comercial entre países conlleva implícito un flujo de agua virtual entre ellos, que corresponde al agua que se empleó en la generación de los productos o servicios importados o exportados. El volumen total de agua virtual intercambiado entre los países del mundo es de 1,625 km³ por año, del cual aproximadamente el 80% corresponde a productos agrícolas, mientras que el resto corresponde a productos industriales. El cultivo de un kilogramo de maíz requiere en promedio en el mundo 900 litros de agua, mientras que un kilogramo de arroz blanco requiere de 3,400 litros. Por otro lado, la producción de un kilogramo de carne de res requiere en promedio de 15,500 litros, que incluyen el agua que bebe la res a lo largo de su vida y el agua requerida para cultivar los granos que le sirven de alimento. Los valores son diferentes de país en país, dependiendo de las condiciones climáticas y la eficiencia en el uso del agua.

MAPA 1. GRADO DE PRESIÓN SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICO, 2009

▮ **Grado de presión sobre los recursos hídricos.**

El grado de presión se determina al dividir la extracción entre el agua renovable. Por su baja disponibilidad, los países del Medio Oriente sufren una presión más fuerte sobre los recursos hídricos como puede verse en el Mapa 1.1.



MAPA 1.1. GRADO DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO, 2009

▮ **Agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales**

En el 2000, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), estableció los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), con el fin de reducir la pobreza extrema para el año 2015. El objetivo número siete, “Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”, cuenta con la meta 7.C, relacionada al agua potable y saneamiento, que establece reducir a la mitad el porcentaje de población sin acceso a fuentes de abastecimiento de agua potable⁵ y servicios de saneamiento⁶, año de referencia 1990 y 2015.⁷

En 2008, el 87% de la población mundial y el 84% de la población en países en desarrollo tenían acceso a fuentes de abastecimiento de agua potable, alrededor de 884 millones de personas seguían sin disfrutar de ese beneficio. En tanto que el 61% de población mundial y el 52% de población en vías de desarrollo tenían acceso a servicios de saneamiento, aproximadamente 2,600 millones de personas no disponían de ese beneficio.

⁵ Son aquellas que están protegidas contra la contaminación exterior, especialmente la materia fecal.

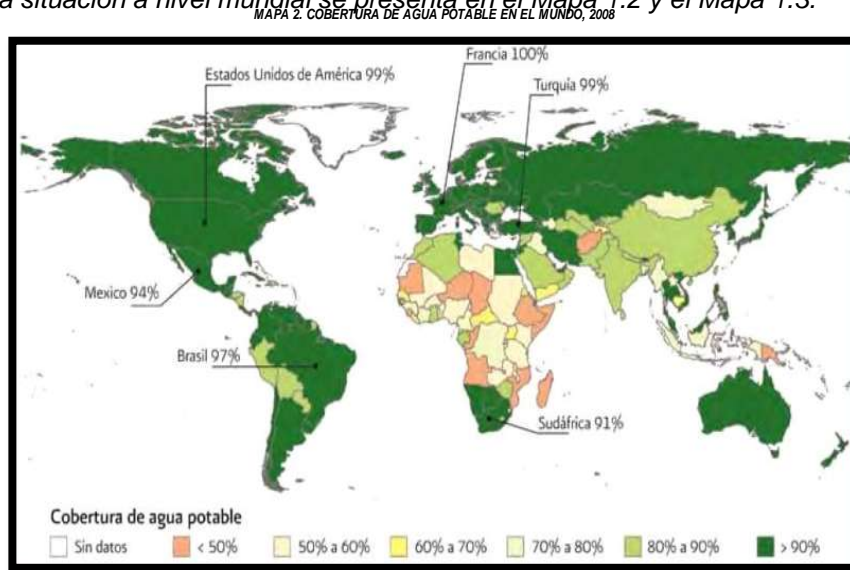
⁶ Son aquellos que garantizan higiénicamente que no se produzca contacto de las personas con la materia fecal.

⁷ El seguimiento a los ODM es mediante el programa conjunto ONU. UNICEFOMS Programa conjunto de vigilancia del abastecimiento de agua y el saneamiento. El último reporte es de 2010, con datos al 2008.

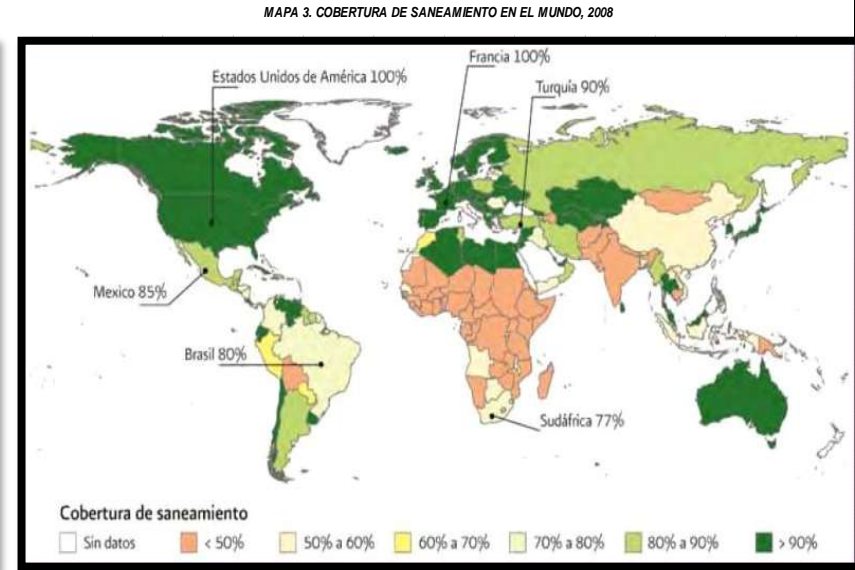


Es de notar la disparidad entre ambos servicios, por lo que en tanto que el agua potable se considera en vías de alcanzar el objetivo, la meta de saneamiento se considera en riesgo de no alcanzarse. El caso del saneamiento, el 72% de la población sin acceso a servicios de saneamiento vive en Asia, en tanto que para fuentes de abastecimiento de agua potable, el 37% de la población sin acceso vive en África.

La meta 7.C se contempla bajo dos ópticas. La primera es la relación que existe entre la salud y el agua, por lo cual la ampliación en la cobertura del servicio de agua potable y saneamiento contribuiría a reducir la mortalidad por estos padecimientos. La segunda, en general es el efecto que tendría el cambio climático sobre el recurso hídrico y en particular sobre la disponibilidad del agua y su calidad. Conforme a las definiciones de los ODM, al 2008 México tenía una cobertura de agua potable del 94% (96% urbana y 87% rural), así como del 85% en saneamiento (90% urbana y 68% rural). La situación a nivel mundial se presenta en el Mapa 1.2 y el Mapa 1.3.



MAPA 1.2. COBERTURA DE AGUA POTABLE EN EL MUNDO, 2008.



MAPA 1.3. COBERTURA DE SANEAMIENTO EN EL MUNDO, 2008.

NOTA: En esta parte podemos hacer un pequeño zoom en lo referente a México y tenemos los datos de la Tabla 1.5, en la que podemos apreciar que nuestro país presenta una notable evolución en términos de saneamiento en el transcurso del periodo del 1990 al 2008. En números globales en dicho periodo, 37.23 millones de mexicanos obtuvieron el beneficio de servicios de saneamiento mejorados, así como 31.15 millones que se beneficiaron con fuentes de abastecimiento de agua potable mejoradas:

TABLA 1.5. EVOLUCION DE LA META 7.C DE LOS ODM EN MÉXICO

Año	Agua potable			Saneamiento		
	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural	Total
1990	94	64	85	80	30	66
2008	96	87	94	90	68	85

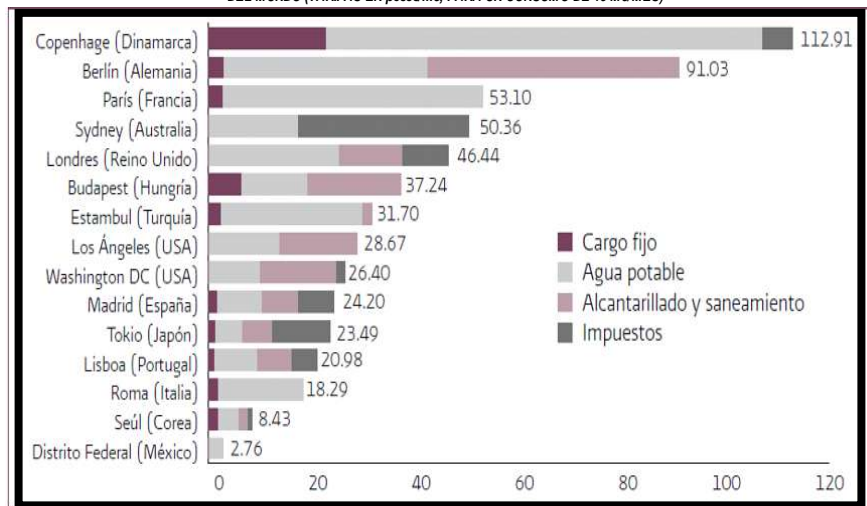
TABLA 1.5. EVOLUCION DE LA META 7.C, DE LOS ODM EN MÉXICO



■ Tarifas de agua potable y saneamiento.

Se puede considerar que el financiamiento de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento se lleva a cabo mediante tarifas, transferencias e impuestos (denominadas colectivamente 3T por sus siglas en inglés: Tariffs, Transfers and Taxes). No existe una definición uniformemente aplicada sobre los costos derivados de la prestación de los servicios, de lo cual se deriva que la relación entre tarifas y costos es también variable. En algunas regiones se pretende que las tarifas recuperen el costo total del servicio. En otras las tarifas recuperan porcentajes variables del costo. En la Grafica 1.4 se indican, las tarifas de agua potable y saneamiento para un consumo doméstico de 15 m³/mes, así como los impuestos asociados al servicio de algunas ciudades del mundo.

GRAFICA 4. TARIFAS DOMESTICAS DE AGUA POTABLE, SANEAMIENTO E IMPUESTOS ASOCIADOS AL SERVICIO EN ALGUNAS CIUDADES DEL MUNDO (TARIFAS EN pesos/m³, PARA UN CONSUMO DE 15 M³/MES)



GRAFICA 1.4. TARIFAS DOMESTICAS DE AGUA POTABLE, SANEAMIENTO E IMPUESTOS ASOCIADOS AL SERVICIO EN ALGUNAS CIUDADES DEL MUNDO (TARIFAS EN peso/m³, PARA UN CONSUMO DE 15m³/mes)

■ Agua y salud.

Estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) indican que en el mundo anualmente mueren aproximadamente 1.5 millones de niños por enfermedades diarreicas, de un total de 2.5 mil millones de casos infantiles anuales. Estas muertes infantiles ocurren en su mayoría en países en vías de desarrollo, lo que representa una carga significativa para los escasos recursos disponibles para salud pública. Adicionalmente, este tipo de enfermedades incide negativamente sobre la nutrición de los niños ya que es uno de los grupos principalmente afectados o con mayor vulnerabilidad por el agua contaminada, el saneamiento inadecuado y los malos hábitos de higiene⁸.

Entre las enfermedades diarreicas se encuentran el cólera, la tifoidea y la disentería, todas ellas relacionadas con vías de transmisión fecal-oral. La mayor parte de las muertes por causa de estas enfermedades se podría evitar con acciones en los temas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, pues se estima que el 88% de los casos de diarrea se ocasionan por agua contaminada, saneamiento inadecuado y malos hábitos de higiene⁹. Se estima que la mejora en los servicios de agua potable y saneamiento podría reducir anualmente el número de fallecimientos de niños en 2.2 millones. Dicha mejora también reduciría los costos en salud pública, la productividad perdida por enfermedades y por muertes prematuras. Se ha estimado que en promedio las inversiones en mejoras de agua potable y saneamiento tendrían retornos de inversión en los rangos de 2 a 7% del PIB (PRODUCTO INTERNO BRUTO), dependiendo del contexto nacional¹⁰.

⁸ UN-Water. *Global Annual Assessment of Sanitation and Drinking Water, 2010*. Consultado en: http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599351_eng.pdf (15/12/2010).

⁹ UNEP-UN Habitat. *Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development*. 2010. Consultado en: http://www.unwater.org/downloads/sickwater_unep_unh.pdf (15/12/2010).

¹⁰ UN-Water. *Op. cit.*

1.1 EL CICLO DEL AGUA (HIDROLÓGICO)

El ciclo del agua no se inicia en algún lugar en 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 condensada en forma de nieve o granizo. Las precipitaciones son de gran importancia ya que gracias a estas podemos mantener un balance atmosférico. Sin precipitaciones, todo el planeta sería un desierto. Las precipitaciones ayudan a la flora, las siembras y nos proporciona agua para cubrir nuestras necesidades humanas, su cara negativa es que en exceso ocasionan innumerables daños como inundaciones.

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 es capaz de entregar un elemento puro. A lo largo del tiempo, esta agua continua moviéndose parte de ella retornara a los océanos, donde el ciclo del agua se “cierra” y comienza nuevamente Figura 1.1



FIGURA 1.1. EL CICLO DEL AGUA.

1.1.1 LA PRECIPITACIÓN

Definición

Como precipitación podemos decir que es una parte importante del ciclo hidrológico porque es responsable de depositar agua fresca en el planeta. La precipitación es generada por las nubes cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente (o pedazos de hielo) que se forman caen a la Tierra por gravedad. Se puede inducir a las nubes a producir precipitación, rociando un polvo fino o un químico apropiado (como el nitrato de plata) dentro de la nube, generando las gotas de agua e incrementando la probabilidad de precipitación. Las gotas de agua no tienen formas de lágrima, redondas por abajo y puntiagudas por arriba, como se suele pensar. Las gotas 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.



En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. Esto incluye lluvia, llovizna, nieve, cinarra (precipitación en forma sólida, con el tamaño de los gránulos de hielo que no sobrepasa el milímetro y con una forma alargada) granizo; pero no la virga (hidrometeoro que cae de una nube mas se evapora antes de alcanzar el suelo), ni neblina ni rocío. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad.

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. Si no alcanza la superficie terrestre no sería lluvia sino virga, y si el diámetro es menor, será llovizna. Cualquier producto formado por la condensación de vapor de agua atmosférico en el aire libre o la superficie de la tierra es un hidrometeoro.¹¹

La lluvia a su vez depende de algunos factores como son: presión, temperatura y en especial la radiación solar y a su vez esta no cae en la misma cantidad alrededor del mundo, e incluso, en diferentes partes de un mismo país¹²

▮ **Como se mide la precipitación**

La precipitación se mide por la altura que el agua caída alcanzaría sobre una superficie plana y horizontal, en la que no existieran pérdidas por infiltración y evaporación; tal altura se mide en milímetros (mm), que equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable esto se efectúa por medio de pluviómetros o pluviógrafos. El pluviómetro: proporciona la altura de precipitación total en milímetros en intervalos de tiempo fijados, generalmente 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. El instrumento para medir la altura de las precipitaciones pluviales fue inventado por Castelli en 1641. Un milímetro de lluvia recolectado en un pluviómetro equivale a un litro por metro cuadrado.

▮ **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 6.35 mm, mientras que su velocidad de caída varía entre 8 y los 32 km/h, dependiendo de su volumen.

Por la forma en que cae, se pueden clasificar diversos tipos de precipitación:

- *Llovizna: son gotas de agua pequeñas por lo que su velocidad de caída es bastante baja y rara vez sobrepasan un valor de 1mm/hrs.*
- *Chispear: se usa para describir un término medio entre una llovizna y una lluvia débil. En comparación con la primera de estas, la pluviosidad es mayor y las gotas también aumentan su tamaño.*
- *Lluvia: consiste en gotas de agua líquida con diámetros mayores a las que componen la llovizna propiamente dichas, va de débil a moderada, sin alcanzar la intensidad de una tormenta.*

¹¹ Hidrología 1 Ing. Carlos D. Segerer, 2006. <http://es.scribd.com/doc/61095308/LIBRO-HIDROLOGIA>

¹² http://www.imta.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=179&catid=43&Itemid=86



- Comúnmente se reportan cuatro intensidades de lluvia:
 - Ligeras, hasta 2.5 mm/hora.
 - Moderada, entre 2.5 y 7.6 mm/hora.
 - Fuerte, mayores a 7.6mm/hora.
 - Torrencial, aquella que supera los 12.7mm/hora.

Cada milímetro medido de precipitación representa la altura en lámina precipitada, que tendría un cubo con un metro cuadrado y una altura de 1 mm y estas se pueden obtener de:

- Escarcha: es una capa de hielo que se forma producto del enfriamiento de una superficie húmeda producida por lluvia o llovizna.
- Chubasco: el viento, las gotas y la intensidad, aumentan.
- Tormenta: puede ser débil o intensa, su precipitación es alta y las gotas son grandes, el viento es intenso e incluye la posibilidad de que se precipite granizo.
- Nieve: está compuesta por cristales de hielo blanco o traslucido.
- Granizo: precipitación en forma de bolas o cristales irregulares de hielo que se producen generalmente por nubes convectivas.
- Tromba: es más fuerte que la tormenta, tiene viento intenso, gotas grandes, precipitación suficientemente alta para inundar y causar estragos. Esta lluvia tiene la capacidad de crear granizo sumamente grande y con posibilidad de aparición de tornados.¹¹

En general las nubes se forman por enfriamiento del aire por debajo de su punto de saturación. Este enfriamiento puede tener lugar por varios procesos, que conducen al ascenso y descenso de la presión y descenso térmico asociado. La intensidad y cantidad de precipitación dependerán del contenido de humedad del aire y la velocidad vertical.

▮ Tipos de precipitación.

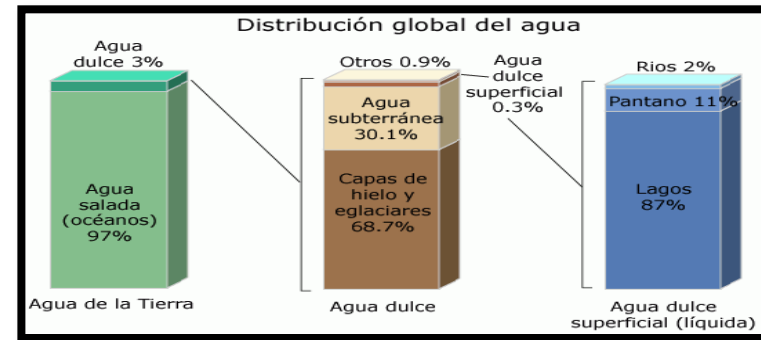
De acuerdo con la causa que origina al ascenso de la masa húmeda, pueden distinguirse tres tipos de precipitación:

- **Precipitación ciclónica:** resulta del levantamiento del aire que converge de un área de baja presión o ciclón.
- **Precipitación convectiva:** es causada por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Se caracteriza por ser puntual y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras o aguaceros.
- **Precipitación orográfica:** resulta del ascenso mecánico sobre una cadena de montañas.

Es importante destacar que en la naturaleza, los efectos de estos varios tipos de enfriamiento a menudo están interrelacionados, de manera que la precipitación resultante no puede identificarse como de un solo tipo, esto resulta importante ya que muchas obras de ingeniería civil requieren un adecuado conocimiento de las precipitaciones pluviales; para dimensionarlas correctamente y garantizar la vida útil de las mismas.

1.1.2 DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL MUNDO

Si hablamos de lo que es la distribución de agua en el mundo, los estudios acerca del agua en todo el planeta han revelado que el 97% pertenece al mar. El 3% restante es agua dulce, de la cual 68.7% se encuentra en los polos en forma de hielo, el 30.1% es agua subterránea y solo el 0.9% es agua superficial misma que se encuentra distribuida en lagos, pantanos y ríos Grafica 1.5.¹³

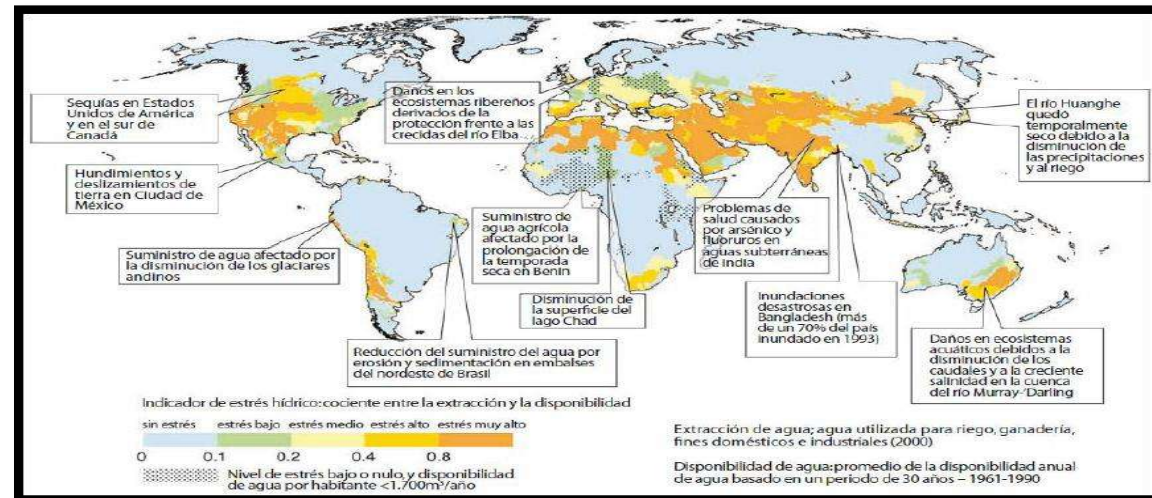


GRAFICA 1.5. DISTRIBUCIÓN GLOBAL DEL AGUA

El problema de escasez de agua es mundial, podemos apreciar que aproximadamente el 40% de la población mundial vive en condiciones de estrés hídrico y en las próximas 5 décadas la población aumentara en 3 mil millones de personas que demandaran más agua, servicios y alimentos.

El estrés hídrico.

Es considerado como la baja disponibilidad de agua por habitante en una cuenca; en una escala mundial si la disponibilidad es menor a 1,000 m³/año, se sufre de estrés hídrico Mapa 1.4.¹⁴



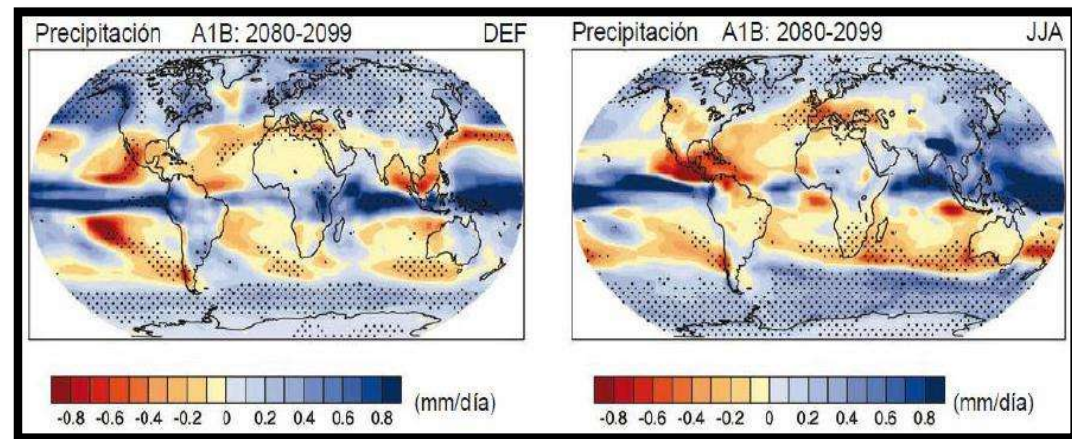
MAPA 1.4. EJEMPLOS DE VULNERABILIDAD ACTUAL DE LOS RECURSOS DE AGUA DULCE Y DE SU GESTIÓN; AL FONDO, UN MAPA DE ESTRÉS HÍDRICO, BASADO EN WaterGAP (Alcamo et al., 2003).

Los resultados actuales del uso del agua no permitirán atender el reto de suministro de agua para todos, la escasez de agua crecerá para el año 2025 y más de la mitad de la población mundial estará en condiciones de severa escasez, existiendo ya diferentes modelos climáticos o también llamados de circulación global que lo comprueban.

¹³ Distribución global del agua en <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>

¹⁴ El cambio climático y el agua, IPCC 2008. <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf>

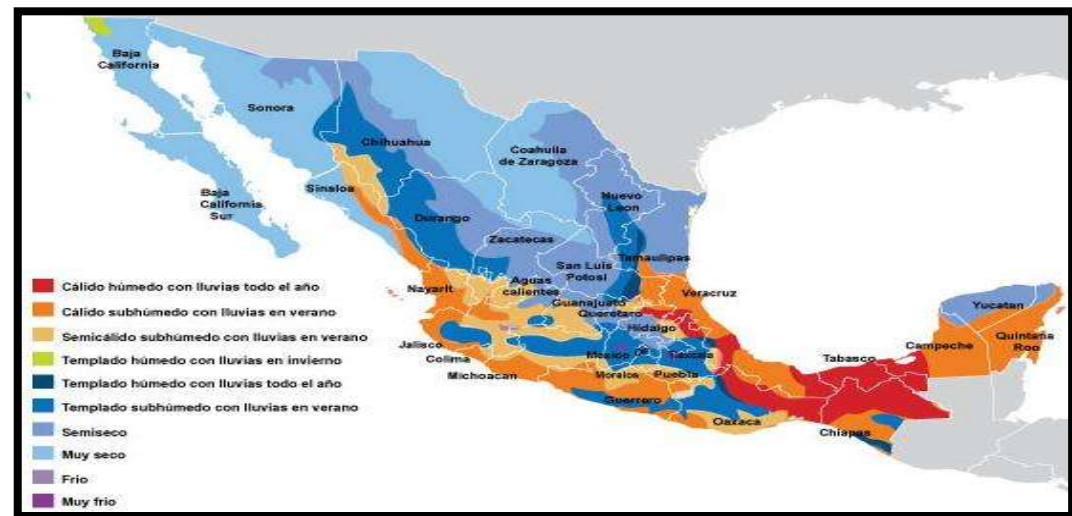
Como ejemplo de esta situación, en la Mapa 1.5 presenta valores promedio obtenidos en 15 modelos de circulación global realizados por el IPCC, estos valores muestran cambios de la precipitación en porcentaje para el periodo 2080-2099 en mm/día para los meses de diciembre a febrero, que se aprecian en el lado izquierdo y otro para los meses de junio a agosto que se aprecia a la derecha. Las áreas entre amarillo y naranja representan los lugares en que más de un 66% de los modelos coinciden con el signo del cambio, y las áreas punteadas representan los lugares en que más de un 90% de los modelos concuerdan con el signo del cambio.^{12,15}



MAPA 1.5. MODELO DE FUTUROS CAMBIOS EN LA PRECIPITACIÓN, PODEMOS APRECIAR LA MEDIA DE 15 MODELOS DE LOS CAMBIOS DE PRECIPITACIÓN (unidad: mm/día) PARA LOS MESES DEF (izquierda) y JJA (derecha). ESTOS CAMBIOS ESTÁN BASADOS EN EL ESCENARIO A1B DEL IE-EE, Y CORRESPONDEN AL PERIODO 2080-2099 COMPARADO CON 1980-1999. LOS PUNTOS INDICAN ÁREAS EN QUE LA MAGNITUD DEL VALOR MEDIO DEL AGREGADO MULTIMODELOS EXCEDE DE LA DESVIACIÓN TÍPICA ENTRE MODELOS.

Como se ha logrado interpretar en resultados obtenidos de diferentes modelos de circulación global, México será uno de los países más afectados por el cambio climático con una disminución de la precipitación de hasta un 60% o más, esto es debido principalmente a su ubicación geográfica y a sus condiciones socioeconómicas.

México actualmente cuenta con dos terceras partes de su territorio que se caracterizan por ser zonas áridas o semiáridas y se puede predecir fácilmente que esa superficie sufra una sensible disminución de su precipitación media anual Mapa 1.6.¹⁶



MAPA 1.6. CLIMAS DE MÉXICO.

¹⁵ Cambio climático 2007, Informe de síntesis, IPCC.

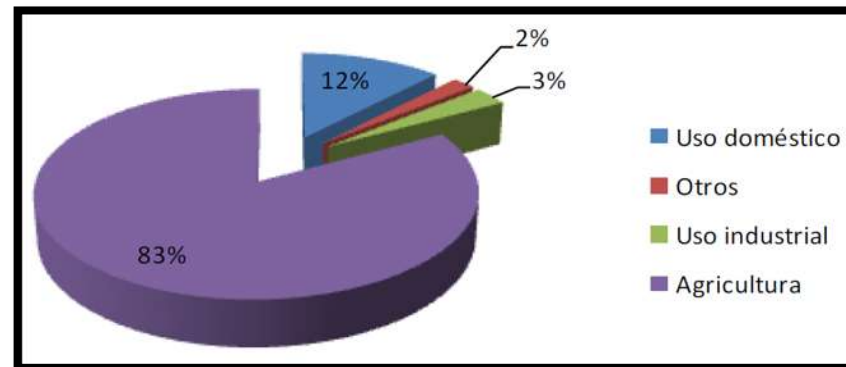
¹⁶ Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México, Tomo I, IMTA 2007.

1.1.3 USOS DEL AGUA DULCE

Podemos decir que algunos de los usos de tan genial líquido 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 las 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 maquinas como molinos de agua y aserraderos.*
- ▶ *El agua en las vías de comunicación: desde mucho tiempo, el hombre aprendió a construir embarcaciones que le permitan 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.*¹⁷

Los usos del agua impactan en el ciclo hidrológico, tanto desde el punto de vista cualitativo y 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. En México el consumo de agua por sector se indica en la siguiente Grafica 1.5.



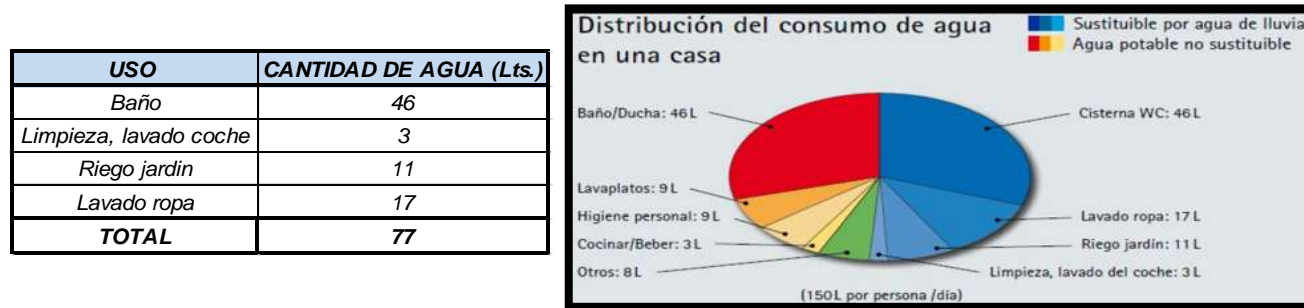
GRAFICA 1.6. CONSUMO DE AGUA EN MÉXICO.

¹⁷ Usos del agua : http://mimosa.pntic.mec.es/~vgarci14/usos_agua.htm



1.1.4 USOS DEL AGUA DE LLUVIA

Uno de los tantos usos que puede tener el agua de lluvia son usos caseros, donde la calidad del agua de lluvia no precisa ser la apta para el consumo humano. Pero si hacemos referencia al empleo en el lavado de ropa, trastes, la limpieza de la casa, la cisterna del inodoro y el riego en general. Por ejemplo en el inodoro, gastamos alrededor de 40 litros de agua potable a diario, en estos casos el agua de lluvia puede reemplazar perfectamente al agua potable. De esta manera no solo dejamos de malgastar agua potable, sino que, al ser el agua de lluvia mucho más blanda que la del grifo, estamos ahorrando hasta un 50% de detergente. Según cálculos del ministerio del medio ambiente en Hessen (Alemania), se pueden sustituir en un hogar medio, 50 000 litros anuales de agua potable, por agua de lluvia. Incluso más allá de estas indicaciones, el agua de lluvia se ha empleado históricamente para lavarse, beber y cocinar directamente con ella. Hoy día los criterios son un poco más restrictivos y no suele aconsejarse el empleo directo del agua de lluvia para estos usos. Pero es relativamente fácil adaptarla para poder disponer de ella como fuente de agua si así se desea, con todas las garantías sanitarias que se requieren. En este caso, si se deben tomar una serie de precauciones e instalar unos sistemas complementarios de depuración del agua. En la Grafica 1.6 se pueden apreciar algunos consumos domésticos en los cuales por lo menos 77 litros de agua son perfectamente sustituibles por agua de lluvia estos usos pueden ser:¹⁸



GRAFICA 1.7. CONSUMOS SUSTITUIBLES POR AGUA DE LLUVIA.

En la Tabla 1.6 se presentan datos de los requerimientos de algunas especies animales y que se pueden cubrir con agua de lluvia.

Especie	Requerimientos de agua (litros/día)
Vacas adultas secas	57
Vacas adultas grandes productoras	80 a 130
Cerdos en finalización de 100 kg PV	8 a 12
Ovinos a 3 meses de gestación	4.5
Ovinos a 5 meses de gestación	6.6
Cabras productoras de carne	4.2
Cabras productoras de leche	11.2
Pollos de 1.30 kg PV	1.57
Gallinas de 2.20 kg PV	5.50
Pavos de 10 semanas de edad	4 a5
Perros	6

PV = Peso Vivo

TABLA 1.6. REQUERIMIENTOS DE AGUA DE ALGUNAS ESPECIES DE ANIMALES

¹⁸ Sistemas de recuperación de agua de lluvia. Soluciones para aprovechar el agua de lluvia CaratS. Empresa Otto Graf GmbH. 2009. http://www.construible.es/construible/biblioteca/catalogo_carat-graf.pdf



El agua de lluvia presenta una serie de características que podemos tomar como ventajas.¹⁷

▮ **Ahorro económico**

- *El agua de lluvia es un recurso gratuito e independiente total de los sistemas suministradores de agua habituales.*
- *Compramos agua potable para usos que no precisan que sea potable: el WC, lavadora, riego de jardines o limpieza en general.*
- *Usar agua de lluvia supone una reducción substancial de la facturación del agua, al ahorrar agua potable ahorramos en tarifas elevadas.*
- *El precio del agua se multiplicara en pocos años según la Directiva del Marco del agua.*
- *Precisa de una infraestructura bastante sencilla para su captación, almacenamiento y distribución.*

▮ **Protección del medio ambiente**

- *Importante ahorro energético en potabilización, desalinización o transporte de agua que acabamos tirando al WC o en nuestro jardín.*
- *Alargamos la reserva de agua potable disponible al ahorrar en el consumo.*
- *Extraemos menos agua de nuestros ya asfixiados recursos hídricos.*
- *Ahorro del 50% de detergentes y suavizantes al utilizar agua de lluvia para la lavadora, contaminando un 50% menos.*

▮ **Calidad**

- *Por una parte es un agua extremadamente limpia en contaminación con las otras fuentes de agua dulce disponibles.*
- *El agua se mantiene en óptimas calidad para su uso.*
- *El agua de lluvia es mucho mejor para el riego que el agua clorada de la red.*

1.1.5 SITUACIÓN DEL AGUA EN MÉXICO

La problemática de escases de agua ha provocado que la administración y preservación del recurso hídrico sea una tarea compleja que requiere el trabajo conjunto de diversas dependencias federales, estatales, municipales y de la sociedad en general. Por lo que es de relevancia que se cuente con información confiable y actualizada acerca de todos los aspectos relacionados con la gestión del agua en México y el mundo.

▮ **El carácter social del recurso agua.**

La creciente escasez que vivimos sobre el recurso del agua hace que sea de carácter vital, obligando a un análisis permanente de su problemática y a la propuesta de diferentes soluciones para su sustentabilidad, donde fenómenos como el cambio climático, la creciente degradación de las aguas superficiales y subterráneas, el desarrollo de las tecnologías altamente contaminantes, la creciente población demandante de agua potable, la desertificación por abusos con la naturaleza, la escasez del recurso en cuencas hidrológicas, son algunos problemas que caracterizan la situación actual en materia de agua.

Este recurso adquiere un carácter de soberanía nacional y constituye un derecho esencial para el bien común del pueblo y para el pueblo. Por ello, si no se toma en cuenta el valor social del agua y se favorecen los intereses comerciales, en un futuro el recurso se convertiría en una mercancía que podría entrar en el juego de oferta y demanda, por lo que el agua será de quien la pueda pagar. Dentro de este contexto, el agua toma dimensiones de seguridad nacional, ante esta situación, debe orientarse a los usuarios del agua hacia un aprovechamiento racional y congruente.



Perspectiva general

La república Mexicana tiene una extensión territorial de 1 964 375 Km², donde tenemos:

- 178 localidades urbanas con 50,000 o más habitantes.
- 863 localidades entre 2,500 y 49,999 habitantes.
- 47 771 localidades rurales entre 100 y 2,499 habitantes.
- 148,579 con menos de 100 habitantes.

La población en 2005, se estimo en 106, 451, 679 habitantes, la cual se incrementara como se puede apreciar en la Tabla 1.7, presentando una proyección hasta el año 2030.¹⁹

Tabla 1.7. POBLACION POR ENTIDAD FEDERATIVA AL AÑO 2030.

Población a mitad de año	2005	2010	2020	2030	Población a mitad de año	2005	2010	2020	2030
Aguascalientes	1,044,014	1,118,074	1,250,521	1,356,968	Nayarit	997,654	1,027,156	1,074,168	1,099,697
Baja california norte	2,947,836	3,346,657	4,138,565	4,864,276	Nuevo León	4,242,555	4,552,404	5,119,183	5,594,023
Baja california sur	502,623	566,904	692,379	805,327	Oaxaca	3,716,837	3,816,870	3,962,397	4,022,105
Campeche	775,765	837,593	955,823	1,056,688	Puebla	5,536,997	5,797,351	6,246,605	6,554,882
Chapas	4,417,084	4,699,370	5,220,030	5,639,988	Querétaro	1,601,101	1,738,921	1,999,393	2,217,545
Chihuahua	3,432,518	3,716,854	4,244,089	4,685,156	Quintana roo	1,091,496	1,283,883	1,663,733	2,008,755
Coahuila	2,543,160	2,693,046	2,954,174	3,155,420	San Luis Potosí	2,409,311	2,452,198	2,522,680	2,555,979
Colima	591,350	626,679	691,397	740,610	Sinaloa	2,771,148	2,879,690	3,061,637	3,182,337
Distrito federal	8,814,797	8,814,867	8,766,429	85,951,818	Sonora	2,487,066	2,670,917	3,012,160	3,301,830
Durango	1,554,948	1,576,441	1,601,038	1,599,076	Tabasco	2,069,522	2,184,350	2,389,020	2,538,074
Estado de México	14,672,398	15,744,553	17,601,504	18,939,803	Tamaulipas	3,163,846	3,441,570	3,953,549	4,382,058
Guanajuato	5,065,338	5,230,932	5,492,638	5,653,326	Tlaxcala	1,072,311	1,153,609	1,305,709	1,431,234
Guerrero	3,260,576	3,294,329	3,310,700	3,267,235	Veracruz	7,295,935	7,378,261	7,467,895	7,427,933
Hidalgo	2,389,912	2,477,219	2,620,833	2,711,191	Yucatán	1,807,639	1,923,530	2,148,744	2,342,080
Jalisco	6,814,808	7,067,743	7,479,485	7,733,119	Zacatecas	1,416,865	1,418,673	1,404,151	1,371,748
Michoacán	4,227,017	4,276,644	4,327,113	4,300,893					
Morelos	1,717,252	1,806,618	1,961,018	2,071,042	Total	106,451,679	111,613,906	120,638,760	134,562,216

Tabla 7.1 POBLACION TOTAL POR ENTIDAD FEDERATIVA SEGÚN SEXO, AÑOS CENSALES 2005 Y 2010

Entidad federativa	2005 a/			2010 b/		
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres
Estados Unidos Mexicanos	103 263 388	50 249 955	53 013 433	112 336 538	54 855 231	57 481 307
Aguascalientes	1 065 416	515 364	550 052	1 184 996	576 638	608 358
Baja California	2 844 469	1 431 789	1 412 680	3 155 070	1 591 610	1 563 460
Baja California Sur	512 170	261 288	250 882	637 026	325 433	311 593
Campeche	754 730	373 457	381 273	822 441	407 721	414 720
Coahuila de Zaragoza	2 495 200	1 236 880	1 258 320	2 748 391	1 364 197	1 384 194
Colima	567 996	280 005	287 991	650 555	322 790	327 765
Chiapas	4 293 459	2 108 830	2 184 629	4 796 580	2 352 807	2 443 773
Chihuahua	3 241 444	1 610 275	1 631 169	3 406 465	1 692 545	1 713 920
Distrito Federal	8 720 916	4 171 683	4 549 233	8 851 080	4 233 783	4 617 297
Durango	1 509 117	738 095	771 022	1 632 934	803 890	829 044
Guanajuato	4 893 812	2 329 136	2 564 676	5 486 372	2 639 425	2 846 947
Guerrero	3 115 202	1 499 453	1 615 749	3 388 768	1 645 561	1 743 207
Hidalgo	2 345 514	1 125 188	1 220 326	2 665 018	1 285 222	1 379 796
Jalisco	6 752 113	3 278 822	3 473 291	7 350 682	3 600 641	3 750 041
México	14 007 495	6 832 822	7 174 673	15 175 862	7 396 986	7 778 876
Michoacán de Ocampo	3 966 073	1 892 377	2 073 696	4 351 037	2 102 109	2 248 928
Morelos	1 612 899	775 311	837 588	1 777 227	858 588	918 639
Nayarit	949 684	469 204	480 480	1 084 979	541 007	543 972
Nuevo León	4 199 292	2 090 673	2 108 619	4 653 458	2 320 185	2 333 273
Oaxaca	3 506 821	1 674 855	1 831 966	3 801 962	1 819 008	1 982 954
Puebla	5 383 133	2 578 664	2 804 469	5 779 829	2 769 855	3 009 974
Querétaro	1 598 139	772 759	825 380	1 827 937	887 188	940 749
Quintana Roo	1 135 309	574 837	560 472	1 325 578	673 220	652 358
San Luis Potosí	2 410 414	1 167 308	1 243 106	2 585 518	1 260 366	1 325 152
Sinaloa	2 608 442	1 294 617	1 313 825	2 767 761	1 376 201	1 391 560
Sonora	2 384 861	1 198 154	1 196 707	2 662 480	1 339 612	1 322 868
Tabasco	1 989 969	977 785	1 012 184	2 238 603	1 100 758	1 137 845
Tamaulipas	3 024 238	1 493 573	1 530 665	3 268 554	1 616 201	1 652 353
Tlaxcala	1 068 207	517 477	550 730	1 169 936	565 775	604 161
Veracruz de Ignacio de la Llave	7 110 214	3 423 379	3 686 835	7 643 194	3 695 679	3 947 515
Yucatán	1 818 948	896 562	922 386	1 955 577	963 333	992 244
Zacatecas	1 367 692	659 333	708 359	1 490 668	726 897	763 771

Tabla 1.7. POBLACIÓN POR ENTIDAD FEDERATIVA AL AÑO 2030.
Tabla 1.7.1. POBLACIÓN TOTAL POR ENTIDAD FEDERATIVA SEGÚN SEXO, AÑOS CENSALES 2005 Y 2010.

¹⁹ Planeación del agua un enfoque social y sistémico: agua, un derecho social, IPN 2006.



En la tabla 1.7 se muestran datos obtenidos mediante estadística sobre la población por entidad federativa con diferentes periodos, mismos comprendidos entre los años de 2005, 2010, 2020, 2030, esta información es cotejada con datos del INEGI Tabla 1.7.²⁰, en la cual apreciamos los datos verídicos de cada entidad federativa, al cotejar las tablas, apreciamos que existe una pequeña variante en algunas entidades federativas en cuanto al total de habitantes, el rango de variación en los años 2005 y 2010 es aproximadamente de +/-, 3%, por lo cual es aceptado para el estudio teórico.

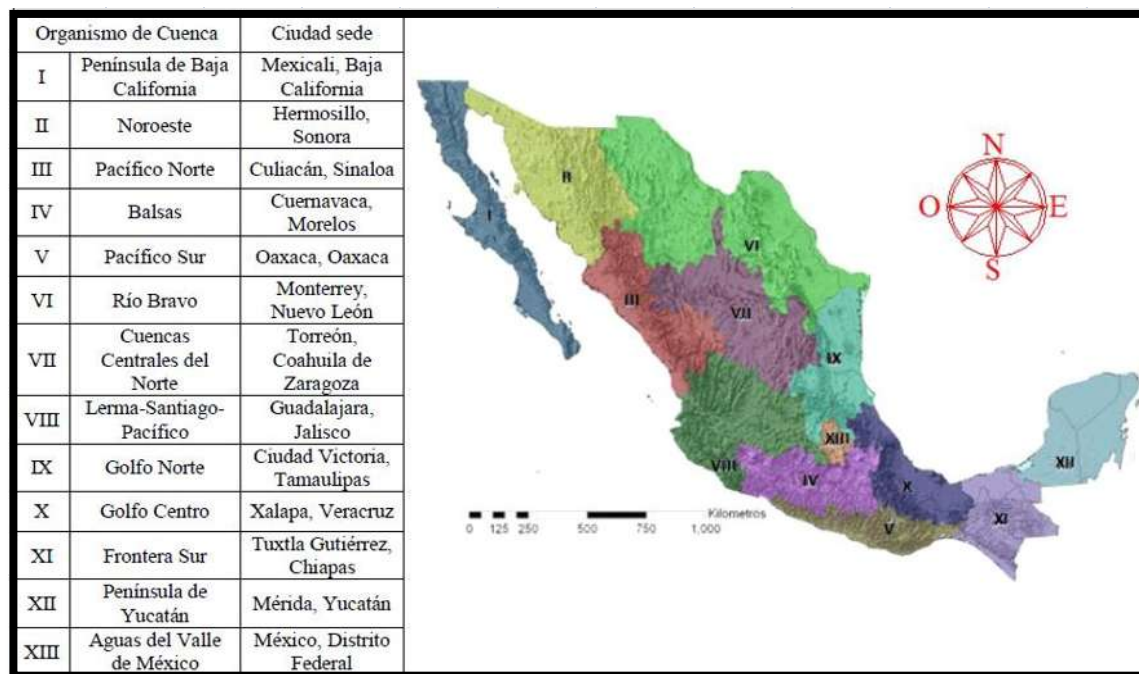
Además se prevé que la disponibilidad del agua para el año 2025 se reducirá en la mitad de la que se consume actualmente; debido a que el rango de disponibilidad que va de los 4,999 m³/habitante/año hacia abajo, México se encuentra en la zona de disponibilidad "media baja", lo cual significa escasez de recurso" Tabla 1.8.⁸

Año	m ³ / hab/año	Disponibilidad
1955	11 500	Se estima alta en mas de 10,000
1999	4 999	Se estima media de 5,000 a 10,000
2025	2 025	Se estima baja de en menos de 5,000

TABLA 1.8. TENDENCIAS EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN MÉXICO
 MAPA 7. REGIONES HIDROLÓGICAS ADMINISTRATIVAS.

Regiones hidrológicas administrativas

El país se ha dividido en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA), por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), esto con el fin de organizar la administración y preservación de las aguas nacionales las cuales fueron definidas conforme a la delimitación de las cuencas del país, y están constituidas por municipios completos Mapa 1.7.

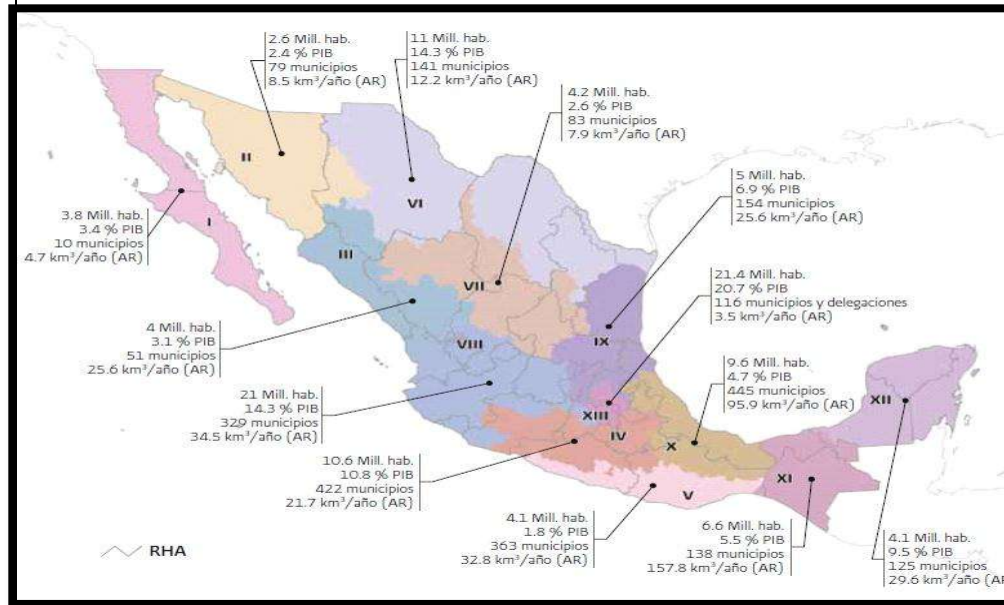


MAPA 1.7. REGIONES HIDROLÓGICAS ADMINISTRATIVAS

En el siguiente Mapa 1.8 podemos apreciar el resumen de datos por RHA y por entidad federativa, los principales datos demográficos, socioeconómicos y de agua renovable por RHA se indican en el Mapa 1.8.

²⁰ Anuario de estadísticas por entidad federativa 2011. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aepef/2011/Aepef2011.pdf

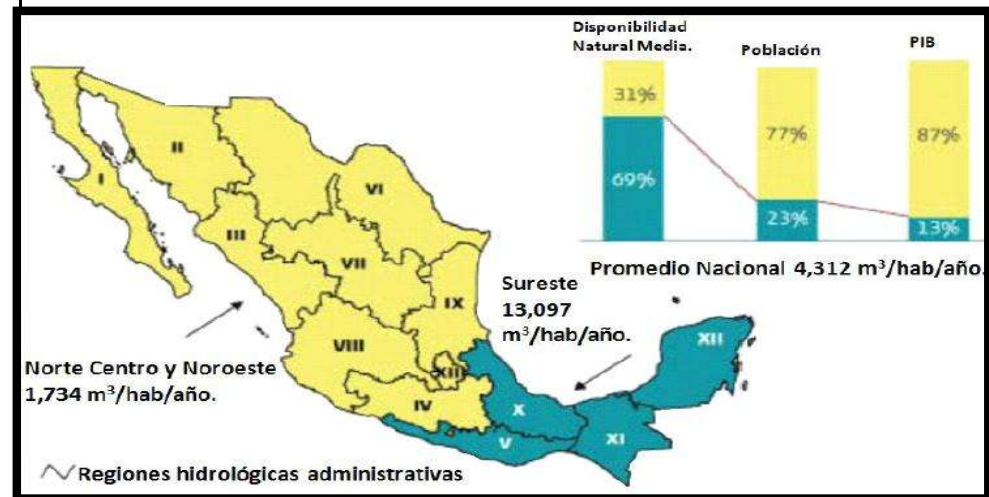
MAPA 8. DATOS DEMOGRÁFICOS, SOCIOECONÓMICOS Y DE AGUA RENOVABLE POR RHA, 2009



MAPA 1.8. DATOS DEMOGRÁFICOS, SOCIOECONÓMICOS Y DE AGUA RENOVABLE POR RHA, 2009

Situación del recurso hídrico en el país.

Podemos notar que existe una inadecuada proporción del agua con respecto al PIB. El país se puede dividir en tres zonas: zona norte, centro y noroeste, donde se concentra el 77% de la población, y se produce el 87% del PIB (PRODUCTO INTERNO BRUTO), pero únicamente ocurre el 31% del agua renovable; y la zona sur y sureste, donde habita el 23% de la población, se produce el 13% del PIB y ocurre el 69% del agua Mapa 1.9.



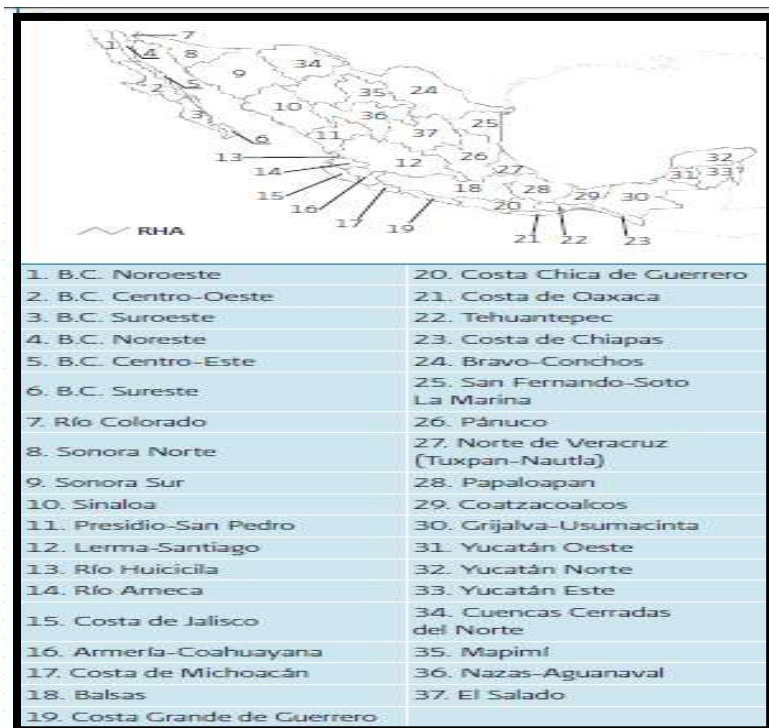
MAPA 1.9. CONTRASTE REGIONAL ENTRE EL DESARROLLO Y LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA, 2008



Además de las Regiones Hidrológicas-Administrativas las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas y se cuentan con 4,058 estaciones hidrométricas, climatológicas e hidroclimatológicas²¹

En el ciclo hidrológico, una proporción importante de la precipitación pluvial regresa a la atmósfera en forma de evapotranspiración, mientras que el resto escurre por los ríos y arroyos delimitados por las cuencas hidrográficas, o bien se infiltra en los acuíferos. De acuerdo con los trabajos realizados por la Conagua, el INEGI y el INE, se han identificado 1,471 cuencas hidrográficas en el país, las cuales, para fines de publicación de la disponibilidad²² de aguas superficiales, se han agrupado y/o subdividido en cuencas hidrológicas. Al 31 de diciembre del 2009 se tenían publicadas las disponibilidades de 722 cuencas hidrológicas, conforme a la norma NOM-011-CONAGUA-2000, en tanto que para el 31 de diciembre de 2010 se habían añadido otras 9 cuencas.

Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas que se muestran en el Mapa 1.10, y a su vez se agrupan en las 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA). En lo que se refiere a las aguas subterráneas, el país está dividido en 653 acuíferos, conforme a lo publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de diciembre de 2001, y cuyos límites se presentan en el Mapa 7, de acuerdo con las coordenadas de las poligonales simplificadas del DOF del 13 de agosto del 2007, 3 de enero del 2008 y 28 de agosto del 2009.



MAPA 1.10. REGIONES HIDROLÓGICAS

Actualmente La Conagua cuenta con 4,008 estaciones en operación para medir las variables climatológicas e hidrométricas, Tabla 1.9.

Donde:

- Las estaciones climatológicas, miden la temperatura, precipitación pluvial, evaporación, velocidad y dirección del viento.
- Las estaciones hidrométricas, miden el caudal de agua de los ríos, así como la extracción por obra de toma de las presas.
- Las estaciones hidroclimatológicas, miden algunos parámetros climatológicos e hidrométricos.

TABLA 9. NUMERO DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS E HIDROMÉTRICAS EN MÉXICO, 2009

Tipo de estación	Número de estaciones
Climatológica	3 324
Hidrométrica	684
Total	4 008

TABLA. 1.9. NUMERO DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS E HIDROMÉTRICAS EN MÉXICO, 2009.

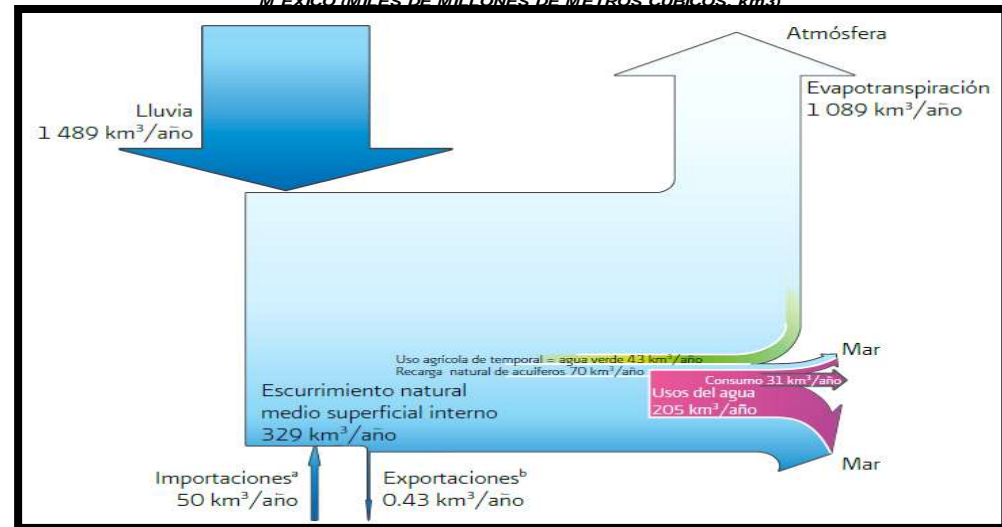
²¹ Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT Y CONAGUA 2011.

²² Valor que resulta de la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo y el volumen anual actual comprometido aguas abajo



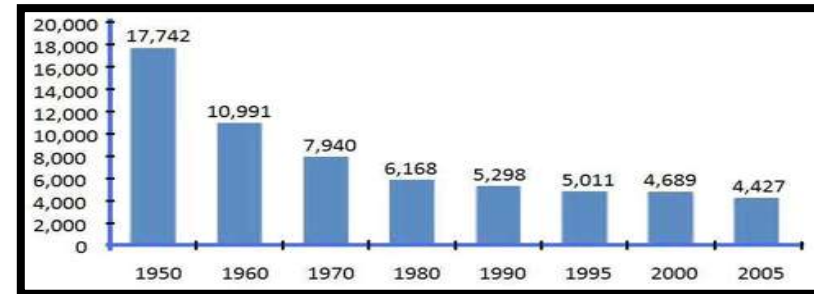
Hoy en día México recibe del orden de 1,489 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 73.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.1% escurre por los ríos o arroyos, y el 4.8% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, así como la recarga incidental, anualmente el país cuenta con 460 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable. La Gráfica 1.7 muestra los componentes y valores que conforman el cálculo del agua renovable.

GRAFICA 8. VALORES MEDIOS ANUALES DE LOS COMPONENTES DEL CICLO HIDROLÓGICO DE MÉXICO (MILES DE MILLONES DE METROS CÚBICOS, km³)



GRAFICA 1.8. VALORES MEDIOS ANUALES DE LOS COMPONENTES DEL CICLO HIDROLÓGICO DE MÉXICO (MILES DE MILLONES DE METROS CÚBICOS, Km³)

Actualmente la disponibilidad natural media per cápita, ha disminuido de 18,035 m³/habitante/año en 1950 a tan sólo 4,312 m³/habitante/año en el 2007. En la siguiente gráfica se puede apreciar cómo ha disminuido este valor al paso de los años, Gráfica 1.8²⁰.



GRAFICA 1.9. VARIACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA PER CÁPITA DEL AGUA DE 1950 A 2005 EN (m³/hab/año).

Actualmente México se ve en la necesidad de realizar importaciones de otros países mismas que representan el volumen de agua que se genera en las ocho cuencas compartidas con los tres países con los que México tiene fronteras (Estados Unidos de América, Guatemala y Belice) y que escurre hacia nuestro país. Las exportaciones representan el volumen de agua que México debe entregar a Estados Unidos de América conforme al "Tratado de Aguas" de 1944²³, a continuación apreciaremos el comportamiento del agua renovable en México por RHA.

²³ "Tratado entre el gobierno de los estados unidos mexicanos y el gobierno de los Estados Unidos de América de la distribución de las aguas internacionales de los ríos colorado, Tijuana y bravo, desde fort quitman, texas, hasta el golfo de México".



Cabe aclarar que el agua renovable se debe analizar desde tres perspectivas:

- *Distribución temporal*, ya que en México existen grandes variaciones del agua renovable a lo largo del año. La mayor parte de la lluvia ocurre en el verano, mientras que el resto del año es relativamente seco.
- *Distribución espacial*. Porque en algunas regiones del país ocurre precipitación abundante y existe una baja densidad de población, mientras que en otras sucede el efecto contrario.
- *Área de análisis*. Porque 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, XIII Aguas del Valle de México, VI Río Bravo, VII Cuencas Centrales del Norte y VIII Lerma-Santiago-Pacífico, el valor del agua renovable per cápita es preocupantemente bajo. En la Tabla 1.10 se muestran los valores de agua renovable en cada una de las regiones del país.

TABLA 10. AGUA RENOVABLE PER CAPITA, POR RHA.

RHA	Agua renovable (hm ³ /año)	Población a diciembre de 2009 (Mill. Hab)	Agua renovable per cápita 2009 (m ³ /hab/año)	Escorrentamiento natural medio superficial total* (hm ³ /año)	Recarga media total de acuíferos (hm ³ /año)
I Península de Baja California	4 667	3.78	1 234	3 367	1 300
II Noroeste	8 499	2.62	3 250	5 074	3 426
III Pacífico Norte	25 630	3.96	6 473	22 364	3 267
IV Balsas	21 680	10.62	2 040	17 057	4 623
V Pacífico Sur	32 824	4.13	7 952	30 800	2 024
VI Río Bravo	12 163	10.98	1 107	6 857	5 306
VII Cuencas Centrales del Norte	7 898	4.19	1 887	5 506	2 392
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	34 533	20.97	1 646	26 431	8 102
IX Golfo Norte	25 564	4.97	5 145	24 227	1 338
X Golfo Centro	95 866	9.65	9 937	91 606	4 260
XI Frontera Sur	157 754	6.62	23 835	139 739	18 015
XII Península de Yucatán	29 645	4.06	7 294	4 330	25 316
XIII Aguas del Valle de México	3 513	21.42	164	1 174 ^b	2 339
Total nacional	460 237	107.97	4 263	378 530	81 707

TABLA 1.10. AGUA RENOVABLE PERCÁPITA, POR RHA.

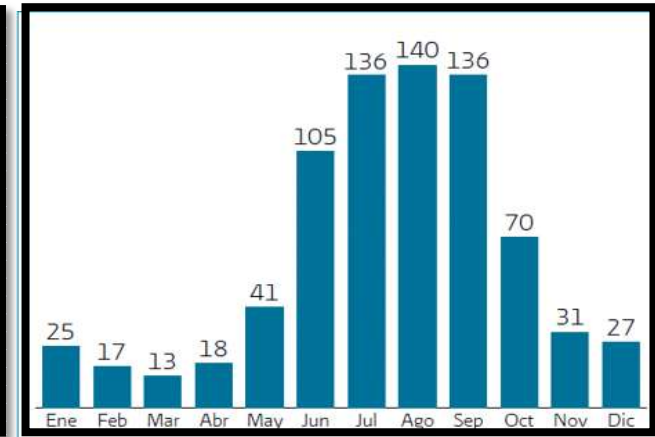
NOTA: La precipitación normal del país en el periodo de 1971-2000 fue de 760 milímetros. Los valores normales, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) corresponden a los promedios calculados para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de recabar información, lo cual se considera como un periodo climatológico mínimo representativo. Además dicho periodo deberá iniciar el 1° de enero de un año que termine en uno y finalice el 31 de diciembre de un año que termine en cero. La Tabla 1.11 presenta la precipitación normal por RHA en el periodo de 1971 a 2000, en tanto que la muestra dicho dato por entidad federativa para ese mismo periodo. En la mayor parte de nuestro país, la precipitación ocurre predominantemente entre junio y septiembre, con excepción de la península de Baja California, donde se presenta principalmente en el invierno.

Es importante señalar que la distribución mensual de la precipitación acentúa los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso, debido a que en México el 68% de la precipitación normal mensual ocurre entre los meses de junio y septiembre, como se observa en la Grafica 1.10.

RHA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
I Península de Baja California	23	22	17	4	1	1	9	23	24	12	12	21	169
II Noroeste	25	23	13	5	5	18	111	107	56	28	20	33	445
III Pacífico Norte	27	12	5	5	8	62	188	193	136	54	29	28	747
IV Balsas	15	5	6	14	52	186	198	192	189	83	16	7	963
V Pacífico Sur	9	8	8	20	78	244	205	225	249	111	21	9	1 187
VI Río Bravo	16	12	10	16	31	50	75	81	81	36	15	17	438
VII Cuencas Centrales del Norte	16	6	5	12	27	59	87	86	72	32	13	15	430
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	22	6	3	6	23	131	201	185	150	59	18	12	816
IX Golfo Norte	27	17	21	40	76	142	145	130	176	82	30	29	914
X Golfo Centro	45	34	30	41	85	226	255	253	281	161	88	61	1 558
XI Frontera Sur	60	52	38	52	135	278	219	266	332	222	114	77	1 846
XII Península de Yucatán	48	31	29	38	83	172	158	173	212	147	76	52	1 218
XIII Aguas del Valle de México	10	8	13	28	56	105	115	104	98	50	13	7	606
Total	25	17	13	18	41	105	136	140	136	70	31	27	760

TABLA 1.11. PRECIPITACIÓN PLUVIAL NORMAL MENSUAL POR RHA, 1971-2000 (Milímetros).

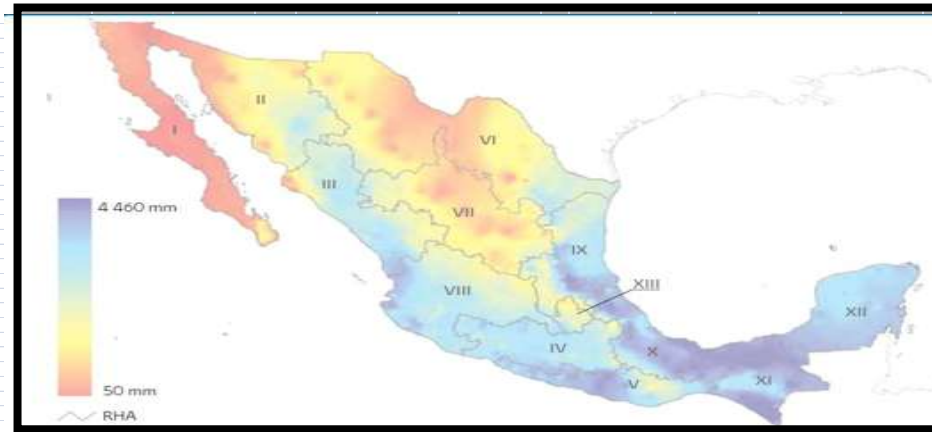
GRAFICA 9. PRECIPITACION PLUVIAL EN MEXICO



GRAFICA 1.10. PRECIPITACIÓN PLUVIAL, POR MES EN MÉXICO.

La distribución de esta precipitación en el plano nacional queda según el Mapa 1.11.

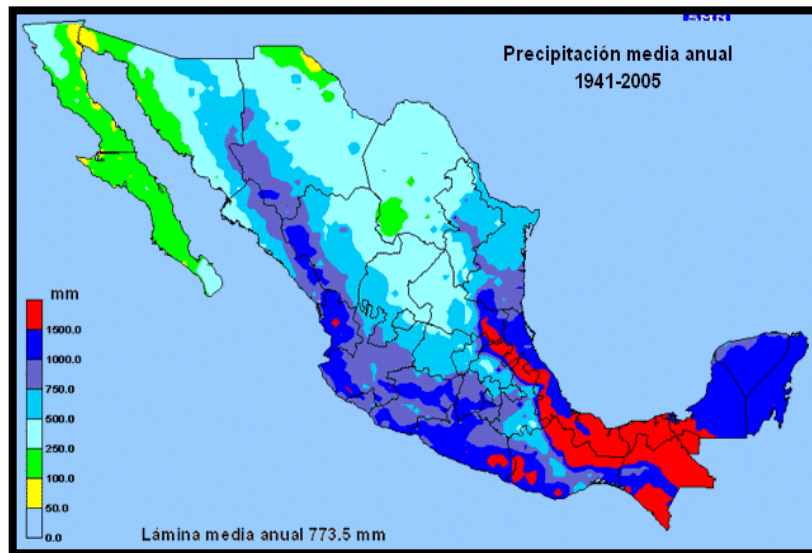
MAPA 10. DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACION ANUAL EN MEXICO, 1971-2000



MAPA 1.11.DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN MÉXICO, 1971-2000.

Ahora si damos un enfoque un poco más profundo en lo referente a un periodo más grande de años de estudio, tomando un periodo de 1941 – 2005, podemos apreciar la forma en la cual se ha ido comportando la distribución de lluvia por entidad federativa en un periodo de 64 años.

En el Mapa 1.12 y Tabla 1.12, se puede apreciar la precipitación por entidad federativa y como ejemplo de la discrepancia en la distribución de la precipitación se puede apreciar que mientras los estados del sur de México como son Campeche, Guerrero, Nayarit, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán cuentan con una precipitación anual por encima de los 1,000 mm, en el otro extremo las condiciones de agua son completamente distintas con una precipitación anual menor a los 600 mm, en estados como Baja California Norte y Sur, Chihuahua, Coahuila o Sinaloa.



MAPA 1.12. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL 1941 – 2005

Ahora como pudimos apreciar en la Tabla 1.11, Grafica 1.10, Tabla y Grafica 1.12 la distribución mensual de la precipitación hace que se acentúen los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso, ya que aproximadamente el 68 % de la precipitación normal mensual cae entre los meses de junio y septiembre.

Por otro lado se tienen localizados 653 acuíferos de los cuales hasta el 2007 se tiene el conocimiento de que 101 de ellos se encuentran sobreexplotados, 17 con intrusión salina y 17 bajo salinización de suelos y aguas salobres; de los que se extrae el 58% del agua subterránea para todos los usos Tabla 1.13 y Mapa 1.13.

PRECIPITACIÓN MEDIA ESTATAL PERÍODO 1941 - 2005													
ESTADOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	ANUAL	
AGUASCALIENTES	12.2	6.7	3.9	7.2	16.8	73.2	102.3	102.7	79.0	32.1	10.9	456.4	
BAJA CALIFORNIA	36.4	34.8	36.8	15.2	4.2	1.2	1.3	4.7	5.9	11.2	20.3	203.7	
BAJA C. SUR	13.3	5.1	2.1	0.9	0.5	0.9	18.0	43.9	55.2	16.7	6.2	176.2	
CAMPECHE	27.5	22.8	18.4	17.1	66.2	168.1	191.6	206.5	217.3	135.9	60.8	1169.2	
COAHUILA	12.5	12.2	9.3	19.8	36.7	40.1	36.0	43.3	56.6	34.7	14.2	326.8	
COLIMA	20.6	6.7	3.8	2.1	8.0	114.2	164.1	202.2	222.4	102.4	24.0	883.2	
CHIAPAS	75.1	57.5	45.8	56.3	135.2	270.7	270.8	269.3	344.0	233.2	111.0	1968.9	
CHIHUAHUA	16.3	10.7	6.9	7.9	10.1	36.1	109.4	99.5	68.4	29.4	10.9	423.4	
D.F.	8.0	4.4	9.3	23.5	49.9	124.8	154.8	145.8	126.0	54.2	11.3	6.6	718.6
DURANGO	19.6	9.4	5.9	5.2	11.0	58.6	113.4	114.2	90.6	34.9	13.1	23.1	499.0
GUANAJUATO	12.5	6.5	8.2	14.5	36.1	106.6	129.3	127.0	102.4	41.4	11.5	9.4	605.3
GUERRERO	10.2	2.7	2.9	8.5	48.3	198.4	221.5	218.4	254.9	108.3	25.1	6.2	1105.4
HIDALGO	19.8	17.1	21.6	39.6	64.3	121.5	114.2	111.1	154.4	84.1	34.9	19.9	802.4
JALISCO	14.2	7.5	6.4	6.3	24.6	144.4	202.9	181.9	143.9	60.8	15.4	12.1	820.6
MEXICO	12.7	6.1	8.9	23.6	59.6	154.0	179.7	173.8	158.7	71.8	19.5	8.2	876.7
MICHOACAN	13.5	4.4	4.3	9.8	32.5	138.1	185.4	171.5	157.0	65.2	15.9	8.9	806.7
MORELOS	9.7	2.8	4.5	13.1	53.6	183.4	172.0	168.0	186.2	71.8	13.9	4.9	884.0
NAYARIT	18.8	9.8	4.5	4.0	7.4	136.2	280.5	277.2	222.6	76.0	15.3	16.3	1068.7
NUEVO LEON	20.1	17.8	18.7	36.3	59.3	71.0	58.6	84.4	132.8	67.4	19.5	16.2	602.2
OAXACA	29.5	25.7	21.8	30.6	86.5	257.0	268.4	257.5	289.6	153.5	62.5	36.2	1518.8
PUEBLA	29.5	25.7	27.0	45.4	82.3	188.0	199.2	197.9	235.8	142.6	62.1	35.3	1271.0
QUERETARO	11.2	5.4	8.1	19.7	39.9	100.6	107.5	101.9	100.9	43.4	12.4	7.0	558.2
Q. ROO	63.2	40.4	32.2	33.4	99.5	181.3	120.5	138.1	207.5	173.2	94.6	79.5	1263.3
S. LUIS P.	19.0	16.5	17.1	34.2	65.9	146.7	142.1	145.6	202.4	97.8	35.4	23.2	945.9
SINALOA	27.8	14.6	11.5	8.0	9.2	55.8	184.8	192.2	154.9	57.9	22.9	30.9	770.4
SONORA	23.7	15.5	10.1	4.2	3.4	19.1	115.2	107.9	57.9	25.4	13.2	25.9	421.6
TABASCO	175.3	120.6	79.5	74.0	123.9	245.8	208.9	251.5	380.1	343.1	213.7	189.5	2405.8
TAMAULIPAS	19.0	15.9	19.7	35.7	65.5	122.2	103.3	105.6	153.8	79.8	27.5	19.4	767.3
TLAXCALA	7.7	6.0	11.8	34.2	73.1	129.9	123.4	127.5	111.5	56.3	16.3	7.6	705.3
VERACRUZ	42.3	34.2	33.9	44.4	78.3	209.2	238.2	206.2	289.8	168.3	89.7	57.4	1492.0
YUCATAN	33.0	33.0	30.2	31.8	79.3	162.6	164.9	162.9	184.7	114.3	50.9	43.9	1091.5
ZACATECAS	15.5	8.6	5.8	7.1	18.7	82.4	117.8	113.2	85.2	35.6	12.2	15.5	517.6
NACIONAL	25.4	18.3	15.3	19.0	40.0	103.8	138.2	136.6	141.7	75.3	31.6	28.2	773.5

TABLA 1.12. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL POR ENTIDAD FEDERATIVA 1941 – 2005

Región Hidrológico-Administrativa	Número de acuíferos				
	Total	Sobreexplotado	Con intrusión marina	Bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres	Recarga media (millones m ³)
I Península de Baja California	87	7	9	4	1,249
II Noroeste	63	13	5	0	3,130
III Pacífico Norte	24	2	0	0	3,263
IV Balsas	46	2	0	0	4,601
V Pacífico Sur	35	0	0	0	1,994
VI Río Bravo	100	15	0	4	5,167
VI I Cuenecas Centrales del Norte	68	24	0	8	2,274
VI II Lerma-Santiago-Pacífico	127	32	1	0	7,686
IX Golfo Norte	40	2	0	0	1,274
X Golfo Centro	22	0	2	0	3,849
XI Frontera Sur	23	0	0	0	18,015
XI I Península de Yucatán	4	0	0	1	25,316
XI II Aguas del Valle de México	14	4	0	0	1,834
Total	653	101	17	17	79,652

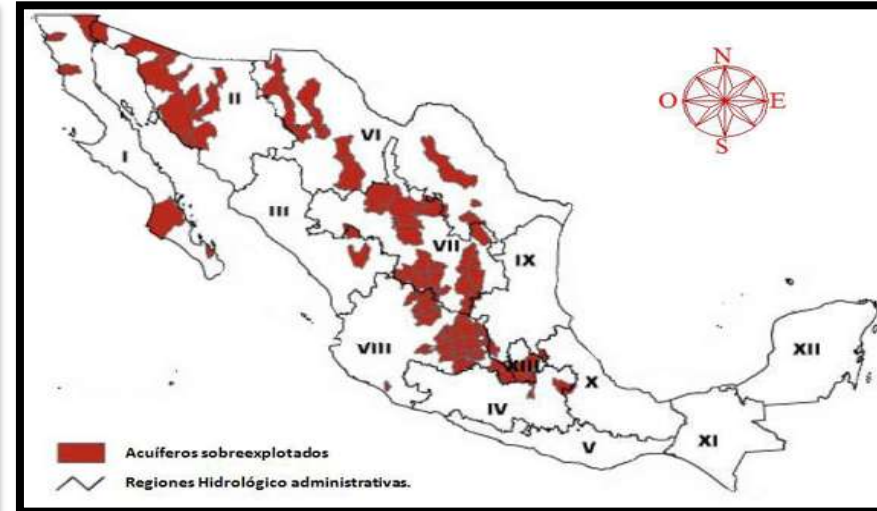


TABLA 1.13. ACUÍFEROS DEL PAÍS, POR REGIÓN HIDROLÓGICO ADMINISTRATIVA, 2007.
 MAPA 1.13 ACUÍFEROS SOBREEXPLORADOS POR REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA, 2007.

▮ **Grado de presión sobre el recurso.**

Una de las causas principales de presión sobre el recurso agua en México es que existen 13 millones de habitantes sin acceso al agua entubada Grafica 1.11, una de las razones es que tiene más de 148,579 comunidades con menos de 100 habitantes, es decir, muy dispersas.²⁴

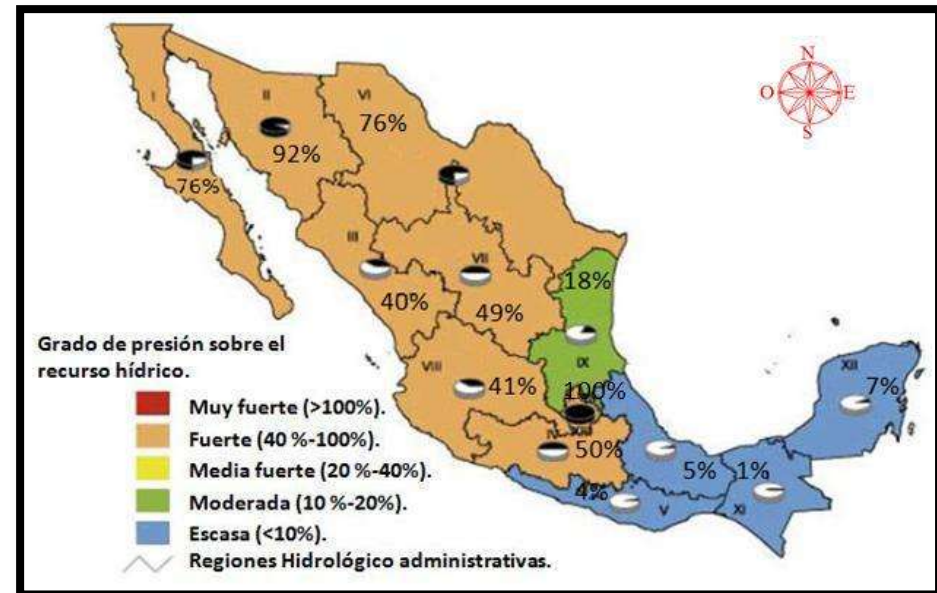


GRAFICA 1.11. DISTRIBUCIÓN DE VIVIENDAS SIN AGUA ENTUBADA EN LA REPÚBLICA MEXICANA.

²⁴ Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, Anaya Garduño, CIDECALLI 2008.

Además de que el porcentaje que representa el agua utilizada para usos consuntivos respecto a la disponibilidad total es un indicador del grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico en un país, cuenca o región. Se considera que si el porcentaje es mayor al 40%, se ejerce una fuerte presión sobre el recurso.

El país ejerce un grado de presión del 17%, el cual es considerado como moderado; sin embargo, la zona centro, norte y noroeste del país experimenta un grado de presión del 47%, lo cual se considera como presión fuerte sobre el recurso Mapa 1.14.



MAPA 1.14. GRADO DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO.

Es muy importante hacer un análisis de la disponibilidad del agua considerando tres perspectivas:

- *La distribución temporal:* debido a que en México se presentan grandes variaciones en las precipitaciones y por ende en la disponibilidad de agua a lo largo del año. La mayor parte de la lluvia ocurre en el verano, mientras que el resto del año es relativamente seco, considerando que con el calentamiento global la temporada de lluvias ha estado en constante cambio.
- *Distribución espacial:* ya que algunas regiones del país como la zona sur tienen precipitación abundante y baja densidad de población, mientras que en otras ocurre todo lo contrario, como es el caso de la zona norte.
- *Área de análisis:* porque el problema del agua es predominantemente de tipo local y los indicadores calculados a gran escala esconden la gran diferencia de distribución del agua que existen a lo largo y ancho del país.²⁰

1.1.6 SITUACIÓN DEL AGUA EN MICHOACÁN

Ahora al realizar un pequeño zoom sobre la entidad federativa de Michoacán podemos apreciar que este estado cuenta con una gran variedad en climas y en lo referente a nuestro tema que es la captación de lluvia resulta sumamente favorable la zona que tiene este gran estados.

ZONA DE ESTUDIO



Nombre oficial del estado	Michoacán de Ocampo
Capital	Morelia
Coordenadas geográficas extremas	Al norte 20°24', al sur 17°55' de latitud norte; al este 100°04', al oeste 103°44' de longitud oeste. (a)
Porcentaje territorial	El estado de Michoacán de Ocampo representa el 3.0% de la superficie del país. (b)
Colindancias	Michoacán de Ocampo colinda al norte con Jalisco, Guanajuato y Querétaro de Arteaga; al este con Querétaro de Arteaga, México y Guerrero; al sur con Guerrero y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico, Colima y Jalisco. (a)

TABLA 1.14. DATOS DEL ESTADO DE MICHOACÁN

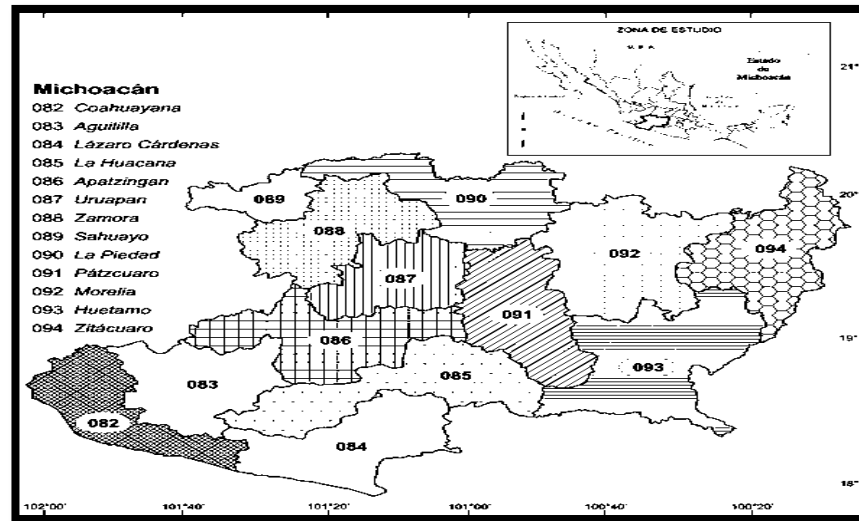
La zona en estudio, es decir, la entidad federativa como espacio físico geográfico, presenta cinco grandes unidades geomorfológicas: Depresión del Lerma, Sistema Volcánico Transversal, Cuenca del Balsas, Sierra Madre del Sur y las Planicies Costeras del Pacífico; en donde participan o convergen diversos factores físicos fundamentales para el desarrollo de diversas actividades, entre ellas la actividad agrícola. En el norte del estado (Ciénega de Chapala y Bajío) se distribuyen ampliamente los cultivos anuales, la vegetación natural se localiza en áreas muy reducidas, en las partes altas del Sistema Volcánico Transversal se encuentran algunos bosques de pino y encinos alternando con áreas de agricultura de temporal.

En la Depresión del Balsas, donde las condiciones climáticas y edáficas cambian notablemente se localizan selvas bajas caducifolias con vegetación secundaria y agricultura; en la Sierra Madre del Sur en razón de la altitud, se caracteriza por presentar bosques de pinos y encinos, y en las partes bajas de la misma (costa) se desarrollan la selva mediana subperennifolia junto con plantaciones perennes como el mango, tamarindo, guanábana y limón; entre las de mayor importancia se encuentran: palma de coco y plátano, junto con los cultivos tradicionales, maíz y frijol.

En general, en toda la entidad se cultiva bajo condiciones de temporal, concentrándose la mayor superficie de este cultivo en la parte centro-norte del estado, como podemos apreciar en el Mapa 1.15.

Los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) que conforman el estado son:

- Aguililla
- Apatzingán
- Coahuayana
- Huacana
- Huetamo
- Lázaro Cárdenas
- Morelia
- Pátzcuaro
- La Piedad
- Sahuayo
- Uruapan
- Zamora
- Zitácuaro



MAPA 1.15. DISTRITOS DE DESARROLLO DEL ESTADO DE MICHOACÁN

Clima del estado de Michoacán

En el estado podemos encontrar un complicado y diverso mosaico de condiciones climáticas que caracterizan el estado de Michoacán. En segundo término, la gran variación del sustrato geológico y la orientación de los complejos montañosos, pero particularmente el efecto de la depresión interior que se establece al nivel de la cuenca del Balsas o la Región de los Valles y Ciénegas del Norte, son también responsables de la variabilidad climática anotada.

Temperatura

La temperatura promedio anual es de 22.2 °C, teniendo como extremos temperaturas mínimas anuales de 8.5°C presentada en el mes de enero y de hasta 32°C presente en los meses de abril y mayo, lo cual la constituye en el décimo tercer entidad federativa más cálida del país. La distribución geográfica de la temperatura disminuye de sur a norte y siempre en relación con la altitud. Las temperaturas medias mensuales varían de 13° C a 29° C, las más elevadas se registran en las regiones de la Costa y la Tierra Caliente, particularmente en las porciones de menor altitud en donde los valores promedio anuales alcanzan extremos cercanos a los 32° C y aún más, como por ejemplo en las localidades de Churumuco, Apatzingán y Tepalcatepec. Las temperaturas medias mensuales más bajas se registran en las zonas montañosas hacia las regiones de la Sierra de Coalcomán y la Sierra del Centro, como por ejemplo en la zona de Tancítaro y el noroeste del estado, en la municipalidad de Tlalpujahu. Tanto las temperaturas máximas extremas que varían de 27° C a 48° C, como las mínimas extremas que varían de menos de 7° C. a 18° C siguen un patrón similar correspondiendo los valores más altos a las depresiones del norte del estado, la Costa y la Cuenca del Balsas (en esta última región se han registrado temperaturas extremas superiores a los 50° C). Los valores más bajos corresponden a las zonas montañosas. En cuanto a la distribución de la temperatura a lo largo del año el mes de enero es el más frío y mayo el más caliente.

Heladas

Con excepción de la región Costa y la parte más baja de la Tierra Caliente en la Cuenca del Balsas - Tepalcatepec, en la mayor parte del territorio michoacano se registran heladas, cuya intensidad va disminuyendo a medida que el clima templado se va convirtiendo en cálido, siendo totalmente desconocidas donde reina este último; alcanza 105 - 120 días al año en las altitudes superiores a los 2400 metros sobre el nivel del mar, en la región de la Sierra del Centro (particularmente en la región este y centro - oeste de la entidad, como por ejemplo en las sierras de Tlalpujahua y Nahuatzen respectivamente).

Precipitación Pluvial

En Michoacán las lluvias se presentan durante el verano en los meses de junio a septiembre se tiene una precipitación media anual de 850 mm, lo cual constituye a la entidad como la decimosexta más lluviosa del país. Las isoyetas extremas varían de 600 - 1,600 milímetros anuales, registrándose los valores más bajos hacia la tierra caliente particularmente en las áreas de menor altitud, como por ejemplo en las localidades de Apatzingán, Zicuirán, Infiernillo y Churumuco (en donde se han llegado a registrar valores inferiores a 600 milímetros anuales), en el resto de tal región y en la Costa predominan valores de 600 - 800 milímetros. En la región de los Valles y Ciénegas del norte son comunes valores de 600 - 800 milímetros, en las porciones más al norte y de 900 - 1,000 en las áreas más al sur de tal región. En la región de la Sierra del Centro predominan las isoyetas de 1000 - 1200 milímetros, a altitudes medias y de 1200 - 1400 hacia las porciones de mayor altitud; en la región de la sierra de Coalcomán se presenta una situación similar. El área de mayor precipitación en el estado (1500 - 1600 milímetros) corresponde al segmento centro - Oeste de la Sierra del Centro siendo la ciudad de Uruapan y sus alrededores la localidad de mayor precipitación registrada (aproximadamente 1651.7 milímetros anuales).

A diferencia de la temperatura y en cuanto a régimen se refiere, la época de lluvias está claramente demarcada y en general, enero es el mes de menor precipitación y julio el de mayor. Rasgo característico es la variabilidad de la precipitación entre diferentes años y regiones, siendo la Tierra Caliente y el norte del estado los que presentan un porcentaje mayor de variabilidad; de cierta significación resultan las lluvias de invierno, de carácter muy irregular, que se presentan durante los meses de diciembre, enero y febrero.



MAPA 1.16. PRECIPITACIÓN EN EL EDO. DE MICHOACÁN / DISTRIBUCIÓN DE LLUVIA EN EL ESTADO

Humedad Relativa

Con respecto a la humedad relativa es un tanto elevada en la Costa (70 por ciento), valores intermedios de 50 - 70 por ciento se presentan en la Sierra del Centro, siendo las localidades de Uruapan, Charapan y Paracho hacia el oeste de Agostitlán, Sabaneta y Pucuatón en el este de las más húmedas; los valores más bajos (25 - 50 por ciento) se registran en la Cuenca del Balsas y parte de los valles del norte del Estado.

Tipos de Clima

Los tipos climáticos que predominan en Michoacán son:

- Cálido sub-húmedo con lluvias en verano, predominante en la Región de la Costa y porciones de mayor altitud de depresión del Balsas, así como en las estribaciones de la sierra de Coalcomán.
- Clima seco en este estepario cálido, con lluvia escasa que predomina en verano; la temperatura media anual es superior a 18° C. Es característico de las áreas de menor altitud de la Tierra Caliente en la cuenca baja del Río Balsas.
- Es un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media del mes más caliente mayor de 22° C. Se distribuye en la mayor parte de la Región de los Valles y Ciénegas del Norte, en la Sierra de Coalcomán y Arteaga y zonas de transición entre la Sierra del Centro y la Cuenca del Balsas - Tepalcatepec.
- Es un clima templado subhúmedo, con lluvias en verano, la temperatura media del mes más cálido es inferior a 22° C. Se extiende en la mayor parte de la Sierra del Centro y serranías aisladas de la Región de los Valles del Norte.
- Es un clima templado con lluvias todo el año y una época más seca en el invierno. Corresponde a las cumbres más altas de la Sierra del Centro, como por ejemplo en las Sierras de Tancítaro, Paracho y Patamban en el oeste; las Sierras de Tlalpujahua y Angangueo en el este, así como en las Sierras de Acuitzio, Nahuatzen y Pátzcuaro hacia el centro.

Si dividimos al estado de acuerdo a las temperaturas que maneja de la siguiente manera:

- Cálido sub-húmedo con lluvias en verano: 54.5% de la superficie estatal, localizado en la planicie costera del pacífico y Sierra Madre del Sur.
- Templado sub-húmedo con lluvias en verano: 29% de la superficie estatal, en el eje neo volcánico,
- Seco y semiseco muy cálido y cálido: 15% de la superficie estatal, en las partes bajas y medias de la depresión del Balsas y Tepalcatepec,
- Templado húmedo con lluvias en verano: 1 % de la superficie estatal.
- Cálido húmedo 0.5 % de la superficie estatal, se presenta en regiones altas de eje neo volcánico.²⁵



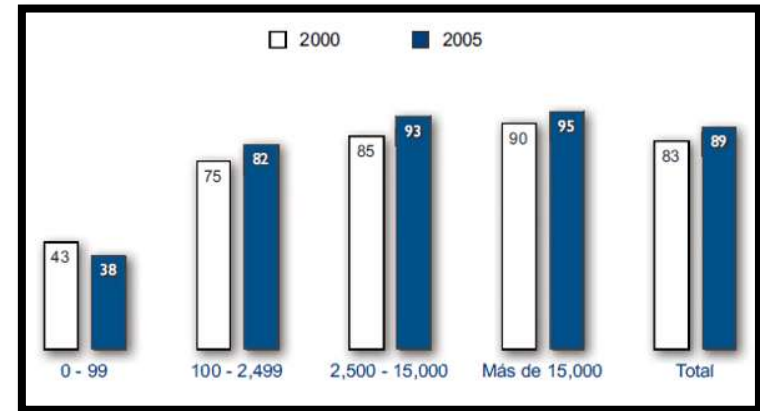
MAPA 1.17. CLIMAS DEL ESTADO DE MICHOACÁN

²⁵ Información por entidad federativa: <http://cuentame.inegi.org.mx>



▮ **El agua potable en Michoacán**

Los aspectos más importantes relacionados con el suministro de agua potable son el incremento en la cobertura del servicio, el aseguramiento del suministro en zonas urbanas, la mejora de la calidad del agua para el consumo humano, la reducción de los costos de producción, el incremento en la eficiencia de los sistemas y redes de suministro y el uso eficiente del agua por los usuarios. En lo relativo a la cobertura de servicios, el 89.3% de la población en Michoacán dispone de agua entubada domiciliaria. En las localidades urbanas, mayores de 15,000 habitantes se tiene una cobertura de 95.1% y, en contraste, en las localidades rurales marginadas con menos de 100 habitantes ésta es de apenas el 37.5%. La Grafica 1.12 muestra el porcentaje de viviendas con servicio de agua entubada según el tamaño de la población. La meta a lograr en el mediano plazo es incrementar la cobertura al 99% en todos los rangos de población, para lo cual se requiere de una inversión total superior a los \$3,650 millones de pesos, con presupuestos anuales del orden de \$365 millones durante 10 años.



GRAFICA 1.12 VIVIENDAS CON AGUA ENTUBADA

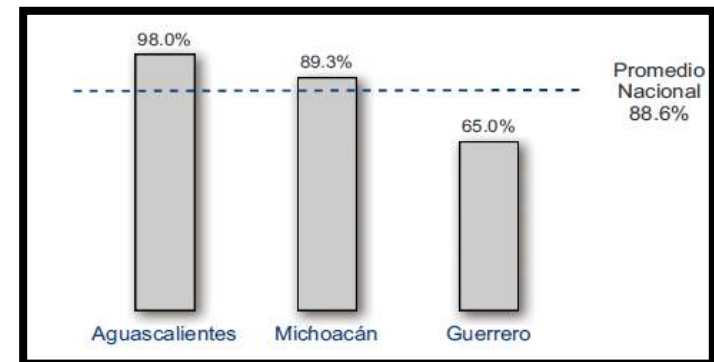
Actualmente el panorama que tiene el estado de Michoacán es:

▮ **Situación Actual**

De las 909,073 viviendas de Michoacán, el 89.3%, 811,614 viviendas, cuentan con servicio de agua entubada, porcentaje superior al promedio nacional de 88.6% y menor al 98.0% de Aguascalientes, como se muestra en la Grafica 1.13.

- En el año 2000 la cobertura de agua entubada domiciliaria era del 82.6%, ésta se incrementó en 6.5% durante el periodo 2000 – 2005
- La meta para el 2015 es lograr una cobertura del 99% a nivel estatal reduciendo el número de viviendas sin servicio de 97,459 a 9,091

En las áreas urbanas mayores de 15,000 habitantes se tiene una cobertura del 95.1% mientras que en localidades menores de 100 habitantes la cobertura es de 37.5%



GRAFICA 1.13. VIVIENDAS CON SERVICIO DE AGUA ENTUBADA



Suministro de Agua Potable en Áreas Urbanas

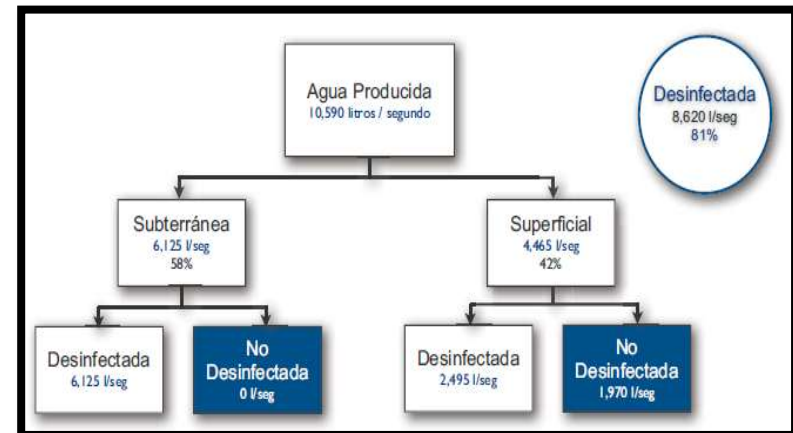
- Las 24 localidades del estado mayores de 15,000 habitantes incrementan en total su población en 20,000 habitantes, es decir, el 1.1% anual.
- La Tabla 1.15 muestra la cobertura de suministro de agua potable en zonas urbanas.
- Las ciudades de Morelia, Uruapan y la zona conurbada Zamora-Jacona son las que concentran el 26% de la población del estado el suministro de agua potable.
- El rezago estimado en el suministro a las áreas urbanas es de 8.6 millones de metros cúbicos al año.
- El crecimiento de necesidades para los siguientes 10 años se estima en 27.3 millones de metros cúbicos por año.
- La inversión total para garantizar el suministro futuro del agua a las zonas urbanas es de \$1,060 millones de pesos con un flujo anual de \$106 millones de pesos.

Municipio	Población		Cobertura Agua Entubada	
	2000	2005	2000	2005
Morelia	549,996	608,049	94%	97%
Uruapan	225,816	238,975	85%	98%
Zamora de Hidalgo	122,881	127,606	79%	85%
Apatzingán de la Constitución	93,756	93,180	94%	97%
Heróica Zitácuaro	76,771	78,821	92%	93%
La Piedad de Cabadas	70,703	78,361	89%	96%
Ciudad Lázaro Cárdenas	73,396	74,884	93%	98%
Sahuayo de Morelos	57,827	59,316	91%	98%
Ciudad Hidalgo	54,854	57,773	92%	97%
Jacona de Plancarte	48,197	53,860	93%	95%
Zacapu	49,086	51,386	95%	96%
Pátzcuaro	47,993	51,124	94%	96%
Las Guacamayas	37,671	34,700	81%	92%
Los Reyes de Salgado	36,095	32,488	91%	98%
Maravatio de Ocampo	28,218	32,146	95%	96%
Puruándiro	27,428	29,144	91%	95%
Nueva Italia de Ruiz	30,508	28,343	65%	85%
Jiquilpan de Juárez	25,778	23,132	89%	96%
Tacámbaro de Codallos	20,517	22,653	91%	98%
Huetamo de Núñez	21,335	21,302	44%	59%
Yurécuaro	20,297	20,560	94%	99%
La Orilla	15,761	17,125	70%	88%
Paracho de Verduzco	15,554	16,816	75%	71%
Ario de Rosales	14,209	15,406	96%	96%
Total:	1,764,647	1,867,150	89%	95%

TABLA 1.15. COBERTURA EN ZONAS URBANAS

Desinfección del Agua para Consumo Humano

- En todas las viviendas del Estado que tienen servicio de agua se suministran 10,590 litros por segundo que corresponden a una dotación promedio de 236 litros por habitante por día.
 - El promedio nacional es de 280 litros por habitante por día y el Estado con el mayor suministro es Morelos con 532 litros por habitante por día.
- 58% del agua de uso doméstico proviene de fuentes subterráneas y el 42% de fuentes superficiales, el 81% del caudal disponible se considera como desinfectado.
 - Este porcentaje es el más bajo del país donde el promedio es 96% y donde hay Estados con el 100% del agua desinfectada.
- El caudal del agua utilizada en localidades urbanas es del 73% del total, por lo que puede considerarse que el agua no desinfectada corresponde en su mayoría a localidades rurales.

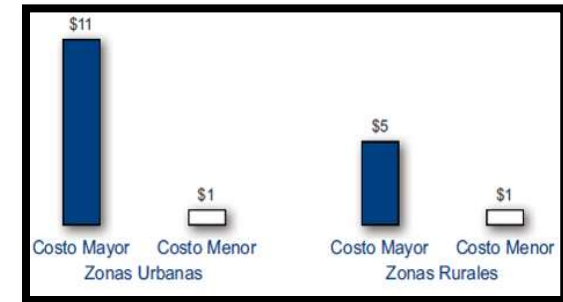


GRAFICA 1.14. CAUDAL DE AGUA PARA CONSUMO DOMICILIARIO



Costo de Producción y Operación

- El costo de producción y operación estimado para el suministro de agua entubada es de \$1 a \$5 pesos/m³ en el medio rural y de \$1 a \$11 pesos/m³ en zonas urbanas como se muestra en la Grafica 1.15, lo que representa un costo para los usuarios de \$32 a \$160 pesos/mes en zonas rurales y de \$32 a \$352 pesos/mes en zonas urbanas
- La diferencia entre estos costos de producción y operación radica principalmente en el consumo de energía necesario para la producción del agua
- Se necesita el desarrollo de tecnologías adecuadas para el diseño de los sistemas de suministro que reduzca radicalmente los costos de operación y evite la variación en los costos
 - En los sistemas rurales se requiere emplear equipos de bombeo fotovoltaico.
- En las áreas urbanas es preciso utilizar el potencial energético de la Entidad en el bombeo y potabilización del agua para reducir los costos de operación



GRAFICA 1.15. COSTOS DE PRODUCCIÓN Y OPERACIÓN PESOS/M³

El Reto del Suministro del Agua Potable

El reto del suministro del agua potable en Michoacán se cuantifica como sigue:

- Reducir el rezago en la cobertura del servicio domiciliario de 97,459 viviendas a 9,091 para el año 2015.
- Incrementar el suministro del agua potable en zonas urbanas de 194 Hm³/año a 229 Hm³/año para el año 2015.
- Reducir la cantidad de agua no desinfectada de 1,970 l/seg a cero l/seg para el año 2015.
- Reducir el número de servicios no medidos de 517,000 a cero para el año 2015.

Reto	Hoy	Meta	Condiciones Externas
Viviendas sin Agua Entubada	97,459	9,091	Alto presupuesto requerido, alta dispersión de localidades y falta de tecnologías adecuadas
Agua Desinfectada en Zonas Urbanas	194 Hm ³ /año	229 Hm ³ /año	Veda en la cuenca del río Lerma, alto costo de las instalaciones y falta de proyectos de las áreas involucradas
Agua No Desinfectada	1,970 l/seg	0 l/seg	Alta Dispersión de Localidades, falta de participación de organizaciones sociales y falta de difusión de tecnologías adecuadas
Servicios No Medidos	517,000	0	Alto costo, falta de recursos y renuencia de usuarios

TABLA 1.16. RETOS DEL SUMINISTRO DEL AGUA POTABLE

Propuesta de Solución

Para avanzar en el suministro del agua potable entubada se requiere:

- Formar una estructura organizacional dentro de la Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas para dar asistencia técnica a los municipios para que desarrollen y operen proyectos de suministro de agua doméstica en comunidades rurales.
- Crear una mezcla adecuada de fuentes de financiamiento para la construcción y mejora de los sistemas de agua domiciliaria en comunidades rurales.
- Desarrollar y aplicar las tecnologías adecuadas para la localización, construcción de obras de captación, protección y monitoreo de calidad en pequeñas fuentes de agua.

- Para alcanzar la meta del 99% de cobertura se requiere de un presupuesto de \$3,656 millones de pesos en los próximos 10 años, 61% de éste para poblaciones con menos de 2,500 habitantes como se ilustra en la Tabla 1.17

Como podemos apreciar en la propuesta, esta mejora es para un periodo de 10 años según el Suministro de Agua Potable.

Población según No. de Habitantes	Viviendas por Atender	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Total
0-99	16,481	\$100	\$100	\$100	\$100	\$94						\$494
99 - 2,499	43,250	\$190	\$190	\$190	\$190	\$180	\$180	\$180	\$180	\$180	\$70	\$1,730
2,500 - 15,000	11,635	\$40	\$40	\$40	\$40	\$50	\$70	\$70	\$70	\$70	\$92	\$582
> 15,000	17,003	\$35	\$35	\$35	\$35	\$40	\$115	\$115	\$115	\$115	\$210	\$850
Total	88,369	\$365	\$365	\$365	\$365	\$364	\$365	\$365	\$365	\$365	\$372	\$3,656

TABLA 1.17. PRESUPUESTO DE INVERSIÓN EN MILLONES DE PESOS

Desinfección del Agua

Para que la totalidad de los michoacanos consuman agua con la calidad necesaria para mantener la salud se requiere la implementación y difusión de los siguientes sistemas económicos de desinfección del agua:

- Filtrado y desinfección solar
- Miniplantas solares de potabilización
- Miniplantas potabilizadoras con otras tecnologías
- El sistema a utilizar en cada caso debe ser el más económico para cada localidad en particular y se debe impulsar la participación de los interesados en la operación de estos sistemas de desinfección
- Es necesaria una difusión muy amplia de la necesidad de que el agua para consumo humano sea desinfectada



IMAGEN 1.1. TECNOLOGÍAS PARA AGUA POTABLE

La Imagen 1.1 muestra los sistemas de purificación de agua a usar en el Estado

Tecnologías para Agua Potable

Algunos de los sistemas más eficientes y de fácil acceso para suministrar a la población de agua potable para combatir el desabasto de la misma son las siguientes:



▮ **Eficiencia de los Sistemas de Suministro de Agua Doméstica**

Para avanzar en la mejora de la eficiencia de los sistemas de suministro de agua para uso doméstico, se requiere que la totalidad de los usuarios tengan medidor instalado para lo cual se deberá:

- *Instalar aproximadamente 517,000 medidores para reducir a cero el rezago en la medición de los servicios*
- *El costo de la instalación de estos medidores es de \$266 millones de pesos*
- *La instalación se programará en un periodo de diez años con una inversión promedio anual de \$27 millones de pesos*

También se deberán instalar equipos de medición en fuentes y puntos estratégicos de la red de distribución para erradicar las pérdidas de caudal. La totalidad de los servicios de agua deben ser medidos, facturados y cobrados de manera correcta y oportuna para evitar mal uso y para que los organismos operadores cuenten con recursos para cubrir los costos del suministro

▮ **Eficiencia en el Uso del Agua Doméstica**

Para avanzar en la mejora de la eficiencia en el uso de agua doméstica se requiere que se desarrolle un programa intensivo de difusión y concientización para la utilización de dispositivos domésticos eficientes en consumo de agua.

- *Mediante el uso de aparatos y dispositivos eficientes en consumo de agua se puede reducir las necesidades de agua:*
 - *Una lavadora eficiente en el uso de agua utiliza una tercera parte del agua de un modelo ineficiente.*
 - *Un sanitario antiguo emplea hasta 12 litros por descarga de agua, mientras que un sanitario de doble flujo usa únicamente entre 3 y 6 litros por descarga.*
 - *Una regadera estándar puede gastar hasta 25 litros de agua por minuto, mientras que una regadera eficiente puede usar solamente de 7 a 10 litros por minuto.*
 - *Llaves de lavabos y fregaderos con aereadores para disminuir el flujo e incrementar la dispersión pueden ahorrar el 6% de su consumo*
 - *Los colectores de agua de lluvia sirven para regar jardines.*

▮ **Costo del Servicio del Agua Entubada**

Para avanzar en la reducción de los costos del servicio de agua para uso doméstico, se requiere que los municipios aprovechen el potencial energético del estado, tanto en energía solar como en energía hidráulica. Los sistemas a considerar son:

- *Aplicación de sistemas de bombeo fotovoltaicos o eólicos para pequeños sistemas rurales*
- *Aprovechamiento de los sitios con potencial para generación hidroeléctrica para establecer pequeñas centrales para el suministro eléctrico a los servicios municipales*
 - *El Estado cuenta con suficiente potencial hidroeléctrico para que sus municipios lo aprovechen formando asociaciones para utilizar los sitios con condiciones económicas más convenientes.*



No.	Proyecto	Potencia Media MW	Potencia Instalada MW	Generación GWH	No.	Proyecto	Potencia Media MW	Potencia Instalada MW	Generación GWH
1	Cutzamala	32	107	281	26	Taretan	12	39	103
2	Acamitán	12	40	109	27	Tuxpan	11	37	93
3	Aguililla	17	57	149	29	Pastoria	11	33	92
4	Tototan	10	33	85	32	Curucupaseo	9	31	82
	Subtotal Costa	71	237	624	34	Nueva Italia I	8	27	72
5	Tilostoc	38	127	330	36	Capire	8	27	70
6	Zitácuaro	33	110	286	41	Purungueo	7	23	61
8	Bajo Balsas	17	25	256	42	Las Juntas	7	22	57
9	Tuzantla	27	90	235	43	Cuitzián	6	21	56
10	El Marqués	22	73	197	45	Limoncito	5	18	47
11	Purungarancho	22	73	191	47	Buenavista	5	17	41
14	La Estancia	21	71	187	48	Nueva Italia II	5	15	40
20	Carácuaro	13	45	118		Subtotal Balsas	287	924	2,614

TABLA 1.18. POTENCIAL HIDROELÉCTRICO DE MICHOACÁN

Recomendaciones

Para que los esfuerzos de desarrollo económico se conviertan en una práctica exitosa, es necesario tomar en cuenta los factores críticos de éxito que se mencionan a continuación:

- Dar asistencia técnica a los municipios para la formación de los comités de agua potable y para el diseño, operación, mantenimiento y gestión de los sistemas
- Usar la tecnología adecuada en los proyectos de los sistemas de captación, distribución y desinfección del agua
- Considerar las aportaciones de los gobiernos federal, estatal, municipal, beneficiarios y organizaciones sociales en el financiamiento de los sistemas
- Asegurar la organización para la actividad de protección y uso de la fuente de agua
- Asegurar la protección del área de recogimiento
- Evaluar la fuente en el período más seco del año
- Ejecutar obras de albañilería en el período seco
- Evitar el efecto de tapón
- Construir primero la estructura de almacenamiento
- Promover la educación ambiental
- Adoptar prácticas que economicen y mantengan la calidad del agua
- Monitorear constantemente las obras y darles mantenimiento

En lo referente a los métodos utilizados y/o empleados en el estado de Michoacán para la captación de agua de lluvia podemos destacar los empleados en 5 municipios del estado:

- Santa Rosa, Michoacán
- San Isidro, Michoacán
- San Antonio, Michoacán
- Pátzcuaro, Michoacán
- Erongarícuaro, Michoacán

***En los tres primeros municipios se lleva a cabo el Proyecto:**

“Captación y Purificación de Agua de Lluvia para Consumo Humano en Tres Comunidades de la Meseta Tarasca del Estado de Michoacán”²⁶

En estas comunidades ante la demanda y falta de abastecimiento y recurso se han implementado proyectos que no únicamente doten de agua a la comunidad también se generan empleos y se activa la economía de la región (del pueblo base y cercanos), en estos casos se ha implementado el

COLPOS 3. PURIFICADORA DE AGUA DE LLUVIA.

Descripción del Proyecto:

Es posible el abastecimiento del agua de lluvia purificada a nivel comunitario y además, prevenir la presencia de enfermedades gastrointestinales.

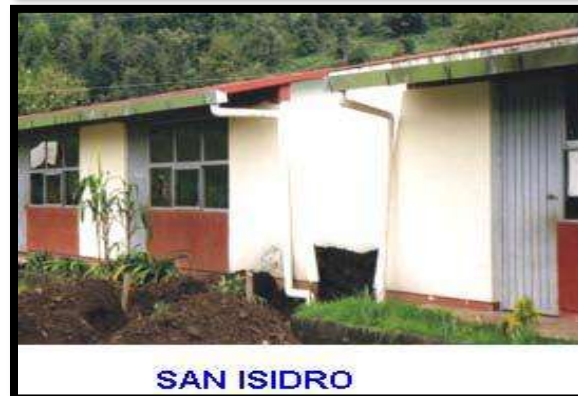
- La inversión per cápita es de 40 a 50 USD
- Capacidad de la cisterna: 2,000.00 m³
- No. de personas beneficiadas: 2,300



IMAGEN 1.2. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA COLPOS-3 CISTERNA PARA PLANTA PURIFICADORA (2,000 m³)

²⁶ <http://www.agua.unam.mx>

IMAGEN 1.3. MUNICIPIOS MICHOACANOS



En lo referente a la captación de agua de lluvia a nivel vivienda en el estado se emplean métodos y sistemas como los siguientes:
Estructura cilíndrica de tabique tipo capuchino (de canto), reforzada con malla electrosoldada.

Capacidad:

- 5 000,
- 11 000,
- 20 000,
- 50 000



IMAGEN 1.4. CISTERNA TIPO CAPUCHINA. PÁTZCUARO, MICHOACÁN 11,000 LITROS

1.1.7 EL AGUA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El clima siempre ha tenido variaciones, pero a partir del siglo pasado estos cambios han sido más acelerados. Muchos científicos relacionan estos cambios con el calentamiento global, fenómeno que se ha producido por la emisión de gases de efecto invernadero provocados principalmente por la industrialización. Algunos conceptos importantes se definen a continuación:

▮ **Efecto invernadero**²⁷.

Es la acción natural provocada por una serie de gases como el dióxido de carbono (CO_2) y el vapor de agua (H_2O), que permite que la tierra retenga parte de energía solar que atraviesan a la atmósfera y refleje el resto de esta energía al espacio manteniendo la temperatura media global en $15^\circ C$.

▮ **Calentamiento global.**

Es la acción provocada por el hombre, en la que se eleva la temperatura media de la atmósfera por el aumento de gases de efecto invernadero despedidos por la quema de combustibles fósiles, teniendo como principal contaminante el monóxido de carbono de las industrias y vehículos, la quema de los bosques y praderas que generan parte de estos gases; son acciones que provocan que la atmósfera retenga más calor y la temperatura aumente, provocando con ello la inestabilidad de los cambios climáticos Figura 1.2.²⁸

²⁷ Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México, Tomo I, IMTA 2007.

²⁸ ¿Qué es el calentamiento global? por Felipe Varela en: http://sepiensa.org.mx/contenidos/2005/l_calenta/calentamiento_1.htm

El calentamiento global tuvo sus inicios desde 1789, con la revolución industrial ya que desató, no sólo el auge económico, científico y técnico; sino que, con el inicio de ésta, se promulgó el uso intensivo, extensivo e irracional de los recursos naturales en busca de modelos de acelerado crecimiento económico, generalizando y extendiéndose de manera incontrolada, sin prevenir las consecuencias irreparables de la indiferencia ambiental. Los procesos de industrialización no sólo fueron en aumento, sino que estos fueron concebidos de forma irracional, dando como resultado la grave problemática ambiental y de mayor trascendencia que enfrenta la humanidad y que hoy día nos invade²³.

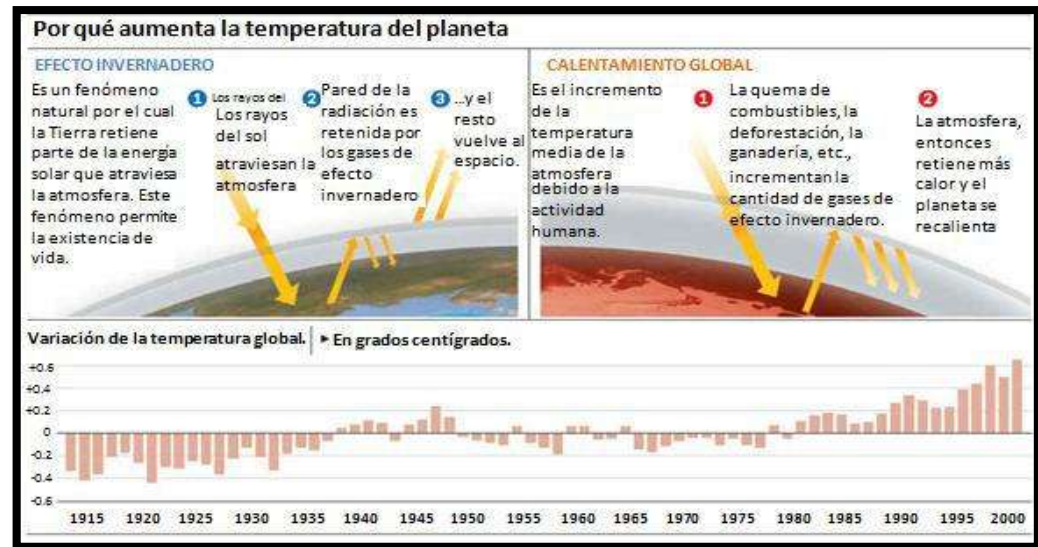
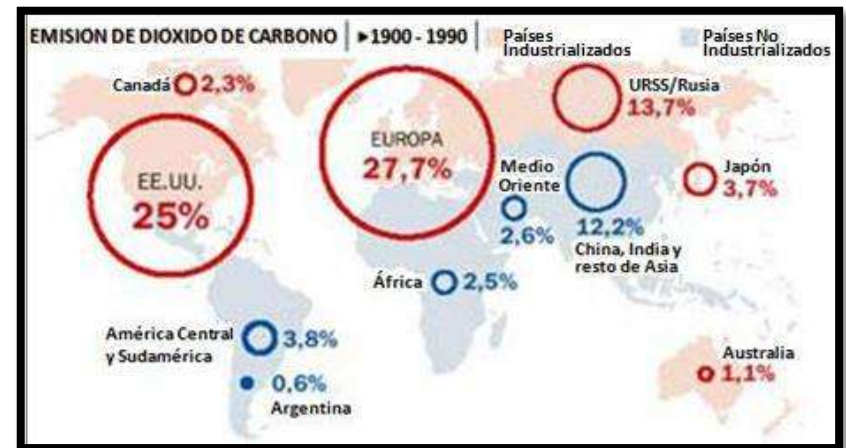


FIGURA 1.2. MECANISMOS QUE GENERAN EL EFECTO INVERNADERO EN EL PLANETA.

► **Principales gases de efecto invernadero.**

Además del dióxido de carbono (CO₂), existen otros gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global, como el gas metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y los Hidrofluorocarbonos (HFC). Como se puede interpretar en la figura 1.2 los países con mayores aportaciones de CO₂ son los países industrializados teniendo en primer lugar al Continente Europeo con 27.7%, USA 25%, Rusia 13.7%, Japón 3.7%, Canadá 2.3% y Australia 1.1%.



MAPA 1.18. PRINCIPALES PAÍSES EMISORES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.

Algunos otros contaminantes que intervienen en el cambio climático son:

- Desechos sólidos domésticos.
- Desechos sólidos industriales.
- Fertilizantes y productos químicos.
- Descarga de aguas negras o contaminadas a mares y ríos.

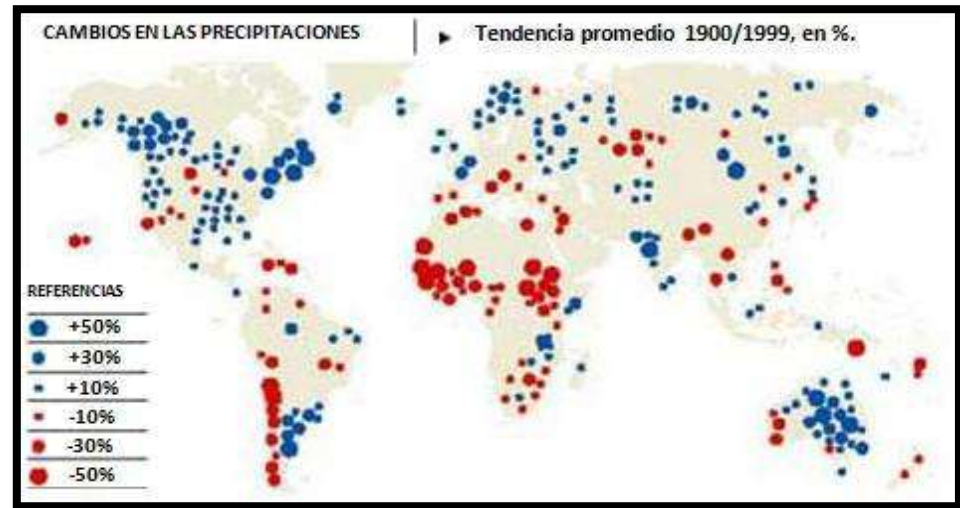


El cambio climático en los recursos hídricos.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) es un grupo de expertos en el cambio climático creado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y que tiene como función analizar el cambio climático provocado por las acciones humanas, las repercusiones y las posibilidades de adaptación. De acuerdo a la IPCC el cambio climático se ha manifestado de la siguiente manera: la cubierta de nieve y hielo ha disminuido en un 10% desde finales de los años 60'. Igualmente, se observa una reducción de los glaciares a lo largo del Siglo XX, la temperatura media del planeta ha aumentado en $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$, que es mayor que el aumento registrado en los últimos diez mil años y que a su vez a aumentado el nivel del mar, este aumento fue de $1.7 \pm 0.5 \text{ mm/año}$ durante el siglo XX²⁹.

La evapotranspiración se dice que ha aumentado durante la segunda mitad del siglo XX, debido a una mayor disponibilidad de humedad en la superficie, vinculada al aumento de la precipitación y a una mayor demanda de humedad atmosférica por efecto del aumento de temperatura, también se registran cambios en la cubierta de nubes y en el patrón de ocurrencia de fenómenos meteorológicos, como los huracanes.

El aspecto precipitación como todos los anteriores semblantes físicos, es muy difícil determinarlo ya que las variaciones de la precipitación mundial dependen de las variaciones naturales en gran escala y de la zona en particular, pero como se aprecia en el Mapa 1.8, la precipitación ha ido en aumento por un lado, mientras que por el otro se presentan sequías extremas en rangos de ± 10 , ± 30 y $\pm 50\%$; siendo el continente africano el más afectado por estos últimos cambios²⁵.



MAPA 1.19. CAMBIOS REGISTRADOS EN LAS PRECIPITACIONES.

1.2 DEFINICIONES DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

- La captación de agua de lluvia es considerada en este estudio como una tecnología utilizada para habilitar en tal sentido los techos y los pisos, o bien, otras áreas impermeables de las construcciones, para ser almacenada luego en diversos tipos de cisternas.
- La captación de agua de lluvia es la recolección de agua que escurre en forma superficial con propósitos de consumo humano, productivo y conservación ambiental; para el bienestar socioeconómico y ambiental de los usuarios. En la captación de agua de lluvia para fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie de techo como captación, conocido este modelo como SCAPT (Sistema De Captación De Agua Pluvial En Techos) (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Tropical Agrícola (CATIE). Turrialba, Costa Rica, 2006.³⁰

²⁹ El cambio climático y el agua, IPCC 2008.

³⁰ Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua, Cajina Canelo. CATIE, Costa Rica 2006.



- ▮ *La captación de agua de lluvia es la recolección y almacenamiento de agua de lluvia. La recolección por lo general es del techo y el almacenaje es en tanques de captación, tales como barriles de lluvia.³¹*
- ▮ *La captación de aguas pluviales (o de lluvia) es el arte de desviar y capturar la precipitación (Aguas de lluvia o nieve derretida) para usarse en la vida diaria.³²*
- ▮ *La captación del agua de lluvia puede ser definida como la recolección de los escurrimientos superficiales para uso productivo (FAO, 2000).*

1.3 IMPULSO DE NUEVAS ALTERNATIVAS PARA EL SUMINISTRO DE AGUA

El uso racional del agua en México debería ser una prioridad. En varias de sus regiones, el país enfrenta ya serios problemas por baja disponibilidad, desperdicio y contaminación del recurso y el incremento de la demanda puede agravar la situación. En los incisos anteriores se presentó un panorama general relacionado con la disponibilidad de agua a nivel mundial, el nuevo componente que representa el cambio climático en el escenario hídrico actual y futuro, la situación de México y los retos a los que se enfrenta la sociedad actual.

En las regiones con abundancia de agua, la deforestación y la erosión de los suelos dañan la cantidad y calidad del recurso, disminuyendo los volúmenes aprovechables y propiciando inundaciones. Aproximadamente un 58 % de los acuíferos en México están sobreexplotados. Algunas razones para que esta situación se presente tiene que ver con que otras fuentes que podrían servir para abastecer las poblaciones, como los ríos, se encuentran contaminados además de que la población está en constante crecimiento y en muchos casos habitan en zonas donde es muy difícil distribuir agua potable por algún sistema automatizado y asimismo el 75% del agua de precipitaciones no se aprovecha ya que se evapotranspira antes de ser almacenada o en el peor de los casos termina contaminándose al mezclarse con aguas negras.

La situación actual en materia de disponibilidad de agua no es favorable, razón por la cual resulta imperativo que se cuente con formas alternativas para captarla y en su caso hacerla potable de tal forma que las personas puedan usarla sin riesgo. Dentro de este contexto, se propone una revisión del estado del conocimiento en materia de los sistemas de captación de agua de lluvia en el mundo y en México, considerando las ventajas de implementar estas tecnologías en el país, tanto en ciudades como en zona rurales. Como se podrá constatar en la presente tesis, los sistemas de captación de agua de lluvia son una excelente alternativa de solución para el problema de abastecimiento de agua en lugares donde los sistemas de abastecimiento son deficientes o inexistentes. Pruebas de campo y análisis de laboratorio que algunas instituciones mexicanas han comprobado que el agua de lluvia captada y almacenada puede emplearse para el consumo humano, siendo los costos de operación y mantenimiento de estos sistemas muy accesibles.

Como se menciona anteriormente los estados con menor precipitación son Baja California Norte y Sur, Chihuahua, Coahuila y Sinaloa con una precipitación anual menor a los 600 mm, sería conveniente que las tecnologías alternativas que se proponen, se implementasen en estas regiones con el fin de aminorar la escases de agua aprovechando las ventajas que proporciona la captación de agua de lluvia como es la economía, funcionalidad, eficiencia y facilidad de instalación. Es necesario promover un manejo sustentable del agua para evitar en pocos años una situación crítica de escasez. La sociedad debe considerar al agua como un recurso valioso y finito y adoptar medidas, que en algunos casos sean severas, para controlarlo y preservarlo. En los capítulos siguientes se definirá en qué consiste un sistema de captación de agua de lluvia, se explicarán los principales sistemas de captación de agua de lluvia y su evolución a través del tiempo, su diseño hidráulico, su operación y mantenimiento, la experiencia en México de emplear algunos sistemas de captación de agua de lluvia incluyendo la calidad del agua captada.

³¹ *Recolección, almacenamiento y tratamiento de agua de lluvia para uso interno, 2007.*

³² *Guía para la persona educada de cómo cosechar agua de lluvia, 2006.*



1.4 DESARROLLO SOSTENIBLE Y USO SUSTENTABLE DEL AGUA

El “desarrollo sostenible” está directamente ligado al “uso sustentable del agua” concepto que define el objetivo del presente trabajo y por lo cual es necesario conocer más afondo su significado.

- *Se entiende por “Desarrollo Sostenible” el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social; sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de las propias necesidades. (República de Colombia, Artículo 3 ley 99 de 1995).*
- *Desarrollo humano sustentable, es aquel que no solo genera crecimiento sino que distribuye equitativamente sus beneficios; que regenera el ambiente en lugar de destruirlo y que otorga poder a la gente en lugar de marginarla. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD 1994).*
- *El Desarrollo Sostenible, es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades (Comisión Mundial sobre el Medioambiente y el Desarrollo de las Naciones Unidas, 1987).*

La gestión del agua es uno de los principales factores para orientar a la humanidad a nuevos rumbos hacia un desarrollo sustentable. En sentido amplio la gestión sustentable del agua puede ser entendida como:

- *El estado de condición vinculado al uso y estilo del sistema hidrológico en el momento de producción, renovación y movilización de agua u otros elementos de la naturaleza, minimizando la generación de procesos de degradación del sistema.*

Como se ha apreciado en el ciclo hidrológico el sistema hidrológico comprende a toda el agua líquida, sólida y gaseosa del planeta o de una región; agua que se distribuye en océanos, aguas continentales, agua atmosférica, y el agua contenida en los diversos ecosistemas, con una circulación permanente entre las distintas zonas. El uso ineficiente del agua y la degradación de su calidad constituyen uno de los principales frenos para avanzar por senderos de sustentabilidad. Por lo antes descrito los planes de gestión sustentable del agua deben tener como objetivo general mantener un suministro suficiente de agua de buena calidad para toda la población del planeta y preservar al mismo tiempo las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas; adaptando las actividades humanas a los límites de la capacidad de la naturaleza y combatiendo los agentes de las enfermedades relacionadas con el agua.



1.5 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL PRESENTE ESTUDIO

La justificación para que se realicen investigaciones en este campo, es la necesidad de la población de contar con fuentes alternativas de dotación de agua, principalmente en aquellos lugares en donde los sistemas de abastecimiento son deficientes o inexistentes.

El agua es esencial para la vida. Todas las personas, animales y plantas necesitamos agua para vivir y crecer. En el caso particular del hombre, el agua es primordial para el desarrollo de muchas actividades productivas. Sin embargo, en numerosos lugares del mundo, la población no cuenta con el agua necesaria para mantener un nivel de vida aceptable. Es común encontrar que sectores importantes de la población, deben 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 graves, pero cuando una comunidad tiene acceso al agua potable en forma fácil y segura, la salud de todos es notablemente mejor. Con base en esta problemática de escases del recurso hídrico para las generaciones actuales y futuras; se propone la captación de agua de lluvia en varios lugares con media y baja precipitación, como fuente alterna de abastecimiento.

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Revisar los antecedentes de los sistemas de captación de agua de lluvia así como algunos de los actuales en uso y en base a estos proponer alternativas para la captación de agua de lluvia de forma eficiente y sencilla, con la finalidad de conseguir un aprovechamiento y un ahorro en el consumo de agua potable mismo que podrá ser sustituido por agua captada de lluvia.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ▮ *Hacer un análisis de los distintos sistemas de captación de agua de lluvia existentes y su funcionalidad, considerando sus ventajas, desventajas, eficiencias, costos, diseños y destino final del agua.*
- ▮ *Analizar las ventajas de instalar algunos de estos sistemas en diferentes regiones de la República Mexicana, considerando las condiciones de precipitación locales.*
- ▮ *Proponer mejoras y hacer recomendaciones sobre los sistemas de captación de agua de lluvia existentes.*



2 ANTECEDENTES

Resulta importante conocer la situación del recurso agua, por lo que se tratara de dar una visión sintetizada de los cambios inducidos por las diferentes actividades de los seres humanos para este recurso.

2.1 BREVE HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son utilizados intensivamente en muchas zonas del planeta y es el resultado de las necesidades de demanda de agua. Se implementan cuando no existe una red de acueducto o el suministro es deficiente, cuando no se dispone de los recursos es decir no exista dinero para invertir y los materiales de construcción son muy costosos, cuando la calidad del agua es muy baja provocada por su contaminación, cuando la disponibilidad de agua subterránea y superficial es muy baja o por prácticas culturales y la legislación vigente de cada región.

Diferentes formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de la historia de las civilizaciones; pero estas tecnologías sólo se han comenzado a estudiar y publicar en fechas recientes. La captación de agua de lluvia es un medio tan antiguo de abastecimiento de agua, que perdió importancia a partir del rápido crecimiento de las ciudades y cuando los avances tecnológicos permitieron introducir el agua por medio de tuberías en nuestros domicilios.

Muchas de las obras históricas de captación de agua de lluvia para uso doméstico se originaron principalmente en Europa y Asia, se han practicado desde que surgieron los primeros asentamientos humanos y se tiene conocimiento de que se empezaron a utilizar hace más de 4000 años a.C. en la antigua Mesopotamia, cuando las civilizaciones crecieron demográficamente y algunos pueblos debieron ocupar zonas áridas o semiáridas del planeta tomando como alternativa para el riego de cultivos y el consumo doméstico la captación de agua de lluvia. A continuación se mencionan ejemplos relevantes de estructuras de captación de agua de lluvia en el mundo, basado en diferentes vestigios encontrados a través de la historia de este tipo de estructuras:

- En el Desierto de Negev, en Israel y Jordania, 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 los escurrimientos superficiales, que eran entonces dirigidos a predios agrícolas en las zonas más bajas.³³*
- En la ciudad de Roma (siglos III y IV a.C.); la ciudad 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 de lluvia llamado “Impluvium”, el agua entraba por un orificio en el techo llamado “Compluvium”.*
- En Irán se encuentran los “Abarbans”, los cuales son los sistemas tradicionales locales para la captación y almacenamiento de agua de lluvia.³⁴*

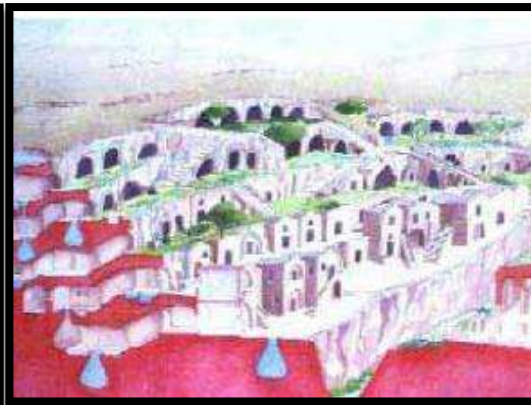
³³ Manual de captación de agua de lluvia, René Van Veenhuizen, FAO, Santiago de Chile 2000.

³⁴ Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. José Alejandro Ballén Juárez, Colombia, 2006.

- En la India se tiene conocimiento que al inicio de la era budista, los monjes vivían en zonas montañosas y en una caverna cercana a Bombay, labraron en la roca una serie de canaletas y cisternas para almacenar agua de donde dependían las comunidades de alrededor para satisfacer sus necesidades domésticas.
- Otro caso semejante es el de Sassi de Matera, Italia en donde la ciudad está construida a orillas de barrancos profundos, los techos están tallados en la misma piedra y los pozos recolectores se construyeron alrededor de un patio en el que se cava un gran aljibe que recoge el agua de los tejados, el agua de la lluvia es colectada por un sistema de drenaje dentro de las cuevas compuesto de canales de terracota que llevan el agua al aljibe Figura 2.1 y 2.2.³⁵
- En las zonas altas de la República 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 de lluvia Figura 2.3.



A) Imagen 2.1



B) Imagen 2.2



C) Imagen 2.3

- A. IMAGEN 2.1 SASSI DE MATERA, ITALIA UN PUEBLO ABSOLUTAMENTE ESCULPIDO EN ROCA.**
- B. IMAGEN 2.2 ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA VERTICAL DE SASSI DE MATERA, ITALIA.**
- C. IMAGEN 2.3 CISTERNA A CIELO ABIERTO PARA LA RECOLECCIÓN DE AGUA LLUVIA EN LA REPÚBLICA DE YEMEN.**

En México durante la época prehispánica en la península de Yucatán los mayas y los toltecas aprovecharon los cenotes y las cuevas de formación natural, producto de la filtración del agua de lluvia a través de la superficie de piedra caliza, como medio de captar y almacenar agua de lluvia, fue esa riqueza de cenotes la que permitió el florecimiento de la cultura maya.

Los mayas contaban con tres formas de abastecimiento de agua: las naturales, las adaptadas y aquellas efectuadas por el hombre. Entre las formas naturales figuran: ríos, lagos, lagunas, petenes, cenotes, rejolladas, sartejenas, akalchés, xuayabás y actúnes. Las únicas fuentes de agua que fueron adaptadas por el hombre fueron las aguadas. Respecto a fuentes de agua logradas mediante la intervención del hombre se encontraron los sistemas de almacenamiento como pozos, hondonadas y depósitos o aljibes subterráneos denominados chultunes, utilizando recursos para la conducción del

³⁵ La lucha contra la desertificación da sus frutos, estudios de caso, UNESCO 1999.



agua como declives poco pronunciados, elevaciones o saltos hidráulicos ubicados a cierta distancia para aminorar la velocidad del agua, ramificaciones y reposaderos.³⁶ Estos sistemas tenían dos funciones, una como cisternas para almacenar el agua de lluvia y otra como silos para guardar diversos granos alimenticios.

Los chultunes fueron vitales casi en todos los asentamientos prehispánicos y consistían en excavar una cisterna en forma de botellón. La captación era a través de los techos y la conducción mediante canaletas de barro o piedra labrada con un área de captación formada por un piso de aplanado de estuco de alrededor de 5 m de diámetro. La boca y el cuello es la entrada circular por donde escurre el agua al depósito, los cuales estaban armados con piedras y recubiertos con estuco Imagen 2.4.³⁷

Se han encontrado chultunes con capacidad de almacenamiento de hasta 9,300 litros con un diámetro de 3m o un área de 7m² y una altura de 2 m suficiente para 151 días en temporada de seca entre el 1 de diciembre y el 31 de abril, con una precipitación pluvial correspondiente a Uxmal de entre 900 y 1,250 mm esto sin tomar en cuenta pérdidas debido a la evaporación y a la filtración, se puede decir que se guardaba un litro de agua por cada metro cuadrado de área de captación, con cada milímetro de precipitación.



IMAGEN 2.4 ELEMENTOS DEL CHULTUN: ÁREA DE CAPTACIÓN, CANALETAS Y DEPÓSITO.

La cámara es el depósito de almacenamiento y podía tener diferentes dimensiones y formas como tipo campana, con figura de botellón, amorfo y el de bóveda esta variedad de formas se debe a que aun dentro de una misma región, las condiciones del terreno son diferentes Figura 2.5.³⁸

- *Tipo campana: tiene forma de cono o campana y se caracteriza por la falta de un cuello bien definido.*
- *Tipo botellón: se caracteriza por depósitos globulares excavados en roca arenosa con cuellos tubulares.*
- *Tipo amorfo: resulta de excavaciones disparejas en lugares donde la piedra arenosa se encuentra en depósitos irregulares, mezclados con roca más dura que no puede ser retirada con facilidad.*
- *Tipo bóveda: tenía fondo y paredes de roca y forma de arco maya ésta, es una estructura con forma de arco que se va acercando sucesivamente hasta el tope, las paredes eran tan gruesas, que limitaban mucho el espacio interior Figura 2.6.*
- *La excavación de tales cavidades en cierto modo es sencilla, pero requiere las características favorables del terreno.*

³⁶ Los viajes del agua en el Mayab: pozos, ríos subterráneos y cenotes. Clara Martín Ramos, INAH 2000.

³⁷ Estudio antropológico sobre sistemas de riego y captación de agua prehispánica. José Martínez, IMTA 2004.

³⁸ Los chultunes sistemas de captación y almacenamiento de agua pluvial. Lorelei Zapata Peraza, INAH, 1989.

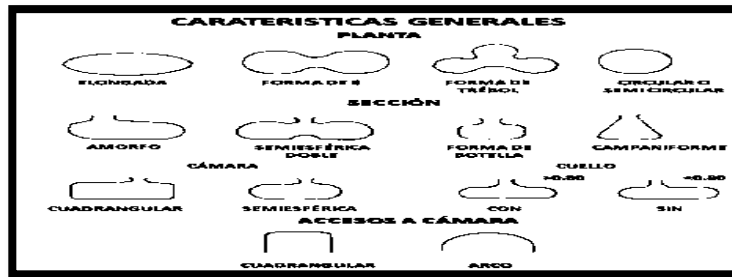


FIGURA 2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS CHULTUNES.

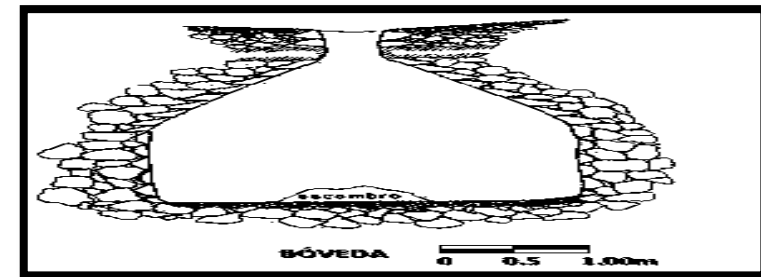


FIGURA 2.2. CHULTUM TIPO BÓVEDA.

Con la llegada de los españoles en el siglo XIV se adaptaron distintos sistemas para la obtención y almacenamiento del agua. Por ejemplo, los monjes franciscanos construían sus norias sobre los cenotes y de paso lograban realizar su política de congregación de indígenas con lo cual se introdujeron en forma manual los acueductos, viajes de agua, norias y otros artificios por lo que fueron olvidando los chultunes como sistema de almacenamiento de agua.³⁴ Siglos después el uso de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia decreció debido a la imposición de métodos y obras para la utilización del agua superficial y subterránea como presas, acueductos, pozos de extracción y sistemas de irrigación.

2.2 SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA, EN EL MUNDO

Las características del agua de lluvia la hacen perfectamente utilizable para uso doméstico e industrial y la documentación existente sobre los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, se limita a las acciones realizadas en las últimas décadas en diferentes zonas del planeta.

► Oceanía.

A excepción de las grandes urbes y las poblaciones mayores, la densidad de población en Australia es muy baja, debido a esto 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. En Australia se aprovecha el agua de lluvia como una solución muy común al problema de suministro de agua. En 1994, el Australian Bureau of Statistics (Oficina Australiana de Estadística), realizó un estudio mostrando que el 30.4 % de los hogares australianos ubicados en las zonas rurales y el 6.5% de los hogares en las ciudades utilizan algún sistema de aprovechamiento de agua de lluvia, también se indica en el estudio que el 13 % de las casas donde se ha implementado un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia, el agua se utiliza para beber y cocinar. El sistema utilizado comúnmente es a través de los techos de las casas variando ocasionalmente la forma y materiales de los depósitos de almacenamiento.

► Asia.

En Bangladesh, la recolección de agua de lluvia se ve como una alternativa viable para el suministro de agua segura en áreas afectadas por contaminación con arsénico. Desde 1977, cerca de 1,000 sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia fueron instalados en el país por las Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y el Forum for Drinking Water Supply & Sanitation (Foro de Agua Potable y Saneamiento).



Existen varios tipos de tanques utilizados para el almacenamiento de agua de lluvia en Bangladesh: tanques de concreto reforzado, tanques de mampostería, cisternas y tanques subterráneos, los cuales tienen un costo que varía entre \$50 y \$150 USD. El agua de lluvia almacenada se usa para beber y cocinar, ésta es aceptada como segura y cada vez es más utilizada por los usuarios locales.

China ha estado enfrentando serios problemas de escasez de agua que han causado grandes pérdidas económicas y medioambientales. La peor condición de escasez de agua se da en la meseta de Loess de Gansu, localizada en el noroeste del País: una de las áreas más pobres de China donde el escurrimiento y el agua superficial son muy escasos. La única fuente de agua potencial en esta área es la lluvia. Debido a lo anterior, desde 1988 se han probado eficientes técnicas de captación de agua de lluvia y de 1995 a 1996, el gobierno local ha implementado el proyecto llamado por sus autores "121", para captación de agua de lluvia, apoyando económicamente a familias para construir un campo de recolección de agua, dos almacenamientos y un terreno adecuado para cultivar. Suministrando agua a 1.2 millones de personas (260,000 familias) y 1.18 millones de cabezas de ganado.³⁰

Singapur cuenta con recursos naturales limitados y una creciente demanda de agua, esto ha llevado a la búsqueda de fuentes alternativas y métodos innovadores para el aprovechamiento del recurso agua. Alrededor del 86% de la población de Singapur vive en edificios de apartamentos. Los techos de estos edificios son utilizados para la captación de agua de lluvia la cual es almacenada en cisternas separadas del agua potable, para darle usos diferentes al de consumo humano.

En Tokio el aprovechamiento de agua de lluvia es promovido para mitigar la escasez de agua, controlar inundaciones y asegurar agua para estados de emergencia. A nivel comunitario se están implementado instalaciones que introducen a la población en la utilización del agua de lluvia, llamadas "Ronjinson", se encuentra en la vía pública del distrito de Mukojim. Está instalación recibe agua de lluvia del techo de la casa y es almacenada en un pozo subterráneo, para extraer el agua, se utiliza una bomba manual Figura 2.3, el agua colectada es utilizada para riego de jardines, aseo en general y combatir incendios.³⁰

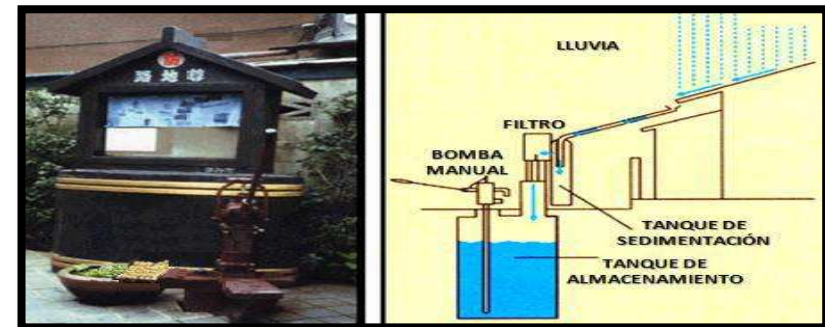


FIGURA 2.3. INSTALACIÓN PARA LA UTILIZACIÓN DE AGUA LLUVIA A NIVEL COMUNITARIO TOKIO, JAPÓN.

En Tailandia el almacenamiento de agua de lluvia proveniente del escurrimiento de los techos en vasijas especiales de arcilla es un sistema apropiado y económico para obtener agua de alta calidad. Las vasijas se consiguen para diferentes volúmenes, desde 1,000 hasta 3,000 litros y están equipadas con tapa, grifo y un dispositivo de drenaje. El tamaño más popular es 2,000 litros, esta vasija tiene un costo de \$20 USD y puede suministrar agua de lluvia suficiente para una casa con seis personas durante el periodo seco.

► Europa.

Hay países pioneros en sistemas de recolección de agua de lluvia, como Alemania, el cual incorpora cada año, 50 mil de estos sistemas como parte de su política pública e incluso algunos distritos se auxilian con estas instalaciones, ya que la oferta de agua no crece al ritmo de las aglomeraciones



urbanas.³⁹ En octubre de 1998, los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia fueron introducidos en Berlín, Alemania como parte de un desarrollo urbano a gran escala a través de un proyecto llamado Daimler Chrysler Potsdamer Platz, con el fin de controlar las inundaciones, utilizar racionalmente el agua de la ciudad y crear un mejor micro clima. El agua de lluvia cae en las cubiertas de 19 edificios equivalente a 32,000 m², se recoge y almacena en un tanque subterráneo de 3,500 m³. Esta agua es usada para la descarga de inodoros, el riego de zonas verdes y el llenado de un estanque artificial.

En otro proyecto llamado Belss-Luedecke-Strasse Building State en Berlín, el agua de lluvia de todas las cubiertas equivalentes a 7,000 m² es descargada a una cisterna con capacidad de 160 m³, junto con el agua de escurrimiento de las calles, espacios de estacionamiento y vías peatonales con un área de 4,200 m². El agua es tratada en varios pasos y usada en la descarga de sanitarios y el riego de jardines. El sistema está diseñado para que la mayoría de los contaminantes del flujo inicial sean evacuados al alcantarillado de agua de lluvia. El sistema retiene aproximadamente el 58% del agua de lluvia que cae dentro del perímetro de las instalaciones.

A través de un modelo basado en 10 años de simulación se estimó que el ahorro de agua potable con la utilización de agua lluvia es de 2,430 m³ por año, con este volumen se puede preservar el manto de agua subterránea de Berlín.³⁰

En España ha sido aplicado un proyecto de desarrollo para el municipio de Castilleja de Guzmán, provincia de Sevilla, con el objeto de cambiar el actual sistema de utilización del agua en los crecimientos urbanos por un modelo de gestión global del agua que optimice su tratamiento como recurso. Es decir, un sistema que permita que el agua desde su captación hasta su devolución al medio, consiga que todas sus partes funcionen complementariamente y con el único objetivo de un consumo más eficaz. Para ello, el modelo propuesto supone un sistema global en el que se tiene en cuenta el funcionamiento del agua a nivel urbano, procurando alargar su vida útil con medidas de ahorro y reutilización para cubrir las mismas necesidades, minimizar el consumo evitando la sobreexplotación, así mismo con captaciones pluviales manteniendo las áreas de absorción natural y que las áreas impermeabilizadas recojan y almacenen el agua. Reduciendo considerablemente la carga de aguas residuales a las que actualmente se enfrentan las depuradoras y el sistema de alcantarillado Figura 2.4.⁴⁰

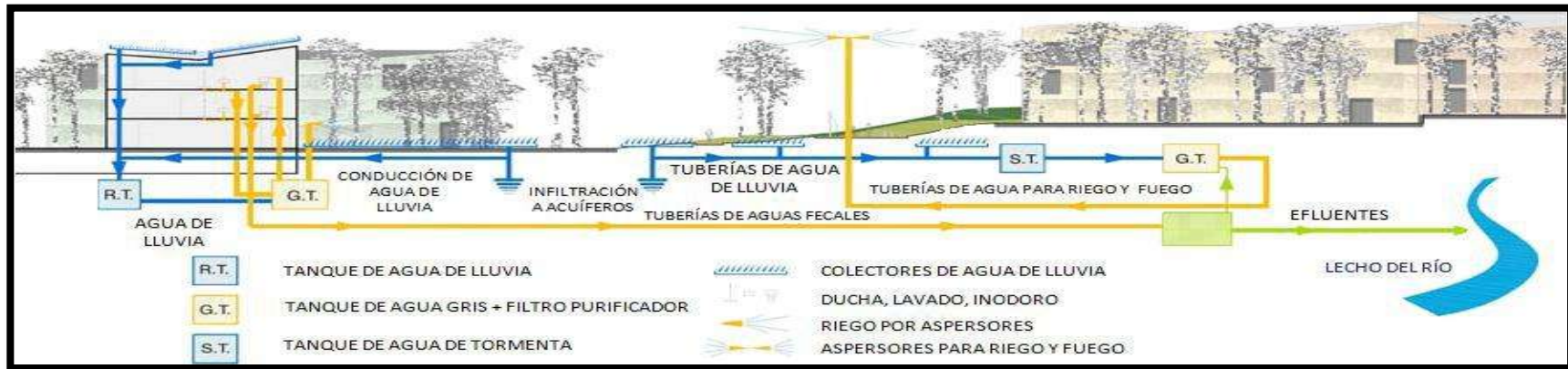


FIGURA 2.4. MODELO DE SISTEMA INTEGRAL DE GESTIÓN DEL AGUA.

³⁹ Guadalajara desperdicia el agua de lluvia. Eduardo Carrillo. Periódico gaceta universitaria 2006.

⁴⁰ El ciclo urbano del agua. Un nuevo modelo de sistema integral de gestión. M. López, España 2007.



▮ **África.**

En el continente Africano la problemática del abastecimiento de agua potable es una situación crítica debido a la alta concentración de pobreza que imposibilita la obtención de recursos y la tecnología necesaria para construcción y operación de un sistema de acueducto y alcantarillado adecuado, además la escasez de fuentes apropiadas en cuanto a calidad y seguridad del suministro, ha hecho de este un problema aún mayor. Aunque en algunas zonas de África en los últimos años se ha producido una rápida expansión de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, el proceso de implantación de esta tecnología en el Sur de África ha sido lento. Esto debido en parte a la baja precipitación, el reducido número y tamaño de las cubiertas impermeabilizadas y el alto costo en la construcción de los sistemas en relación a los ingresos familiares. La falta de disponibilidad de cemento y arena, eleva el precio de las instalaciones. A pesar de esto, la recolección de agua de lluvia es muy difundida en África con grandes proyectos en Botswana, Togo, Mali, Malawi, Sudáfrica, Namibia, Zimbabwe, Mozambique, Sierra Leona y Tanzania.

Uno de los proyectos adelantados es “Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia de Muy Bajo Costo” a través de los techos de las casas y almacenamiento en depósitos de ferro cemento, el cual se impulso con el concurso de varias organizaciones Africanas y el apoyo de DTU (Development Technology Unit) de Inglaterra (Unidad de Desarrollo de Tecnología). Las prácticas convencionales en muchos países de África de aprovechamiento de agua de lluvia son de carácter informal lo que permite tener costos reducidos; obteniendo bajos resultados en la calidad del agua y la eficiencia. Los sistemas formales son promovidos por agencias subsidiarias o adoptadas por familias de clase media con grandes volúmenes de almacenamiento que intenta satisfacer toda la demanda de la casa. En un punto intermedio se encuentra la tecnologías de “bajo costo”, esta tecnología pretende suplir un porcentaje de la demanda total de las casas a partir de una inversión que no supera los \$120 USD y utilizando materiales disponibles en la zona.⁴¹

▮ **Sudamérica.**

En la década pasada en Brasil, muchas ONG y organizaciones ambientales se enfocaron en trabajar en el suministro de agua para consumo humano usando sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia. La región noroeste de Brasil se caracteriza por tener un clima semiárido, con un promedio anual de lluvia desde 200 hasta 1,000 mm. En esta región las ONG y el gobierno de Brasil, iniciaron un proyecto para construir un millón de tanques para la recolección de agua de lluvia en un periodo de 5 años, para beneficiar a 5 millones de personas. La mayoría de estos tanques fueron hechos con estructuras de concreto prefabricado o concreto reforzado con mallas de alambre.³⁰

▮ **Centro América.**

En Honduras, se pueden encontrar viviendas acondicionadas con precarios sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, algunos desprovistos de mantenimiento y limpieza. Estos sistemas aún con sus deficiencias logran mejorar el nivel de vida de los habitantes que ponen en práctica las metodologías para aprovechar el agua de lluvia. Muchos de estos sistemas utilizan materiales reciclables.

▮ **Norte América.**

Los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia son usados en 15 Estados y territorios de EUA : Alaska, Hawái, Washington, Oregón, Arizona, Nuevo México, Texas, Kentucky, Ohio, Pennsylvania, Tennessee, North Carolina, Virginia, West Virginia y las Islas Vírgenes. Se estima que más de medio millón de personas en Estados Unidos utilizan sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, abasteciendo agua para uso doméstico,

⁴¹ Unidad de Desarrollo de Tecnología (Development Technology Unit) en: <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/civil/dtu>



agrícola, comercial o industrial. Existen más de 50 compañías especializadas en el diseño y construcción de sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia.

Texas es el estado donde más se utilizan los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia. Una casa típica en Texas tiene un área de 200 m² de cubierta y puede producir más de 150,000 litros de agua al año, en una precipitación media anual de 850 mm. El costo de los sistemas depende básicamente del tamaño de la cisterna de almacenamiento, el sistema para una casa puede costar entre \$5,000 y \$8,000 USD (año 2000), incluyendo los canales y tuberías para conducir el agua a la cisterna, el costo de la cisterna, la bomba y el sistema de tratamiento.

En Vancouver, Canadá se provee de un subsidio para la compra de barriles para el aprovechamiento del agua de lluvia, como parte de un programa piloto para la conservación del agua. Los barriles de agua de lluvia son tanques plásticos de 284 litros que se entregan por \$40 USD incluidos los impuestos. El barril se utiliza para recolectar agua de lluvia proveniente de los techos, siendo utilizada para regar los jardines y el césped, estas actividades demandan más del 40% del agua total que llega a las viviendas durante el verano. Las proyecciones indican que cada barril podría ahorrar cerca de 4,920 litros de agua durante los meses de verano, donde la demanda de agua es más alta.

En Riverdale, área metropolitana de Toronto, Canadá, se ubica una casa familiar de tres habitaciones con un área de 158 m² denominada "HEALTHY HOUSE" (CASA SALUDABLE). Esta edificación es totalmente autosuficiente, no depende del sistema de acueducto municipal. En la Figura 2.5 se muestra el esquema general del funcionamiento del sistema de aprovechamiento de agua de lluvia. El agua para consumo humano se suministra por medio de un sistema de canales que conducen el agua de lluvia hacia un tanque de almacenamiento donde se le adiciona cal, esta es utilizada para reducir la acidez del agua y darle un sabor fresco, posteriormente el agua pasa a través de un filtro de arena fina y carbón activado para remover todas las impurezas y por último es sometida a un proceso de desinfección mediante luz ultravioleta.³⁰



FIGURA 2.5. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA LLAMADO "HEALTHY HOUSE" EN TORONTO, CANADÁ.

Pequeñas Islas.

La mayoría de las pequeñas islas en el planeta tienen una vegetación exuberante y climas cálidos con mucha humedad, pero las corrientes de agua superficial suelen ser escasas. Induciendo a las poblaciones ubicadas en dichos territorios con problemas de abastecimiento de agua potable, a utilizar los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia como su forma de suministro, este es el caso de: los Estados Federados de Micronesia, Rapa-Nui, Bermudas, Islas Vírgenes, Hawaii y San Andrés entre otras.

2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN MÉXICO

Recordando que México recibe del orden de 1,488 miles de millones de m³ de agua en forma de precipitación y que existen 13 millones de habitantes sin acceso al agua entubada; según (Anaya, 2004), si solo se aprovechara el 3 % de esa cantidad, se podría abastecer a esos 13 millones de mexicanos que actualmente no cuentan con agua potable, dar dos riegos de auxilio a 18 millones de hectáreas de temporal, abastecer a 50 millones de cabezas de animal y regar 100 mil ha de invernadero.⁴²

México a partir del año 2003 y debido a la urgencia de la creación de programas de captación de agua de lluvia a nivel nacional, estatal, municipal y local. Generó el Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI) ubicado en el Colegio de Posgraduados de la Universidad Autónoma Chapingo con el apoyo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México (SAGARPA), con el objetivo de generar y transferir tecnologías sobre sistemas de captación y aprovechamiento eficiente del agua de lluvia a nivel de familia y a nivel comunitario, para consumo animal, para producción vegetal y para uso industrial, para ello ha desarrollado diversos prototipos de cisternas revestidas y cubiertas con geomembrana de PVC.

Actualmente, el CIDECALLI ha elaborado y ejecutado proyectos sobre Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia para Consumo Humano y Uso Doméstico, en comunidades Mazahua y Purépecha; en el estado de Michoacán, en la mixteca oaxaqueña y Guadalajara, entre otros. Hasta la fecha ha diseñado y construido cinco diferentes modelos de sistemas de captación de agua de lluvia. Todos se encuentran en el Campus Montecillo, del Colegio de Posgraduados de la Universidad Autónoma Chapingo, y los ha llamado COLPOS 1 a COLPOS 5. Todos, excepto el prototipo para COLPOS 3, están diseñados para prestar servicios a una sola familia, mencionándose a continuación:

Para el uso doméstico podemos emplear elementos de un sistema convencional a nivel familiar de captación del agua lluvia (COLPOS 1) Figura 2.6; (Ac) el área de captación (130 m²) es el techo de la casa, (Sc) el sistema de conducción con canaleta de lamina galvanizada sobre el borde del techo y (C) la cisterna revestida con geomembrana PVC (0.75 mm de espesor) y tubería de PVC de 4 pulgadas de diámetro para la bajada de agua de lluvia, que se encuentra conectada al área de captación a través de la canaleta. Se cuenta con un sistema para potabilizar y purificar el agua de lluvia, en tal forma que la familia cuente con este vital líquido durante todo el año. Además, es posible tratar y reutilizar las aguas grises y negras para los sanitarios y producción de hortalizas en el traspatio.

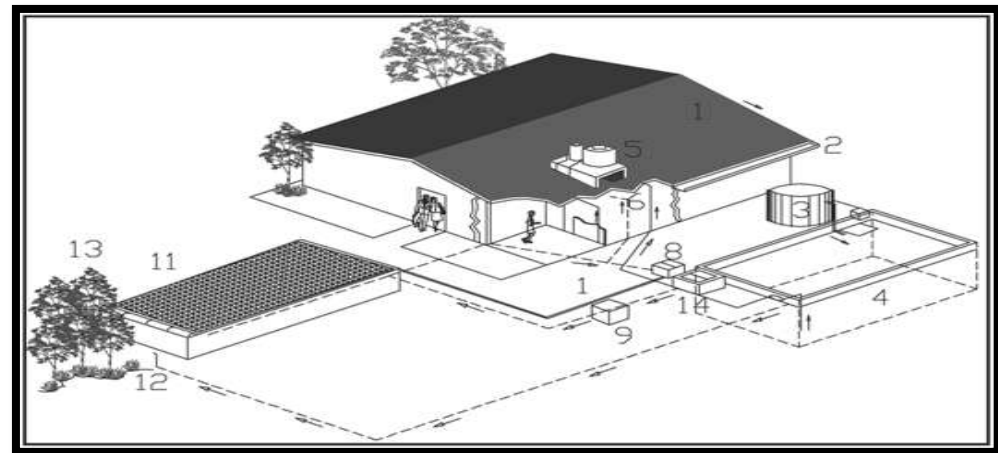


FIGURA 2.6. DIAGRAMA DE CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA, TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS GRISES Y NEGRAS.

⁴² Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, Anaya Garduño, CIDECALLI 2008.

En el siguiente diagrama Figura 2.7, se observa el sistema completo de captación y distribución de agua para uso doméstico y consiste en captar el agua en el tejado (1), coleccionar en las canaletas (2), que tienen una pendiente mínima para drenar a la línea de conducción (3) para descargar a una cisterna (4) con la dimensión suficiente para abastecer en la época sin precipitaciones pluviales.

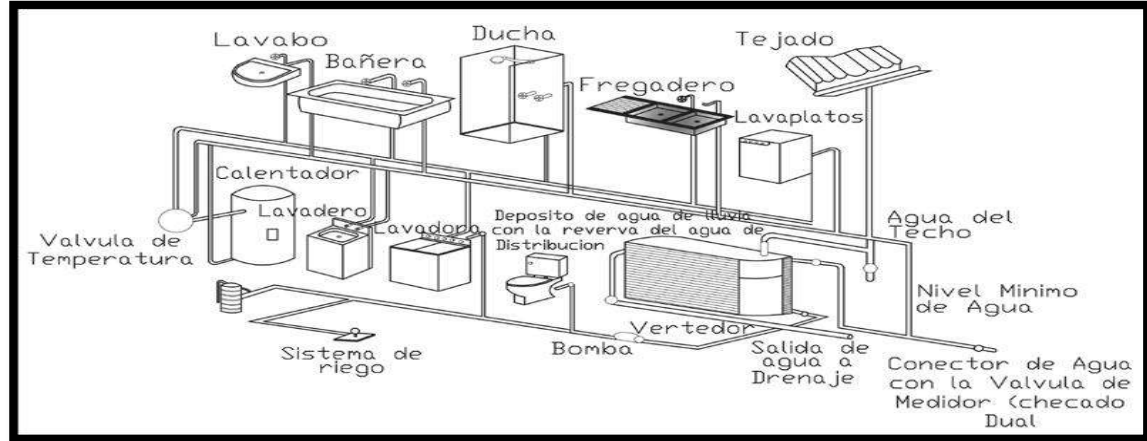


FIGURA 2.7. SISTEMA MODERNO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE LLUVIA

El prototipo COLPOS 1, es un sistema para uso doméstico. Se diseñó para sostener a una sola familia y cuenta con una cisterna de 73 m³. Este sistema está destinado a suministrar de agua potable y purificada a cuatro personas sobre la base de un consumo per cápita de 100 litros por día. El área de la superficie de captación para este modelo es de 120 m² y la precipitación anual se calculó en 610 milímetros. El costo total para la futura construcción de este proyecto se estima en \$ 49,400, todo incluido Figura 2.8.

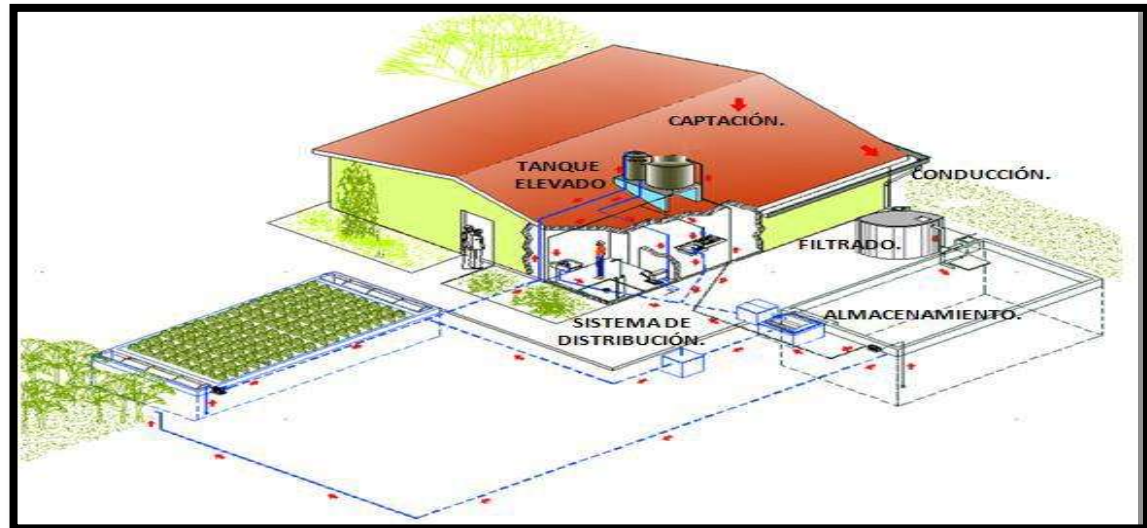


FIGURA 2.8. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA COLPOS-1 DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

- El prototipo COLPOS 2, tiene capacidad de 70 m^3 y fue diseñado para el cultivo de peces de ornato y comestibles en sistemas de producción libre y de jaulas flotantes. Un uso alternativo del agua es el cultivo de hortalizas en huerto familiar, para proveer a la familia de vitaminas y minerales y los subproductos para consumo animal y elaboración de compostas. El costo estimado para este sistema es de \$23,400 Figura 2.9³⁸

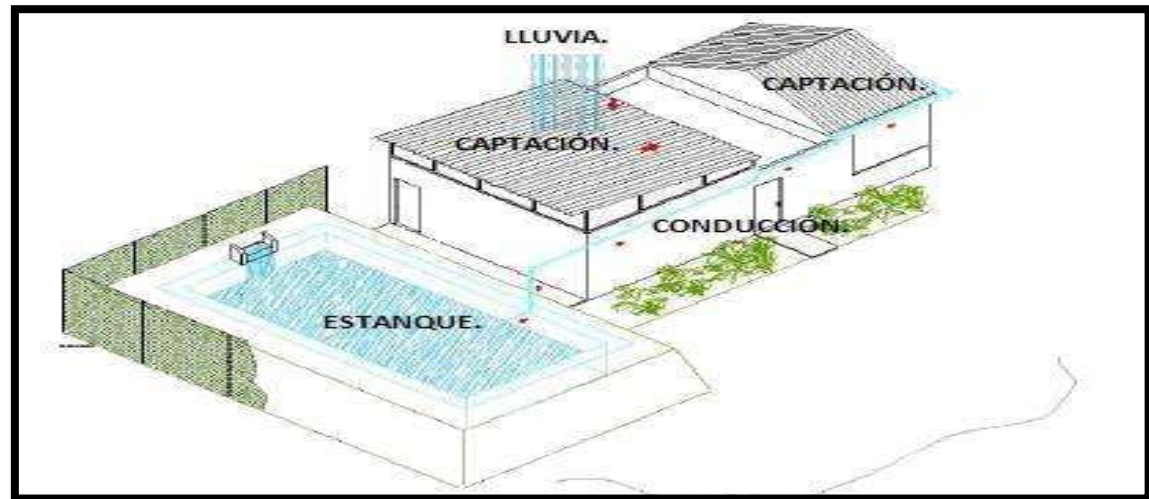


FIGURA 2.9. ESTANQUE PARA PECES DE ORNATO Y COMESTIBLES Y RIEGO DE HUERTO FAMILIAR COLPOS-2 DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.

- El prototipo COLPOS 3, es particularmente notable. Este sistema es una planta purificadora de agua de lluvia, demostrando que aun en las comunidades con condiciones inadecuadas (desde el punto de vista sanitario del agua de lluvia) es posible habilitarla, en condiciones óptimas para enfrentar la demanda de agua para consumo humano de buena calidad y abatiendo la incidencia de enfermedades derivadas y asociadas a la calidad y disposición de agua.

El agua después de ser tratada se encuentra lista para su venta comercial, actualmente es distribuida en tamaños de medio litro, un litro, y 19 litros en distintos lugares de la ciudad de Texcoco, México y en algunas comunidades del estado de Michoacán donde se está implementando este sistema para beneficio de la comunidad no solo como suministro de agua de buena calidad sino también como fuente de empleo e ingresos para la misma comunidad. La capacidad de la cisterna es de $2,000 \text{ m}^3$ y está destinado a satisfacer las necesidades diarias de un máximo de 2,300 personas.

Los componentes básicos del COLPOS 3 son similares a los demás sistemas descritos anteriormente, la principal diferencia es que la depuradora se haga en una escala mucho mayor. Desde la zona de captación, el agua se conduce a través de un gran tubo al área de almacenamiento de $2,000 \text{ m}^3$, esta área está bordeada de una doble capa de un material impermeable llamado geomembrana. El proceso de purificación es de suma importancia por lo cual las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua deben cumplir con una buena calidad.

La valoración económica del COLPOS 3, demuestra su potencial como un buen modelo de negocio y también como una fuente estable de agua limpia y saludable para las comunidades marginadas. La inversión inicial para la planta de depuración es de aproximadamente \$ 1, 463,475 o de \$ 520 - 650 por habitante, este importe incluye toda la maquinaria, los planos, la mano de obra e impuestos y se basa en los costos actuales en México Figura 2.10.³⁸

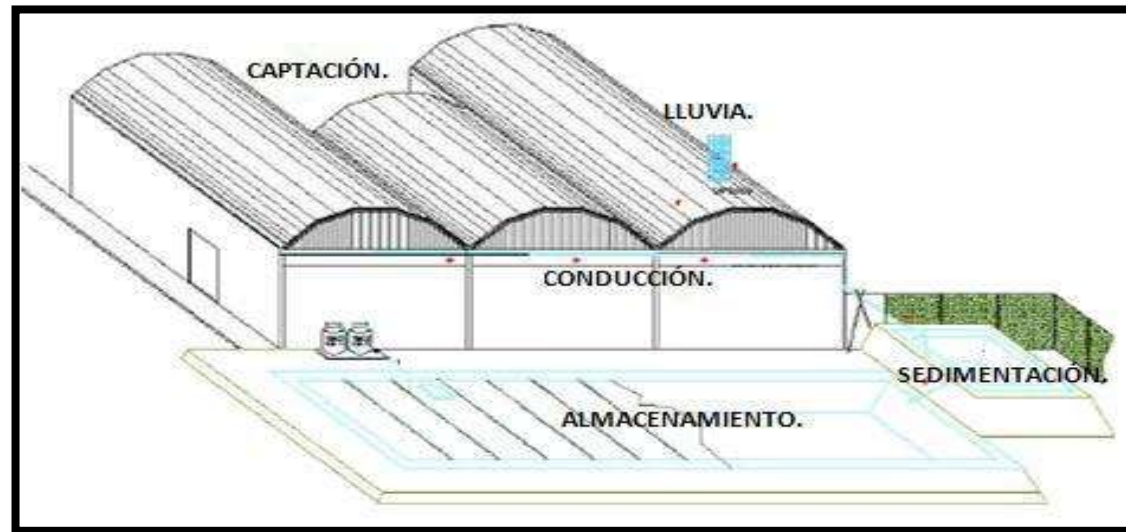


FIGURA 2.10. PLANTA PURIFICADORA DE AGUA DE LLUVIA COLPOS-3 DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.

Los siguientes dos prototipos están destinados a cumplir los requisitos de agua asociados a la agricultura en pequeña escala.

- El prototipo COLPOS 4, es un modelo capaz de servir una ganadería o granja familiar. Este modelo ofrece una alta calidad de agua para un rebaño o manada de animales con el fin de satisfacer un consumo de aproximadamente 50 litros por animal por día. Este modelo tiene una capacidad de 500 m³ y tiene un costo de construcción estimado de \$ 52,000 Figura 2.11.

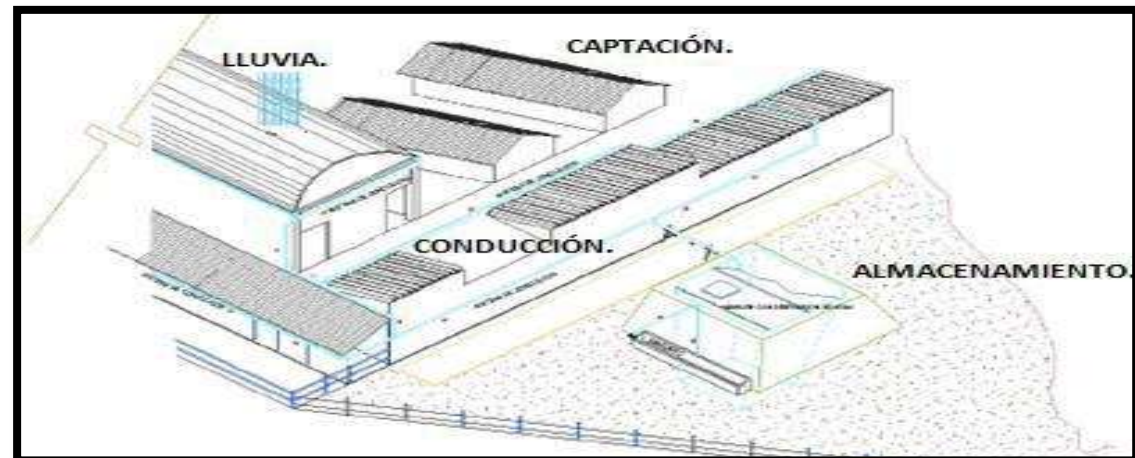


FIGURA 2.11. ABREVADERO PARA PEQUEÑAS EXPLOTACIONES GANADERAS COLPOS-4 DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.

- El prototipo COLPOS 5, es un sistema de riego en invernaderos diseñado para capturar el agua en los techos de los invernaderos y almacenar agua para el riego de las plantas cultivadas en el interior del invernadero. Este modelo tiene una capacidad de 2,000 m³ y el costo total estimado del proyecto es de \$ 234,000 Figura 2.12.³⁸

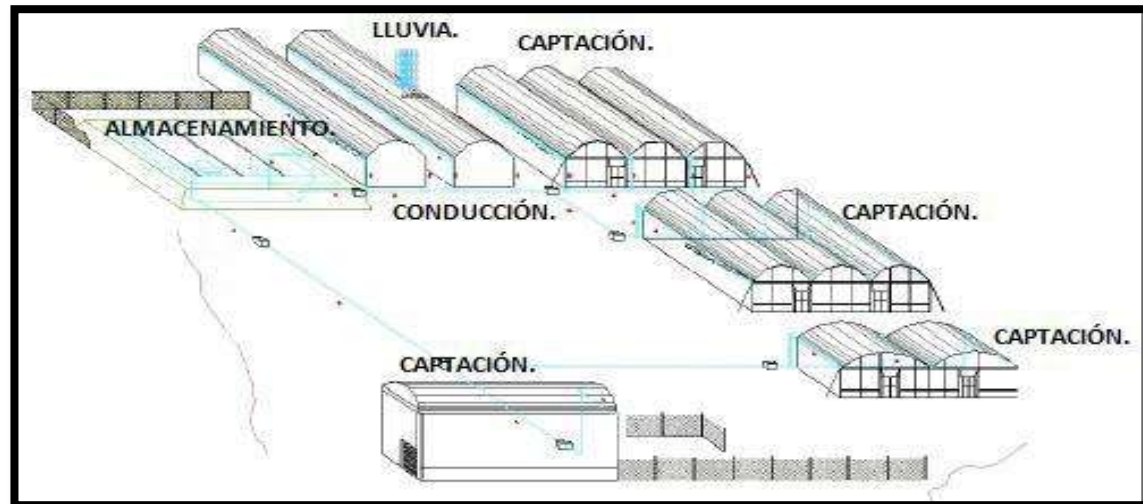


FIGURA 2.12. CISTERNA PARA RIEGO EN INVERNADEROS COLPOS-5 DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.

En México se utilizan diversas técnicas de captación en su mayoría carentes de tecnología que proporcionen agua de buena calidad razón por la cual los proyectos antes mencionados son de gran relevancia. El éxito de los proyectos del CIDECALLI 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.

Sin embargo, la combinación única de las antiguas técnicas de gestión de recursos y la innovación tecnológica mostrada, no ha tenido mucha promoción ante otros sistemas de distribución de agua, convirtiéndose en obligación de las generaciones actuales y futuras el promover y ejecutar este tipo de sistemas para contribuir con el desarrollo sostenible y elevar el nivel de vida de la población en muchas regiones de México, así mismo disminuir el estrés hídrico que vive el país y buscar el cambio positivo.

2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

Como se ha podido apreciar, se han utilizado distintos Sistemas de Captación y aprovechamiento del Agua de Lluvia (SCALL)³⁸ a través del tiempo hasta la actualidad; por tal motivo a continuación se presenta una clasificación de los métodos alternativos de captación y uso eficiente de agua, las cuales fueron identificados a través de la investigación y experiencias de investigadores dedicados al uso eficiente del agua y basada conforme a la forma como el agua escurre por techos o sobre suelos naturales, caminos, patios o áreas de captación especialmente preparadas y al uso que se le da.

Esta clasificación incluye:

- Sistemas para uso humano.
- Sistemas para uso agrícola y ganadero.
- Recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas.
- Captación de agua de niebla.

▮ **Sistemas para uso humano.**

Dentro de esta clasificación entran las técnicas de captación de agua de lluvia que aprovechan el escurrimiento superficial captado a través de tejados o superficies terrestres para ser almacenada luego en diversos tipos de cisternas y utilizarse en la vida diaria como son:

- ▮ **Los sistemas SCALL:** es un medio para obtener agua para consumo humano y uso doméstico. Consiste de cinco elementos principales que son la captación, recolección y conducción, interceptor o filtro, almacenamiento y un sistema de distribución los cuales se describen detalladamente más adelante. Estos sistemas pueden ser muy sencillos o sofisticados con tratamientos automáticos en cada proceso y con monitoreo electrónico dependiendo del uso que se le dé al agua captada como: uso sanitario, limpieza, alimentación, riego de jardines, etcétera. Existe una gran diversidad de estos sistemas en los cuales comúnmente varía principalmente el elemento de almacenamiento utilizando lagunas, zanjas o aljibes revestidos con ladrillo, polietileno o plástico, piletas de ladrillo de arcilla y concreto y pozos cisternas Figura 2.13.²⁶



FIGURA 2.13. SISTEMAS SCALL.

- **Captación en manantiales con barriles:** Una alternativa de la captación de agua de lluvia es aprovechando los manantiales conocidos popularmente como ojos de agua, reventadero o nacientes mediante el uso de barriles. Esta tecnología consiste en realizar un pequeño dique hecho de mampostería, tabique o concreto, con un tubo para su desbordamiento, al poner malla de alambre en el tubo de acceso al tanque se evita que entren contaminantes. Para asegurar un flujo estable de agua, es necesario limpiar la malla de vez en cuando.⁴³

El barril de aproximadamente 40 litros, se entierra en el suelo a la altura que sea necesario para captar el agua a través de perforaciones realizadas en los laterales del barril. Se puede realizar un mejor sistema conectando con tubo o manguera otros barriles así el primer barril tiene función de captación y de sedimentador y el segundo de distribución del agua. Los barriles pueden fijarse al suelo de manera que sean totalmente firmes, Figura 2.14.

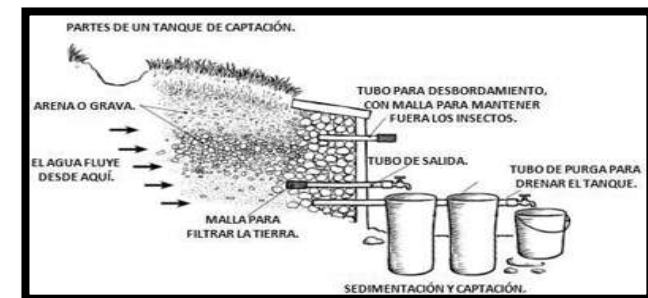


FIGURA 2.14. CAPTACIÓN EN MANANTIALES.

⁴³ Agua para vivir: como proteger el agua comunitaria. Jeff Conant. Fundación Hesperian, 2005.



Ventajas del sistema:

- Se minimiza la contaminación del agua.
- Alta calidad físico químico del agua.
- Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas.
- Empleo de mano de obra y/o materiales locales.
- No requiere de energía para operación del sistema.
- Fácil de dar mantenimiento.
- Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.

Desventajas del sistema:

- Costos iniciales pueden impedir la puesta en práctica por familias de escasos recursos económicos.
- Cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación, por lo cual el agua de lluvia no es controlable y no se dispone durante las épocas de sequía.
- En el sistema con cisternas es necesario el uso de bombas lo cual aumenta los costos.
- El agua de lluvia puede llegar a contaminarse por la excreta de los animales y por la materia orgánica (hojas).
- El tamaño del depósito tienen un alto costo de construcción y puede ser limitante para muchas familias de bajos recursos económicos y que el agua disponible para el uso domestico no sea suficiente para la familia.
- El almacenamiento de agua puede incluir la presencia de mosquitos si no se cubre, los cuales pueden producir algunas enfermedades en el hombre.⁴⁴

■ **Sistemas para uso agrícola y ganadero.**

Estos sistemas están enfocados a mejorar la producción de los cultivos, árboles y pastizales en áreas propensas a sequía en lugar de que el escurrimiento superficial provoque erosión además de convertirse en lugares aptos para abrevadero de ganado. Funcionan bajo el concepto de micro captación in situ, el cual manipula los escurrimientos superficiales para su almacenamiento en presas de tierra, estanques, jagüeyes y aljibes, que aún representan la fuente principal de agua en muchos ejidos y ranchos.

Las técnicas de micro captación in situ involucran conservación del suelo, aumentan la disponibilidad de agua para los cultivos, mitigan los efectos de sequía y mejoran el entorno ecológico.

Según Veenhuizen (1998), la micro captación in situ del agua de lluvia se diferencia de la captación general, básicamente en tres aspectos:

- Porque el sistema de captación se realiza exclusivamente para emplearlo en cultivos básicos, forrajeros, vegetación nativa, árboles, arbustos y frutales.
- Porque el área de esorrentía, está formada por micro captaciones que aportan cantidades adicionales de agua y no tienen que conducirla a grandes distancias, ya que dicha área está adyacente al área destinada al almacenamiento.
- Porque el área de almacenamiento incluye el mismo suelo, en el cual se desarrollan las raíces de los cultivos.

⁴⁴ Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. Manual técnico. IPN 2007.

Estos sistemas de captación de agua de lluvia son especialmente relevantes para zonas áridas y semiáridas y donde los problemas de degradación ambiental, sequía y presiones de población son más evidentes.²⁹

A continuación se presentan ejemplos de este tipo de sistemas.

MINI REPRESAS EN CÁRCAVAS: son pequeños almacenadores de agua de lluvia, contruidos utilizando la forma natural que toman las cárcavas durante su proceso erosivo. Se construyen con un dique de tierra o piedra, para esto se desea que los suelos sean impermeables. Si los suelos son muy permeables, estos pueden impermeabilizarse, con material local. Se suavizan los taludes y se establece una cubierta vegetal para controlar la erosión. En sus alrededores deben plantarse árboles de sombra para disminuir los porcentajes de evaporación. Los tamaños dependen del potencial de precipitación, característicos del área de captación y de la demanda de agua Imagen 2.5.



IMAGEN 2.5. MINI REPRESAS EN CÁRCAVAS.

LAGUNAS CON REVESTIMIENTO DE ARCILLA: este diseño de captación requiere de suelos con pendientes menores del 5%; son embalses de diferentes tamaños y formas, lo cual dependen de la cantidad de precipitación y de topografía del suelo, generalmente están ubicadas en la parte de menor pendiente de la zona con potencial de escurrimiento. Tiene una zona de entrada de agua y una zona de emisión, para el caso en que rebasara su capacidad de almacenamiento. Para almacenar agua, se interviene en la zona de menor altitud de la pendiente, construyendo un muro compacto a la altura estimada del caudal de diseño de captación. Los usos pueden ser diversos como labores de riego y abrevadero de ganadería. Imagen 2.6.



IMAGEN 2.6. LAGUNA CON TALUD DE PIEDRA, ARENA Y CEMENTO.

LAGUNAS REVESTIDAS CON POLIETILENO: el diseño y construcción son similares a las anteriores; se ubica en la zona más baja del terreno, en áreas con condiciones naturales o se realiza una excavación y posteriormente se revisten con polietileno. Se construyen en suelos muy permeables o de poca profundidad. Puede usarse para el cultivo de peces. Este tipo de laguna no puede usarse para abrevadero directo de ganado y debe protegerse en su alrededor con un cercado para evitar que el plástico sea perforado y provocar la pérdida de agua por la infiltración Imagen 2.7.²⁶



IMAGEN 2.7. LAGUNA REVESTIDA CON POLIETILENO PARA CULTIVO DE PECES.

DIQUE CON GAVIONES Y PIEDRA: consisten en un dique construido con malla metálica tipo gallinero tejido en forma rectangular o de caja, rellenos de piedras, amarrados unos a otros por lo que tienen gran resistencia para enfrentar corrientes turbulentas. Este trabajo requiere de conocimientos técnicos de ingeniería. A los gaviones se les conoce como represas filtrantes que se establecen en lugares donde un dique de piedra simplemente acomodado puede ser derribado. La condición para construirlos es que haya suficiente piedra cerca al lugar de construcción Imagen 2.8.



IMAGEN 2.8. DIQUE CON GAVIONES.

DIQUES CON SACOS DE ARENA Y PLÁSTICO EN QUEBRADAS: se pueden ubicar sacos llenos de arena a doble fila ubicando el polietileno entre las dos filas de sacos para retener el agua de las quebradas después de las lluvias. Se usan en pendientes de cauces de quebradas menores a 15% y en lugares donde otro tipo de material como piedra o madera es la limitante para construir diques. En donde las corrientes son muy fuertes se recomienda poner los diques en el periodo de las últimas lluvias con ubicación de diques en series Imagen 2.9.

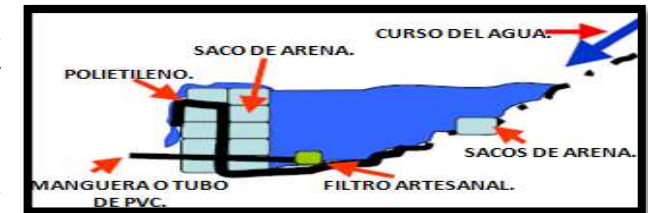


IMAGEN 2.9. VISTA LATERAL DE UN DIQUE DE SACOS CON ARENA Y PLÁSTICO.

DIQUES DE PIEDRA EN QUEBRADAS: son muros de piedra acomodada, una sobre otra, en sentido perpendicular a la pendiente de terreno o curso de las aguas. Para su construcción hay que considerar la selección de la zona con pendientes no mayores a 15 grados. Dependiendo de la longitud de la pendiente debe decidirse si se construirán uno o más diques. Los diques además de permitir la retención de agua, también controlan la pendiente o inclinación del fondo de la cárcava, por lo que se recomienda establecerlos de manera que la altura útil del dique más bajo, coincida con el inicio del dique situado aguas arriba Imagen 2.10.²⁶

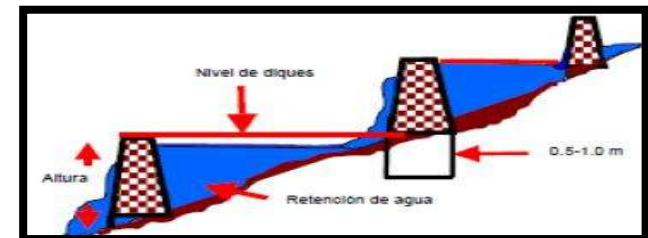


IMAGEN 2.10. VISTA LATERAL DE DIQUES DE PIEDRA UBICADOS SEGÚN PENDIENTE.

ATAJADOS: se utiliza en áreas áridas y semiáridas, mediante la cual se almacena la escorrentía de agua pluvial, en estanques excavados en la tierra. El agua luego se utiliza para abreviar al ganado, para riego o para uso doméstico, en caso de que las lluvias sean irregulares o durante el periodo de estiaje. En cierta época del año la intensidad de la precipitación en estas áreas es elevada y supera la capacidad de infiltración del suelo. Esto significa que mucha agua escurra sin poder ser aprovechada, alternativa buena y barata, frente a represas grandes o en combinación con ellas, Imagen 2.11.⁴⁵



IMAGEN 2.11. ATAJADOS.

⁴⁵ Abastecimiento de agua potable, Universidad Mayor De San Simón Facultad De Ciencias Y Tecnología. La Paz, Bolivia 2001.

HONDONADAS EN ÁRBOLES FRUTALES O FORESTALES: Consisten en almacenar el agua que escurrió en pequeños pozos inundando el área del cultivo. Para lo cual es necesaria conocer algunos factores como cantidad y distribución de la lluvia en el año, capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, necesidades hídricas del cultivo Imagen 2.12.



IMAGEN 2.12. HONDONADAS.

SURCADO PRE PLANTACIÓN PARA CULTIVOS BÁSICOS: consiste en arar el área y abrir surcos distanciados entre sí a 0,75 m o en dependencia de las necesidades hídricas del cultivo. En este sistema, los surcos son realizados utilizando surcadores entre las líneas de siembra. Esta tecnología es usada para cultivos anuales. Es una técnica simple y accesible a todos los niveles de productores. La función principal de esta técnica es de complemento de recurso hídrico en la captura del agua necesaria por unidad de planta Imagen 2.13.²⁶



IMAGEN 2.13. CAPTACIÓN DE AGUA IN SITU PARA CULTIVOS ANUALES.

ZANJAS REVESTIDAS CON PLÁSTICO NEGRO: son excavaciones realizadas en curvas a nivel con profundidades no mayor a 1 m y con paredes en forma de talud, con ángulo de inclinación de 40% con respecto al fondo, con el fin de mejorar la estabilidad del suelo, principalmente en suelos arcillosos. La longitud varía según necesidades de almacenamiento y en consideración de la estabilidad del suelo. En las partes centrales de la longitud se dejan áreas de descargue con un filtro adherido a una manguera de polietileno para facilitar la salida de agua por gravedad hacia el área de aprovechamiento. Una vez construidas las zanjas se recubren con plástico preferiblemente de calibre 1,000, lo que ayudaría a disminuir la pérdida de agua por evapotranspiración Imagen 2.14.



IMAGEN 2.14. ZANJA REVESTIDA.

TERRAZAS DE CULTIVO: tienen el objetivo de retener agua y suprimir la erosión en laderas cultivadas, para ello se descompone el talud de las laderas en sucesivos planos algo inclinados a manera de escalinata de forma que el agua no corra por la superficie hasta el punto más bajo. Estas se adaptan a las curvas de nivel y su ancho depende de la pendiente, a más pendiente menos ancho y a menos desnivel más amplitud, la separación es por un talud sub vertical. La altura va en función de la pendiente; a más desnivel más altura, y a menos pendiente menos altura. Los márgenes se construyen de piedra, teniendo en su centro la parte más reforzada ya que por ahí es donde desbordan las aguas excedentes a la siguiente terraza Imagen 2.15.⁴⁶



IMAGEN 2.15. TERRAZAS DE CULTIVO.

⁴⁶ El riego con aguas de avenida en las laderas sub áridas, Alfredo Morales Gil, 1969.

ANILLOS DE CAPTACIÓN EN CERROS: consisten en construir una zanja horizontal con una ligera pendiente bajo la curva de nivel para conducir el agua de lluvia obtenida hacia un punto determinado. La función de los anillos de captación es recoger el escurrimiento de agua de lluvia de los cerros que bordean una cuenca o están dentro de la cuenca. El agua captada puede conducirse hasta pequeños embalses para usos productivos, de conservación y recuperación arbórea, también en uso de abrevaderos de animales. Imagen 2.26.²⁶



IMAGEN 2.16. ANILLO DE CAPTACIÓN EN CERROS.

▮ **Recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas.**

La falta de estudios geohidrológicos, geofísicos, y geológicos en la realización de nuevas construcciones, ocasiona que la captación de agua pluvial sea menor y no se le dé la importancia que amerita, ya que al ocupar lo que antes eran áreas verdes con nuevos desarrollos habitacionales, la sobreexplotación del manto acuífero y el actual desarrollo modifica de manera considerable la estructura del subsuelo. Se parte de estos problemas para darnos cuenta de la importancia que tiene la infiltración, no solo para el abastecimiento del agua; sino para la preservación del ciclo hidrológico. La infiltración al subsuelo del agua de lluvia puede lograrse por infiltración natural a través de los suelos permeables como:

FRANJAS FILTRANTES: son franjas de suelo vegetado, ancho y con poca pendiente, localizadas entre una superficie dura y el medio receptor de la escorrentía. Propician la sedimentación de las partículas y contaminantes arrastrados por el agua, así como la infiltración y disminución de la escorrentía Imagen 2.17.



IMAGEN 2.17. FRANJAS FILTRANTES.

SUPERFICIES O PAVIMENTOS PERMEABLES: son pavimentos que permiten el paso del agua a su través, abriendo la posibilidad a que ésta se infiltre en el terreno o bien sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación. Existen diversas tipologías, entre ellas: césped o gravas, bloques impermeables con juntas permeables, bloques y baldosas porosas, pavimentos continuos porosos como asfalto, hormigón, resinas, etcétera; Imagen 2.18.



IMAGEN 2.18. SUPERFICIES PERMEABLES.

DRENES FILTRANTES O FRANCESES: son zanjas poco profundas rellenos de material filtrante granular, con o sin conducto inferior de transporte, concebidas para captar y filtrar la escorrentía de superficies impermeables contiguas con el fin de transportarlas hacia aguas abajo. Además pueden permitir la infiltración y la laminación de los volúmenes de escorrentía Imagen 2.19.⁴⁷

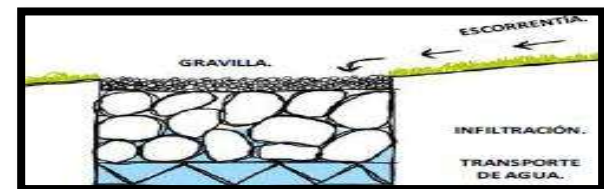


IMAGEN 2.19. DIAGRAMA DE DREN FILTRANTE.

⁴⁷ Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: Una alternativa a la gestión del agua de lluvia. Momparler y Doménech. Universidad Politécnica de Valencia, 2000.

HUMEDALES: son similares a los anteriores pero de menor profundidad y con mayor densidad de vegetación emergente, aportan un gran potencial ecológico, estético, educacional y recreativo Imagen 2.20.



IMAGEN 2.20 HUMEDAL.

UNETAS VERDES: son estructuras lineales vegetadas de base ancha mayores a 0.5 m y con talud de relación menor 1:3 vertical y horizontal respectivamente, diseñadas para almacenar y transportar superficialmente la escorrentía. Deben generar bajas velocidades menores de 1 a 2 m/s que permitan la sedimentación de las partículas para una eliminación eficaz de contaminantes. Adicionalmente puede permitir la infiltración a capas inferiores Imagen 2.21.



IMAGEN 2.21. CUNETAS VERDES.

DEPÓSITOS DE INFILTRACIÓN: son depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas. Se promueve así la transformación de un flujo superficial subterráneo, consiguiendo adicionalmente la eliminación de contaminantes mediante filtración, concentración y transformaciones biológicas Imagen 2.22.



IMAGEN 2.22. DEPÓSITOS DE INFILTRACIÓN.

DEPÓSITOS DE DETENCIÓN: son depósitos superficiales que están diseñados para almacenar temporalmente los volúmenes de escorrentía generados aguas arriba. Favorecen la sedimentación y con ello la reducción de la contaminación. Pueden ubicarse en “zonas muertas” o ser conjugados con otros usos, como los recreacionales, en parques e instalaciones deportivas Imagen 2.23.⁴³



IMAGEN 2.23. DEPÓSITOS DE DETENCIÓN EN SUPERFICIE.

ESTANQUES DE RETENCIÓN: son lagunas artificiales con lámina permanente de agua (de profundidad entre 1.2 y 2 m con vegetación acuática, tanto emergente como sumergida. Están diseñadas para garantizar largos periodos de retención de la escorrentía de 2 a 3 semanas, promoviendo la sedimentación y la absorción de nutrientes por parte de la vegetación Imagen 2.24.



IMAGEN 2.24 ESTANQUE DE RETENCIÓN.

CUBIERTAS VEGETADAS: son sistemas multicapa con cubierta vegetal que recubren tejados y terrazas de todo tipo. Están concebidas para interceptar y retener las aguas pluviales, reduciendo el volumen de escorrentía y atenuando el caudal pico. Además retienen contaminantes, actúan como capa de aislante térmico en el edificio y ayudan a compensar el efecto de calor que se produce en las ciudades Figura 2.25.



IMAGEN 2.25. CUBIERTAS VEGETADAS.

Las ventajas de todos estos sistemas de captación de agua se podrían resumir en los siguientes aspectos:

- Protegen los sistemas naturales y mejoran el ciclo del agua en entornos urbanos.
- Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje maximizando el servicio al ciudadano, mejorando el paisaje con la integración de cursos y/o láminas de agua en el entorno.
- Protegen la calidad del agua en los escurrimientos en zonas urbanas.
- Reducen volúmenes de escurrimientos y caudales punta, procedentes de zonas urbanizadas, minimizando el costo de las infraestructuras de drenaje al mismo tiempo que aumenta el valor del entorno.
- La reducción de volúmenes de escorrentía y caudales punta, puede solucionar la incapacidad hidráulica de la red de colectores convencional, debida al crecimiento urbano no previsto en las fases de planificación de la misma. Con esto puede evitarse la necesidad de desdoblamiento de la red convencional o el hecho de tener que asumir inundaciones más frecuentes.

Por otra parte, la reducción del volumen de escurrimientos y caudales punta, redundará en un mejor funcionamiento de las estaciones depuradoras y en la reducción de costos al reducirse el volumen de los afluentes en las mismas. El uso de estos sistemas no sólo mejora la gestión de las aguas pluviales, sino la gestión del agua en general, tanto en cuanto al abastecimiento como al drenaje y posterior tratamiento en zonas urbanas.⁴³

■ Captación de agua de niebla.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA, en colaboración con la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Chiapas, desde septiembre de 1994, inició un proyecto de investigación, desarrollo y transferencia de tecnología para establecer las bases y criterios de diseño, construcción e instalación de capta nieblas. Proyecto en el que se comprobó que el agua de niebla tiene un alto potencial de constituirse

como una fuente alternativa de dotación, demostrando así mismo mediante pruebas químicas que el agua de niebla es adecuada para el consumo humano, aplicaciones agrícolas y de reforestación.⁴⁸

Para describir la función del capta nieblas es muy importante conocer la niebla como un fenómeno meteorológico consistente en nubes muy bajas, a nivel del suelo y formadas por partículas de agua muy pequeñas en suspensión. La mayor parte de la niebla se produce al evaporarse la humedad del suelo, lo que provoca el ascenso de aire húmedo que al enfriarse se condensa dando lugar a la formación de estas nubes bajas. La niebla a su paso choca con elementos naturales como árboles y rocas en los cuales deja partículas de agua que al acumularse caen por gravedad al suelo en forma de gotas de agua.

El capta nieblas es un elemento artificial el cual se compone de una superficie plana comúnmente de malla mosquitero de metal o de plástico, con poros pequeños de 1.5 X 1.5 mm y 0.5 mm de grosor como área de contacto, ésta se interpone al paso de la neblina y sirve para coleccionar el agua de neblina, tiene una canaletita que recibe el agua que escurre y un depósito para almacenarla. Puede tener diferentes geometrías pero la forma más empleada por su estructura simple y rendimiento mayor es la bidimensional (plano), las dimensiones varían de acuerdo al proyecto a emplear. Su funcionamiento depende de la densidad de la neblina, el área de captación y la velocidad del viento Imagen 2.36. En dos pruebas con dos tipos de mallas y distintos tamaños de poros, se tuvo un promedio de captación de 1 litro/m²/día, con una máxima de 18 litros/ m²/día con lo que se comprobó la funcionalidad del capta nieblas.



IMAGEN 2.26 CAPTA NIEBLAS.

2.6 DISCUSIÓN GENERAL.

En este capítulo se ha podido apreciar una gran variedad de sistemas de captación de agua de lluvia, utilizados a través de la historia hasta la actualidad por el ser humano para satisfacer sus necesidades relacionadas con el recurso agua. Se ha podido apreciar que la evolución de estos sistemas ha sido lenta, debido a que fueron substituidos por la aplicación de sistemas modernos de distribución de agua olvidándose de la eficacia de los sistemas tradicionales, a excepción de algunos países como Alemania que han desarrollado y puesto en marcha sistemas muy tecnificados.

Los sistemas de captación de agua de lluvia son un medio muy importante para abatir la escasez de agua en medios rurales donde es casi imposible adaptar o distribuir el recurso por un sistema de distribución o hasta por medios móviles como pipas. En la actualidad estos sistemas han tomado auge mundialmente y se ha comenzado a desarrollar técnicas por diversas instituciones en México y el mundo, para mejorar los sistemas de captación. Estas mejoras lamentablemente no han tenido la difusión suficiente para poder convencer a la población de que ahora es necesario captar el agua de lluvia en nuestros domicilios por lo cual es labor de la actual y de las futuras generaciones el difundir estos sistemas, que no solo tiene la ventaja de proporcionar agua de buena calidad a los habitantes que utilizan el sistema, sino que al mismo tiempo elevan su calidad de vida al no tener que sufrir por abastecerse del recurso, no tiene que recorrer grandes distancias por conseguir agua para beber o hacer sus labores domésticas, la higiene personal se mejora y se disminuye el número de enfermedades relacionados por la falta de agua.

⁴⁸ El agua de niebla una alternativa para el abastecimiento y dotación a pequeñas comunidades rurales en la zona costera de Baja California Norte. Polioptro Martínez. IMTA y UABC, 1998.



Ahora es importante contar con tecnologías alternativas que proporcionen la conservación de los recursos naturales y en especial del agua al ser un líquido vital; los SCALL son sistemas que proporcionan diversas ventajas por ser de fácil aplicación y manejo, el empleo de mano de obra y materiales locales que a su vez disminuye los costos de construcción, el consumo de energía es escaso o nulo a excepción del sistema de distribución utilizado, por lo cual, es necesario adoptar un nuevo modelo de gestión integral del agua que optimice su tratamiento como recurso. Es decir, un sistema que permita que el agua desde su captación hasta su devolución al medio, consiga que todas sus partes funcionen satisfactoriamente y con el único objetivo de un consumo más eficaz.

Es importante utilizar en su mayoría las diferentes técnicas de captación y tener un sistema global en el que se tome en cuenta el funcionamiento del agua tanto a nivel urbano como edificatorio procurando su sustentabilidad con medidas de ahorro y reutilización para cubrir las mismas necesidades, minimizar el consumo evitando la sobreexplotación así mismo con captaciones pluviales manteniendo las áreas de absorción natural y que las áreas impermeabilizadas recojan y almacenen el agua. Reduciendo considerablemente la carga de aguas residuales a las que actualmente se enfrentan las depuradoras y el sistema de alcantarillado.

Recordando que si se aprovechara el 3% de los casi 1,500 km³ de agua que se precipita en el territorio mexicano se podría abastecer a 13 millones de mexicanos que actualmente no cuentan con agua potable, se darían dos riegos de auxilio a 18 millones de ha de temporal, se abastecerían cincuenta millones de animales y se regarían cien mil hectáreas de invernadero.

Si se aplicaran adecuadamente todas las técnicas de captación dentro de un ámbito urbano se obtendrían muchos otros beneficios que se pueden considerar indirectos del objetivo de captación de agua de lluvia, tales como proteger los sistemas naturales y mejorar el ciclo del agua en entornos urbanos, reducir volúmenes de escurrimientos y caudales punta, procedentes de zonas urbanizadas minimizando el costo de las infraestructuras de drenaje y solucionando la incapacidad hidráulica de la red de colectores convencional debida, al crecimiento urbano no previsto en las fases de planificación. Por otra parte, la reducción del volumen de escurrimientos y caudales punta redundará en un mejor funcionamiento de las estaciones depuradoras y en la reducción de costos al reducirse el volumen de los afluentes en las mismas. Otro punto muy importante es que se reducirían costos en los pagos de agua y luz al ser menor la dotación que se debe distribuir.

El uso de estos sistemas no sólo mejora la gestión de las aguas pluviales, sino la gestión del agua en general, tanto en abastecimiento como al drenaje y posterior tratamiento en zonas urbanas. Sin embargo es importante tomar en cuenta las desventajas de los SCALL ya que dependen directamente de la cantidad de precipitación que se presente en la zona y que afecta el área de captación y almacenamiento, y otra tal vez la más importante, que el costo inicial puede ser alto e impedir su implementación por parte de familias de bajos recursos, es aquí donde se debe de considerar la colaboración de las instituciones de gobierno para que este tipo de proyectos se logren y se han rápidamente difundidos ante la población para evitar un escenario aún más crítico sobre la presión del recurso agua.

En la tabla 2.1, se muestra un resumen de algunos de los sistemas de captación de agua de lluvia que se pueden utilizar y que ya se han descrito anteriormente.



Tipo de sistema	Dependiendo a la forma que escurre	Dependiendo al uso que se le da al agua	Descripción	Ventajas	Desventajas
Sistemas SCALL (ver capítulo IV)	Escurrecimiento superficial captado especialmente a través de tejados o superficies terrestres para ser almacenada luego en diversos tipos de cisternas.	Consumo humano y consumo domestico.	Captación a través de los techos, recolección y conducción en canaletas, tratamiento a través de filtro de arena y grava graduada, almacenamiento en cisternas de diferentes materiales y formas, sistema de distribución por bombeo si es posible.	Se minimiza la contaminación del agua. Alta calidad físico químico del agua. Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas. Empleo de mano de obra y/o materiales locales.	Costos iniciales pueden impedir la puesta en práctica por familias de escasos recursos económicos. Cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.
Captación de agua de niebla	Captación de partículas de agua provocadas por la condensación de humedad (neblina).	Consumo humano y consumo domestico.	Captación a través de captación de nieblas, recolección y conducción en canaleta y manguera respectivamente, almacenamiento en pequeños depósitos (garrafones).	No requiere de energía para operación del sistema. Fácil de dar mantenimiento. Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.	En el sistema con cisternas hace necesario el uso de bombas lo cual aumenta los costos.
Mini represas en cárcavas	Escurrecimientos superficiales en terreno natural para su almacenamiento en presas de tierra, estanques, jagüeyes y aljibes.	Riego. Disminución de la erosión del suelo. Lugares apropiados para abrevaderos.	Captación en pequeños embalses, recolección y conducción a través de los escurrecimientos naturales bajo el concepto de micro captación, no se requiere un tratamiento especial de filtración y el sistema de distribución si se requiere es a través de canales.	Aumenta la producción agrícola. Previene la erosión del suelo. Regulan los caudales. Aumenta las posibilidades de crecimiento vegetal y animal. No requieren energía para su funcionamiento. Aumentan la retención de humedad del suelo.	Cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación. Requieren de áreas más grandes de captación.
Lagunas con revestimiento de arcilla					
Lagunas revestidas con polietileno					
Dique con gaviones y piedra					
Diques con sacos de arena y plástico en quebradas					
Diques de piedra en quebradas					
Atajados					
Hondonadas o Terrazas individuales					
Surcado pre plantación para cultivos básicos					
Anillos de captación en cerros					
Terrazas de cultivo					
Zanjas cubiertas con plástico					

TABLA 2.1. TIPOS DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN PLUVIAL.



Tipo de sistema	Dependiendo a la forma que escurre	Dependiendo al uso que se le da al agua	Descripción	Ventajas	Desventajas
Superficies o Pavimentos Permeables	Escurrimientos superficiales en terreno natural para su infiltración.	Infiltración de forma natural del agua al acuífero para así conseguir una mejora en la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos almacenados en el subsuelo.	Captación en pequeños embalses para su infiltración, recolección y conducción a través de cunetas o escurrimientos naturales, filtración natural a través de las capas del suelo.	<p>Protegen los sistemas naturales y mejoran el ciclo del agua en entornos urbanos.</p> <p>Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje maximiza el servicio al ciudadano mejorando el paisaje con la integración de cursos y/o láminas de agua en el entorno.</p> <p>Protegen la calidad del agua en escorrentías urbanas.</p> <p>Minimizan el costo de las infraestructuras de drenaje al mismo tiempo que aumenta el valor del entorno.</p> <p>La reducción de volúmenes de escorrentía y caudales punta puede solucionar la incapacidad hidráulica de la red de colectores convencional debida al crecimiento urbano no previsto en las fases de planificación de la misma.</p> <p>Mantienen el equilibrio hídrico en zonas ecológicas y zonas de conservación.</p> <p>Restanrar la sobreexplotación de acuíferos en un mediano y largo plazo.</p> <p>Almacenar en el subsuelo los escurrimientos superficiales no regulados controlando de alguna manera las inundaciones provocadas por la presencia de gastos extraordinarios.</p> <p>Tratamiento primario de depuración antes de ser inyectado al subsuelo.</p> <p>El agua pluvial captada por los pozos de infiltración queda almacenado en el acuífero y este a su vez funciona como una red de distribución, reduciendo los costos de transportación, almacenamiento o bombeo de agua subterránea.</p> <p>Las aguas almacenadas en el subsuelo, están menos expuestas a la contaminación y pérdida por evaporación, que las aguas en la superficie.</p>	<p>Cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.</p> <p>Altos costos de excavación.</p> <p>Requieren de áreas más grandes de captación.</p>
Franjas Filtrantes					
Drenes Filtrantes o Franceses					
Cunetas Verdes					
Depósitos de Infiltración					
Depósitos de Detención					
Estanques de Retención					
Humedales					
Cubiertas vegetadas					
Pozos de absorción					
Pozos de infiltración					

TABLA 2.2. CONTINUACIÓN TIPOS DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN PLUVIAL.



3 CONSIDERACIONES PARA DISEÑO DE LOS SCALL

La información que a continuación se presenta se ha obtenido al realizar el análisis de diferentes proyectos elaborados por diversas instituciones, así como de manuales de sistemas SCALL, con la finalidad de facilitar al lector, obtener el conocimiento adecuado para la fácil elaboración de un sistema SCALL. Al realizar este análisis podemos darnos cuenta que las consideraciones de diseño para un SCALL, por tratarse de gastos menores no necesita de una implementación afondo de la leyes de la hidráulica, esto no quiere decir que no sean necesarias, sino todo lo contrario, la persona responsable del diseño de un SCALL debe tener amplio conocimiento de la aplicación de las leyes de la hidráulica a fin de asegurar el funcionamiento del sistema.

■ Consideraciones de diseño.

Antes de emprender el diseño de un sistema de captación de agua pluvial, es necesario tener en cuenta los requisitos previos siguientes:

- *Precipitación en la zona: Se debe conocer los datos pluviométricos de por lo menos los últimos 10 años, e idealmente de los últimos 15 años. Estos datos están disponibles en diversos lugares como es el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la comisión nacional del agua (CONAGUA), el Instituto Mexicano de*
- *Tecnología del Agua (IMTA) o del Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC II).*
- *La oferta de agua de lluvia se debe determinar a partir del promedio mensual de las precipitaciones correspondientes al período de años analizados (Precipitación media por año).*
- *Tipo de material del que está o va a estar construida la superficie de captación, para determinar el coeficiente de escorrentía.*
- *Número de usuarios o personas beneficiadas y consumo diario.*
- *Demanda de agua: La demanda de agua para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia debe considerar un mínimo de 5 litros de agua por persona/día para ser destinada solamente a la bebida, preparación de alimentos e higiene bucal.*
- *Superficie de riego disponible en caso de necesitarla.*
- *En el caso de superficies y laderas recubiertas se debe obtener características y condiciones del sitio tales como: topografía, geología, flora, historial del sitio y curvas de nivel, esto con la finalidad de determinar volúmenes de excavación, relleno, compactación, posibles contaminantes, etcétera.⁵⁰*

3.1 APLICACIÓN

La captación de agua de lluvia para consumo humano es recomendada en primera instancia para zonas rurales o urbano marginales, con niveles de precipitación pluviométrica que hagan posible el adecuado abastecimiento de agua de la población beneficiada y que no cuentan con acceso a fuentes superficiales cercanas, y donde el nivel freático de las aguas subterráneas es muy bajo, pero en la actualidad es importante hacer provecho de la captación de agua en todas las zonas pobladas aunque exista un sistema de abastecimiento; considerando así a la captación de agua como un sistema alternativo o complementario de distribución de agua.

Algunos países de América Latina y el Caribe, tales como México, Guatemala, Honduras, El Salvador, Brasil, Venezuela, Argentina, Paraguay, Costa Rica, República Dominicana, Islas Vírgenes, Santa Lucía, Islas Turkos y Caicos, utilizan cisternas de 400 m³, en Bahamas predominan cisternas con capacidades de 70 m³, Nueva Providencia, Islas de Honduras, Jamaica, Monserrat, Santa Lucía, Barbados; entre otros usan aljibes cubiertos con bolsas de plástico de 1,300 y 2,300 m³, así como cisternas con capacidades de 100 a 150 m³.



3.2 FACTIBILIDAD

En el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar los factores técnicos, económicos, sociales y ambientales.

Factor técnico

Los factores técnicos a tener presente son la producción u oferta y la demanda de agua:

- *Producción u “oferta” de agua; ésta relacionada directamente con la precipitación pluvial durante el año y con las variaciones estacionales de la misma. Por ello es necesario contar con datos de precipitación suministrados por la autoridad competente del país o de la región donde se pretende ejecutar el proyecto.*
- *Demanda de agua; La demanda depende de las necesidades del interesado y los usos que quiere darle al agua.*

Factor económico.

Existe una relación directa entre la inversión requerida para implementar el sistema y el área de captación y el volumen de almacenamiento, resultando muchas veces una restricción para la mayor parte de los interesados. En la evaluación económica es necesario tener presente que en ningún caso la dotación de agua debe ser menor a 20 litros de agua por persona y por día, la misma que permite satisfacer sus necesidades básicas elementales. Asimismo, los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua en la salud de las personas beneficiadas por el servicio de agua.

Factor social

En la evaluación de las obras de ingeniería a nivel comunitario, siempre se debe tener presente los factores sociales, representados por los hábitos y costumbres que se puedan afectar con la implementación de las tecnologías aplicadas. Al efecto, el responsable del estudio debe discutir con la comunidad las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta, buscando que la propia comunidad seleccione lo que más le conviene emplear. Los análisis deben considerar la conveniencia de adoptar soluciones individuales y colectivas, el tipo de material empleado en la fabricación de sus techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar o sus alrededores y el grado de participación de la comunidad en la implementación del proyecto.

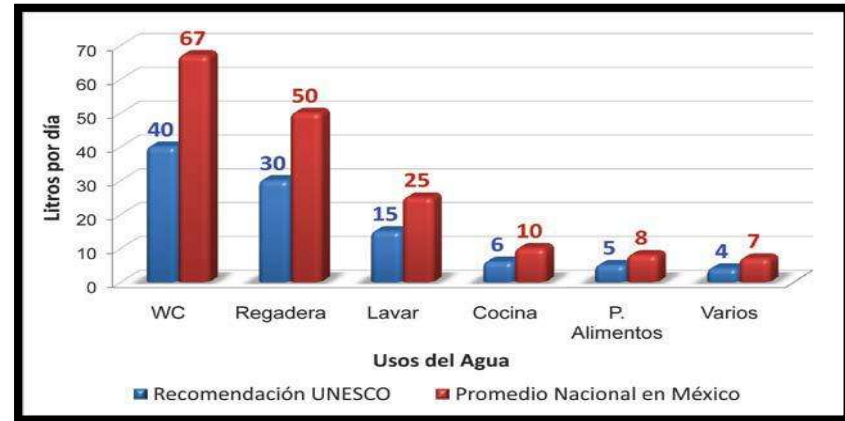
Factor Ambiental.

En la actualidad todos los proyectos deben considerar las consecuencias ambientales que se contraen con la obra a realizar, en este caso las obras alternativas contribuyen con el factor ambiental, la disponibilidad del agua como elemento primordial para la conservación de otros recursos naturales como flora, fauna y regeneración natural, mejora el ambiente escénico, el clima es más saludable, lo que a la vez hace que las tierras ubicadas en estas condiciones adquieran un mejor valor. En el aspecto agronómico se considera que en mejores condiciones ambientales, hay menos daños de plagas a los cultivos, además de alargar las reservas de agua potable disponibles al ahorrar en el consumo.⁴⁹

⁴⁹ Guía de diseño para captación del agua de lluvia. UNATSABAR, Perú 2001.

3.2.1 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA

La demanda o dotación por persona, es la cantidad de agua que necesita una persona diariamente para cumplir con las funciones físicas y biológicas de su cuerpo, además considera la cantidad de agua requerida para satisfacer la necesidad establecida en el objetivo del proyecto. Así por ejemplo si el SCALL proyectado es destinado al consumo humano, el requerimiento por persona por día será diferente a aquella condición que se establezca para la obtención de agua para consumo humano más la preparación de alimentos, la demanda sería mayor para el segundo escenario Grafica 3.1. Este mismo concepto aplica si se considera el sistema para una familia compuesta por cuatro personas o para una comunidad de 2 mil personas. La expresión matemática para calcular la demanda de agua es la siguiente:



GRAFICA 3.1. DEMANDA PARA DIFERENTES USOS DEL AGUA DE ACUERDO CON LOS CRITERIOS PLANTEADOS

Donde:

- $j = \text{No. del mes, } j = 1, \dots, 12$
- $D_j = \text{demanda de agua en el mes } j, (m^3/\text{mes}/\text{población})$
- $Nu = \text{número de beneficiarios del sistema,}$
- $Dot = \text{dotación, (L/persona/día)}$
- $Ndj = \text{número de días del mes } j,$
- $D_{\text{anual}} = \text{demanda de agua para la población,}$
- $j = \text{número del mes (1, 2, 3, \dots, 12)}$
- $1000 = \text{factor de conversión de litros a } m^3$

$$D_j = \frac{Nu * Dot * Nd}{1000}$$

$$D_{\text{anual}} = \sum_{j=1}^{12} D_j$$

De igual manera si se establece que el propósito del SCALL es abastecer de agua a un sistema de producción pecuario, la determinación de la demanda será a partir del requerimiento diario de agua por cada animal que componga el sistema.

Si el SCALL se plantea para obtener agua que será utilizado en un sistema de producción agrícola en condiciones de invernadero, la demanda de agua estará compuesta por la evapotranspiración (uso consuntivo del cultivo). El cálculo de la demanda, se hace mediante la siguiente ecuación:

Donde:

- $D = \text{demanda de agua, (m}^3\text{)}$
- $Nu = \text{número de beneficiarios del sistema,}$
- $Dot = \text{dotación, (l/persona/día)}$
- $Nd = \text{número de días (se utiliza 1, para obtener la demanda diaria)}$
- $1000 = \text{factor de conversión de litros a } m^3.$

$$D = \frac{Nu * Dot * Nd}{1000}$$



3.2.2 CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL NETA

A partir de la información disponible de precipitación (P), se determina la Precipitación Neta (PN), que se define como la cantidad de agua de lluvia que queda a disposición del sistema (SCALL), una vez habiendo descontado las pérdidas por factores como salpicamiento, velocidad del viento, evaporación, fricción, tamaño de la gota; considerados en un coeficiente de captación que se ha planteado del 85% (0.85) de acuerdo con la experiencia desarrollada en el CIDECALLI-CP. La eficiencia de la captación del agua de lluvia depende del coeficiente de escurrimiento de los materiales del área de captación, el cual varía de 0.1 a 0.9 Tabla 3.1.

Tipo de Captación	Ce
Cubiertas superficiales	
Concreto	0.6 - 0.8
Pavimento	0.5 - 0.6
Geomembrana de PVC	0.85 - 0.90
Azotea	
Azulejos. Teja	0.8-0.9
Hojas de metal acanaladas	0.7-0.9
Captación en tierra	
Suelo con pendientes menores al 1 0%	0.0-0.3

TABLA 3.1. COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO (C_e) DE LOS DIFERENTES MATERIALES EN EL ÁREA DE CAPTACIÓN.

A continuación se presenta la fórmula para estimar la precipitación neta:

Donde:

- PN = precipitación neta, (mm)
- P = precipitación, (mm)
- $\eta_{\text{captación}}$ = eficiencia de captación del agua de lluvia,
- C_e = coeficientes de escurrimiento.

$$PN = P * \eta_{\text{captación}}$$

$$\eta_{\text{captación}} = C_e * Pr_{ob}$$

Cuando las precipitaciones medias mensuales sean menores de 40-50 mm y de baja intensidad (mm/hr), se recomienda no considerarlas, sobre todo si se presentan durante las épocas secas, ya que la cantidad y calidad del agua de lluvia no será de consideración para su almacenamiento. La determinación de la demanda anual se obtiene mediante la siguiente expresión matemática.

Dónde:

- D : Demanda anual y J : número del mes (1, 2, 3, . . . , 12)
- D_j : Demanda de agua en el mes j ($m^3/\text{mes}/\text{población}$)

$$D_{\text{anual}} = \sum_{j=1}^{12} D_j$$

De acuerdo con la población objetivo del SCALL y la demanda de agua por persona, se establecen los costos para su implementación. En la Tabla 3.2 se presenta el costo para cuatro sistemas diferentes.

Estimación de la demanda y el costo de inversión por persona para un sistema familiar y cuatro sistemas comunitarios.

Numero		L/persona /día	Demanda		Tipo de cisterna	Inversión	
Familias	Usuarios		Demanda mensual m^3	Demanda anual m^3		persona (USD)	total (USD)
1	4	50	6	72	Familiar	1,000	4,000
125	500	2.7	40.5	486	Comunal	100	50,000
250	1,000	2.7	81	972	Comunal	80	80,000
750	3,000	2.7	243	2,916	Comunal	70	210,000
1,250	5,000	2.7	405	4,860	Comunal	60	300,000

TABLA 3.2. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA Y EL COSTO DE INVERSIÓN POR PERSONA PARA UN SISTEMA FAMILIAR Y CUATRO SISTEMAS COMUNITARIOS.



La fuente de aprovisionamiento está constituida por la precipitación pluvial, en el área en la que se localizará el SCALL, por lo que se hace imprescindible conocer su magnitud mediante el registro por un periodo de observación por lo menos de 10 años, a fin de identificar los promedios registrados en mm de lluvia media mensual, precipitación media anual, precipitación máxima en 24 hrs y la intensidad de la lluvia alcanzada en una hora. Esta información es necesaria para diseñar los componentes principales del sistema.

El material utilizado en la superficie sobre la cual se lleva a cabo la captación del agua de lluvia juega un importante papel en la eficiencia de captación, específicamente en relación con la facilidad con la que el agua fluye sobre dicha superficie, considerando un mayor o menor volumen de pérdidas. A partir de esta característica se ha definido el coeficiente de escurrimiento para diferentes materiales. En la Tabla 3.3 se indican los valores del coeficiente de escurrimiento para distintos materiales.

Tipo de Captación	Ce
Cubiertas superficiales	
Concreto	0.6 - 0.8
Pavimento	0.5 - 0.6
Geomembrana de PVC	0.85 - 0.90
Azotea	
Azulejos, teja	0.8-0.9
Hojas de metal acanaladas	0.7-0.9

TABLA 3.3. COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO (CE) DE LOS DIFERENTES MATERIALES UTILIZADOS EN EL ÁREA DE CAPTACIÓN.

La ecuación para calcular la Precipitación Neta (PN) es la siguiente:

Donde:

- PN= Precipitación Neta, (mm)
- P = Precipitación, (mm)
- η = Eficiencia de captación del agua de lluvia; se obtiene de multiplicar el coeficiente de escurrimiento (Ce) por el coeficiente de captación 0.85.

$$PN = P * \eta$$

3.3 COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

Retomando que la captación de agua de lluvia es considerada en este estudio como una tecnología utilizada para habilitar en tal sentido los techos y los pisos, o bien, otras áreas impermeables de las construcciones, para ser almacenada luego en diversos tipos de cisternas. Se tiene que el sistema de captación de agua de lluvia en techos está compuesto de los siguientes elementos y que se pueden apreciar en la figura 3.1.^{50, 51}

1. **El área de captación:** Es la superficie destinada a la recolección del agua de lluvia para un fin benéfico. Las áreas que se utilizan para este fin, son los techos de casas habitación, escuelas, hospitales, bodegas, invernaderos, patios pavimentados, techos cuenca y laderas revestidas o tratadas con materiales que la impermeabilizan.
2. **Recolección y conducción:** El sistema de conducción se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas situadas en las partes más bajas del área de captación que tienen por objeto recolectar el agua de lluvia y conducirla hacia el interceptor y al sistema de almacenamiento.

⁵⁰ Captación de agua de lluvia para consumo humano: especificaciones técnicas, UNATSABAR, Perú 2003.

⁵¹ Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso, especificaciones técnicas, Manual de capacitación para la participación comunitaria. Manejo integrado de la subcuenca alta del río grande en la sierra norte, Oaxaca 2005.

3. **Interceptor o filtro:** Es un dispositivo con dos funciones fundamentales la primera captar las primeras aguas de lluvia correspondiente al lavado del área de captación y que pueden contener impurezas de diversos orígenes como basura, hojas y polvo por lo cual es conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas y la segunda filtrar el agua de lluvia antes de su almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente.
4. **Almacenamiento:** Es la obra destinada a la acumulación, conservación y abastecimiento del agua de lluvia necesaria para el consumo diario de las personas beneficiadas.
5. **Distribución:** Es el conjunto de tuberías encargado de la repartición del agua dentro de la casa para los distintos usos y servicios, a través de una bomba que tiene la función de extraer el agua de la cisterna para impulsarla a un tanque elevado para almacenar el agua bombeada y distribuirla por gravedad a la edificación. Este elemento es opcional

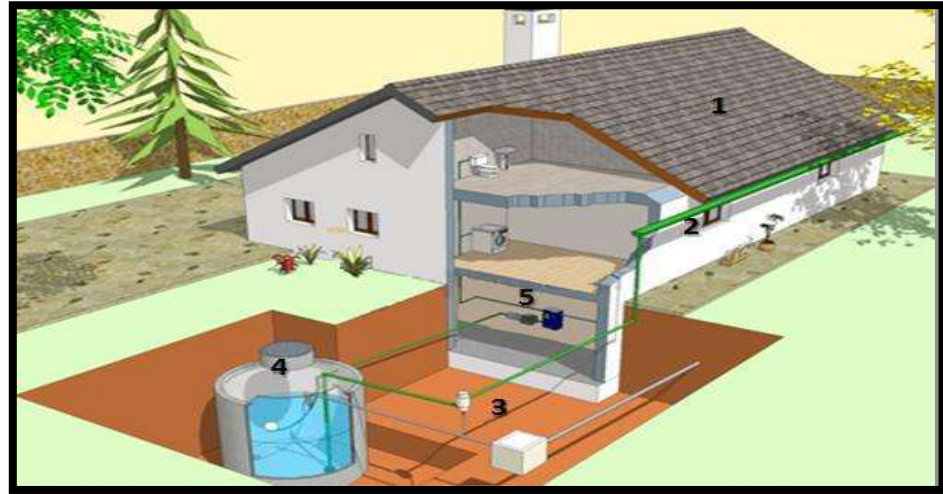


FIGURA 3.1 SISTEMA ESTÁNDAR DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN TECHOS.

3.4 MATERIALES

A continuación se mencionaran algunos de los materiales utilizados en los componentes del SCALL de distintas obras y que han obtenido resultados muy favorables y de aceptación por la población.

3.4.1 ÁREA DE CAPTACIÓN

El área de captación es la superficie sobre la cual cae la lluvia. Se utilizan para este fin los techos de casas, escuelas, bodegas, invernaderos y laderas revestidas o tratadas con materiales que la impermeabilizan. Es importante que los materiales con que están construidas estas superficies, no desprendan olores, colores y sustancias que puedan contaminar el agua pluvial o alterar la eficiencia de los sistemas de tratamiento. La superficie debe contar con una extensión tal, que permita captar un volumen de agua igual al estimado en la demanda, y una pendiente que facilite el escurrimiento pluvial al sistema de conducción; es importante mencionar que solo se debe considerar la proyección horizontal del área de captación y expresarla en m^2 . Figura 3.2.

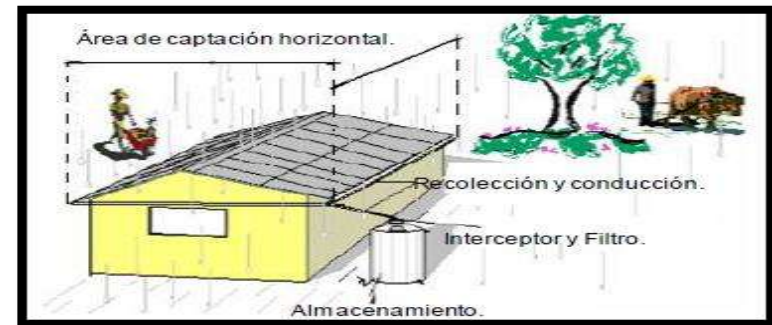


FIGURA 3.2. PROYECCIÓN HORIZONTAL DEL TEJADO.



Para el diseño se debe considerar los siguientes puntos:

- La superficie debe ser de tamaño suficiente para cumplir la demanda requerida. Es importante que los materiales con que están construidas estas superficies, no desprendan olores, colores y sustancias que puedan contaminar el agua pluvial o alterar la eficiencia de los sistemas de tratamiento.
- El techo de la edificación deberá contar con pendiente y superficie adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección, debe tener una pendiente no menor al cinco por ciento (5%) en dirección a las canaletas de recolección del agua de lluvia. En el cálculo se debe considerar la proyección horizontal del techo y el coeficiente de escurrimiento.
- En el caso de utilizar aéreas sobre terreno, estas deben estar limpias y ser lo suficientemente impermeables para no permitir que cierta parte importante del agua precipitada se pierda por infiltración en el terreno.⁵²

El material de techo más recomendable es la lámina galvanizada, aunque en el medio rural se encuentran techos de fibrocemento, plancha metálica ondulada, paja, tejas de arcilla, palma, losas de concreto, también se pueden utilizar las superficies impermeables de canchas, patios, estacionamientos, superficies y laderas recubiertas con algún material impermeable como plástico de invernadero, geomembrana, y concreto. A continuación se presentan algunas características de estos materiales:

La ventaja que proporciona la lámina galvanizada es que presenta una superficie lisa de fácil escurrimiento y efecto esterilizante debido al calentamiento del metal por el sol. Además de ser liviana, fácil de instalar y necesita pocos cuidados, pero puede resultar costosa y difícil de encontrar en algunos lugares donde se intente proyectar este sistema.

Las tejas de arcilla Imagen 3.1 tienen buena superficie y suelen ser más baratas, pero son pesadas, y para instalarlas se necesita de una buena estructura, además que para su elaboración se requiere una buena fuente de arcilla y combustibles para su cocción.⁴⁰



IMAGEN 3.1. ÁREA DE CAPTACIÓN DE AZULEJOS DE CERÁMICA DE ARCILLA.

El forraje o paja por ser de origen vegetal, tiene la desventaja que libera lignina y tanino, lo que le da un color amarillento al agua, pero que no tiene mayor impacto en la salud siempre que la intensidad sea baja además guarda mucha tierra y ensucia el agua que se va a almacenar. En todo caso puede ser destinada para otros fines diferentes al de bebida.

Cuando llueve existen pérdidas de agua en el techo debido a infiltraciones; por evaporación del agua que humedece la superficie y por salpicaduras debido a fuertes vientos. Estas pérdidas se representan en los diferentes materiales utilizados como un coeficiente de escurrimiento (Cr) y es un número entre 0 y 1. Algunos de estos coeficientes aplicados se pueden ver en la tabla 26.^{53, 45, 40}

Lamina galvanizada	->0.9
Tejas de arcilla	0.8 - 0.9
Madera	0.8 - 0.9
Lámina de asbesto	0.8 a 0.9
Teja	0.6 a 0.9
Paja	0.6 - 0.7
Azulejos de cerámica de arcilla	0.4 - 0.5
Materia orgánica (ejemplo palma)	0.2
Concreto	0.6 - 0.8
Pavimento	0.5 - 0.6
Geomembrana de PVC	0.85 - 0.90
Suelo con pendientes menores al 10%	0.0-0.3
Superficies naturales rocosas	0.2-0.5

TABLA 3.4. COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO Cr.

⁵² Agua potable - Fuentes de abastecimiento y obras de captación - Parte 1: Captación de aguas superficiales, INN, Chile 2000.

⁵³ Proyecto experimental: un sistema para captar aguas pluviales y filtración para la universidad de ECOSUR. University Of California, Santa Barbará, 2000.

Quando el área de captación es la superficie del terreno, se toman en cuenta valores muy bajos, pero si son superficies pavimentadas se considera un valor de 0.6 a 0.7.

A continuación se describen los tipos de áreas de captación de lluvia:

Techos. En general, están contruidos de concreto, aleación de lamina galvanizada y antimonio; láminas de asbesto, lámina galvanizada y madera; también se pueden utilizar las superficies impermeables (canchas, patios, estacionamientos), que no desprendan residuos o contaminantes al contacto con el agua e incrementen el costo del tratamiento para obtener un producto de calidad. En el caso de techos de concreto deben limpiarse antes de impermeabilizar; si son de lámina galvanizada o asbesto se recomienda revisar si tienen algún deterioro y en su caso sustituirlas, antes de su impermeabilización. Además, se requiere asegurar y verificar que sus estructuras soporten el peso de las canaletas, más el agua de lluvia (Figura 3.2).



IMAGEN 3.2. TECHOS DE ESCUELAS UTILIZADOS COMO ÁREAS DE CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA.

Techos cuenca. Son estructuras diseñadas para la recolección directa del agua de lluvia compuesta básicamente de dos secciones: el techo, que funciona como área de contribución y retardador de evaporación, abajo de éste se encuentra el tanque o cisterna de almacenamiento. El techo está formado por dos superficies que convergen en un canal central lo cual permite que el agua de lluvia se conduzca directamente por gravedad a la cisterna. Para indicar el nivel de almacenamiento se instala un piezómetro en la pared externa del tanque. El sistema de conducción del agua consiste de una válvula de salida, continuada por una tubería para terminar en una llave para el uso público (Figura 3.3).



IMAGEN 3.3. TECHO DE CUENCA EN LA COMUNIDAD DEL TECONGO, AGUASCALIENTES

Laderas. Cuando el área de captación de los techos es insuficiente se selecciona una superficie o ladera que requiera las mínimas actividades de movimiento de tierras (relleno, nivelación y compactación), posteriormente se recubre toda la superficie con algún material impermeable como: plástico de invernadero, geomembrana, "consolid" ó concreto (Figura 3.4).



IMAGEN 3.4. LADERA RECUBIERTA CON GEOMEMBRANA DE PVC ACONDICIONADA COMO ÁREA PARA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

Para realizar las actividades anteriormente citadas, se deben obtener características y condiciones del sitio tales como: topografía, geología, flora, historial del sitio y curvas de nivel esto con la finalidad de determinar los volúmenes de excavación, relleno y compactación.



El relleno de la cisterna debe ejecutarse en capas horizontales de espesor no mayor de 20 centímetros en toda la superficie y en longitudes adecuadas. Si el material no fuese uniforme, se debe mezclar hasta obtener la debida uniformidad y controlarse el tamaño máximo de los elementos que integren dicho material.

La compactación consiste en aplicar presión al suelo suelto para reducir espacio poroso y vacío, aumentando su densidad aparente y en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad. Es importante controlar previamente el contenido de humedad del suelo, que debe corresponder a la humedad óptima que se determina en laboratorio (ensaye Proctor). En la mayor parte de los casos, es necesario el empleo de maquinaria especializada como rodillo “pata de cabra” y rodillo con “ruedas neumáticas” que ejercen presiones superiores a 9 kg/cm².

Un dato útil para el cálculo del área de captación del agua de lluvia es que por cada milímetro de agua de lluvia que cae sobre un metro cuadrado, se obtendrá un litro de agua. No obstante, existen coeficientes de ponderación que modifican el enunciado anterior debido a las pérdidas en las superficies de captación causadas por el rebote del agua al caer, la absorción, evaporación del agua y la pendiente de las superficies. En este apartado se han asignado valores a dichos coeficientes, pero dado que su influencia depende de las condiciones de cada lugar en particular, los valores pueden ser modificados a criterio del técnico según los estudios previos y experiencias con que cuente.

En el Cuadro 2.8 se muestra un análisis del volumen del agua de lluvia captado en litros, con relación al área de captación y precipitación pluvial promedio. Se han hecho algunas consideraciones para su utilización, tomando en cuenta precipitaciones pluviales promedio de 1, 10, 100, 1000, 2000 y 3000 mm, áreas de captación de 1 hasta 1,000 m² en múltiplos de 50 m² y de 1,000 a 10,000 m² en múltiplos de 500 m².

De esta forma, se puede obtener el volumen del agua de lluvia a captar para cualquier condición, mediante las sumas correspondientes a las intersecciones de precipitación contra el área de captación. Si por ejemplo, se tiene una área de captación de 1 m² y se cuenta con una precipitación de 110 mm, el volumen de agua captado es de 100 l, que se obtiene de sumar el valor correspondiente a las intersecciones de la hilera del área de captación correspondiente a 1 m² con la precipitación de 10 mm (10 l) más la de 100 mm (100 l). Para encontrar el volumen real de agua captada, el valor que se ha determinado en el cuadro 2.8, debe ponderarse con la eficiencia en la captación del agua de lluvia.

Área de captación m ²	Precipitación pluvial (mm)					
	1	10	100	1,000	2,000	3,000
1	1	10	100	1,000	2,000	3,000
10	10	100	1,000	10,000	20,000	30,000
100	100	1,000	10,000	100,000	200,000	300,000
300	300	3,000	30,000	300,000	600,000	900,000
500	500	5,000	50,000	500,000	1,000,000	1,500,000
700	700	7,000	70,000	700,000	1,400,000	2,100,000
900	900	9,000	90,000	900,000	1,800,000	2,700,000
1,000	1,000	10,000	100,000	1,000,000	2,000,000	3,000,000
2,000	2,000	20,000	200,000	2,000,000	4,000,000	6,000,000
3,000	3,000	30,000	300,000	3,000,000	6,000,000	9,000,000
4,000	4,000	40,000	400,000	4,000,000	8,000,000	12,000,000
5,000	5,000	50,000	500,000	5,000,000	10,000,000	15,000,000
6,000	6,000	60,000	600,000	6,000,000	12,000,000	18,000,000
7,000	7,000	70,000	700,000	7,000,000	14,000,000	21,000,000
8,000	8,000	80,000	800,000	8,000,000	16,000,000	24,000,000
9,000	9,000	90,000	900,000	9,000,000	18,000,000	27,000,000
10,000	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000	20,000,000	30,000,000

TABLA 3.5. VOLUMEN DE AGUA CON RELACIÓN AL ÁREA DE CAPTACIÓN (AC) EN M2 Y LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN mm.

La ecuación para calcular el área de captación es la siguiente:

Donde:

- Aec = Área efectiva de captación (m²)
- D_{anual} = Demanda anual (m³)
- PN = Precipitación Neta (m)
- J...n = meses cuya precipitación media es ≥ 40 mm

$$Aec = \frac{D_{anual}}{\sum_{j=1}^n PN}$$



La determinación del tamaño del área efectiva de captación presenta el escenario cuando ya se dispone de una superficie fija que será destinada para la captación del agua de lluvia. Tal es el caso de techos de escuelas, casas, industrias, invernaderos o cualquier edificación en la que se desea instalar el SCALL.

En este caso el razonamiento está dirigido a calcular el volumen de agua que puede ser captado en esta superficie, y definir la capacidad para cubrir la demanda. Para determinar la capacidad de captación se aplica la siguiente ecuación:

$$D_{\text{anual}} = A_{\text{ec}} \left(\sum_{j=1}^n PN \right)$$

$$D_{\text{anual}} = A_{\text{ec}} \left(\sum_{j=1}^n PN \right)$$

Así por ejemplo se tiene que en la subcuenca de La Concepción, La Soledad, Estado de Guanajuato, México, en una vivienda rural Imagen 3.4 que cuenta, con 118.23 m² de área superficial de captación de lluvia Figura 3.3 tiene una demanda mensual de 4.86 m³ y una demanda anual de 58.32 m³ para 6 habitantes, con una dotación diaria de 27 litros por persona y una PN anual de 0.746 m. Aplicando la ecuación:

Sustituyendo los datos se tiene: $D_{\text{anual}} = (118.23 \text{ m}^2) * (0.746 \text{ m}) = 88.19 \text{ m}^3$

El área total de captación de agua de lluvia obtiene 88.19m³ y su demanda anual es 58.32 m³, por lo que se dispondrá de un superávit de 29.87 m³. Si el resultado hubiera dado negativo entonces la diferencia tendría que subsanarse con una fuente de agua adicional.

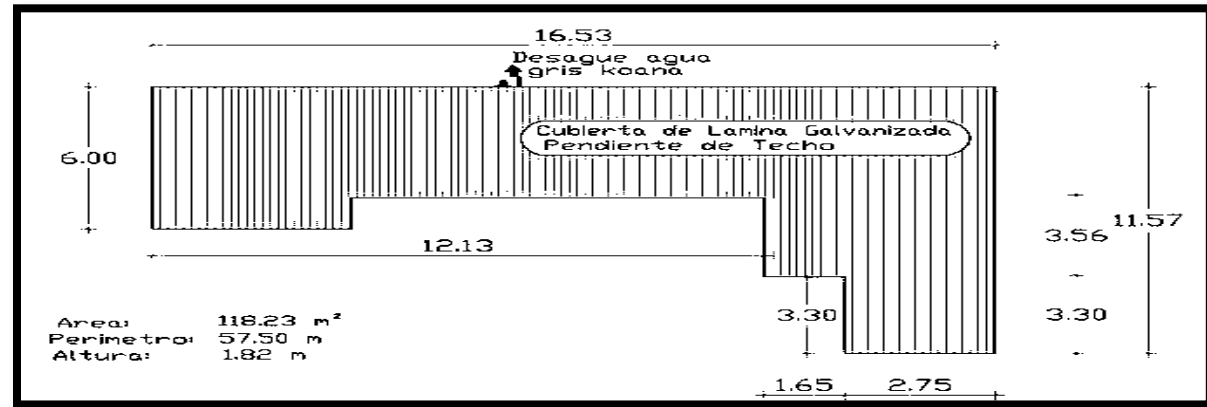


FIGURA 3.3. CROQUIS DEL ÁREA DE CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA EN UN HOGAR



IMAGEN 3.5 VIVIENDA RURAL DONDE SE PLANTEÓ EL PROYECTO SCALL

3.4.2 RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN

Las dimensiones de las canaletas estarán en función de las dimensiones del techo y de la precipitación, aunque se ha comprobado que para techos de viviendas de aproximadamente 60 m², son suficientes canaletas con sección de ½ tubo de 15 cm (6") o de sección cuadrada de 18.9 cm y 1% de pendiente. Otro detalle importante que debe tomarse en cuenta, es que la separación entre el alero del techo y la canaleta debe ser mínima para evitar que el agua sujeta a vientos fuertes no caiga fuera de ella figura 3.4.

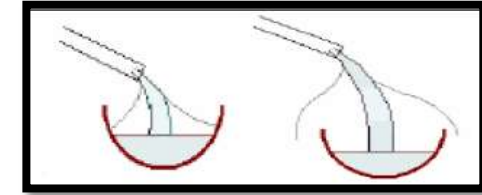


FIGURA 3.4. POSICIÓN ADECUADA DE LAS CANALETAS.

Para darse idea del tamaño de la canaleta requerida, se utiliza la fórmula de Manning: ⁴⁰

Donde:

- Q = Flujo de la canaleta en m³/s
- A= Área de la sección transversal en m².
- n = Coeficiente de rugosidad de la canaleta = 0.01 a 0.015 (Tabla del coeficiente de rugosidad de Manning, Ven Te Chow).
- R = Radio hidráulico en m = A/p; donde p = Perímetro mojado en m y S = Pendiente.

$$Q = AV = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Para la conducción del agua de la canaleta al tanque, es suficiente para viviendas una tubería de 2"; pero si existe en la zona una alta precipitación o el área de captación es grande, se recomienda utilizar tubería de mayor diámetro. En nuestro caso se recomienda utilizar tubería de PVC sanitario, porque es el más económico, pero se puede utilizar PVC hidráulico, tubería de fierro galvanizado, etcétera. Para el diseño se debe considerar los siguientes puntos:

- Las canaletas podrán ser de cualquier material que no altere la calidad fisicoquímica del agua recolectada.
- El ancho mínimo de la canaleta será de 75 mm y el máximo de 150 mm.
- Las canaletas deben ser lo suficientemente profundas para mantener el agua recolectada y prevenir que se rebote.
- Las canaletas deberán estar fuertemente adosadas a los bordes más bajos del techo.
- El techo deberá prolongarse hacia el interior de la canaleta, como mínimo en un 20% del ancho de la canaleta.
- La distancia que debe mediar entre la parte superior de la canaleta y la parte más baja del techo debe ser la menor posible para evitar la pérdida de agua.
- El máximo tirante de agua en las proximidades del interceptor no deberá ser mayor al 60% de la profundidad efectiva de la canaleta.
- La velocidad del agua en las canaletas no deberá ser mayor a 1 m/s.
- Para calcular la capacidad de conducción de la canaleta se podrán emplear formulas racionales como la de Manning, con sus correspondientes coeficientes de rugosidad, acordes con la calidad física del material con que fue construida la canaleta.
- Las uniones entre canaletas deben ser herméticas y lo más lisas posibles para evitar el represamiento del agua.
- En el caso de techos planos de losas de concreto, se recomienda conducir el agua hacia un punto donde se capte y canalice a la cisterna Figura 3.5.⁴⁷



FIGURA 3.5. CAPTACIÓN Y RECOLECCIÓN DE AGUA EN UN TECHO PLANO.

Para estos elementos se pueden emplear materiales, como el aluminio, bambú, madera, PVC o lámina galvanizada doblados en forma de V, U o rectangular Figura 3.6. Este material debe ser liviano, resistente a la corrosión y fácil de unirse entre sí, a fin de reducir las fugas de agua, además de que no se contaminen con compuestos orgánicos e inorgánicos; por lo que se recomienda se coloquen mallas que detengan basura y hojas, para evitar la obstrucción del flujo en la tubería de conducción Figura 3.7. En zonas urbanas de ser posible debe combinar con los acabados de las instalaciones.⁴⁸



FIGURA 3.6. MATERIALES Y FORMAS DE ALGUNAS CANALETAS.

Las canaletas de metal son las que más duran y menos mantenimiento necesita, sin embargo son costosas, las canaletas confeccionadas a base de bambú y madera son fáciles de construir pero se deterioran rápidamente y las canaletas de PVC son más fáciles de obtener, durables y no son muy costosas. Estos elementos se fijan al techo con alambre, madera y clavos. Los sujetadores pueden ser fabricados localmente con varillas de hierro corrugadas de 3/8" de diámetro.



FIGURA 3.7. CANALETAS CON MALLA PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN.

Los materiales utilizados son: aluminio, lámina galvanizada, polietileno de alta densidad y PVC. Actualmente se ha visto que los arquitectos, ingenieros y dueños de casas consideran estructuras diversas para la colección del agua de lluvia. En la Figura 3.8 se muestra el diagrama completo de un sistema de colección y trampa de sólidos.

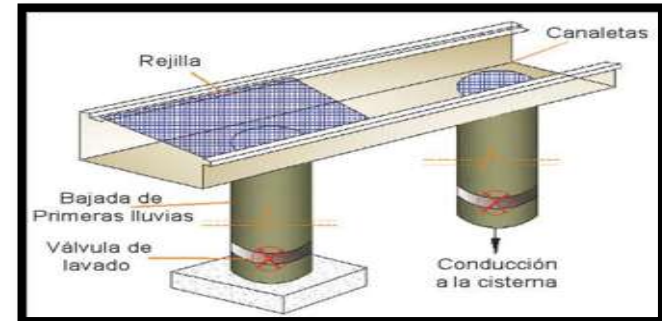


FIGURA 3.8. CANAleta con rejilla y válvula para el lavado durante las primeras lluvias

3.4.3 INTERCEPTOR Y FILTRO

En el diseño del dispositivo interceptor se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m^2 de techo, además de los siguientes puntos:

- ▶ Debe asegurar la calidad del agua dependiendo de su uso.
- ▶ El techo destinado a la captación del agua de lluvia puede tener más de un interceptor. En el caso que el área de captación tenga dos o más interceptores, ellos deberán atender áreas específicas del techo y por ningún motivo un determinado interceptor deberá captar las primeras aguas de lluvia de un área que haya sido atendida por otro interceptor con el fin de agilizar el proceso de lavado del techo.
- ▶ Al inicio del tubo de bajada al interceptor deberá existir un ensanchamiento que permita encauzar el agua hacia el interceptor sin que se produzcan reboses, y su ancho inicial debe ser igual al doble del diámetro de la canaleta debiendo tener la reducción a una longitud de dos veces el diámetro Figura 3.9.
- ▶ El diámetro mínimo del tubo de bajada del interceptor no será menor a 75 mm.
- ▶ La parte superior del interceptor deberá contar con un dispositivo de cierre automático una vez que el tanque de almacenamiento del interceptor se haya llenado con las primeras aguas de lluvia.
- ▶ El fondo del tanque de almacenamiento del interceptor deberá contar con grifo o tapón para el drenaje del agua luego de concluida la lluvia.
- ▶ El interceptor contará con un dispositivo que debe cerrarse una vez que se hayan evacuado las primeras aguas de lluvia.
- ▶ El filtro deberá diseñarse de modo que la velocidad de filtración sea menor a 0.2 m/hora.
- ▶ Su funcionamiento debe de ser auto-purgante para no requerir de mayor mantenimiento y limpieza.⁴⁶

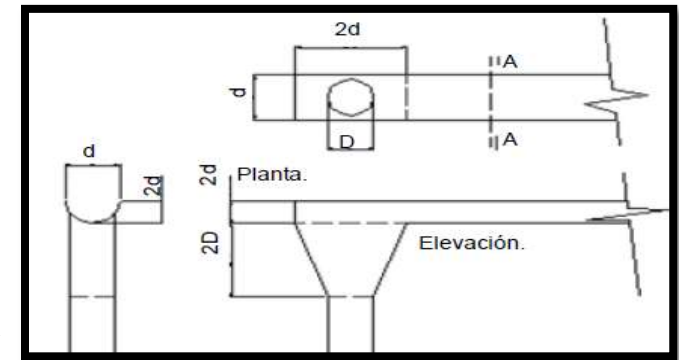


FIGURA 3.9. DETALLE DE INGRESO A INTERCEPTOR.

Las consideraciones adicionales del diseño incluyen el diámetro de los granos de la arena, de la profundidad, y del índice de filtrado, que se relaciona con el tiempo de la retención. El agua debe infiltrarse a través de la cama de la arena en un flujo constante, el cual debe mantenerse uniforme incluso en épocas de la precipitación alta. Para lograr esta meta, se puede requerir un dispositivo que regule y mantenga el flujo constante. La supervisión regular de la calidad del agua se debe realizar mientras el filtro este en uso, para comprobar especialmente la eficacia de la desinfección. La tabla 3.6 muestra algunos de los parámetros de diseño recomendados para los filtros de arena lentos.

Parámetro	Gama
Diámetro de la Grava	3 - 40 mm
Diámetro de la Arena	0.15 - 0.35 mm
Profundidad	0.6 - 1.2 m
Capa Superior de la Arena	45 cm
Profundidad del Carbón de Leña	15 cm
Capa Inferior de la Arena	30 cm
Índice de Filtrado	0.1 - 0.4 m/hr

TABLA 3.6. ALGUNOS DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO BÁSICOS RECOMENDADOS PARA LOS FILTROS LENTOS DE ARENA.

Antes de conocer algunos de estos dispositivos es importante describir en lo general el proceso de filtración, por lo que se tiene lo siguiente:



▮ **Definición de filtración.**

*Es el proceso para separar un sólido del líquido en el que está suspendido, al hacerlo pasar, a través de un medio poroso filtrante, llamado filtro y por el cual el líquido puede pasar fácilmente.*⁵⁴

Huisman & Wood describieron en 1974, el método de desinfección por medio de la filtración lenta, como la circulación del agua cruda a baja velocidad a través de un manto poroso de arena.

Los filtros o elementos filtrantes pueden ser catalogados en función de múltiples características, siendo las principales:

- *Elemento a filtrar: en el mercado existen filtros para agua, filtros de aceite, de aire, gasolinas y combustibles, de gases, etcétera.*
- *Propiedades de filtrado: una catalogación muy importante de los filtros o elementos filtrantes es el tamaño máximo de las partículas que permiten pasar, definido por el tamaño del poro.*
- *Caudal de filtrado: cada filtro posee, en función de su porosidad y superficie, un caudal máximo de filtrado, por encima del cual el elemento filtrante estaría impidiendo el paso de forma significativa del fluido a filtrar.*
- *Material de fabricación: pueden ser fabricados de multitud de materiales en función del destino de su uso, existen fabricados en celulosa, textiles, fibras metálicas, polipropileno, poliéster, minerales, gravas y arenas. Siendo los últimos antes mencionados los más utilizados en zonas rurales por su economía.*

▮ **La Filtración Lenta en Arena (FLA).**

*Uno de los pocos sistemas que, con una sola operación, purifica el agua para consumo humano es la FLA, también conocida como filtración biológica; en ella se dan fenómenos de naturaleza física y bio-química, favorecidos por el empleo de bajas tasas de filtración, permiten la formación y el establecimiento de una biocapa en la que los microorganismos descomponen la materia orgánica, formada por una capa fina y activa de algas, plancton, bacterias y otros organismos vivos sobre la superficie del banco de arena comúnmente llamada “schmutzdecke”, “techo de fango” o “piel de filtro”, el cual se forma en los primeros 10-20 días de operación. De esta forma, aquellas aguas que tengan un aspecto turbio, podrán ser pasadas por materiales filtrantes y lograr mediante ese proceso mejores condiciones.*⁵⁵

La filtración lenta, como se ha mencionado, es un proceso que se desarrolla en forma natural, sin la aplicación de ninguna sustancia química, pero requiere un buen diseño, así como una apropiada operación y cuidadoso mantenimiento para no afectar el mecanismo biológico del filtro ni reducir la eficiencia de remoción microbiológica.

Durante el proceso, las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química biológica que reducen la materia retenida a formas más simples, las cuales son llevadas en solución o permanecen como material inerte hasta un subsecuente retiro o limpieza. El agua cruda que ingresa a la unidad permanece sobre el medio filtrante tres a doce horas, dependiendo de las velocidades de filtración adoptadas las cuales comúnmente pasan lentamente a través de un lecho de arena fina a razón de 0,1 a 0,3 m³/m²/h o (m/h). En ese tiempo, las partículas más pesadas que se encuentran en suspensión se sedimentan y las

⁵⁴ Guía de diseño para captación del agua de lluvia. UNATSABAR. Perú 2004.

⁵⁵ Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. CINARA, Cali Colombia 2003.

partículas más ligeras se pueden aglutinar, lo que facilita su remoción posterior. Uno de los factores más importante en la eficiencia del filtro es la tasa superficial o velocidad de filtración. Bellamy (1985), demostró la influencia de la tasa de filtración en la remoción de bacterias y quistes. Encontró que cuando las demás relaciones están bien definidas, los porcentajes de remoción son uniformemente altos y que aún con tasas del orden de 0.40 m/h se obtienen eficiencias apreciables.

Durante el día, bajo la influencia de la luz solar, se produce el crecimiento de algas, las cuales absorben bióxido de carbono, nitratos, fosfatos y otros nutrientes del agua para formar material celular y oxígeno. El oxígeno así formado se disuelve en el agua, entra en reacción química con las impurezas orgánicas y hace que éstas sean más asimilables por los microorganismos.⁵⁶

En la filtración biológica, bajo condiciones adecuadas de operación, se remueve hasta el 100% de bacterias y virus en el agua; de la misma manera, los niveles de remoción de materia orgánica, turbiedad, color, hierro, etc., son significativamente altos y por esta razón, se ha constituido en un método de potabilización de agua seguro, económico y confiable, no sólo para poblaciones pequeñas, medianas y de uso unifamiliar, sino para grandes ciudades como Londres y Moscú, que han comprobado desde hace mucho tiempo la eficacia de la Filtración Lenta en Arena para suministrar agua potable a toda la comunidad.

La rapidez de la filtración depende de la extensión y de la profundidad de la capa de arena, del tipo de arena por donde pasa el agua, así como de la cantidad de agua que hay por encima de la superficie de arena. El grosor de la arena que se suele utilizar varía entre 0,3 y 1 m. Siempre y cuando la filtración sea suficientemente lenta, la calidad del agua tratada será muy buena.⁵⁷

Características sobresalientes de los filtros lentos de arena:

- ▮ Estos filtros se pueden fabricar a nivel casero en recipientes de plástico, barriles, de ferrocemento o de concreto.
- ▮ Para que un filtro nuevo pueda eliminar bacterias y virus deberá ponerse a funcionar (de 2 a 3 semanas) antes de que esta cualidad se desarrolle.
- ▮ El filtro no debe usarse como recipiente para el almacenamiento de agua.
- ▮ Alrededor del tubo de drenaje, en el fondo del tanque, se colocan 8 cm de grava, sobre ésta se colocan 5 cm de gravilla o arena gruesa y sobre ésta, 50 cm de arena fina Figura 3.11.
- ▮ Para mantener siempre húmedo el material filtrante, la salida del tubo por el que se sirve el agua filtrada deberá estar por lo menos 5 cm más alto que el nivel superior de la arena.
- ▮ El agua filtrada puede adicionalmente ser desinfectada por medio de la aplicación de cloro.
- ▮ Cuando la velocidad de la salida del agua disminuye demasiado, es tiempo de darle mantenimiento.
- ▮ Solo funcionan adecuadamente con agua de baja turbiedad (entre 20 y 30 UNT).
- ▮ Requieren una área entre 0,02 y 0,08 m² por persona.
- ▮ La actividad biológica se extiende hasta unos 0,4 m de profundidad.



FIGURA 3.10. FILTRO LENTO DE ARENA ESTÁNDAR.

⁵⁶ Manual I, II y III. Teoría y evaluación. Diseño. Operación, mantenimiento y control del filtro de arena. OPS/CEPIS), Perú 1992.

⁵⁷ Manual para situaciones de emergencia "el agua" en: <http://www.acnur.org/biblioteca/pdf/1666.pdf>



Ventajas de los filtros lentos de arena:

- ▮ *La mayor ventaja de esta unidad reside en su simplicidad. El filtro lento sin controlador de velocidad y con controles de nivel mediante vertederos es muy sencillo y confiable de operar con los recursos disponibles en el medio rural de los países en desarrollo.*
- ▮ *No hay cambios organolépticos en la calidad del agua.*
- ▮ *Las comunidades aceptan el agua tratada por la FLA.*
- ▮ *La filtración lenta es uno de los procesos de tratamiento de agua más efectivos, simples y económicos. Es apropiado para áreas rurales. Su diseño sencillo facilita el uso de materiales y mano de obra locales. Requiere poco o ningún equipo especial.*
- ▮ *Este proceso difiere de la filtración rápida en arena, en su naturaleza biológica, su alta eficiencia y su facilidad de operación y mantenimiento para pequeñas comunidades.*
- ▮ *Al filtrarse el agua por este sistema se mejora considerablemente su calidad al eliminarse la turbiedad y reducirse considerablemente el número de microorganismos (bacterias, virus, excrecencias).*
- ▮ *Debido al movimiento lento del agua y al alto tiempo de retención, este proceso se asemeja a la percolación del agua a través del subsuelo.⁴⁵*
- ▮ *El filtro lento, a través de mecanismos físicos y biológicos destruye los microorganismos, lo que constituye una tecnología limpia a través de la cual es posible purificar el agua sin crear una fuente adicional de contaminación para el ambiente. En cambio, El filtro rápido a través de mecanismos fisicoquímicos acumula el lodo en los intersticios del medio filtrante, el cual es arrojado nuevamente al ambiente (conjuntamente con los microorganismos) durante el proceso de lavado.*

Desventajas de los filtros lentos de arena:

- *El filtro lento sin pre tratamiento, no debe operar con aguas con turbiedad mayor de 20 ó 30 UNT; esporádicamente se pueden aceptar picos de 50 a 100 UNT.*
- *La eficiencia de esta unidad se reduce con la temperatura baja. En condiciones ambientales extremas se han detectado eficiencias que varían entre 0 y 90% (Huisman & Wood, 1974). La eficiencia de remoción de bacterias coliformes fecales puede reducirse de 99% a 20°C a 50% a 2°C; permaneciendo inalterables todas las condiciones restantes.*
- *La presencia de biocidas o plaguicidas en el afluente pueden modificar o destruir el proceso microbiológico en el que se basa la filtración lenta.⁵²*

▮ Dispositivos.

Como ya se ha mencionado la calidad del agua depende del trato que se le dé antes de su consumo y con esto la tecnología que requiera el filtro a utilizar, con base en esto y en la revisión de diferentes proyectos de captación de agua realizados se mencionaran algunos diseños de dispositivos que se han utilizado y que brindan buenos resultados en el tratamiento de interceptación y filtración. Sin embargo no hay que olvidar que el agua de lluvia sin tratamiento especial puede ser utilizada en el riego de frutales, hortalizas u otras aplicaciones que no requieran una alta calidad del agua.

▮ Dispositivos interceptores.

El objeto de colocar un tanque interceptor es para captar las partículas que arrastra el agua del techo para posteriormente desecharla abriendo la válvula de desagüe. Como interceptor de las primeras aguas se recomienda utilizar el arreglo de la figura 3.12 en la que se muestra un tanque de plástico que funciona de la siguiente manera, al recibir recibe las primeras lluvias pasan directamente al tanque de plástico en el cual al ascender el

nivel del agua almacenado, la bola de jebe hace la función de flotador y cierra la tubería de conducción canalizando el flujo de agua hacia el sistema de filtrado. Después de desechar el agua del tanque de plástico el sistema se encuentra listo para la siguiente precipitación.⁴⁰

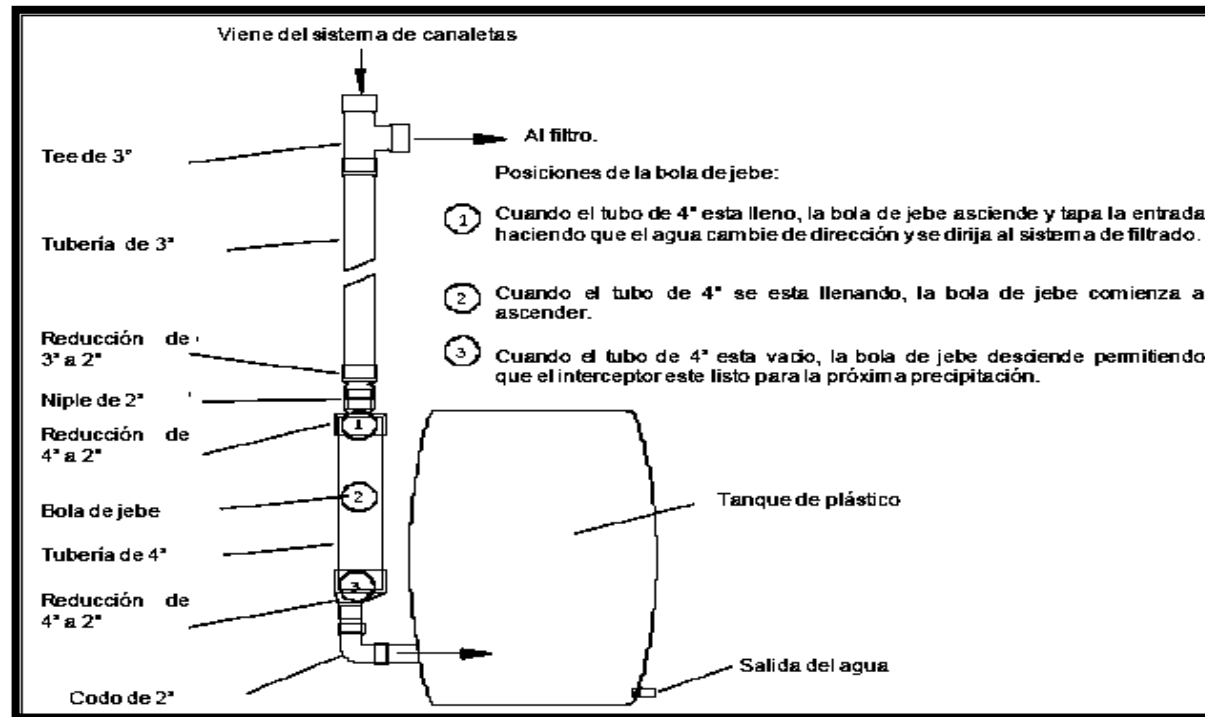


FIGURA 3.11. DISPOSITIVO INTERCEPTOR DE LAS PRIMERAS AGUAS.

Una forma más sencilla y económica del dispositivo interceptor, es el arreglo mostrado en la figura 4.7, teniendo cuidado de tener abierta la tubería para desalojar las primeras aguas que lavan el techo, y en cual se recomienda colocar la Te, lo más alto posible para disponer de un mayor volumen interceptado, con la desventaja de tener que cerrar la llave de paso de desagüe manualmente para dirigir el flujo hacia el filtro.⁴⁰

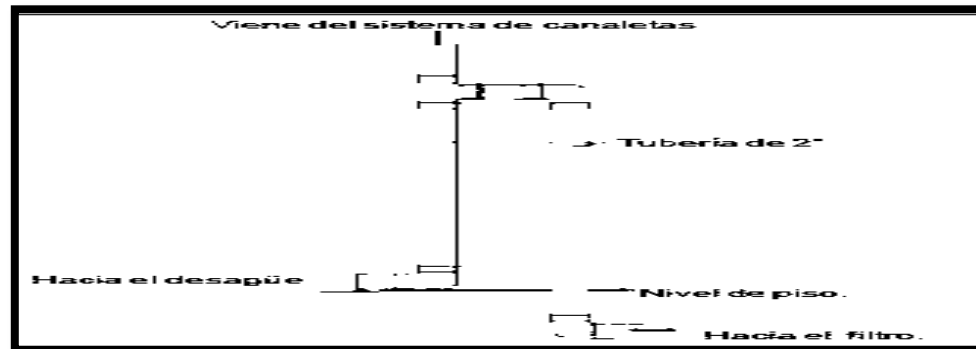


FIGURA 3.12. DISPOSITIVO INTERCEPTOR SIMPLE DE LAS PRIMERAS AGUAS.

El dispositivo "First Flush" es un filtro que ayuda a eliminar polvo y contaminantes fuera de la cisterna. La idea es permitir que la primera fracción de agua capturada, que es la más sucia, fluya afuera del dispositivo. A medida que el agua fluye el dispositivo se llena hasta el nivel de la tubería de salida permitiendo el paso hacia la cisterna. Adicionalmente, antes de que el agua entre al dispositivo "First Flush", hay una malla en ángulo que inhibe el paso de materiales tales como hojas y varitas. Estos dispositivos deben chequearse periódicamente durante la estación de lluvias, para evitar que se tapen las coladeras Figura 3.14.

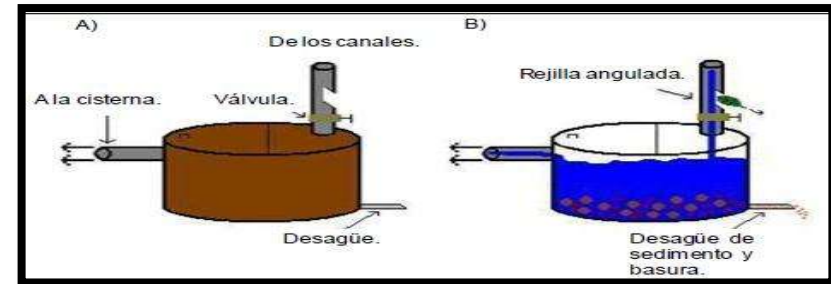


FIGURA 3.13. DISPOSITIVO FIRST FLUSH:
A) DE METAL O DE PLÁSTICO; B) DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO.

Dispositivos de filtrado.

Después de desechar las primeras lluvias, el agua pasa a un filtro el cual puede ser horizontal o vertical.

Filtros verticales.

Los filtros verticales están compuestos por una capa de grava, arena y carbón activado, en estos sistemas el reemplazo de los medios del filtro son más difíciles, aunque las necesidades del mantenimiento, el rellenar periódicamente prolongará la vida eficaz de los materiales.

En la figura 3.15, se muestra un filtro colocado en la parte superior de un tanque de ferrocemento con una capa de grava y una de arena, ambas con un espesor de aproximadamente 15 cm, con el fin de retener partículas que logren pasar el tanque interceptor. Más abajo de estas capas, debe colocarse una capa de carbón activado con la finalidad de filtrar el agua y quitarle el mal color, sabor y olor, y al final una malla mosquitero para evitar la entrada de partículas del carbón activado al tanque el cual tiene perforaciones para permitir que el agua ya filtrada pueda ser almacenada. Este sistema tiene la ventaja de eliminar la tubería de transporte del filtro al tanque de almacenamiento.



FIGURA 3.14. FILTRO SOBRE ALMACENAMIENTO DE FERROCEMENTO.

El carbón activado se fabrica a altas temperaturas empleando madera, cáscara de coco, carbón mineral, etc., con el fin de crear un material granular poroso adsorbente. La adsorción consiste en que los átomos de la superficie del carbón activado atraen las moléculas que causan mal color, sabor y olor de las impurezas indeseables, en la figura 3.16 se aprecia a la izquierda el carbón activado en gránulos y a la derecha la vista en el microscopio de una porción de carbón activado.

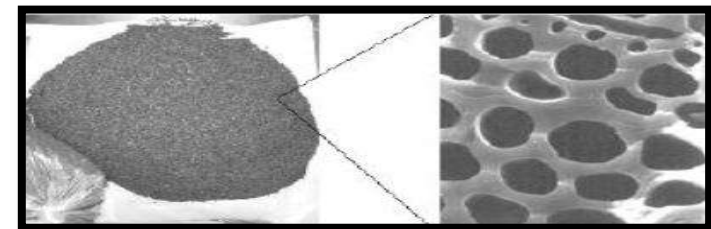


FIGURA 3.15. CARBÓN ACTIVADO.

Un filtro sencillo, fabricado con materiales fácilmente localizables en zonas rurales es el filtro casero CARPOM. Este sistema se fabrica con la utilización de tubería de PVC como recipiente; grava, arena, carbón vegetal y piedra pómez como materiales filtrantes. Esta técnica para la depuración de agua se ha desarrollado con unidades demostrativas instaladas en casas de familias de zonas rurales dispersas ubicadas en las riberas de ríos y riachuelos. Es un medio que pretende ayudar a las personas con dificultad para obtener agua potable, en aquellos sitios que por múltiples circunstancias no es fácil preservar la buena calidad de la misma Figura 3.17.⁵¹

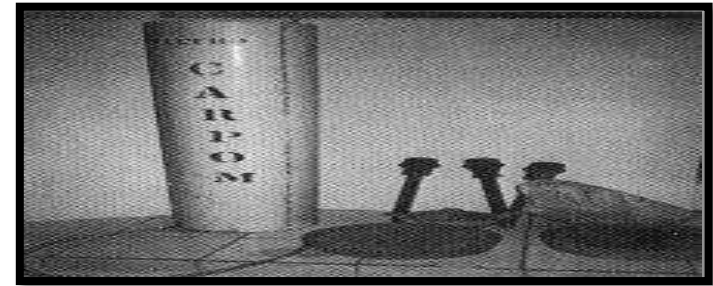


FIGURA 3.16. FILTRO CASERO CARBÓN.

Características sobresalientes:

- ▮ Se construye con un pedazo de tubería de PVC de 45 cm de largo, de 15 o 20 cm de diámetro.
- ▮ El material filtrante está compuesto por grava, arena de grano uniforme, trozos de carbón vegetal y pedazos de piedra pómez.
- ▮ Como elemento para la salida del líquido filtrado se pueden utilizar boquillas plásticas (fabricadas comercialmente para esa función) ó tubería de PVC, de 25 o 50 cm de diámetro, uniformemente perforada o ranurada.
- ▮ La base del sistema se cierra con una pieza de madera. Se deja la abertura apropiada para la colocación de la manguera a utilizar para la obtención del agua filtrada.
- ▮ Al agua filtrada deberá agregársele un desinfectante. Hipoclorito de calcio ó cloro líquido comercial, en las dosis apropiadas a los volúmenes a tratar.⁵⁸

En la figura 3.17 se muestra un dispositivo combinado a base de tabiques de cemento-arena en el cual aparece el interceptor y filtro en un solo registró, con excelentes resultados.

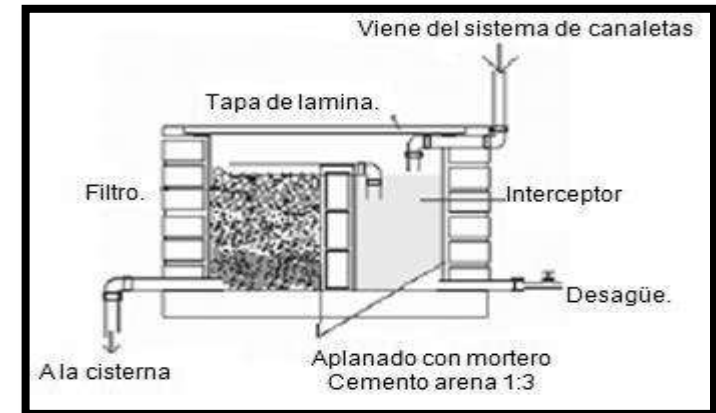


FIGURA 3.17. DISPOSITIVO COMBINADO.

▮ Filtros horizontales.

Estos filtros son menos utilizados ya que necesitan de mayor espacio, en estos el agua fluiría vía gravedad a través de arena y de carbón activado, el cual esta se encuentra dividido en compartimentos Figura 3.19. En estos filtros, el agua se fuerza fluyendo en una trayectoria en zigzag a medida que se va filtrando. Los vertederos también se escalonan por esta razón deben tomarse precauciones para asegurarse de que los divisores internos mantengan un sello hermético. El sistema de distribución en la entrada debe asegurarse que el agua fluya uniformemente sobre la superficie del primer compartimiento. Puede también ser introducido a través del fondo del filtro utilizando tubería perforada. En términos del mantenimiento, este sistema se puede reparar y sustituir fácilmente de manera periódica.⁴⁰

⁵⁸ Las tecnologías que América latina necesita. FUNDATEC/ITCR. Nicaragua 2001.

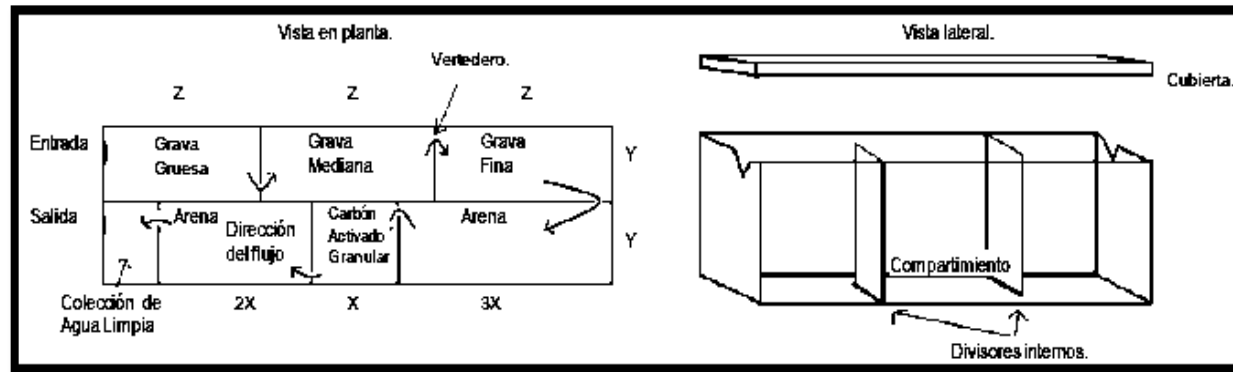


FIGURA 3.18. VISTAS DEL FILTRO HORIZONTAL

Dentro de las tecnologías actuales en los dispositivos interceptores y los filtros se encuentran los dispositivos desarrollados en Alemania por la empresa GRAF, la cual ha automatizado el sistema de captación de agua de lluvia, con tecnología que facilita en mucho el aprovechamiento de esta fuente de abastecimiento. A continuación se presenta uno de los filtros desarrollados por esta empresa, y algunos otros modelos se pueden apreciar en las siguientes páginas.

El filtro interno Optimax-Pro Figura 3.20. Este filtro es de fácil instalación en los tanques soterrados para la recuperación de agua de lluvia diseñados por la misma empresa y que se apreciarán más adelante. Este filtro patentado autolimpiante alcanza un rendimiento del 95% en el aprovechamiento de esta agua para una superficie máxima de tejado de 350 m². De forma opcional, incorpora el mecanismo de limpieza denominado “Opticlean” encargado de mantener la superficie del filtro libre de residuos mediante un chorro de alta presión, tiene un tamaño de sólo 165 mm y una cubierta transparente que permite una fácil comprobación del estado del interior del mismo sin necesidad de abrirlo, también de forma opcional existe la posibilidad de colocar un alargador para acceder directamente al filtro con sólo levantar la cubierta del tanque.⁵⁹

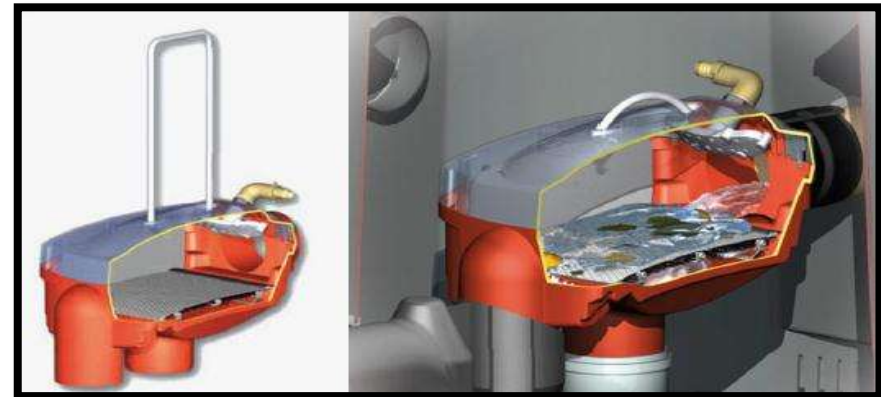


FIGURA 3.19. FILTRO OPTIMAX-PRO.

Este dispositivo contiene un elemento filtrante que consta de 3 capas de filtrado con un grosor de la malla de 0.35 y que se aprecia en la figura 3.21, además funciona a través de 4 fases de limpieza Figura 3.22.

⁵⁹ Sistemas de recuperación de agua de lluvia. Soluciones para aprovechar el agua de lluvia CaratS. Empresa Otto Graf GmbH. 2009.

1ª Filtración y first-flush: El agua de lluvia es filtrada a través del filtro autolimpiante Optimax. El agua limpia fluye al interior del tanque mientras que las partículas de suciedad son evacuadas al rebosadero. Además el mismo filtro hace la función first-flush, lo que rehúsa la primera agua de lluvia que puede contener más suciedad.

2ª Sedimentación: Para facilitar la sedimentación de las partículas de suciedad más finas ($< 0.35 \text{ mm}$) en el fondo del tanque, el agua filtrada es conducida al interior mediante el tubo a la zapata de entrada tranquila. Esto evita el continuo arremolinamiento del agua y mejora la oxigenación en el fondo del tanque. De esta forma el agua se mantiene clara y fresca.

3ª Rebosadero: Las partículas de suciedad más ligeras se quedan en la superficie del agua formando una capa flotante. El rebosadero permite la eliminación de esta capa cuando el tanque llega al límite de su capacidad.

4ª Captación del agua: El agua de lluvia almacenada en el interior del tanque se extrae a unos 10 cm de la superficie mediante la captación flotante. A esta profundidad encontramos siempre el agua de mejor calidad.⁵⁵

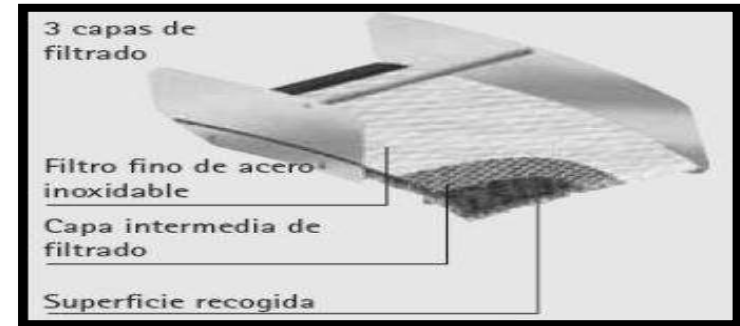


FIGURA 3.20. CAPAS DE FILTRADO.

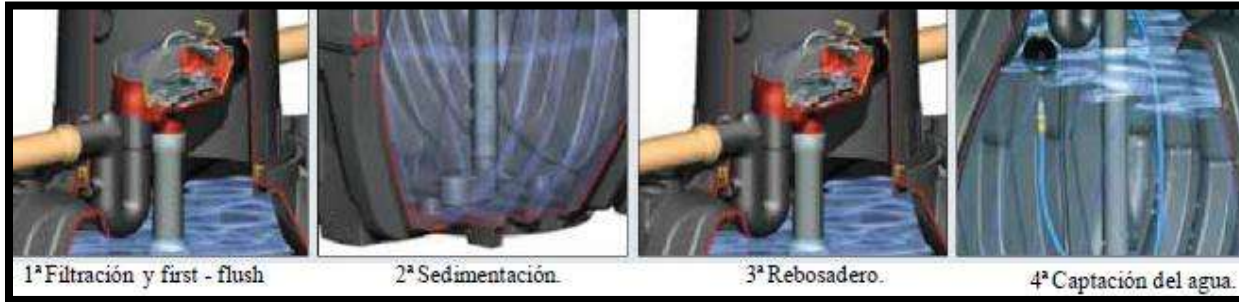


FIGURA 3.21. FASES DE LIMPIEZA.

DISPOSITIVOS DE FILTRACIÓN.

Aparte de los filtros ya mencionados podemos encontrar una gran variedad en diseños, eficiencia, tecnologías y sobre todo en precio algunos modelos adicionales se muestran a continuación:

FIGURA 3.22. FILTRO AUTO LIMPIANTE MINIMAX

- Sistema de filtración de reducidas dimensiones integrado en el tanque.
- 95% de aprovechamiento del agua.
- Máxima superficie de recogida: 350 m^2
- Opcional con unidad de limpieza Opticlean.



FIGURA 3.23. FILTRO INDUSTRIAL OPTIMAX EXTERNO

- Máxima superficie de filtración: 1,500 m².
- Profundidad ajustable entre 730-1320 mm gracias a la cubierta telescópica.
- Desnivel de 224 mm entre entrada y salida.



FIGURA 3.24. FILTRO INDUSTRIAL UNIVERSAL EXTERNO

- Máxima superficie de filtración: 1200 m².
- Profundidad ajustable entre 703-1270 mm gracias a la cubierta telescópica.
- Desnivel de 229 mm entre entrada y salida.



FIGURA 3.25. FILTRO-UNIVERSAL EXTERNO

- Aprovechamiento del agua del 100 %.
- Profundidad de instalación entre 600 –1,050 mm usando cubierta telescópica.
- Transitable por personas y vehículos con cubierta de hierro colado.
- Cierre de seguridad para niños.
- Hermético hasta el nivel del suelo.
- 270 mm de desnivel entre la conexión de entrada y de salida de agua.
- Máxima superficie de recogida 350 m²



POT FILTER

Filtro de grava para instalar debajo del bajante a nivel del suelo. Es ideal para almacenar agua de riego en tanque soterrado, para infiltración a un drenaje o simplemente para limpiar el agua para un pequeño estanque. Dimensiones: \varnothing 500 mm, 340 mm altura. Filtros de bajante: proporcionan agua de excelente calidad para el depósito de jardín.

FIGURA 3.26. FILTRO BAJANTE 50

- Salida de 1", con tubo de 250 mm y fijación
- Filtra una superficie de tejado hasta 50 m²



FIGURA 3.27. FILTRO BAJANTE SIMPLE

- Auto limpiante con función anti rebosado Alto rendimiento (aprox. 90 %)
- Filtra una superficie de tejado de hasta 80 m²
- Filtro bajante Simple Dimensiones (L x A x A): 240 mm x 145 mm x 250 mm

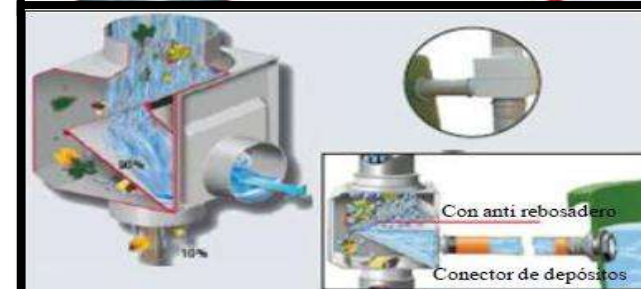


FIGURA 3.28. FILTRO BAJANTE 100

- Salida de 1 1/4", con tubo de 250 mm con fijación
- Con criba para las hojas
- Evita el rebose del depósito
- Filtra una superficie de tejado hasta 80 m²



FIGURA 3.29. FILTRO BAJANTE PREMIUM

- Auto limpiante, mínimo mantenimiento
- Alto rendimiento (aprox. 90 %)
- Evita el rebose del depósito
- Filtro de acero inoxidable
- Filtra una superficie de tejado de hasta 100 m²
- Dimensiones (\varnothing x Altura): 170 mm x 300 mm



FIGURA 3.30. FILTRO BAJANTE SEPARADOR DE HOJAS

- Evacua hojas y partículas gruesas para evitar la obstrucción de los bajantes
- Ideal para zonas con muchas hojas
- Sirve de pre filtro cuando hay mucha suciedad
- Auto limpiante, mínimo mantenimiento
- Fácil extracción de la superficie filtrante sin necesidad de desmontar el filtro

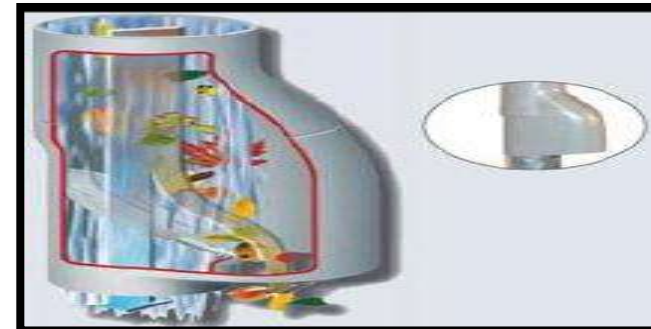


FIGURA 3.31. FILTROS DE BAJANTE RECTANGULARES

- Bajante rectangular u ovalado
- Filtro de bajante Quattro Twist
- Para bajantes rectangulares u ovalados
- Para bajantes de las siguientes dimensiones:
65 x 65, 60 x 80, 70 x 110, 90 x 56 (ovalado),
105 x 76 (ovalado), 73 x 110 (ovalado) mm
- Carcasa giratoria (90°)
- Conector lateral para tubo de 1 1/4"
- Para filtrar superficies de hasta 80 m²
- Dimensiones: 210 x 160 x 241 mm

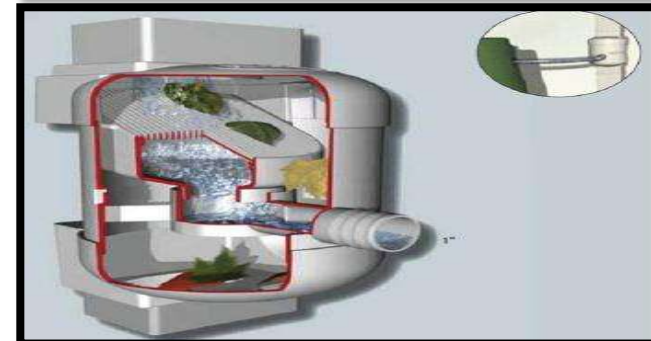
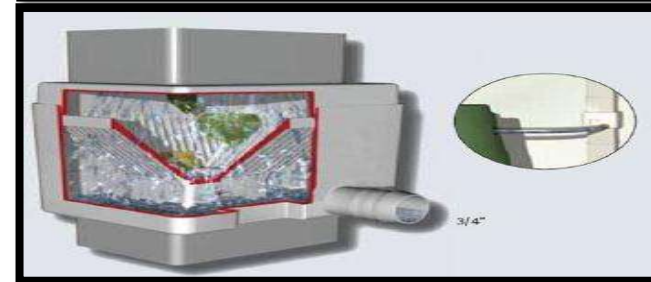


FIGURA 3.32. FILTRO DE BAJANTE QUATTRO

- Para bajantes rectangulares u ovalados
65 x 65, 60 x 80, 70 x 110, 90 x 56, 105 x 76, 73 x 110 mm
- Fácil de instalar
- Conector lateral para tubo de 1"
- Para filtrar superficies de hasta 50 m²
- Dimensiones: 103 x 133 x 119 mm



DISEÑO DEL VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR O TRAMPA DE SÓLIDOS

La sedimentación es un proceso físico que consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Las variables de diseño de la trampa son el área efectiva de captación del agua de lluvia y la máxima lluvia registrada en un día.

Donde:

- $V_{\text{sedimentador}}$ = volumen del sedimentador, (m³)
- A_{ec} = área efectiva de captación de agua de lluvia, (m²),
- l_d = es el día con máxima lluvia registrada, (m)

$$V_{\text{sedimentador}} = A_{\text{ec}} * l_d$$

La sedimentación sirve para reducir la turbiedad y eliminar sustancias en suspensión que pueden separarse, en un tiempo razonable, por el efecto de la gravedad Figura 3.33.

Cuando las partículas no logran ser retenidas por las mallas de las canaletas y se manejan áreas mayores a $1,000 \text{ m}^2$ se deben considerar procedimientos y criterios para dimensionar un sedimentador en función de las partículas suspendidas en el agua. Si el material en suspensión se asienta rápidamente, formándose una interface sólido - líquido, se considera que el líquido contiene material silíceo de tamaño reducido pero de masa específica elevada, que es la que produce ese fenómeno.

La materia inorgánica con tamaño mayor a 0.02 mm por lo general puede ser removida por sedimentación natural, sin el uso de coagulantes químicos.

Los tanques de sedimentación pueden ser de forma rectangular, cuadrada o circular, para la operación y mantenimiento se recomienda el uso de tanques rectangulares de flujo horizontal, operados en forma continua.

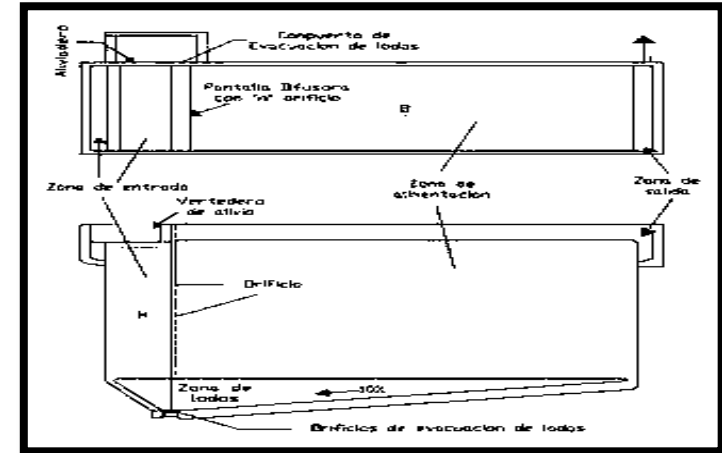


FIGURA 3.33. VISTA EN PLANTA Y LONGITUDINAL DEL SEDIMENTADOR (CEPIS, 2005)

El tiempo de retención debe ser suficiente para permitir que los sólidos en suspensión se asienten (partículas de mayor densidad que el agua) o floten (partículas de menor densidad que el agua). Es conveniente determinar en cada caso la velocidad de sedimentación utilizando una columna de sedimentación.

En los sistemas de captación del agua de lluvia a nivel comunitario se puede reducir la turbidez mediante la construcción e instalación de un sedimentador o bien la instalación de un filtro modular de sedimentos Figura 3.34; su construcción consiste en un cuerpo de PVC hidráulico, con un sistema filtrante de arenas y gravas silicas; su ubicación es en la parte superior de la cisterna cementada a la red principal, justa antes de la descarga del agua pluvial.

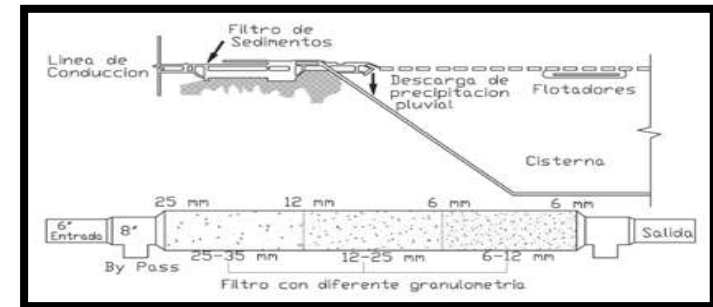


FIGURA 3.34. INSTALACIÓN DEL FILTRO MODULAR DE SEDIMENTOS

El material filtrante debe estar siempre limpio y sus capas removidas y lavadas durante la época de lluvias. Un sistema más complejo es la construcción de cortinas separadoras fijas y flotantes, dirigiendo el flujo del agua a las cortinas separadoras para incrementar el tiempo de retención del líquido y mejorar la calidad del producto resultante.

3.4.4 CAPTACIÓN ÓPTIMA DEL TANQUE

Para el diseño del tanque además de considerarse factores como: requerimiento de agua, precipitación pluvial, área de captación, capacidad de almacenamiento y costo de materiales, se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:



- ▶ *La unidad de almacenamiento debe ser duradera.*
- ▶ *Su capacidad debe ser suficiente para el consumo diario de una familia*
- ▶ *Tener un dispositivo para eliminar el agua de excedencias o rebose.*
- ▶ *Los tanques pueden ser superficiales o enterrados y con relación a su forma estos pueden ser cilíndricos, esféricos o cúbicos. El volumen del tanque de almacenamiento será determinado a partir de la demanda de agua, de la intensidad de las precipitaciones y del área de captación.*
- ▶ *Debe tener suficiente resistencia estructural ante fenómenos naturales como sismos.*
- ▶ *El tanque de almacenamiento podrá ser enterrado, apoyado o elevado y preferentemente tendrá una altura máxima de no más de 2 m de altura para minimizar las sobre presiones. En este último caso, la parte superior del tanque no deberá estar a menos de 0,30 metros con respecto al punto más bajo del área de captación.*
- ▶ *Debe disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias e impedir el ingreso de polvo insectos y de la luz solar, se recomiendan las siguientes dimensiones 0,60 x 0,60 m.*
- ▶ *Tener un dispositivo para eliminar el agua durante su limpieza.*
- ▶ *Debe estar dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje de fondo para la eliminación del agua de lavado; grifo situado a 0,10 m por encima del fondo; rebose situado a 0,10 m por debajo del techo, e ingreso del agua de lluvia. El ingreso del agua de lluvia podrá realizarse por el techo o por las paredes laterales del tanque de almacenamiento y no deberá ser menor de 75 mm de diámetro.*
- ▶ *La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.*
- ▶ *El interior del tanque de almacenamiento deberá ser impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración y evitar que por ningún motivo el agua entre en contacto con el medio ambiente a fin de garantizar la calidad del agua.*
- ▶ *Se podrá instalar en el interior del tanque de almacenamiento un filtro de arena para purificar el agua de lluvia al momento de su extracción. El filtro deberá diseñarse de modo que la velocidad de filtración sea menor a 0,2 m/hora.*
- ▶ *Los tanques de almacenamiento apoyados deben tener alrededor de su base una losa de protección contra la infiltración de 0,20 m de ancho. Asimismo, en la zona donde se ubica el grifo para la extracción del agua debe construirse una losa de 0,50 x 0,50 y borde de 0,10 m de alto. Esta losa debe contar con dren para eliminar el agua que pueda almacenarse durante la extracción del agua.⁴⁷*
- ▶ *El extremo de la tubería de drenaje y de rebose deben apartarse de la pared del tanque de almacenamiento no menos de un metro y descargar a una canaleta para su disposición final.*
- ▶ *El volumen del tanque de almacenamiento se determinará por medio del balance de masa a partir del mes de mayor precipitación y por el lapso de un año, entre el acumulado de la oferta de agua (precipitación pluvial promedio mensual de por lo menos 10 años) y el acumulado de la demanda mes por mes del agua destinada al consumo humano. El volumen neto del tanque de almacenamiento es la resultante de la sustracción de los valores máximos y mínimos de la diferencia de los acumulados entre la oferta y la demanda de agua.*
- ▶ *El volumen de diseño del tanque de almacenamiento será igual al 110% del volumen neto.*
- ▶ *Independientemente del tipo de almacenamiento utilizado, éste deberá estar bien aislado para evitar el contacto con agentes humanos, animales e insectos, polvo o cualquier otro foco de contaminación. No debe de permitir que pase la luz para evitar la aparición de algas (agua con tonalidad verde) y la cría de larvas de mosquitos.*
- ▶ *Tener un dispositivo de extracción del agua por gravedad (llave de toma) en el caso de ser un depósito superficial o elevado.*
- ▶ *Tener un dispositivo para eliminar el agua de excedencias sin dañar al tanque o su cimentación.*



- ▮ Generalmente, deberá utilizarse tecnología local para diseñar y construir las cisternas o depósitos de almacenamiento. Sin embargo, a veces los depósitos prefabricados pueden ser la única forma de disponer de agua rápidamente; Es importante comprobar que el tamaño, la ubicación y el diseño de los depósitos para el almacenamiento son compatibles con los demás componentes y características de diseño del sistema.
- ▮ En las zonas con estaciones muy secas o lluviosas, puede optarse por construir un depósito de reserva para recoger agua, interconectando en línea. A fin de satisfacer las necesidades de sus habitantes durante los meses de sequía o desperdiciar agua por estar lleno el depósito.
- ▮ Cuando la capa freática es muy alta y es preferible utilizar depósitos de superficie.
- ▮ Manual para situaciones de emergencia, el agua.
- ▮ El tamaño de la cisterna se calcula basándose en datos estadísticos de precipitación pluvial, dimensión de superficie captadora y la cantidad requerida de agua para la vivienda o edificación.⁴⁷ Un ejemplo de los componentes del depósito de almacenamiento Figura 3.35.

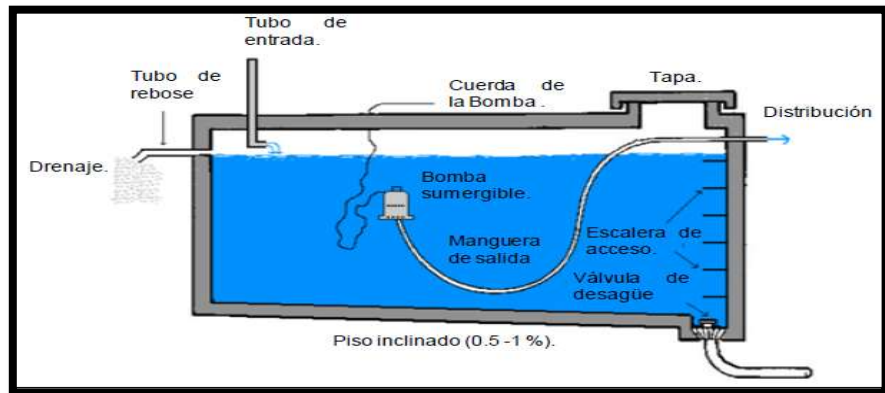


FIGURA 3.35. TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y SUS ELEMENTOS.

Requerimiento de agua. Es importante conocer los consumos de agua para cada actividad en una vivienda, como son para beber y preparación de alimentos, para higiene personal y aseo de la casa, para lavado de ropa, riego del jardín, etc. Para el medio rural es suficiente una dotación total de 25 litros/persona/día, aunque puede aumentar en zonas calurosas y si tienen animales domésticos debe conocerse el consumo diario por animal.

Volumen de captación. Para conocer la cantidad de agua que se puede captar, es necesario conocer datos de precipitación pluvial, el área de captación y coeficiente de escurrimiento. En caso de que el área de techumbre o techumbres no sea suficiente, se pueden utilizar otras áreas de captación como patios pavimentados, terrazas, en pocas palabras todas aquellas superficies de gran capacidad de captación y fácil recolección.⁴⁰

Con relación a la precipitación pluvial. Generalmente expresado en mm; esto quiere decir que cada vez que cae una lluvia, el agua forma una lámina de agua cuya altura se expresa en mm, de forma que cuando se dice que en los Valles de Oaxaca se tiene una precipitación promedio anual de 770 mm, quiere decir que de la lluvia que cae durante un año se forma una lámina de agua de 0.77 m, lo que se interpreta que por cada metro cuadrado se capta en promedio cada año 770 litros de agua (cada mm de precipitación representa 1 litro de agua/m²). Estos datos de precipitación se consiguen en dependencias estatales o federales como es la Comisión Nacional del Agua, solicitando cuando menos registros mensuales de los últimos 15 años.⁴⁰

Coefficiente de escurrimiento. Cuando el agua cae y escurre, ocurren pérdidas por varias causas, como ya se explicó anteriormente; estas pérdidas pueden variar de 5 a 10%; de igual manera, puede haber pérdidas cuando el agua está almacenada en el tanque, ya sea por evaporación o por pequeñas filtraciones o fugas, pudiendo considerar otros 5 o 10%. Esto indica que la eficiencia del sistema ya no es captar el 100% de la precipitación, sino un valor menor denominado coeficiente de escurrimiento. Los coeficientes se pueden apreciar en incisos anteriores como en la tabla 3.4.



Dimensiones del tanque. Para el cálculo de dimensiones es en base a fórmulas de la figura o figuras geométricas a utilizar para elaborar el tanque.

Método del Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento

Este método toma como base de datos la precipitación de los 10 ó 15 últimos años. Mediante este cálculo se determina la cantidad de agua que es capaz de recolectarse por metro cuadrado de superficie de techo y a partir de ella se determina:

- El área de techo necesaria y la capacidad del tanque de almacenamiento.
- El volumen de agua y la capacidad del tanque de almacenamiento para una determinada área de techo.

Los pasos a seguir para el diseño del sistema de captación de agua de lluvia son:

1) 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:

- Pp_i = precipitación promedio mensual del mes "i" de todos los años evaluados (mm/mes).
- N = número de años evaluados.
- P_i = valor de precipitación mensual del mes "i" (mm).

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \dots\dots \text{(Ecuación 1)}$$

2) 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.

Donde:

- D_i = demanda mensual (m³ o litros).
- Nu = número de usuarios que se benefician del sistema.
- Nd = número de días del mes analizado.
- Dot = dotación (L/persona/día).
- 1000 = factor de conversión a m³.

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000} \dots\dots \text{(Ecuación 2)}$$

3) Determinación del volumen del tanque de abastecimiento.

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.



Donde:

- V_i = Volumen de captación "i" (m^3).
- P_{pi} = precipitación promedio mensual (litros/ m^2).
- Cr = coeficiente de escorrentía.
- Ac = área de captación (m^2).

$$V_i = \frac{P_{pi} \times Cr \times Ac}{1000} \dots\dots(\text{Ecuación 3})$$

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y oferta mensual de agua de lluvia, se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua. A continuación se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de oferta y demanda de cada uno de los meses.

Las áreas de techo que conduzcan a diferencias acumulativas negativas en alguno de los meses del año se descartan por qué no son capaces de captar la cantidad de agua demandada por los interesados. El área mínima de techo corresponde al análisis que proporciona una diferencia acumulativa próxima a cero (0) y el volumen de almacenamiento corresponde a la mayor diferencia acumulativa. Áreas de techo mayor al mínimo darán mayor seguridad para el abastecimiento de los interesados.⁵⁰

El acumulado de la oferta y la demanda en el mes "i" podrá determinarse por:

Donde:

- A_{ai} = oferta acumulado al mes "i".
- D_{ai} = demanda acumulada al mes "i".
- V_i = volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes "i".
- A_i = volumen de agua que se captó en el mes "i".
- D_i = volumen de agua demandada por los usuarios para el mes "i".

$$A_{ai} = A_{a(i-1)} + \frac{P_{pi} \times Cr \times Ac}{1000} \dots\dots (\text{Ecuación 4})$$

$$D_{ai} = D_{a(i-1)} + \frac{N_u \times N_{d_i} \times D_{d_i}}{1000} \dots\dots (\text{Ecuación 5})$$

$$V_i(m^3) = A_i(m^3) - D_i(m^3) \dots\dots(\text{Ecuación 6})$$

3.4.5 ALMACENAMIENTO

La capacidad de almacenamiento debe ser suficiente para el consumo diario de una familia, durante todo el año y sobre todo durante la temporada de sequía; por supuesto nos referimos al medio rural, donde el consumo por habitante/día no es mayor a 25 litros de agua, a diferencia del consumo por habitante en las ciudades, que muchas veces es mayor de 150 litros/persona/día.

Los tipos de tanques pueden clasificarse en función a su posición con respecto al nivel del terreno, así se tienen:

- Tanques elevados.
- Tanques superficiales (asentados en la superficie del terreno).
- Tanques semienterrados.
- Tanques enterrados, conocidos comúnmente como cisternas.

En la tabla 3.7 se muestran las ventajas y desventajas de construir un tanque superficial o enterrado y en la figura 3.5 se aprecian algunos ejemplos de estos tanques.

Descripción	Ventajas y desventajas	
	Tanque superficial	Tanque enterrado
Sistema de captación del agua de lluvia	Capta el agua de los techos si está a un nivel inferior.	Puede captar el agua del techo y de superficies limpias a nivel del terreno Puede requerir o no un espacio en la superficie.
Características del terreno de cimentación	El suelo es menos resistente si está suelto o contiene mucha materia orgánica provocando problemas de estabilidad.	El suelo es más firme para soportar las cargas y las paredes del tanque pueden ser más delgadas.
Presión del terreno lateral	No lo tiene.	Cuando el tanque está vacío, el suelo poco compacto puede ejercer una presión importante.
Presión del agua	Las paredes del tanque están sujetas a la presión del agua y se incrementa durante los sismos. La falla puede ser más peligrosa.	La presión que ejerce el agua a las paredes del tanque disminuye por la presión que ejerce del otro lado el terreno y el tanque es más estable durante los sismos.
Efectos de la intemperie	Las paredes del tanque están sujetas a esfuerzos de expansión o contracción por enfriamiento y calentamiento.	Las paredes están más protegidas a los efectos del intemperismo.
Efectos del nivel freático	El nivel freático no lo afecta.	Si el nivel freático está superficial, el tanque puede flotar cuando esté vacío.
Temperatura del agua	La temperatura cambia conforme ésta varíe en el exterior.	La temperatura se mantiene más fresca y uniforme.
Reparación de grietas	Las grietas son más visibles y fáciles de reparar.	Es difícil detectar las grietas y la reparación es más costosa.
Contaminación del agua almacenada	Es difícil que el agua se contamine si el tanque tiene la tapa bien sellada, salvo por los contaminantes que le llegan del techo.	El agua almacenada puede contaminarse por aguas negras de letrinas cercanas si las paredes del tanque tienen alguna permeabilidad o por introducción del agua en la tapa de registro durante las tormentas si no están selladas.
Toma del agua	La toma (grifo) se encuentra más cercano a la superficie del terreno. Su limpieza es más fácil.	Para disponer del agua se requiere bombearla, salvo si la topografía del terreno permite colocar una llave (grifo) más abajo para que el agua fluya por gravedad.
Susceptibilidad a daños por agentes externos	Está más expuesto a golpes e impactos.	El tanque puede dañarse por raíces de árboles o por el tránsito de personas y pequeños vehículos en la cubierta.
Costo	Depende del material utilizado.	Se incrementa por los trabajos de excavación y uso de bombeo.

TABLA 3.7. COMPARATIVA ENTRE UN TANQUE SUPERFICIAL Y ENTERRADO.



IMAGEN 3.6. TANQUES SUPERFICIALES DE PVC Y TANQUES ENTERRADOS DE LÁMINA GALVANIZADA.

Los materiales utilizados para la construcción de las cisternas o tanques de almacenamiento pueden ser los siguientes: ⁴⁸

- ▮ Plásticos: fibra de vidrio, polietileno y PVC.
- ▮ Metales: acero galvanizado (se corroe y oxida).
- ▮ Concreto: ferrocemento (se fractura), mampostería (de difícil mantenimiento) y bloque de concreto (se agrieta).
- ▮ Madera: madera roja, abeto, ciprés (es eficiente pero cara).

A continuación se describen varios tipos de cisternas construidas con diferentes materiales:

Tanques o cisternas de ferrocemento: son fabricados de una capa delgada de mortero de cemento Portland, reforzada con una malla de alambre de pequeño diámetro y generalmente, malla electro soldada que se distribuye uniformemente en toda su sección transversal. Es un material compuesto que por la naturaleza del refuerzo provoca mejores resultados durante su funcionamiento que cada uno de sus componentes en forma individual. Siendo todos los materiales fácilmente transportables hasta sitios remotos. Las estructuras para almacenamiento de agua que se fabrican siguiendo esta técnica tienen una respuesta estructural muy importante ante acciones sísmicas. Con esta técnica se han construido tanques desde 5 m³ hasta 100 m³, a costos del 40% al 50% más barato que los tanques tradicionales en concreto.

- ▮ Una proporción por volumen recomendada para la mezcla es 1:2:0.5 (siendo cemento: arena: relación agua-cemento).
- ▮ Los tanques de menor volumen (de 5 a 15 m³) no requieren de encofrado o cimbra, durante el proceso de construcción.
- ▮ Se pueden aplicar diferentes tipos de materiales para hacer los encofrados como bambú, carrizo, lámina para techo, etcétera.
- ▮ Las habilidades de las personas que se involucren en la construcción de tanques con esta técnica no han de ser especializadas. Cualquier persona, siguiendo los manuales de construcción disponibles, con una ligera capacitación e interesarse por aprender podrá construir tanques aplicando esta técnica.
- ▮ Cualquier fuga de agua se repara picando la zona afectada y recolocando del mortero elaborado en la misma proporción que el utilizado para su construcción original.⁵⁴

- **Ventajas del ferrocemento:** Bajo costo, uso reducido de materiales, no se necesita molde, puede ser fabricado por personas de la localidad en poco tiempo, fácil de reparar y es aceptada por la comunidad.

- **Desventajas del ferrocemento:** El agua se calienta con facilidad, por lo que la cisterna siempre tiene que ser pintada de blanco, la obra no puede ser interrumpida pues las capas subsecuentes del aplanado no se adhieren suficientemente entre sí, lo cual puede ocasionar pérdidas de agua por filtración, estas cisternas no son recomendadas en zonas sísmicas, ya que puede fracturarse, sobre todo si está seca.



IMAGEN 3.7. TANQUE DE FERROCEMENTO.

Cisternas de concreto: en Estados Unidos de América, las cisternas de concreto se fabrican bajo condiciones controladas, de ahí son trasladadas al sitio de instalación. La capacidad de almacenamiento es de 5 a 35 m³; cuando las dimensiones son mayores se construyen en el sitio seleccionado. La calidad del agua almacenada depende de los acabados realizados sobre sus paredes y el material utilizado para impermeabilizar. Las cisternas pueden estar sobre la superficie del suelo, enterradas o semienterradas; sin embargo, es una tecnología costosa para los países en desarrollo Imagen 3.8.⁴⁸



IMAGEN 3.8. TANQUE DE CONCRETO.

Cisternas de tabique - cemento: estas cisternas son las más simples y comunes en las zonas rurales de México y son construidos con arcilla horneada y arena cementada Imagen 3.9.

- **Desventajas:** Son de baja flexibilidad ya que los materiales de construcción no resisten desplazamientos y movimientos sísmicos. En dimensiones mayores la construcción resulta con altos costos comparativos y mayor cantidad de material cementante, además necesita estructuras de soporte como cadenas, mezcla de arena con cemento para el recubrimiento de las paredes para su impermeabilización. Es preocupante observar que el tamaño varía de 2 a 30 m³ en la mayoría de los casos, ya que el volumen no es suficiente para hacer frente a la demanda de la familia durante un año.



IMAGEN 3.9. TANQUE DE TABIQUE – CEMENTO.

Cisternas revestidas con cubierta flotante de geomembrana de PVC, polietileno de alta densidad ó polipropileno reforzado: dentro de las nuevas tecnologías de productos geosintéticos se encuentran las geomembranas, que son impermeables a fluidos y partículas, evitan filtraciones, fugas y contaminación del agua almacenada. La geomembrana de PVC, el polietileno de alta densidad y alto peso molecular y el polipropileno reforzado ofrecen muchas ventajas: facilidad de instalación, elasticidad, resistencia a punzonamiento, de fácil colocación por ser termofusionable (cisternas, canales y otros depósitos); algunas de sus propiedades es que tiene 25 años de vida, elongación del 200 % sin perder su estructura molecular. La impermeabilización obtenida con 1 mm de espesor de geomembrana de PVC equivale a la impermeabilidad de 1 m de arcilla compactada. Una cisterna de concreto resulta de cuatro a cinco veces más costosa que una recubierta con estos productos geosintéticos.⁴⁸

- **Ventajas:** Es de tres a cuatro veces más económica que una cisterna de ferrocemento, la geomembrana tiene una garantía de 10 años y una durabilidad de 25 años, la cisterna con cubierta flotante evita la contaminación del agua de lluvia por polvo y previene la proliferación de microbios, las reparaciones se realizan fácilmente y en corto tiempo, se necesita una compactación mínima con maquinaria pesada, en zonas sísmicas no ocurren desplazamientos ya que la geomembrana es flexible.
- **Desventajas:** en terrenos arenosos se dificulta la compactación de las paredes de la cisterna, por lo cual es necesario considerar los taludes lo que aumenta la superficie a revestir con geomembrana y por consiguiente el costo de la cisterna.



IMAGEN 3.10. CISTERNAS REVESTIDAS CON GEOMEMBRANA DE PVC

Cisternas de metal: es el material más utilizado en la construcción de cisternas y tanques que almacenan agua de lluvia. El acero galvanizado no es resistente a la corrosión, pero es frecuentemente más resistente a la oxidación. En los tanques nuevos podría existir un exceso de zinc, el cual puede afectar el sabor del agua de lluvia almacenada. Estos tanques deben lavarse con agua antes de usarse.⁴⁸

En la Imagen 3.11 tenemos el ensamblado de las hojas de lámina galvanizada con tornillos, estructura para el techo del tanque y colocación de material impermeable para evitar las pérdidas del agua por evaporación.



IMAGEN 3.11. CISTERNA DE METAL.

Tanque de polietileno: son ampliamente utilizados para el almacenamiento de agua ya que estos varían en forma, tamaño y color, pueden ser usados superficialmente o enterrados, son fáciles de transportar e instalar, durables, flexibles, con acabados sanitarios para agua potable Imagen 3.12. Existen presentaciones de 0.5 a 25 m³ de capacidad.



IMAGEN 3.12. CISTERNA DE POLIETILENO.

Cisterna de madera: las civilizaciones humanas han utilizado estas cisternas, construidas con Secoya o conocido como palo colorado, para almacenar agua para los diversos usos y consumo humano. Actualmente este tipo de cisternas tienen una gran presentación estética, a veces resulta una opción deseable ya que son construidos de pino, cedro y ciprés, envuelto con cables de acero de alta tensión Imagen 3.13.⁴⁸



IMAGEN 3.13. CISTERNA DE MADERA DE PINO CON TENSORES, PARA ALMACENAR 5 M³

- **Ventajas:** es que mantienen el agua a una temperatura agradable en verano, la protege de congelarse en invierno; son desmontables y móviles.
- **Desventajas:** es que deben instalarse a una altura determinada sobre el suelo para su mayor duración, deben ser construidas por técnicos expertos y son costosas.

Tanque soterrado carat: es uno de los dispositivos desarrollados en Alemania por la empresa GRAF, está fabricado en Duralen, un material de alta calidad extremadamente rígida y resistente a los impactos, ideal para la producción de tanques soterrados y de fácilmente reciclado, lo que ayuda a reducir la cantidad de residuos. Es fabricado por inyección lo que le proporciona robustez y reducida capacidad de deformación, a si mismo, la elevada rigidez del material proporciona una estabilidad y una duración amplia. Esto permite una mayor flexibilidad en su instalación, permitiendo el paso de vehículos por encima o la instalación en zonas de nivel freático elevado. Además asegura los grosores de paredes exactos en todos los puntos Imagen 3.14.⁶⁰

⁶⁰ Sistemas de recuperación de agua de lluvia. Soluciones para aprovechar el agua de lluvia CaratS. Empresa Otto Graf GmbH. 2009.



- **Ventajas:** Está disponible en capacidades que van de los 2,700 a los 6,500 litros y son conectables entre sí en serie para alcanzar capacidades superiores de hasta 26,000 litros. Su instalación no precisa hormigón alguno y se puede colocar sin necesidad de grúas. Otra es que el polipropileno es un material 100 % reciclable al contrario que la fibra de vidrio y más resistente.



IMAGEN 3.14. TANQUE SOTERRADO CARAT.

Un poco más de los modelos de tanques desarrollados por la empresa GRAF, Tanques para instalaciones soterradas o exteriores CaratS se presentan a continuación:

Herkules-Tank: Es un tanque compuesto por 2 mitades, hecho de polipropileno reforzado con fibra de vidrio, es estable a niveles freáticos hasta nivel de la parte superior del tanque y 100 % reciclable.				
Capacidad [Litros]	Ø mínimo [mm]	Ø máximo [mm]	Alto [mm]	Peso [kg]
1600 Litros	1090	1350	1600 mm	60 kg



Depósito rectangular garden					
Capacidad (Litros)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Ø Tapa (mm)	Peso (kg)
500	880	720	1080	380	20
750	880	720	1610	380	30
1000	1050	770	1740	380	43
2000 Set*	1050	770	1740	380	86
* Conjunto formado por 2 x1000 L, incluyendo el Kit de conexión entre tanques					



Deposito ánfora				
Capacidad (Litros)	Ø Máximo (mm)	Altura (mm)	Ø Tapa (mm)	Peso (kg)
300	680	1290	180	12
500	790	1500	180	17



Contenedor de agua rectangular verde			
Capacidad (Litros)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)
203	697	697	816
300	796	660	910
520	800	1240	930



Depósitos integrados al ambiente.

Depósito Ánfora ajustable a pared					
Capacidad (Litros)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Ø Tapa (mm)	Peso (kg)
350	800	550	1500	180	21



Deposito columna				
Capacidad (Litros)	Ø Máximo (mm)	Altura (mm)	Ø Tapa (mm)	Peso (kg)
330	590	1610	180	14
500	730	1930	180	25
1000	910	2220	180	44
2000	1280	2226	180	75



Depósito Ánfora ajustable a pared					
Capacidad (Litros)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Ø Tapa (mm)	Peso (kg)
350	730	480	1925	180	25
550	880	515	2120	180	37



Depósito muro				
Capacidad (Litros)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)
340	1200	400	1000	40



Con relación a la forma, los tanques pueden ser cilíndricos, esféricos, cúbicos, etcétera. En el caso del ferrocemento, este material permite la construcción de cualquier forma y por su facilidad de construcción se recomienda la forma cilíndrica con una tapa o cubierta que generalmente es un domo Imagen 3.15.



IMAGEN 3.15. TANQUE CILÍNDRICO DE FERROCEMENTO.

El tanque elevado puede ser de ferrocemento que se instala sobre las vigas de la vivienda con una capacidad de almacenamiento de 75 litros.⁴⁰ En el Tabla 3.8 se presentan los costos aproximados de diferentes cisternas para el almacenamiento del agua pluvial.

MATERIAL	COSTOS USD/L		TAMAÑO L.		COMENTARIOS	COSTOS USD/1000 LTS	
Fibra de vidrio	0.13	0.50	2,000	8,000	Puede durar por varias décadas, las reparaciones son fáciles.	130	500
Concreto	0.07	0.31	40,000		Con el tiempo pueden aparecer grietas; además, el olor y el sabor del agua cambian.	70	310
Metal	0.13	0.38	600	10,000	Es de peso ligero y de fácil transportación.	130	380
Polipropileno	0.09	0.25	1,200	40,000	Es de peso ligero; el agua se calienta al estar expuesto a la luz del sol;	90	250
Geomembrana*	0.01			4,000,000	Flexible, durable y recomendable para zonas sísmicas.	10	
Polietileno	0.19	0.42	1,200	20,000	Es de peso ligero, la radiación solar puede producirle daños.	190	420
Acero soldado con autógena	0.20	1.00	120,000	4,000,000	Es resistente y durable.	200	1,000

TABLA 3.8. COSTOS DE DIFERENTES CISTERNAS PARA ALMACENAMIENTO DEL AGUA PLUVIAL

3.4.6 BOMBEO / DISTRIBUCIÓN

Bombeo.

Consiste en extraer el agua almacenada y captada en los meses con precipitación pluvial mediante un sifón o un equipo de bombeo. Los componentes son: pichancha, línea de conducción, motobomba y un tanque de almacenamiento previo al tren de tratamiento de purificación figura 3.36.

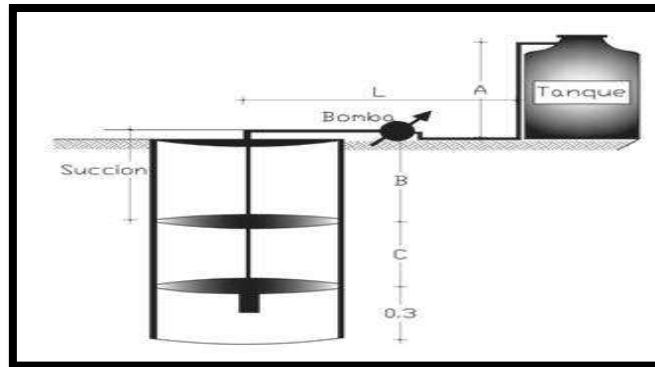


FIGURA 3.36. DIAGRAMA DE BOMBEO DE AGUA ALMACENADA

Existe una gran diversidad de equipos de bombeo para poder realizar la distribución del agua captada para los servicios requeridos, pero la mayoría necesita de energía eléctrica para funcionar, energía que es escasa en zonas rurales; por lo cual se recomienda utilizar equipos que no requieren de energía eléctrica y los cuales se pueden elaborar de forma local.

Una bomba manual se puede construir manualmente con tubería y accesorios de cloruro de polivinilo (PVC) y hierro galvanizado (HG) disponibles en el mercado, lo cual facilita su mantenimiento y reparación. Esta bomba se conoce con el nombre de EMAS-FLEXI y tiene la capacidad de extraer un caudal de 0.5 litros por bombeo Figura 3.37.⁵³

La bomba funciona de la siguiente manera: Al subir el pistón aspira agua al interior del cilindro, el agua ingresa por la válvula de entrada, esta al cerrarse no deja salida al agua más que hacia arriba. El pistón al bajar, genera una presión que hace que el agua suba. Seguidamente el pistón al subir de nuevo absorbe agua y bajando de nuevo se genera la presión. Así se generan ciclos de tal forma que el agua puede subir, hasta 20 metros de altura.

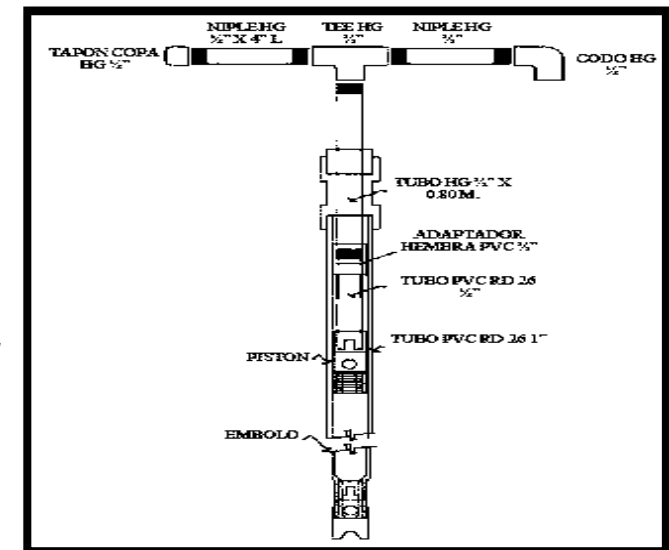


FIGURA 3.37. BOMBA EMAS-FLEXI.

Distribución.

Para el sistema de bombeo es posible instalar bombas mecánicas eléctricas y/o de tracción manual además de la tubería de distribución no difiere de un sistema tradicional y puede ser instalada por un plomero.⁶¹

Es el sistema de control central del equipo de recuperación de agua de lluvia. La microelectrónica controla y regula todo el sistema. Las unidades de bombeo y procesamiento están integradas en el sistema de control. La válvula del conmutador conecta con el circuito de agua potable cuando los sensores detectan un nivel bajo de agua en el tanque. Este control se conectará al agua de lluvia después de una mínima precipitación, sigue la norma europea EN1717 de interconexión de redes y se puede instalar sin ningún peligro de contaminación de agua de lluvia a la red potable.



FIGURA 3.38. CONTROL-BOMBA AQUA-SILENTIO.

Características						
Bomba	Potencia motor	Máxima altura de suministro	Máxima Presión	Máxima caudal De extracción	Máxima altura De succión	Máxima distancia Succión
KSB-Superinox 15/4	0,66 kw	35 m	350 kn/m2	3,600 l/h	3,0 m	15 m
KSB-Superinox 25/425/4	0,80 kw	43 m	430 kn/m2	4.200 l/h	3,0 m	15 m

TABLA 3.9. CARACTERÍSTICAS DE CONTROL-BOMBA AQUA-SILENTIO.

3.4.7 COSTOS

El costo de esta tecnología varía considerablemente dependiendo de la ubicación, tipo de materiales utilizados y el grado de aplicación. El costo promedio de inversión de un proyecto de captación de agua de lluvia es de USD\$ 930 por vivienda beneficiada, lo cual incluye 10% de gastos generales, 6% de utilidad y 5% de supervisión. En zonas rurales el ente donante en caso de existir absorbe el 55% del costo y el 45% restante lo asume la familia beneficiada, en concepto de mano de obra y materiales locales. El almacenamiento es el elemento más importante del sistema de

⁶¹ Sistema de captación pluvial en: http://www.organi-k.org.mx/nsp/viewpage.php?page_id=11.

captación por su costo, pues representa aproximadamente el 90% del costo total del sistema. En la tabla 3.10 se presentan los costos de algunas obras realizadas.⁶²

Localización	Dispositivo de almacenamiento	Costo	Notas:
Universidad de ECOSUR San Cristóbal de las Casas Altos de Chiapas.	La cisterna tiene una capacidad de 150,000 litros (10 x 6 x 2.5 m).	Aproximadamente \$20,750 USD aproximadamente la mitad de ese dinero irá a los materiales y a la otra mitad a la mano de obra implicada con la construcción del sistema.	Provee de 1.800.000 litros de agua para un Cr de 0.4 y 2.370.000 litros para un Cr de 0.5 al año. Tiene un área de captación de 4300 m ² y una precipitación media anual de 1,100mm.
Abastecimiento domiciliario de agua. Comunidad de san marcos de la sierra y rancho quemado, San marcos de la sierra, Intibucá, Honduras.	La cisterna tiene una profundidad de 3 m y una capacidad de almacenamiento de entre 4,500 y 5,000 litros (3 cisternas de almacenamiento).	\$24,500 USD	Aporte comunitario de 50% en mano de obra local y materiales locales, numero de beneficiados 426.
Granja Kyera, un centro de capacitación para cultivo orgánico cerca de Mbarara, Uganda.	Vasijas pequeñas con capacidad de 500 y 750 litros.	Receptáculo de ladrillo de 750 litros con un costo de \$ 48 USD. Receptáculo de ferro-cemento de 500 litros con un costo \$ 41 USD. Receptáculo de tubo de plástico de 600 litros con un costo \$29 USD.	Las canaletas de hierro galvanizado y los caños están disponibles en el pueblo de Mbarara y éstos se usaron en todos los receptáculos que se construyeron en el proyecto.
CIDECALLI, ubicado en montecillo, Texcoco, Estado de México.	Tanque de almacenaje de 73,000 litros.	\$4,500 USD	Abastecimiento con agua potable y purificada para una familia de 4 personas y un consumo de 100 litros diarios durante todo el año. Área de captación de 120 m ² y una precipitación media anual de 610 mm.
CIDECALLI, ubicado en montecillo, Texcoco, Estado de México.	Sistemas de producción libre y en jaulas flotantes con capacidad de 70,000 litros.	\$1,800 USD	Estanque para peces de ornato y comestibles y riego de huerto familiar y una precipitación media anual de 610 mm.
CIDECALLI, ubicado en montecillo, Texcoco, Estado de México.	Cisterna de 2, 000,000 litros.	\$112,575 USD	Purificadora de agua de lluvia, 2300 personas beneficiadas con una precipitación media anual de 610 mm.

FINALMENTE SE PRESENTA DE LA SIGUIENTE MANERA NUESTRO SISTEMA DE CAPTACIÓN PLUVIAL

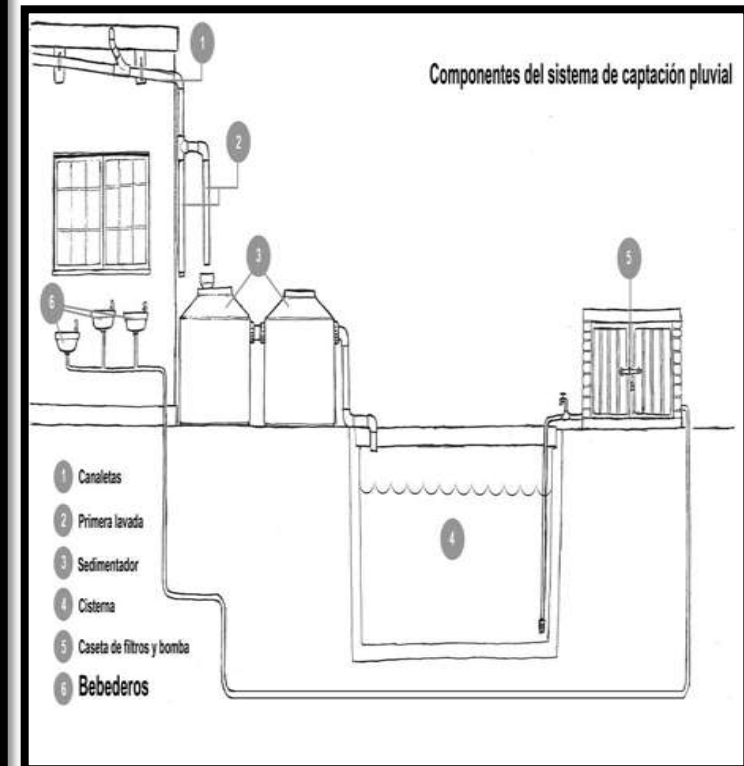


TABLA 3.10. TABLA DE COSTOS DE DIFERENTES OBRAS.

⁶² Soluciones innovadoras para el suministro de agua en comunidades rurales dispersas de honduras. Kenneth Rivera y Dennis Funes. PAS-LAC. Perú, 2003.

3.5 LA CANTIDAD DE AGUA QUE NECESITAMOS

De acuerdo con el programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD) la gente puede sobrevivir mucho más sin comida que sin agua. La dotación o cantidad promedio de agua que una persona necesita cada día para mantenerse sana es Figura 3.39:

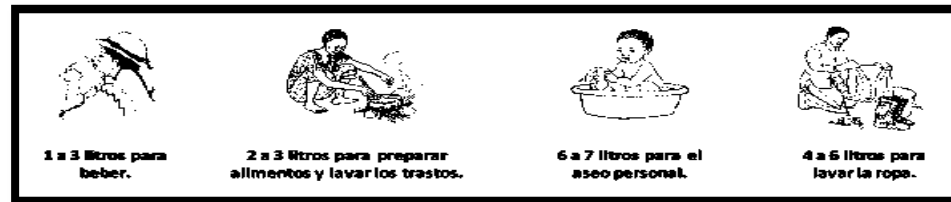


FIGURA 3.39. CONSUMO DOMESTICO POR PERSONA.

Esto suma 15 ó 20 litros por persona al día. Pero muchas personas se ven forzadas a conformarse con mucho menos. Otras necesidades, como saneamiento, riego y dar de beber al ganado, con frecuencia requieren mucha más agua que la que se necesita para beber, cocinar y lavar. En los lugares públicos, como escuelas y centros de salud, generalmente se necesita más agua que el promedio usado por una persona en su hogar. Los centros de salud, por ejemplo, deben contar con al menos 40 a 60 litros de agua al día por cada persona atendida.³⁹ Según la Comisión Nacional del Agua (1989), la dotación es la cantidad de agua asignada a cada habitante, incluyendo todos los consumos y pérdidas en la red de distribución. En sistemas rurales refiere que la dotación mínima estándar es de 45 (Litros/persona/día) en referencia a los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS), para llevar una vida saludable. En ésta cifra está considerada el agua para bebida, aseo personal, preparación de alimentos y abrevadero para animales domésticos.⁶³ La dotación depende de varios factores por ejemplo:

- ▶ Si la localidad es rural o urbana.
- ▶ La existencia o no de sistemas de abastecimiento de agua potable.
- ▶ Las pérdidas por fugas o desperdicios.
- ▶ El clima de la zona.
- ▶ El uso del agua.

Por todos los motivos antes mencionados existe una gran discrepancia en los valores de la dotación aun en lugares con características semejantes, obteniéndose valores que van desde menos de 50 a más de 400 (Litros/persona/día). Sin embargo desde luego se establece una diferencia importante entre los consumos para una zona rural y una zona urbana.⁶⁴ Debido a la infinidad de patrones de consumo doméstico que pueden ser obtenidos, se presenta una tabla que muestra un criterio del consumo del agua en los hogares 3.11.

Concepto	Consumo (Litros/persona/día)
Consumo mínimo	Menor a 49
Consumo bajo	50 a 99
Consumo medio adecuado	100 a 199
Consumo alto	200 a 399
Consumo excesivo	400 y mas

TABLA 3.11. CONSUMO DE AGUA DOMESTICO.

⁶³ Captación de agua de lluvia en Santa Catarina Ocotlán, Coixtlahuaca, Oaxaca. Universidad tecnológica de la mixteca, 2007.

⁶⁴ Abastecimiento de agua potable y disposición y eliminación de excretas". Pedro López Alegría. Instituto Politécnico Nacional 2001.



4 EJEMPLOS DE CÁLCULO, DISEÑO Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

4.1 EJEMPLOS DE DISEÑO

Como ya se había mencionado se revisaran los ejemplos de diseño a través de dos métodos para los cuales es necesario recordar los requisitos que se necesitan para ambos métodos:

- ▶ *Precipitación en la zona de los últimos 10 o 15 años.*
- ▶ *Precipitación media por año.*
- ▶ *Tipo de material de la captación.*
- ▶ *Coefficiente de escurrimiento.*
- ▶ *Área de captación.*
- ▶ *Número de usuarios.*
- ▶ *Área de superficie de riego disponible en caso de necesitarla.*
- ▶ *Otras superficies de captación.*

Después de obtener estos datos se procede a calcular los datos siguientes:

- ▶ *Requerimiento de agua.*
- ▶ *La oferta de agua de lluvia.*
- ▶ *Capacidad óptima del tanque.*
- ▶ *Volumen de captación.*
- ▶ *Costo.*

La metodología utilizada está basada en matemáticas simples comprensibles para cualquier persona con educación media básica. Cabe mencionar que en la actualidad se cuenta con sofisticados métodos para determinar con extrema exactitud los parámetros en cuestión. A pesar de esto, se espera que los cálculos aquí presentados tengan el grado de aproximación suficiente, los cuales se verán reforzados por la documentación disponible de las condiciones del lugar y la experiencia del técnico. Para mayor seguridad se recomienda considerar cierta holgura en el área de captación necesaria así como en el volumen de la cisterna.

4.1.1 MÉTODO PROPUESTO POR EL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD (IPN-CIIDIR) OAXACA, MÉXICO 2007



Ejemplo 1. Ubicado en una zona de media precipitación (500 – 1000 mm).

Para el desarrollo de este ejemplo se supone el análisis considerando una zona rural a las afueras de la ciudad de Cuautla, Morelos México, conociendo la ubicación se procede a conseguir los datos de precipitaciones de las estaciones más cercanas a este lugar, analizando los registros obtenidos del ERIC II, con la ecuación 1 se obtuvieron los datos de la tabla 4.1 la cual muestra un resumen de las precipitaciones evaluadas de 15 años para la estación Huautla, Tlalquiltanango Morelos, y que fue elegida por ser la estación con mayor número de registros completos.

Mes	Precipitación mensual (mm)
Enero	6.59
Febrero	0.65
Marzo	0.59
Abril	5.89
Mayo	53.94
Junio	211.43
Julio	160.43
Agosto	163.83
Septiembre	135.11
Octubre	43.09
Noviembre	14.61
Diciembre	5.23
Promedio anual	801.40

TABLA 4.1. VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN.

Consideremos una familia rural compuesta por 6 personas donde se necesita calcular el volumen total de las necesidades básicas de agua las cuales según la Organización Mundial de la Salud ascienden a 5 litros/persona/día para consumo y preparación de alimentos, más 25 litros/persona/día para higiene y buena salud, además, se debe contar con 30 litros/persona/día para aseo del hogar y lavado de ropa, al mismo tiempo esta familia cuenta con una docena de gallinas, ½ docena de pavos y 2 perros; para conocer el agua requerida de estos animales podemos consultar las tablas antes presentadas de esta tesis, para conocer el agua requerida por algunos animales domésticos. Conociendo los consumos de cada habitante, se procede a calcular el requerimiento de agua de la vivienda con la ecuación 2, por lo que se tiene:

- Consumo de agua por las 6 personas x 60 litros/persona/día = 360 litros/día.
- Consumo de agua por las 12 gallinas x 5.50 litros/gallina/ día = 66 litros/día.
- Consumo de agua por los 6 pavos x 5 litros/pavo/día = 30 litros/día.
- Consumo de agua por los 2 perros x 6 litros/perro/día = 12 litros/día.
- Con lo que se tiene un consumo total de agua por día = 468 litros/día.
- Consumo total de agua por mes = 468 litros/día x 30 días = 14,040 litros/mes.

Considerando un 10% de pérdidas de agua durante su almacenamiento por evaporación e infiltración a través de las paredes de la cisterna quizá por la utilización de materiales de poca eficiencia en el almacenamiento del agua, entre otras, el volumen total efectivo de agua requerida y que debe compensar con el porcentaje que se pierde es:

$$14,040 \text{ litros/mes} + (14,040 \text{ litros/mes} \times 10\%) = 15,444 \text{ litros/mes} = 15.444 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Suponiendo que se cuenta con una vivienda con área horizontal de techumbre de 60 m² cada una las cuales están hechas de madera con un coeficiente de escurrimiento de 0.8 entonces el volumen promedio anual que se puede captar es:



De la ecuación 3:

$$V_i = \frac{801.40 \times 0.8 \times 60}{1000} = 38.467 \text{ m}^3$$

Una interpretación a este resultado, es que el volumen de agua que se puede captar permite abastecer a la familia rural, por un tiempo de:

$$\frac{V_i}{\text{CONSUMO POR MES}} = \frac{38.4671}{15.4441/\text{mes}} = 2.49 \text{ meses}$$

Un cálculo más preciso consiste en elaborar una tabla en la cual se indican las características de nuestra área de captación:

- **Columna 1 y 2** los valores promedios mensuales de precipitación según datos hidrológicos.
- **Columna 3** el consumo o demanda de agua que requiere la familia cada mes.
- **Columna 4** coeficiente de escurrimiento.
- **Columna 5** la cantidad de agua que se puede captar mensualmente en el techo ya afectada por el coeficiente de escurrimiento y el área de captación.

1 Mes	2 Precipitación(mm)	3 Demanda(m ³ /mes)	4 Coeficiente	5 Almacenamiento(m ³ /mes)
Enero	6.59	15.444	0.8	0.32
Febrero	0.65	15.444	0.8	0.03
Marzo	0.59	15.444	0.8	0.03
Abril	5.89	15.444	0.8	0.28
Mayo	53.94	15.444	0.8	2.59
Junio	211.43	15.444	0.8	10.15
Julio	160.43	15.444	0.8	7.70
Agosto	163.83	15.444	0.8	7.86
Septiembre	135.11	15.444	0.8	6.49
Octubre	43.09	15.444	0.8	2.07
Noviembre	14.61	15.444	0.8	0.70
Diciembre	5.23	15.444	0.8	0.25
Promedio anual	801.39	185.33	0.80	38.47

TABLA 4.2. CÁLCULO PARA UN ÁREA DE TECHO DE 60 M².

Al sumar el consumo anual que requiere hacer la familia (columna 3) y compararlo con el volumen de agua que capta el techo anualmente (suma columna 5), se observa que el área del techo de 60 m², no es suficiente; la suma de la columna 5 debe ser igual o mayor que la columna 3.

Por lo cual el volumen de agua que se puede captar no permite abastecer a la familia por todo el año, por lo que se tendría que recurrir a otras áreas de captación. Por lo cual el área requerida para captar 185.33 m³ de agua se determina de la siguiente manera:

$$\text{Área de captación (m}^2\text{)} \times 0.8014 \text{ m} \times 0.80 = 185.33 \text{ m}^3, \text{ despejando el área se tiene:}$$

$$\frac{185.33 \text{ m}^3}{0.8014 \text{ m} \times 0.8} = 290 \text{ m}^2$$

Con lo que se puede apreciar que el área de captación debe ser muy grande en relación a la demanda de agua que se necesita cubrir y a la precipitación de la zona, aunque no es imposible se pueden adecuar otras zonas para realizar el trabajo de captación aunque esto encarece la obra.



Al realizar un nuevo cálculo con el área requerida y al tener la diferencia entre los valores mensuales de la columna 5 (lo que se capta por la lluvia) y la columna 3 (lo que se consume en la vivienda), la suma total debe ser igual o mayor de cero, en el ejemplo presentado tenemos una diferencia en esta columna de 0.59.

En la columna 7 se anotan los valores de consumos acumulados, es decir, en el mes de febrero se tiene el volumen de agua del mes de enero más lo que se consume en el propio mes y así sucesivamente (en este caso es negativo por la falta de lluvia).

Se observa en estos valores un consumo máximo (acumulado) en el mes de mayo de 61.52 m³ presentado en temporada de sequía y otro volumen máximo que debe almacenarse por los excedentes en la temporada de lluvia en septiembre de 32.33 m³.

1 Mes	2 Precipitación (mm)	3 Demanda (m ³ /mes)	4 Coef.	5 Almacenamiento (m ³ /mes)	6 Diferencia (m ³ /mes)	7 Diferencia acumulada (m ³ /mes)
Enero	6.59	15.444	0.8	1.53	-13.92	-13.92
Febrero	0.65	15.444	0.8	0.15	-15.29	-29.21
Marzo	0.59	15.444	0.8	0.14	-15.31	-44.52
Abril	5.89	15.444	0.8	1.37	-14.08	-58.59
Mayo	53.94	15.444	0.8	12.51	-2.93	-61.52
Junio	211.43	15.444	0.8	49.05	33.61	-27.92
Julio	160.43	15.444	0.8	37.22	21.78	-6.14
Agosto	163.83	15.444	0.8	38.01	22.56	16.43
Septiembre	135.11	15.444	0.8	31.35	15.90	32.33
Octubre	43.09	15.444	0.8	10.00	-5.45	26.88
Noviembre	14.61	15.444	0.8	3.39	-12.05	14.83
Diciembre	5.23	15.444	0.8	1.21	-14.23	0.59
Promedio anual	801.39	185.33	0.80	185.92		

TABLA 4.3. CÁLCULO PARA UN ÁREA DE CAPTACIÓN DE 290 M².

Al sumar ambos valores, se obtiene el volumen del tanque de almacenamiento requerido (61.52 + 32.33 = 93.85 m³).

Dimensiones del tanque.

Se ha mencionado que empleando el ferrocemento se pueden hacer tanques de cualquier forma, pero lo más común y fácil de construir es de forma cilíndrica. Como la forma del tanque lo da el esqueleto de acero que es la malla electrosoldada; ésta generalmente viene en rollos de 2.50 m de ancho x 40 m de largo, por lo tanto, la altura del tanque será de 2.30 m y los 20 cm restantes se doblarán hacia el exterior para recibir la tapa y formar un aro superior como se aprecia en la figura 4.1

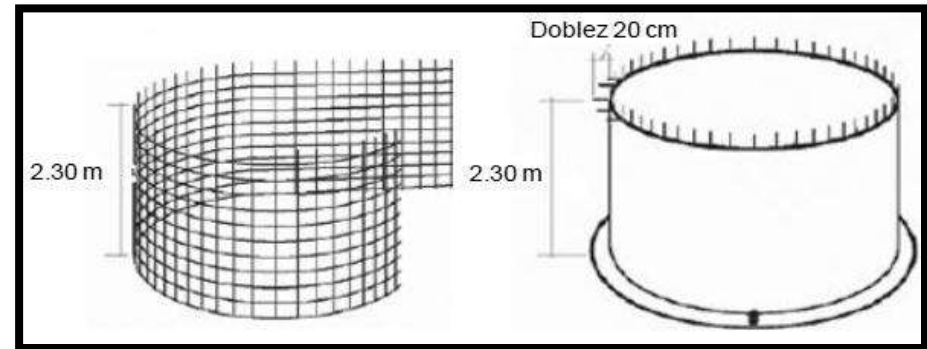


FIGURA 4.1. ESTRUCTURA PARA TANQUE DE FERROCEMENTO.

Para calcular las dimensiones del tanque del ejemplo 1, se parte de la fórmula del volumen de un cilindro, que es:

$$V = \pi r^2 h$$



Donde:

- $V = \text{volumen del tanque} = 93.85 \text{ m}^3$
- $h = \text{altura del cilindro} = 2.30 \text{ m}$
- $r = \text{radio del cilindro}$

Despejando el radio y sustituyendo valores, se tiene:

$$r = \sqrt[2]{\frac{V}{3.1416 h}} = \sqrt[2]{\frac{93.85 \text{ m}^3}{3.1416 \times 2.30 \text{ m}}} = \sqrt{12.988 \text{ m}^2} = 3.60 \text{ m}$$

Por lo tanto las dimensiones del tanque requerido del ejemplo, es:

$$d = \text{diámetro} = 7.20 \text{ m}$$

$$h = \text{altura} = 2.30 \text{ m}$$

Nota: Estos ejemplos se limitan al dimensionamiento del tanque de almacenamiento ya que es el elemento más importante del sistema, para diseñar los elementos complementarios del sistema es necesario seleccionar el sitio de construcción.

4.1.2 MÉTODO DE LA UNIDAD DE APOYO TÉCNICO PARA EL SANEAMIENTO BÁSICO DEL ÁREA RURAL (UNATSABAR) LIMA, PERÚ 2004

Ejemplo 2. Ubicado en una zona de baja precipitación (0 – 500 mm).

En este caso se considera un lugar en el estado de Sonora con precipitación pluvial promedio anual de 412 mm, dato obtenido de la tabla 4.4 de esta tesis, en este ejemplo es necesario calcular las necesidades de agua para una familia de seis personas, se supone un consumo de agua por persona de 30 litros/persona/día, La distribución de precipitación pluvial promedio anual se expone en la tabla 4.4. Además se cuenta con un área de captación de techo de teja de arcilla con un coeficiente de escurrimiento de 0.8. Para obtener el costo se supone un costo por m^3 de \$ 50 USD y un costo de techo por m^2 de \$ 10 USD.

Mes	Precipitación mensual (mm)
Enero	24.5
Febrero	22.3
Marzo	13
Abril	5.2
Mayo	4
Junio	14.7
Julio	105.4
Agosto	101
Septiembre	53.4
Octubre	27.2
Noviembre	18.9
Diciembre	31.7
Promedio anual	421.3

TABLA 4.4. VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN.

Conociendo los consumos de cada habitante se procede a calcular el requerimiento de agua de la vivienda con la ecuación 2, por lo que se tiene la tabla 4.5.



Ejemplos:

$$D_{ENERO} = \frac{6 \times 31 \times 30}{1000} = 5.58 \text{ m}^3$$

$$D_{FEBRERO} = \frac{6 \times 28 \times 30}{1000} = 5.04 \text{ m}^3$$

Mes	Núm. Días del mes	Demanda (Litro/persona/día)	Demanda total mensual Para la familia de 6 personas (m ³)
Enero	31	30	5.58
Febrero	28	30	5.04
Marzo	31	30	5.58
Abril	30	30	5.40
Mayo	31	30	5.58
Junio	30	30	5.40
Julio	31	30	5.58
Agosto	31	30	5.58
Septiembre	30	30	5.40
Octubre	31	30	5.58
Noviembre	30	30	5.40
Diciembre	31	30	5.58
Promedio anual			65.700

TABLA 4.5. DEMANDA TOTAL MENSUAL, NÚMERO DE INTEGRANTES DE LA FAMILIA (6).

Para determinar el área de techo y el volumen del tanque del almacenamiento más económico según las precipitaciones y demanda mensual se consideran para el análisis matemático áreas de techo de 50, 100, 150 y 200 m² con las tablas de cálculo 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 para cada área de captación propuesta respectivamente, utilizando las ecuaciones 3, 4 y 5 del capítulo 4. Se puede notar que las bases del cálculo de este método son las mismas a las del método propuesto por el CIIDIR IPN OAXACA con la diferencia de que para este cálculo se inicia con el mes de mayor precipitación.

Abastecimiento Parcial =

$$V_{JULIO} = \frac{105.4 \times 0.8 \times 100}{1000} = 8.43 \text{ m}^3 ;$$

Abastecimiento Acumulado =

$$A_{AGOSTO} = 8.43_{(agosto - 1mes)} + \frac{101 \times 0.8 \times 100}{1000} = 16.51 \text{ m}^3 ;$$

Demanda Acumulada =

$$D_{AGOSTO} = 5.85_{(agosto - 1mes)} + \frac{6 \times 31 \times 30}{1000} = 11.16 \text{ m}^3$$

MES	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m ³)		Demanda (m ³)		Diferencia (m ³)
		parcial	acumulado	Parcial	acumulado	
Julio	105.40	8.43	8.43	5.58	5.58	2.85
Agosto	101.00	8.08	16.51	5.58	11.16	5.35
Setiembre	53.40	4.27	20.78	5.40	16.56	4.22
Octubre	27.20	2.18	22.96	5.58	22.14	0.82
Noviembre	18.90	1.51	24.47	5.40	27.54	-3.07
Diciembre	31.70	2.54	27.01	5.58	33.12	-6.11
Enero	24.50	1.96	28.97	5.58	38.70	-9.73
Febrero	22.30	1.78	30.75	5.04	43.74	-12.99
Marzo	13.00	1.04	31.79	5.58	49.32	-17.53
Abril	5.20	0.42	32.21	5.40	54.72	-22.51
Mayo	4.00	0.32	32.53	5.58	60.30	-27.77
Junio	14.70	1.18	33.70	5.40	65.70	-32.00

TABLA 4.6. CÁLCULO PARA UN TECHO DE 100 M².



TABLA 4.7. CÁLCULO PARA UN TECHO DE 150 M².

MES	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m ³)		Demanda (m ³)		Diferencia (m ³)
		parcial	acumulado	Parcial	acumulado	
Julio	105.40	12.65	12.65	5.58	5.58	7.07
Agosto	101.00	12.12	24.77	5.58	11.16	13.61
Setiembre	53.40	6.41	31.18	5.40	16.56	14.62
Octubre	27.20	3.26	34.44	5.58	22.14	12.30
Noviembre	18.90	2.27	36.71	5.40	27.54	9.17
Diciembre	31.70	3.80	40.51	5.58	33.12	7.39
Enero	24.50	2.94	43.45	5.58	38.70	4.75
Febrero	22.30	2.68	46.13	5.04	43.74	2.39
Marzo	13.00	1.56	47.69	5.58	49.32	-1.63
Abril	5.20	0.62	48.31	5.40	54.72	-6.41
Mayo	4.00	0.48	48.79	5.58	60.30	-11.51
Junio	14.70	1.76	50.56	5.40	65.70	-15.14

TABLA 4.8. CÁLCULO PARA UN TECHO DE 200 M².

MES	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m ³)		Demanda (m ³)		Diferencia (m ³)
		parcial	acumulado	Parcial	acumulado	
Julio	105.40	16.86	16.86	5.58	5.58	11.28
Agosto	101.00	16.16	33.02	5.58	11.16	21.86
Setiembre	53.40	8.54	41.57	5.40	16.56	25.01
Octubre	27.20	4.35	45.92	5.58	22.14	23.78
Noviembre	18.90	3.02	48.94	5.40	27.54	21.40
Diciembre	31.70	5.07	54.02	5.58	33.12	20.90
Enero	24.50	3.92	57.94	5.58	38.70	19.24
Febrero	22.30	3.57	61.50	5.04	43.74	17.76
Marzo	13.00	2.08	63.58	5.58	49.32	14.26
Abril	5.20	0.83	64.42	5.40	54.72	9.70
Mayo	4.00	0.64	65.06	5.58	60.30	4.76
Junio	14.70	2.35	67.41	5.40	65.70	1.71

TABLA 4.9. CÁLCULO PARA UN TECHO DE 250 M².

MES	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m ³)		Demanda (m ³)		Diferencia (m ³)
		parcial	acumulado	Parcial	acumulado	
Julio	105.40	21.08	21.08	5.58	5.58	15.50
Agosto	101.00	20.20	41.28	5.58	11.16	30.12
Setiembre	53.40	10.68	51.96	5.40	16.56	35.40
Octubre	27.20	5.44	57.40	5.58	22.14	35.26
Noviembre	18.90	3.78	61.18	5.40	27.54	33.64
Diciembre	31.70	6.34	67.52	5.58	33.12	34.40
Enero	24.50	4.90	72.42	5.58	38.70	33.72
Febrero	22.30	4.46	76.88	5.04	43.74	33.14
Marzo	13.00	2.60	79.48	5.58	49.32	30.16
Abril	5.20	1.04	80.52	5.40	54.72	25.80
Mayo	4.00	0.80	81.32	5.58	60.30	21.02
Junio	14.70	2.94	84.26	5.40	65.70	18.56



En la tabla 4.10 se sintetizan los resultados obtenidos:

Área de techo (m ²)	Diferencias acumulativas (m ³)	
	Máximo valor (volumen de almacenamiento m ³)	Mínimo valor (volumen de reserva m ³)
100	5.35	-32.00
150	14.62	-15.14
200	25.01	1.71
250	35.40	15.50

TABLA 4.10. RESUMEN DE RESULTADOS.

Del análisis de la tabla 4.11, se nota que no debe considerarse en la evaluación final el área de techo de 100 y 150 m² por haberse obtenido valores negativos durante 8 a 4 meses con lo que se puede decir que estas áreas no son suficientes para abastecer el agua necesaria, por otro lado las áreas de 200 y 250 m² son idóneas.

El volumen de almacenamiento máximo el cual se presenta en el mes de septiembre para un área de techo de 200 y 250 m² es utilizando la ecuación 6:

- $V_{septiembre} m^3 = 41.57 - 16.56 = 25.01 m^3$
- $V_{septiembre} m^3 = 51.96 - 16.56 = 35.40 m^3$

Considerando una reserva mínima de 1.71 m³ y 15.50 respectivamente los costos que representa cada una de las implementaciones para las dos áreas de techo remanentes, es decir para 200 y 250 m² se presentan en la tabla 4.11:

Área de Techo (m ²)	Volumen del Tanque (m ³)	Costo (USD\$)		
		Techo	Tanque	Total
200	25.01	2,000	1,250.50	3,250.50
250	35.04	2,500	1,752.00	4,252.00

TABLA 4.11. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN PARA LAS CONDICIONES DEL EJEMPLO 2.

El costo de implementación del sistema más económico conformado por un techo de un área de 200 m² y un reservorio de 25.01 m³ con una capacidad extra de almacenamiento de 1.71 m³ es de \$ 3,250.50 USD, aumentaría a \$ 4,252.00 USD si el techo tuviera un área de 250 m² y el reservorio de 15.50 m³.

Par obtener las dimensiones del tanque se propone una forma cubica y conociendo el volumen necesario se tiene:

$$V = L^3$$

$$\sqrt[3]{25.01m^3} = L$$

$$L = 2.92 m$$

Nota: Estos ejemplos se limitan al dimensionamiento del tanque de almacenamiento ya que es el elemento más importante del sistema, para diseñar los elementos complementarios del sistema es necesario seleccionar el sitio de construcción, para lo cual se recomienda consultar las consideraciones de diseño.



Ejemplo 3. Ubicado en una zona de alta precipitación (1,000 – 10,000 mm).

Se consideran los siguientes consumos en una casa – habitación en una zona urbana en la ciudad de Campeche con una familia de 4 personas con un consumo de 130 litros/persona/día: WC 8,800 litros/persona/año, lavadora 3,700 litros/persona/año y una superficie de 100 m² de jardín (césped) 450 litros/m²/año; la distribución de precipitación pluvial promedio anual se expone en la tabla 4.12. Además se cuenta con un área de captación de techo de lámina galvanizada con un coeficiente de escurrimiento de 0.9. Para obtener el costo se supone un costo de reservorio por m³ de \$ 50 USD y un costo de techo por m² de \$ 20 USD.

Mes	Precipitación mensual (mm)
Enero	48.2
Febrero	32.3
Marzo	26.2
Abril	33.6
Mayo	79.3
Junio	190.3
Julio	174.5
Agosto	204.3
Septiembre	240.4
Octubre	166.9
Noviembre	86.4
Diciembre	54.5
Promedio anual	1336.8

TABLA 4.12. VALORES PROMEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN.

De igual manera para este ejemplo se procede a calcular los requerimientos de agua:

Consumo de agua por las 4 personas x 130 l/persona/día = 520 l/día = 189,800 litros/año.

Consumo de agua para WC 4 personas x 8,800 litros/persona/año = 35,200 litros/año.

Consumo de agua en la lavadora 4 personas x 3,700 litros/persona/año = 14,800 litros/año.

Consumo de agua para jardín 100m² x 450 litros/ m²/año = 45,000 litros/año.

Por lo cual el requerimiento de agua es de 284,800 litros/año = 284.8 litros/mes.

Este resultado lo tabulamos en la tabla 4.13 para apreciar la demanda por cada mes.

Mes	Núm. Días del mes	Demanda diaria por persona (Litros)	Demanda diaria por persona WC (Litros)	Demanda diaria por persona lavadora (Litros)	Demanda diaria para 100m ² de jardín (Litros)	Demanda total mensual para la familia de 4 personas
Enero	31	130	24.11	10.14	123	24.18
Febrero	28	130	24.11	10.14	123	21.84
Marzo	31	130	24.11	10.14	123	24.18
Abril	30	130	24.11	10.14	123	23.40
Mayo	31	130	24.11	10.14	123	24.18
Junio	30	130	24.11	10.14	123	23.40
Julio	31	130	24.11	10.14	123	24.18
Agosto	31	130	24.11	10.14	123	24.18
Septiembre	30	130	24.11	10.14	123	23.40
Octubre	31	130	24.11	10.14	123	24.18
Noviembre	30	130	24.11	10.14	123	23.40
Diciembre	31	130	24.11	10.14	123	24.18

TABLA 4.13. DEMANDA TOTAL MENSUAL. NÚMERO DE INTEGRANTES DE LA FAMILIA 4.



Para determinar el área de techo y el volumen del tanque del almacenamiento más económico según las precipitaciones y demanda mensual iniciando con el mes de mayor precipitación que para este caso fue junio se tiene la tabla 4.14.

MES	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m ³)		Demanda (m ³)		Diferencia (m ³)
		Parcial	acumulado	Parcial	acumulado	
Junio	190.3	40.59	40.59	23.40	23.40	17.19
Julio	174.5	37.22	77.81	24.18	47.58	30.23
Agosto	204.3	43.58	121.39	24.18	71.76	49.63
Septiembre	240.4	51.28	172.67	23.40	95.16	77.51
Octubre	166.9	35.60	208.27	24.18	119.34	88.93
Noviembre	86.4	18.43	226.70	23.40	142.74	83.96
Diciembre	54.5	11.62	238.32	24.18	166.92	71.40
Enero	48.2	10.28	248.60	24.18	191.10	57.50
Febrero	32.3	6.89	255.49	21.84	212.94	42.55
Marzo	26.2	5.59	261.08	24.18	237.12	23.96
Abril	33.6	7.17	268.25	23.40	260.52	7.73
Mayo	79.3	16.91	285.16	24.18	284.70	0.46

TABLA 4.14. CÁLCULO PARA UN TECHO DE 237 M².

Del análisis de la tabla 4.4, se encontró que el área de techo de 237 m² cumpliría con la dotación anual para este caso y que el volumen de almacenamiento máximo el cual se presenta en el mes de octubre es de 88.93 m³ con un reserva de agua de 0.46 m³. Considerando estos datos el costo se representa en la tabla 4.15.

Área de Techo (m ²)	Volumen del Tanque (m ³)	Costo (USD\$)		
		Techo	Tanque	Total
237	88.93	4,740	4,446.5	9186.50

TABLA 4.15. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN PARA LAS CONDICIONES DEL EJEMPLO 3.

Par obtener las dimensiones del tanque se propone una forma rectangular, con una altura máxima de 2 m para evitar sobrepresiones y un ancho de 4 m, conociendo el volumen necesario se tiene:

$$V = hLA$$

$$88.93m^3 = 2m \times 4m \times L$$

$$L = 11.12m$$

Nota: estos ejemplos se limitan al dimensionamiento del tanque de almacenamiento ya que es el elemento más importante del sistema, para diseñar los elementos complementarios del sistema es necesario seleccionar el sitio de construcción, para lo cual se recomienda consultar las consideraciones de diseño.



4.2 BREVE ANÁLISIS DE LOS EJEMPLOS

Al analizar los ejemplos anteriores nos podemos dar cuenta de la relación directa entre la precipitación y el área de captación, ya que entre mayor sea la dotación requerida y menor la precipitación se requieren tanques y áreas de captación de mayor tamaño; por otro lado si se utiliza el agua de forma más racional la dotación requerida disminuiría contando con diseños de tanques y áreas de captación de menor tamaño, reduciendo los costos. Otro dato importante es que los ejemplos realizados pretenden abastecer de agua por todo el año; una razón más para que las dimensiones de los tanques sean tan grandes, sin embargo si se considera diseñar el sistema para funcionar solo en la temporada de lluvias estas dimensiones disminuirían en mucho pero se desperdiciarían muchos litros de agua.

Es necesario realizar este tipo de cálculos para conocer el aprovechamiento del agua de lluvia con el fin de dimensionar correctamente el sistema de captación y utilización de agua de lluvia.

Es importante recalcar que este tipo de estudios, sirve para estudiar si numéricamente un depósito determinado hubiera podido satisfacer la demanda de agua de la vivienda, por tanto, se debe considerar como una aproximación y no como un cálculo exacto debido a la posible variabilidad de la pluviometría y de los consumos de agua en la vivienda.

Como se puede observar, en los escenarios, la cantidad de agua recogida de la lluvia es mucho menor con pequeñas áreas de captación arrojando los cálculos valores negativos, esto no significa que el sistema no funcione, por el contrario nos muestra los meses en que el sistema es capaz de suministrar el agua necesaria para abastecer la vivienda y los que requieren de un aporte externo de agua ya sea del sistema de abastecimiento local o por cualquier otro medio.

Hay que tener claro que cuantos más usos se le dé al agua de lluvia, mayor cantidad de agua se aprovecha. Esto dependiendo de la pluviometría de la zona, ya que si el depósito está lleno, aunque llueva más el agua de lluvia no se puede aprovechar y se vierte generando un desperdicio, desaprovechando un posible recurso. Por tanto, es conveniente en la medida de lo posible utilizar el agua en el máximo número de usos posibles, para así amortizar la instalación del sistema.



5 CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA

Resulta de suma importancia conocer la calidad del agua de lluvia para poder aprovecharla mejor y darle un uso adecuado, esto por los contaminantes que pudieran llegar a tener y resultar nocivos para el consumo humano o animal pero no así para labores de limpieza, ante esta situación a continuación se presentan características que debemos tener o tomar en cuenta para la captación y/o aprovechamiento del agua de lluvia.

5.1 LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD DEL AGUA

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas de abastecimiento hasta la entrega al consumidor. 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), establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.⁶⁵

■ Límites permisibles de características microbiológicas.

La calidad microbiológica de las aguas naturales y tratadas es variable. Idealmente, el agua potable no debe contener ningún microorganismo patógeno ni bacterias indicadoras de contaminación fecal. Para cerciorarse de que un abastecimiento de agua satisface estas directrices es necesario examinar periódicamente muestras de agua ya que el consumo de agua contaminada puede causar problemas agudos de salud. Para esto, al análisis microbiológico del agua se le atribuye gran importancia en la evaluación de la calidad higiénica del suministro de agua.⁶⁶ El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la tabla 5.1.

Característica	Límite permisible
Organismos coliformes totales	No detectables NMP/100 ml Ausencia 2 UFC/100 ml
Organismos coliformes fecales	No detectables NMP/100 ml Ausencia UFC/100 ml

TABLA 5.1. LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS.

Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes podrán establecer los agentes biológicos nocivos a la salud que se deban investigar. Las unidades de medida deberán reportarse de acuerdo a la metodología empleada. Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

El agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener coliformes fecales en ninguna muestra de 100 ml. Los organismos coliformes totales no deben ser detectables en Ninguna muestra de 100 ml; en sistemas de abastecimiento de localidades con una población mayor de 50,000 habitantes; estos organismos deberán estar ausentes en el 95% de las muestras tomadas en un mismo sitio de la red de distribución, durante un periodo de doce meses de un mismo año.⁶²

⁶⁵ Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Normas oficiales mexicanas SSA1. 2000.

⁶⁶ Conceptos básicos de: aguas para consumo humano y disposición de aguas residuales. Instituto costarricense de acueductos y alcantarillados, 2007.



▮ Límites permisibles de características físicas y organolépticas.

Las características físicas y organolépticas son aquellas que se detectan sensorialmente, para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la tabla 5.2.

Característica	Límite permisible
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

TABLA 5.2. LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ORGANOLÉPTICAS.

▮ Límites permisibles de características químicas.

Son aquellas debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana. El riesgo para la salud provocado por las sustancias químicas tóxicas que pueden existir en el agua es distinto del que causa los contaminantes microbiológicos. Es muy poco probable que cualquiera de esas sustancias cause un problema agudo de salud salvo en circunstancias excepcionales como lo es una contaminación en gran escala del sistema de abastecimiento. Sin embargo, en la mayoría de los contaminantes químicos el riesgo para la salud asociado al consumo de agua se presenta después de una exposición prolongada de años más que de meses.

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la tabla 12. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.⁶²

Característica	Límite permisible	Característica	Límite permisible
Aluminio	0.20	Mercurio	0.001
Arsénico	0.05	Nitratos (como N)	10
Bario	0.70	Nitritos (como N)	1
Cadmio	0.005	Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
Cianuros (como CN ⁻)	0.07	pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Cloro residual libre	0.2-1.50	Plaguicidas en microgramos/l: Aldrin y dieldrin (separados o combinados)	0.03
Cloruros (como Cl ⁻)	250	Clordano (total de isómeros)	0.20
Cobre	2	DDT (total de isómeros)	1.00
Cromo total	0.05	Gamma-HCH (lindano)	2.00
Dureza total (como CaCO ₃)	500	Hexaclorobenceno	1.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.3	Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Hierro	0.30	Metoxicloro	20
Fluoruros (como F ⁻)	1.50	2,4 - D	30
Plomo		Zinc	5
Sodio	200		
Sólidos disueltos totales	1,000	Hidrocarburos aromáticos en (microgramos/l)	0.01
Sulfatos (como SO ₄ ⁼)	400	Benceno	10
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50	Etilbenceno	300
Trihalometanos totales	0.20	Tolueno	700
Yodo residual libre	0.2-0.5	Xileno (tres isómeros)	500
Manganeso	0.15		

TABLA 5.3. LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.

▮ Límites permisibles de características radiactivas.

Son aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos. El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la tabla 5.4. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).⁶²

Característica	Límite permisible (Bq/l)
Radiactividad alfa global	0,56
Radiactividad beta global	1,85

TABLA 5.4. LÍMITES PERMISIBLES DE CARACTERÍSTICAS RADIATIVAS.



5.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA DE LLUVIA ANTE OTROS TIPOS DE AGUA

Existen diferentes tipos de agua y existe una serie de criterios para clasificar las aguas, nosotros tomaremos dos criterios. Según su ubicación en la tierra y según la cantidad de sales disueltas:

- ▮ **Agua meteórica:** corresponde al agua de lluvia, nieve, o granizo y se caracteriza por ser blanda.
- ▮ **Agua dulce:** se subdivide en agua subterránea y agua superficial, contiene una cantidad menor al 0.01% de sales y es más dura.
 - **Agua subterránea:** es la que se encuentra por debajo de la superficie terrestre.
 - **Agua superficial:** esta comprende aguas de ríos y lagos.
- ▮ **Agua salada:** comprende el agua de los océanos y mares; contiene al menos 3% de sales.⁶⁷

Es importante conocer las características físico químicas del agua de lluvia con respecto a los otros tipos de agua por lo cual a continuación se presentan algunas:

▮ Conductividad eléctrica.

La conductividad es la capacidad de un agua para conducir la corriente eléctrica. Se mide en siemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$ o $\mu\text{mhos}/\text{cm}$) (inversa del ohm) y aumenta un 2% por cada grado de Temperatura Tabla 5.5.

Aguas	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
Destilada	0.045
De lluvia	2 – 40
Dulce	100 – 2,000
Marina (a 18 °C)	45,000

TABLA 5.5. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.

▮ Material en suspensión.

Es el contenido de materiales sedimentables o que puedan ser retenidos por un filtro; es la materia sólida transportada por el agua por medio de su energía cinética. Otorga turbidez al agua. Se mide en ppm o cm^3/l . Normalmente, se dan valores menores de 1 ppm para aguas subterráneas.

▮ Turbidez (turbiedad).

Dificultad de un agua para transmitir la luz. Mide el contenido en materias coloidales y la materia en suspensión muy fina y difícil de filtrar, se mide con un dispositivo conocido como nefelómetro o turbidímetro y la escala de medida es en ppm (mg/l) de SiO_2 o en unidades nefelométricas de turbidez (NTU) Tabla 5.6.⁶⁸

Aguas	Turbidez (ppm SiO_2)
Transparente	< 1.42
Opalina, hasta	2.85
Algo turbia, hasta	6.25
Turbia, hasta	9.00
Muy turbia	> 9.00

TABLA 5.6. TURBIDEZ. 1 UNIDAD NEFELOMÉTRICA DE TURBIDEZ (NTU) = 7,7 ppm de SiO_2

▮ pH (Potencial de Hidrogeno).

Es una medida de la acidez del agua. El pH disminuye con la temperatura (un 8%), ya que a temperaturas más altas el agua se descompone más y es más ácida. Normalmente, el pH de las aguas naturales se mantiene entre 6.5 y 8.0

⁶⁷ Distintas clases de agua en: <http://www.mailxmail.com/curso-analisis-agua/distintas-clases-agua>

⁶⁸ Hidroquímica y contaminación. Oscar Pintos Rodríguez. Madrid, España 1997.



▮ **Dureza.**

Las aguas duras son las que tienen muchos minerales como el calcio y el magnesio esta agua se caracteriza por que produce muy poca espuma cuando se junta con el jabón. Otra característica es la cantidad de residuos que dejan en el vaso cuando el agua se evapora. Estos mismos residuos se incrustan en las tuberías e incluso en lavadoras y las estropean más que las aguas blandas. Las aguas duras suelen proceder de fuentes subterráneas en las que el agua ha tenido que atravesar diferentes capas de minerales. La disolución de estos materiales es lo que le proporciona la dureza. La dureza varía entre 10 y 300 ppm de CaCO_3 , pudiendo llegar a 2000 o más Tabla 5.7. Las aguas duras son, por lo general, incrustantes (precipitan), mientras que las blandas suelen ser agresivas (disuelven).

Aguas	Dureza (ppm CaCO_3)
Blanda	< 50
Ligeramente dura	50 – 100
Moderadamente dura	100 – 200
Muy dura	> 200

TABLA 5.7. DUREZA.

▮ **Cloruros.**

El cloro es muy soluble en agua y está presente en la naturaleza. Se estima que 0.045% de la corteza terrestre es cloro. Proviene de la meteorización de rocas ígneas, del lavado de rocas de origen marino y se combina con metales, no metales y materiales orgánicos para formar cientos de compuestos. La concentración de cloro en el agua de lluvia es importante en las proximidades del océano Tabla 5.8.

Aguas	Valores
De lluvia	< 2 ppm (a 200 km de la costa)
Dulces	10 – 250 ppm
Subterráneas	10 – 20 mg/l
Marinas	1,8000 – 21,000 mg/l

TABLA 5.8. CLORUROS.

▮ **Sulfatos**

Proviene del lavado de terrenos formados en ambientes marinos o en condiciones muy áridas y de la oxidación de sulfuros (rocas ígneas y rocas sedimentarias) Tabla 5.9.⁶⁵

AGUAS	VALORES
De lluvia (ambiente rural)	1 – 3 ppm
De lluvia (ambiente urbano)	15 – 30 ppm
De lluvia (zonas industriales)	30 – 45 ppm (oxidación del H_2S procedente de la combustión de combustibles)
Dulces	2 – 150 ppm
Salinas	Hasta 5,000 ppm (asociado a Ca)

TABLA 5.9. SULFATOS.

▮ **Componentes nitrogenados.**

La mayor parte del nitrógeno aparece en forma gaseosa en la atmosfera, aunque existe una fracción importante en suelos y sustancias orgánicas en forma oxidada. Puede aparecer en las aguas subterráneas; debido a su estabilidad, puede encontrarse estratificado en acuíferos libres, con mayores concentraciones en las capas superiores. También proviene de la putrefacción de proteínas de origen animal o vegetal por acción bacteriana Tabla 10.⁶⁵

AGUAS	VALORES
De lluvia	0.3 – 2.5 ppm
Subterráneas	10 – 20 ppm
Cultivos intensivos	\geq 50 ppm

TABLA 5.10. NITRÓGENOS.

▮ **Como se forma la lluvia ácida.**

En la atmósfera se da una multitud de reacciones químicas, muchas de las cuales son producto de la actividad de los seres vivos lo que ocasiona que hasta en un ambiente limpio la lluvia sea ligeramente ácida por los compuestos que de forma natural se encuentran en la atmósfera y se mezclan con ella, formando ácidos débiles con un valor normal de pH de 5.0 a 5.6 para el agua de lluvia.

Los gases lanzados a la atmosfera como dióxido de azufre (SO_2) y óxido nítrico (N_2O), los cuales reaccionan químicamente con el vapor de agua y otras sustancias de la atmósfera forman ácidos sulfúrico (H_2SO_4) y nítrico (HNO_3), dos ácidos fuertes que cuando caen a la superficie mezclados con el agua de lluvia producen una disminución en su pH en un rango de 5 – 1, lo cual es conocido como lluvia ácida Figura 5.4.

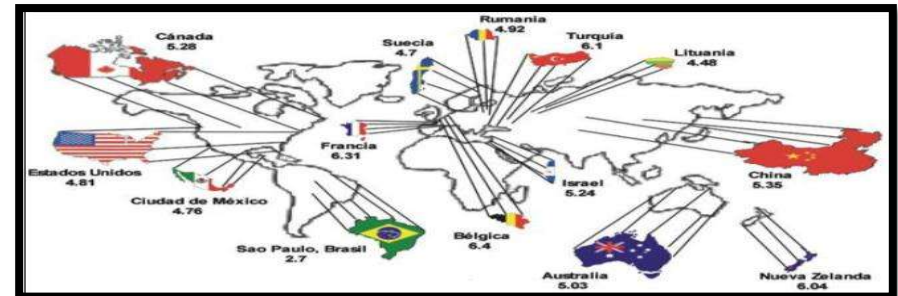


FIGURA 5.4. FORMACIÓN DE LA LLUVIA ÁCIDA.

▮ **Países que afecta la lluvia ácida.**

El fenómeno de la lluvia ácida es un problema a nivel mundial, el cual se presenta tanto en países desarrollados como Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Suecia, Alemania, y Japón, así como también en aquellos en vías de desarrollo, tal es el caso de México.⁶⁶

A continuación se presentan algunos datos del pH del agua de lluvia en diferentes regiones del mundo Mapa 5.1:



MAPA 5.1. PH DEL AGUA DE LLUVIA EN DIFERENTES REGIONES DEL MUNDO.

▮ **Efectos de la lluvia ácida.**

Los efectos de la lluvia ácida, han provocado una acidificación de las aguas en ríos y lagos, dañando a plantas y animales que los habitan; en los bosques afectan principalmente a las plantas haciendo más lento su crecimiento y favoreciendo el ataque de plagas y enfermedades, empobrece los suelos ya que lava los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, al tiempo que libera elementos tóxicos, como el aluminio y el magnesio, que se acumulan en sus tejidos y acaba con microorganismos útiles en los procesos de formación, descomposición y nutrición del suelo.⁶⁶

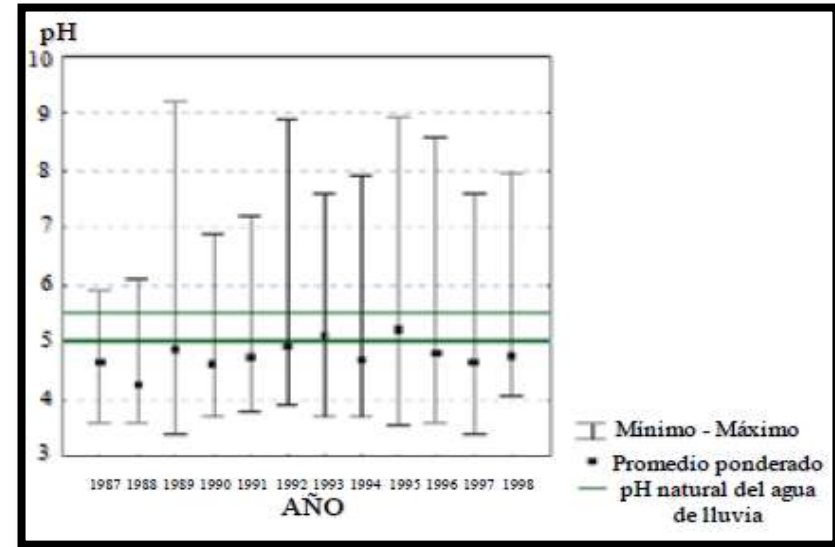
No se ha demostrado aún que la lluvia ácida ocasione efectos directos nocivos en los seres humanos; para que esto sucediera tendrían que presentarse valores de pH en el agua de lluvia muchísimo más bajos de los que actualmente se registran.



Los riesgos potenciales a la salud se encuentran más bien en los contaminantes precursores de la lluvia ácida, es decir, en los óxidos de nitrógeno y de azufre, ya que estudios realizados en otros países han mostrado que exposiciones continuas a estos contaminantes pueden provocar y agravar enfermedades respiratorias y del corazón.

El valor mínimo histórico de pH registrado por el Programa de Precipitaciones Ácidas en la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM), se obtuvo en 1997 y fue de pH de 3.38. Los valores de pH mínimos, máximos y promedios ponderados, en la Ciudad de México de los años 1987 a 1998 se presentan en la Grafica 5.1:

La acidez en el agua de lluvia depende de factores como la química atmosférica, vientos predominantes, intensidad y duración de la lluvia, entre otros, siendo entonces difícil predecir donde caerá y cuál será el valor de su acidez. Dentro de este contexto, pueden registrarse valores de acidez en sitios alejados de centros industriales.



GRAFICA 5.1. PH HISTÓRICO PERÍODO 1987 - 1998

Mapa de las fuentes locales de agua y de sus fuentes de contaminación.

La única manera de saber qué químicos hay en el agua es con una prueba de laboratorio. Y la única manera de asegurar que el agua está libre de químicos tóxicos es evitar que se contamine desde su origen.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, propone hacer un mapa de la comunidad para mostrar dónde se encuentran las fuentes de agua, en relación con los hogares de las personas y las fuentes de contaminación. Un mapa debe también mostrar lugares importantes del terreno, como caminos, calles, casas y otros edificios, granjas, campos, sanitarios, alcantarillas y vertederos. Esto con el fin de conocer los contaminantes que se pueden encontrar en el análisis del agua de lluvia.

5.4 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA

Por el ciclo del agua, el agua de lluvia es la que presenta las mejores características para consumo humano ya que está en contacto con un menor número de contaminantes. Se ha demostrado que aun en comunidades con condiciones inadecuadas, desde el punto de vista sanitario del agua, es posible con un sistema de captación de bajo costo y tratamiento eficiente habilitar el agua para consumo humano en condiciones óptimas con lo que se ha enfrentado la demanda de agua de buena calidad y abatiendo la incidencia de enfermedades derivadas y asociadas a la calidad y disposición de agua.

A continuación se presentaran algunos datos de características físico químicas del agua de lluvia obtenidos de dos estudios realizados, uno por el CIDECALLI y otro por el IMTA y que demuestran que el agua de lluvia es la mejor opción para abastecer de agua en lugares donde ésta es escasa.



▮ **Análisis realizado por el CIDECALLI.**

En el prototipo COLPOS 3, realizado para una planta potabilizadora se realizó el análisis físico químico del agua de lluvia después de potabilizarla para su distribución obteniéndose los resultados de la tabla 20 en la cual se comparan los datos registrados con los límites permisibles de calidad de agua y en la que podemos apreciar que los valores del agua de lluvia son mucho menores que los valores máximos permitidos confirmando que este tipo de agua es de excelente calidad para su consumo.⁷⁰

En la zona norte del estado de Morelos se tienen serios problemas para el abastecimiento de agua para uso y consumo humano, derivados principalmente de las condiciones geográficas y del subsuelo que predomina en la zona, el cual está constituido por materiales permeables que hacen que el agua producto de la precipitación pluvial la cual tiene un rango de entre 800-2,342 mm al año, se infiltre hasta capas impermeables que se encuentran a más de 500 metros de profundidad, lo que hace muy difícil y costosa la extracción del vital líquido.

Agua de lluvia		Límites permisibles
pH	6.9	6.5 – 8.5
Carbonatos	0	300
Bicarbonatos	12	300
Dureza total	2	500
Cobre	< 0.002	1.0
Sulfatos	6	250
Cloro libre	0	1.7
Sólidos totales	16	600
Conductividad	10	-
Amonio	< 0.05	0.07
Hierro	0.014	0.3
Aluminio	< 0.005	0.2

TABLA 5.11. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL AGUA DE LLUVIA ENVASADA.

Por lo cual el IMTA realizó un proyecto, con el objetivo de desarrollar un sistema de captación y tratamiento de agua de lluvia a nivel domiciliario y colectivo para la zona norte del estado de Morelos. El cual se explicará a través de los siguientes puntos: zonas de estudio, metodología y resultados.

Cabe recalcar que la información que se presenta a continuación tiene el objetivo de demostrar la calidad físico – química del agua de lluvia por lo cual las zonas de estudio a las que se hace referencia a continuación solo se utilizarán en este capítulo.

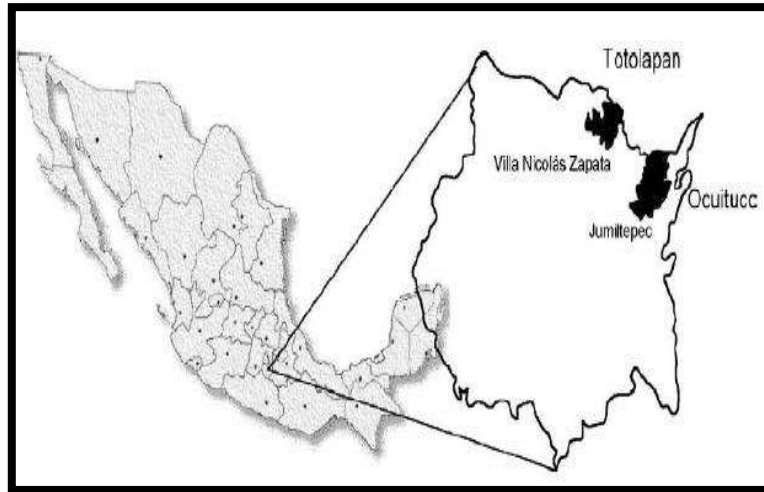
▮ **Zonas de estudio.**

Teniendo en cuenta las limitaciones de infraestructura y la poca gestión en comunidades rurales no servidas por los sistemas centralizados de las grandes ciudades; se seleccionó, diseñó, desarrolló y evaluó a nivel piloto un sistema de tratamiento denominado filtración en múltiples etapas modificada (FIMEM), para tratar el agua de lluvia de las localidades, Villa Nicolás Zapata, municipio de Totolapan y Jumiltepec, municipio de Ocuiltepec, ambos en el Estado de Morelos Mapa 5.2.

El criterio de elección de las dos comunidades en estudio fue con base en un diagnóstico poblacional, socioeconómico, de infraestructura hidráulica y participación social, producto de la información existente y visitas realizadas a 18 comunidades situadas al norte del estado, con una escasez importante de agua para uso y consumo humano Tabla 5.12.⁷¹

⁷⁰ Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, Anaya Garduño, CIDECALLI 2008.

⁷¹ Sistema para la captación y potabilización de aguas pluviales para uso y consumo humano en comunidades rurales del norte del estado de Morelos. 1ª parte. S. Garrido, IMTA 2004.



MAPA 5.2. MAPA, MUNICIPIOS DE CASO DE ESTUDIO.

Localidad	Habitantes (año 2000)	Índice de marginación	Precipitación media anual (mm)	Infraestructura hidráulica existente	Sistema de captación	Participación social
Jumiltepec (Ocuiltepec)	3,704	-0.664 Medio	1,110	Fuente de abastecimiento: pozo profundo y manantial Dos cárcamos de bombeo y dos tanques de almacenamiento de 100 m ³ c/u. Cloración no existe. Redes de conducción y distribución en regular estado, 35 años.	Domiciliario	Excelente
Villa Nicolás Zapata (Totolapan)	293	-0.153 Alto	1,150	No existe sistema de agua potable ni alcantarillado.	Colectivo	Buena

TABLA 5.12. RESULTADO DEL DIAGNÓSTICO EN LAS COMUNIDADES ESTUDIADAS.

Para el caso de Jumiltepec, municipio de Ocuiltepec se diseñó y desarrolló un sistema de captación, conducción, almacenamiento y tratamiento (filtro de arena y grava) del agua de lluvia captada en el techo de la iglesia de la comunidad. Este sistema abastecerá de agua al párroco, a la familia conformada por siete personas, que habitan junto a la iglesia y para los servicios necesarios para la iglesia y feligreses, durante los meses de estiaje.

El sistema consiste en captar el agua de lluvia en el techo de la iglesia Sacro Monte de la localidad, con área de captación de 225 m². El agua captada será conducida por una tubería de lámina galvanizada de 4 pulgadas y por gravedad hasta un filtro de arena y grava cuya granulometría va desde un diámetro mayor a 65 mm hasta 0.28 mm y una altura de 0.6 m, para eliminar basura, hojas de árboles, ceniza volcánica y partículas suspendidas que pudiera recoger el agua al estar en contacto con el techo. Una vez filtrada el agua de lluvia será conducida a una olla de almacenamiento de 228 m³ de capacidad recubierta con geomembrana de 1.2 mm de grosor Imagen 5.1.⁶⁸

Los muros y la losa del sistema serán de 20 cm de espesor y se construirán con concreto reforzado. El canal Parshall será fabricado en placa de acrílico de 6 mm de espesor. Vertedores y canaleta de distribución serán de lámina galvanizada calibre 12.

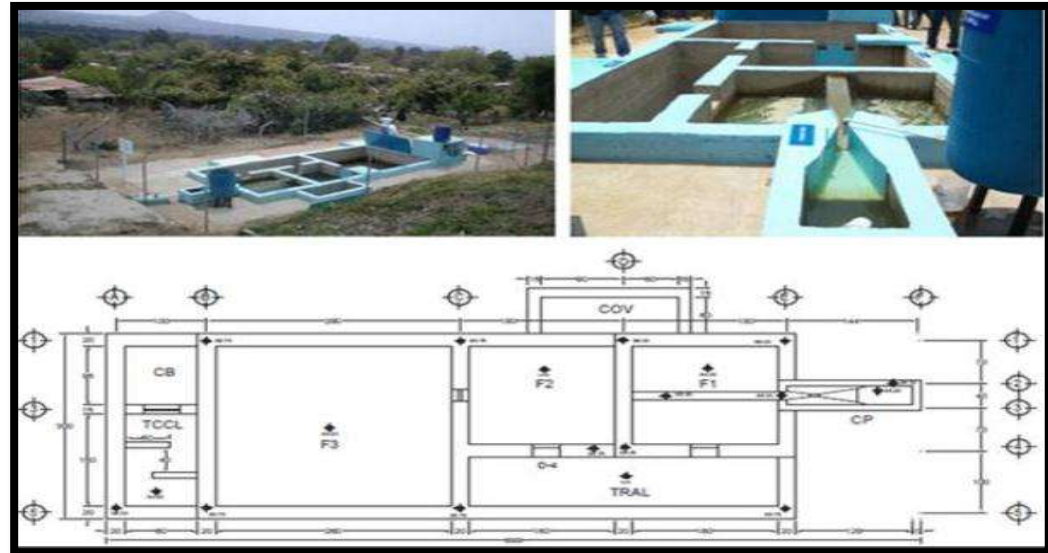


IMAGEN 5.2. SISTEMA FIMEM, PLANTA GENERAL Y EJES DE TRAZO.

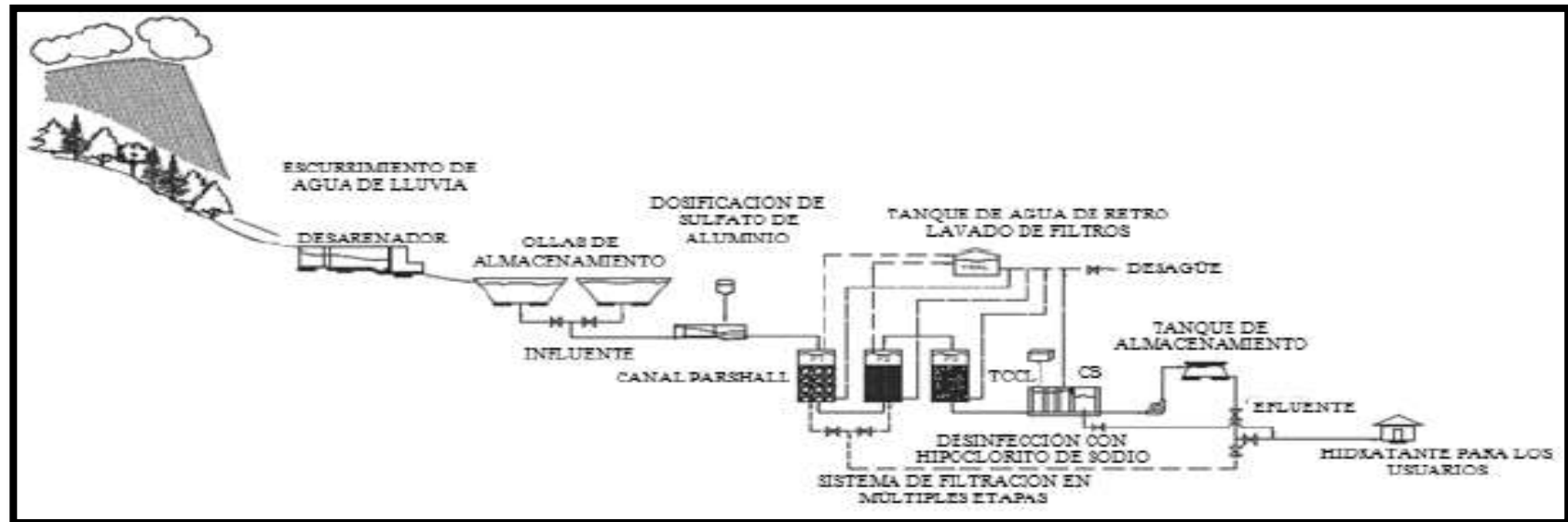


FIGURA 5.5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA FIMEM.

Metodología

Se analizaron dos puntos de muestreo en tres fechas diferentes. El primero de ellos fue al agua de lluvia captada del techo de la iglesia de la comunidad y el segundo fue para el agua de lluvia del sistema colectivo, Villa Nicolás Zapata. Los análisis físico-químicos y microbiológicos se realizaron según las Normas Mexicanas.

Para evaluar la eficiencia de eliminación de turbiedad y color principalmente se realizaron 2 pruebas de laboratorio las cuales se describen a continuación:

1. Prueba de jarras Imagen 5.3: se realizó en jarras de 2 litros. para obtener tipo y dosis de coagulante y pH óptimo para el agua.
2. Sistema de filtración en múltiples etapas modificado (FIMEM): este concepto implica tener más de una etapa de tratamiento. Estas etapas eliminan progresivamente los contaminantes para producir agua de buena calidad. Cada una de estas etapas puede diferir en los mecanismos y eficiencias en la eliminación de contaminantes (Galvis et al., 1998).

En la FIMEM se adoptaron dos unidades de filtros gruesos (F1 y F2) y una unidad de filtro lento de arena (F3). Las características hidráulicas y granulometrías se encuentran en las tablas 5.13 y 5.14.⁶⁸



IMAGEN 5.3. PRUEBA DE JARRAS.

Parámetro	F1	F2	F3
Volumen (m ³)	0.0057	0.0057	0.0139
Velocidad filtración (m/h)	0.75	0.75	0.31
Gasto (l/d)	115.35	115.35	115.35
Area superficial (m ²)	0.0064	0.0064	0.0154
Profundidad del lecho (m)	0.9	0.9	0.67
Tipo de medio	Grava	Grava	Arena

TABLA 5.13. PARÁMETROS DE DISEÑO DE LAS UNIDADES DE FILTRACIÓN.

En general, el filtro F1 se operó como floculador de lecho de grava, descendente, eliminando el material más pesado o de mayor tamaño y sólidos suspendidos; gradualmente se va avanzando hacia el filtro, F2, en la eliminación de sólidos más pequeños del tipo coloidal y, por último, en el filtro F3 se puede incluir la eliminación de los microorganismos, para finalizar en la desinfección. El proceso de coagulación y floculación se efectúa en el filtro F1.

Filtro	Espesor (mm)	Material	Diámetro (mm)
F1	45	Grava	6.3 - 13
	15	Grava	13 - 19
	30	Grava	19 - 25
F2	45	Arena	1.68 - 3.36
	15	Gravilla	3.36 - 6.3
	15	Grava	6.3 - 13
	15	Grava	13 - 19
F3	70	Arena silica	0.425 - 0.28
	15	Arena	1.68 - 3.36
	10	Gravilla	3.36 - 6.3
	10	Grava	6.3 - 13

TABLA 5.14. GRANULOMETRÍA DE LAS UNIDADES DE FILTROS.

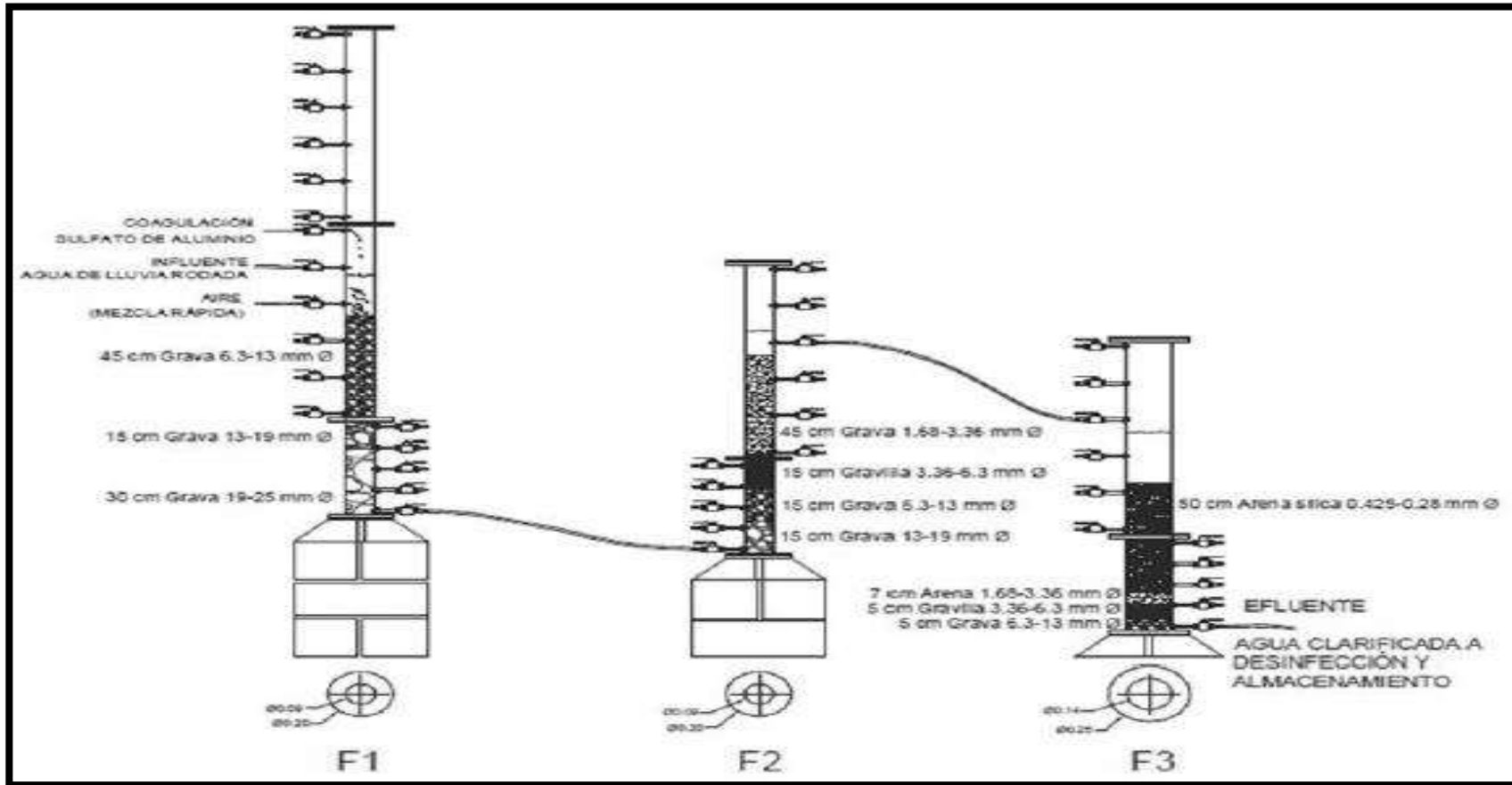


FIGURA 5.6. SISTEMA DE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS MODIFICADA (FIMEM).

Resultados.

Para la prueba de jarras el coagulante que dio mejor resultado fue el $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ al 1%, con una dosis de 30 mg/l, con un pH de 9.1 ajustado con $Ca(OH)_2$, 1N, para el agua de lluvia de Villa Nicolás Zapata. La eficiencia se determinó mediante los porcentajes de eliminación de turbiedad 97.96% y color aparente 97.96%. Se obtuvo un efluente con un pH de 6.77 y concentraciones de Al y Fe de 0.14 y 0.05 mg/L respectivamente.

El sistema de filtración se evaluó de la siguiente manera:

1. Sin adición de coagulante.
2. Con adición de $Al_2(SO_4)_3$ según las condiciones óptimas establecidas en la prueba de jarras.



En la evaluación del proceso sin coagulante se tomaron como base tres parámetros de control de fácil manejo que son color, turbiedad y pH. Los valores promedios de la calidad del agua en el efluente se presentan en la tabla 5.15. La duración de la carrera de filtración fue de treinta horas.⁶⁸

Parámetro	Agua cruda	F1-F2	F3	Porcentaje de eliminación (%)
Color (UPt-Co)	1,253	894	977	22.03
Turbiedad (UTN)	187	146	151	19.25
pH	6.36	7.45	7.02	-

TABLA 5.15. CALIDAD DEL EFLUENTE Y EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO.

Como se observa en la tabla 23 el porcentaje de eliminación del color es de 22.03%, la presencia de esta característica física se debe a materia orgánica disuelta durante el recorrido del agua pluvial. Los causantes de la turbiedad en el agua son las partículas en suspensión, tales como arcilla, minerales, sedimento, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos; la eficiencia de remoción en este experimento es de 19.25%. Como puede apreciarse, las eliminaciones son bajas, razón por la cual se considera necesario aplicar un coagulante para aumentar la eficiencia del tratamiento y mejorar la calidad del agua.

En la evaluación del proceso aplicando coagulante se recomienda en caso de que el agua tenga una turbiedad mayor de 120 UTN y color verdadero mayor a 25 UPt-Co, para prevenir la colmatación de los lechos de arena o ambientes desfavorables para la actividad microbiológica (Galvis et al., 1998).

Se realizaron cinco experimentos, de los cuales se describe el que se llevó a cabo el día 2 de marzo del 2005, con una carrera de filtración de 127 horas. La turbiedad en el efluente fue de 5.20 UTN, el color aparente de 43 UPt-Co y un pH de 7.27, a las 127 h. Obteniéndose una eficiencia de eliminación para la turbiedad de 94.5% y para el color del 93.3%, con los que se asegura una calidad de agua buena antes de ser desinfectada.

Con respecto a la concentración de Fe y Al en el efluente fue de 0.05 mg/L y 0.14 mg/L, el porcentaje de eliminación fue de 94.3% y 68.54% respectivamente.

La materia orgánica disuelta asociadas con la eliminación de color es reportada normalmente como baja, del orden del 25 al 30% (Cleasby et al., 1984; Collins, 1985). Para este caso se tiene una concentración en el efluente de 1.90 mg/L, lo que no presenta un riesgo potencial de tipo crónico con los subproductos de la desinfección con cloro en presencia de este tipo de materia orgánica.⁶⁸

En la Tabla 5.16 se comparan los datos obtenidos con los límites permisibles por las normas mexicanas para la calidad del agua NOM-127-SSA1-1994.

Parámetro	Unidades	Norma Mexicana	Jumiltepec	Villa Nicolas Zapata
Físicos				
Color verdadero	UPt – co	20	7.5	0.16
Turbidez	NTU	5	30	5.20
Total de sólidos en suspensión	mg/L		1.5	
Químicos				
pH	En unidades de pH	6.5 – 8.5	6.17	7.04
N-NH ₃	mg/L	0.5	0.17	0.45-0.13
Dureza total	mg/L	500		23.5
Sodio	mg/L	200		<5.0
Aluminio	mg/L	0.2	0.11	0.14
Hierro	mg/L	0.3	0.05	0.05
Cloro residual	mg/L	0.2 a 1.5		0.25
Carbono orgánico total	mg/L		3.58	4.07 - 3.76
Microbiológicos				
Coliformes totales	NMP 100 mL	Ausente	4.95	Ausencia
Coliformes Fecales	NMP 100 mL	Ausente	3.91	Ausencia

TABLA 5.16. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA DE DIFERENTES COMUNIDADES.

Para el caso particular de Villa Nicolás Zapata se obtuvo un mayor número de datos ya que al ser un dispositivo para una planta potabilizadora el tratamiento es más complejo que el caso de Jumiltepec, en el cual los parámetros en los que se encuentra deficiencia del tratamiento son los relacionados a la materia orgánica, para los que se recomienda utilizar la desinfección con cloro.

El tratamiento de filtración se considera adecuado y en caso de requerir mayor eficiencia para los parámetros de turbiedad, color y pH se recomienda utilizar algún coagulante.

Se puede concluir que la calidad de agua de lluvia a nivel domiciliario en general es buena, ya que el mayor número de parámetros están dentro e inclusive son mucho menores que los límites permisibles por la norma mexicana.

5.4.1 DESINFECCIÓN DEL AGUA DE LLUVIA

Dependiendo de la calidad del agua que ingresa al sistema de filtros pueden ser adecuados para alcanzar la potabilización. Sin embargo, con el elemento filtrante se proporcionará agua limpia pero no segura, por lo tanto siempre es necesario asegurar la misma con otro medio extra. Recurriendo a la desinfección química, la ebullición o los rayos UV.

Los métodos que se elijan para purificar el agua dependerán de cuánta agua necesite, del tipo de contaminante, de cómo la almacenará y de los recursos disponibles independientemente de cómo se purifique, lo mejor es filtrar el agua o dejar que se asiente y vaciarla en otro recipiente antes de desinfectarla.

El agua contaminada con químicos tóxicos nunca es segura para beber, bañarse o lavar ropa, ya que puede provocar cáncer, salpullido, abortos espontáneos u otros problemas de salud. Los métodos que aquí se muestran figura 5.7 no hacen el agua potable si contiene químicos tóxicos.

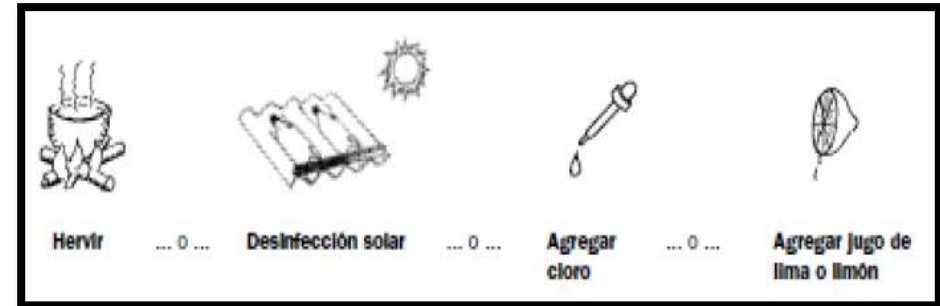


FIGURA 5.7. MÉTODOS DE DESINFECCIÓN.

Estos métodos básicos para purificar el agua necesitan poco equipamiento o incluso no lo necesitan, a excepción de la cloración en la cual es recomendable utilizar dosificadores para un mejor uso.

5.4.2 DESINFECCIÓN QUÍMICA

Obedece a la eficacia del combate a las bacterias, microorganismos y materia orgánica y a su poder residual, que mantiene el agua en óptimas condiciones en la distribución del agua hasta los grifos. Para la desinfección y la purificación se puede usar yodo o diversos compuestos del cloro.

El cloro es el desinfectante más utilizado, es barato y normalmente se consigue con facilidad. La desinfección requiere atención regular; de poco sirve si ésta no es absolutamente fiable. Mientras que el agua clara sólo hay que clorarla, en el caso del agua turbia hay que dejar que se sedimente y/o se filtre antes de su desinfección química. La cloración debe hacerse después de los procesos de sedimentación o filtrado. Para que surta efecto, es necesario que transcurran como mínimo 30 minutos.



Habrá que llevar a cabo un estricto control de cualquier proceso de desinfección química y, sobre todo, deberá analizarse el agua, después de cada desinfección y antes de su distribución, para comprobar la cantidad de residuos químicos que todavía contiene. Después de la cloración, y una vez que el cloro ha hecho su efecto (unos 30 minutos después de añadirlo), deben quedar en el agua al menos 0.5 mg/l de cloro activo libre en la solución (0.5 partes por millón); en otras palabras, el suficiente para seguir matando bacterias. Cuando la cantidad de cloro activo libre que queda es superior a 0.5 partes por millón, es posible que las personas se nieguen a beber esa agua; ya que tiene un sabor desagradable y puede además provocar un efecto contrario al deseado.⁵³

▮ **Dosificación de cloro.**

Es muy importante aplicar la dosis necesaria de cloro, que va a depender de la calidad del agua, de su pH y del grado de limpieza de los aljibes. Si se aplica de más puede producir desde trastornos digestivos hasta graves afecciones a la salud, si se aplica de menos no va a garantizar un agua segura para el consumo.

Se recomienda utilizar un juego de reactivos con escala de colores, que nos permitirá obtener la dosis adecuada en el caso de no contar con un dosificador (Figura 5.9):



FIGURA 5.8. EQUIPO DE REACTIVOS PARA CLORO Y PH MÁS UN RECIPIENTE GRADUADO EN CM³.

Para tomar la muestra y conocer la cantidad de cloro se pondrá en una botella plástica, convenientemente enjuagada, a la botella de 1 litro se le agrega 1 gota de cloro. Se deja reposar 15 minutos a ½ hora para que actúe el cloro y luego se introduce la muestra de agua en el lado izquierdo del comparador agregándole las gotas de Orthotolidina (líquido amarillo) que dice el instructivo del comparador (en este caso 4 gotas).⁷²

Una vez hechos estos pasos se agita el comparador tapándolo en la parte superior y se compara el color del líquido en los tubitos con la tabla de colores. Si el tubo izquierdo da un color amarillento fuerte quiere decir que la dosis de cloro es excesiva, por lo cual hay que disminuir la misma hasta que el color sea amarillo tenue. Por el contrario, si no se aprecia el color amarillo tenue (no tiene color) quiere decir que la dosis no es suficiente y se hace el mismo procedimiento, incrementando las gotas de cloro hasta que el color en el comparador sea el adecuado (amarillo tenue).

Como un dato adicional, también se puede saber el pH haciendo el mismo procedimiento que con el cloro, pero en el lado derecho del comparador, usando el líquido rojo, para que el cloro actúe óptimamente es deseable que el pH se acerque a 7.

▮ **Tiempo y cantidad de cloración**

Se recomienda cada 30 días checar con el comparador si todavía hay cloro residual. Esto último es sencillo, ya que se coloca en el comparador el agua del aljibe sin agregar cloro, se aplica el reactivo y se ve si todavía hay cloro residual.

Si no se visualiza el color amarillo tenue quiere decir que hay que buscar la dosis necesaria a agregar en ese momento. Ese chequeo debe hacerse en los aljibes pues el cloro después de un cierto tiempo va perdiendo su efecto desinfectante por combinaciones químicas, por la luz y por la

⁷² Uso y mantenimiento de los aljibes, capacitación en agua potable. Basán Nickisch. INTA, Argentina 2008.



temperatura. Si se producen lluvias también hay que controlar con el comparador para ver si no precisa una nueva dosis de cloro (no esperar a que se cumplan los 30 días).

Lo mismo si se recarga los aljibes con agua de la siguiente precipitación u otra fuente, siempre será importante la reposición de la suficiente cantidad de cloro para no quedarse sin desinfectante.⁶⁹

En la tabla 5.17 se muestra un ejemplo de la cubicación de cloro para su aplicación considerando un aljibe de 15,000 litros con un diámetro de 2.60 m, además de que se considera 1 gota de cloro por litro, asumiendo que hay 20 gotas en 1 cm³. Una vez obtenidas las gotas necesarias de cloro por litro de agua se puede realizar la tabla 45 donde figura en la primera columna la altura de agua, en la segunda columna el volumen de agua que tiene el aljibe y en la tercera columna la dosis necesaria de cloro para la desinfección en cm³, y en la cuarta columna la dosis de cloro en litros.

Se mide la altura de agua en el aljibe para lo cual se recomienda marcar en el interior del aljibe una regla que nos proporcione la cantidad de agua que éste contiene y con este dato se calcula el volumen de agua que tiene el aljibe y en base a eso se saca la cantidad de cloro que hay que colocar.

Para la desinfección de superficies en contacto con alimentos, se recomienda utilizar soluciones que contengan 1 gr de cloro por litro de agua de concentración.

La aplicación de cloro asegura al 100 % la eliminación de la contaminación bacteriana pero tiene la desventaja de que una inadecuada dosificación elevada produciría una reacción química ocasionando graves enfermedades a los consumidores y, por lo contrario, si es baja no produciría el efecto de desinfección, además de que la aplicación del cloro, como acto en sí mismo, requiere de extremo cuidado para evitar intoxicaciones.

La ebullición es el método más seguro de esterilización del agua. En lugares de baja altitud, basta llevar el agua al punto de ebullición para destruir todos los agentes patógenos. Sin embargo, la ebullición debe prolongarse un minuto por cada 1,000 metros de altitud sobre el nivel del mar, ya que el punto de ebullición disminuye con la altitud. A menudo se recomienda una ebullición constante y prolongada, aunque no es preciso tanto para destruir los agentes patógenos transmitidos por vía feco-oral; eso significará un gasto excesivo de combustible. Es posible que, a largo plazo, el abastecimiento de combustible doméstico resulte el factor más determinante, ya que para hervir un litro de agua se requiere alrededor de 1 kg de leña elevando los costos. Sin embargo, si los habitantes están acostumbrados a hervirla y pueden seguir haciéndolo, se les debe animar a ello, ya que, al menos al principio, esto puede reducir la urgente necesidad de llevar a cabo otro tipo de tratamientos.⁵³

Altura de agua (m)	Volumen (litros)	Cloro (cm ³)	Cloro (litros)
0.05	265	13	0.013
0.10	531	27	0.027
0.15	796	40	0.040
0.20	1062	53	0.053
0.25	1327	66	0.066
0.30	1593	80	0.080
0.35	1858	93	0.093
0.40	2124	106	0.106
0.45	2389	119	0.119
0.50	2655	133	0.133
0.55	2920	146	0.146
0.60	3186	159	0.159
0.65	3451	173	0.173
0.70	3717	186	0.186
0.75	3982	199	0.199
0.80	4247	212	0.212
0.85	4513	226	0.226
0.90	4778	239	0.239
0.95	5044	252	0.252
1.00	5309	265	0.265
1.05	5575	279	0.279
1.10	5840	292	0.292
1.15	6106	305	0.305
1.20	6371	319	0.319
1.25	6637	332	0.332
1.30	6902	345	0.345
1.35	7168	358	0.358
1.40	7433	372	0.372
1.45	7698	385	0.385
1.50	7964	398	0.398
1.55	8229	411	0.411
1.60	8495	425	0.425
1.65	8760	438	0.438
1.70	9026	451	0.451
1.75	9291	465	0.465
1.80	9557	478	0.478
1.85	9822	491	0.491
1.90	10088	504	0.504
1.95	10353	518	0.518
2.00	10619	531	0.531

TABLA 5.17. PROPORCIÓN DE CLORO.

5.4.3 DESINFECCIÓN POR EBULLICIÓN

La ebullición es el método más seguro de esterilización del agua. En lugares de baja altitud, basta llevar el agua al punto de ebullición para destruir todos los agentes patógenos. Sin embargo, la ebullición debe prolongarse un minuto por cada 1,000 metros de altitud sobre el nivel del mar, ya que el punto de ebullición disminuye con la altitud. A menudo se recomienda una ebullición constante y prolongada, aunque no es preciso tanto para destruir los agentes patógenos transmitidos por vía feco-oral; eso significará un gasto excesivo de combustible. Es posible que, a largo plazo, el abastecimiento de combustible doméstico resulte el factor más determinante, ya que para hervir un litro de agua se requiere alrededor de 1 kg de leña elevando los costos. Sin embargo, si los habitantes están acostumbrados a hervirla y pueden seguir haciéndolo, se les debe animar a ello, ya que, al menos al principio, esto puede reducir la urgente necesidad de llevar a cabo otro tipo de tratamientos.⁵³

5.4.4 DESINFECCIÓN SOLAR

La desinfección solar es un método de tratamiento del agua de muy fácil aplicación que aprovecha la radiación solar para mejorar la calidad bacteriológica del líquido.

Este método de desinfección consiste en llenar botellas transparentes con agua, agitarlas manualmente, taparlas y posteriormente colocarlas en un lugar donde reciban los rayos solares (de preferencia sobre una superficie reflectante, tal como una lámina) durante aproximadamente seis horas o en caso de días nublados, durante dos días. Durante el tiempo de exposición, la radiación ultravioleta (UV) emitida por el sol, sumada al incremento de la temperatura del agua, elimina las bacterias patógenas presentes en ella. La desinfección solar requiere agua relativamente clara con turbiedad menor a 30 Unidades de Turbidez Nefelométricas (NTU) y no es útil para el tratamiento de grandes cantidades de agua.

Entre las principales ventajas que ofrece este sistema se tiene, fácil de aprender, de fácil acceso ya que los materiales necesarios para la aplicación de este método se encuentran disponibles en las comunidades beneficiadas, es de bajo costo solamente requiere energía solar y botellas de plástico transparentes, es efectiva la calidad del agua que se logra es prácticamente la misma que con otros métodos, no cambia el sabor del agua, debido a que no intervienen sustancias químicas en su tratamiento.

- ▶ Descripción de los componentes del sistema.
- ▶ Superficie reflectante: para poner el sistema de desinfección solar en funcionamiento.
- ▶ Botella para tratamiento: se requiere una botella limpia y transparente con un volumen de entre uno y dos litros. Es preferible utilizar botellas de plástico, pues son menos delicadas que las de vidrio, además de ser más accesibles en las comunidades rurales Figura 5.4.
- ▶ La utilización de superficies que retengan calor debajo de las botellas que contienen el agua por desinfectar mejora significativamente la eficiencia del sistema. Con este propósito, pueden utilizarse láminas corrugadas de zinc o simplemente una superficie oscura.



IMAGEN 5.4. DESINFECCIÓN CON RAYOS UV.



5.5 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS SCALL

Operación

La operación de los sistemas SCALL es muy sencilla e individual primero el agua de lluvia cae sobre las áreas de captación guiando el agua captada a canaletas que recogen y conducen el agua hacia un sistema interceptor el cual elimina las primeras aguas con basura, sedimentos y materiales indeseables, el cual se cierra de forma manual o automática y envía el agua hacia un dispositivo de filtrado antes de entrar al dispositivo de almacenamiento. A partir de este punto el sistema puede utilizar un sistema automático de bombeo el cual bombea el agua desde las cisternas de almacenamiento ubicadas en cada vivienda hacia el tanque elevado de distribución, en el caso de que la cada vivienda cuente con varias cisternas a fin de poder suplir la demanda de agua durante el periodo de sequía, al vaciarse una de ellas, se debe instalar la bomba manual en la siguiente cisterna y continuar con este proceso hasta que se inicie la próxima temporada de lluvias y se recarguen nuevamente las cisternas.

Mantenimiento

Cada familia beneficiada con los sistemas SCALL, es la encargada de realizar las actividades necesarias para operar y mantener en buenas condiciones el sistema. Una de las principales ventajas de los sistemas es el poco mantenimiento que necesitan, sin embargo es importante seguir los siguientes consejos a fin de mantener en buen estado del sistema asegurando su eficiencia:

Área de captación (techo) y canaletas:

- Controlar el buen estado y limpieza de estos sectores, sobre todo cuando se acerca el período de lluvias.
- Limpia el tanque y el tubo de entrada antes de la temporada de lluvias.
- La limpieza periódica de los tejados durante acontecimientos extendidos de lluvia mejora la calidad del agua.
- Es importante evitar en lo posible que en el área del techo no caigan hojas o excremento de las aves; en este caso es necesario limpiar las canaletas continuamente antes de canalizar el agua al tanque de almacenamiento.

Decantadores:

- Periódicamente vaciarlos y limpiarlos, desinfectándolos con lavandina.
- Deja que la primera lluvia escurra por el tanque de captación para que lo limpie.
- Manera de llenar el tanque: cuando se inician las lluvias se debe retirar el tapón del desvío de PVC de las primeras aguas. Esto permite que toda suciedad del techo caiga en el piso o al sistema de drenaje. Cuando se esté seguro de que el agua de lluvia que está llegando al desvío está limpia, se coloca el tapón. Entonces el agua limpia empezará a fluir al tanque.

Filtros de arena.

- Tratamiento: es necesaria que el agua retirada y destinada al consumo directo de las personas sea tratada antes de su ingesta. El tratamiento debe estar dirigido a la remoción de las partículas que no fueron retenidas por el dispositivo de intercepción de las primeras aguas, y en segundo lugar al acondicionamiento bacteriológico.
- Para el medio rural y por cuestiones económicas, es suficiente un filtro a base de grava, arena y carbón activado para obtener agua apta para uso doméstico seguida de la desinfección con cloro o cualquier otro proceso de desinfección.



- *Periódicamente controlar y si es necesario limpiarlos/rellenar los primeros 5 cm de arena.*
- *Después de algunos días de uso, una capa de lama verde (bacterias y algas) crecerá encima de la arena. Esta capa ayuda a purificar el agua. Para que esta capa funcione, la arena debe siempre estar cubierta con agua. Llène el filtro cada día y saque el agua en pequeñas cantidades. Si el filtro se vacía completamente, perderá su efectividad y deberá limpiarse y volverse a llenar.*
- *La limpieza del filtro se hace raspando unos pocos centímetros de la parte superior del lecho filtrante y reiniciando luego el proceso de filtración.*
- *Cada cierto tiempo, cuando la salida de agua por la llave se vuelva lenta, limpie el filtro. Deje que toda el agua salga del filtro y quite la lama junto con aproximadamente 1 centímetro de la capa superior de arena. Después de muchas limpiezas, cuando más de la mitad de la arena se haya retirado, reemplace toda la arena y la grava con materiales nuevos y limpios, y empiece de nuevo el proceso. Esto puede ser necesario 1 ó 2 veces al año.*
- *Si se asientan los sólidos del agua antes de filtrarla, el filtro necesitará menos mantenimiento porque el agua estará más limpia al momento de entrar. Si se deja que el agua fluya como cascada, se agregará aire al agua y mejorará el sabor.*

Aljibes:

- *Controlar el nivel de agua de los aljibes con una regla graduada, de tal manera que si se llega a valores críticos hay que solicitar reposición de agua segura.*
- *Controlar la descarga de agua a los aljibes de los camiones o tractores cisterna, medir la altura de agua antes y después de la descarga.*
- *Controlar el cierre hermético de la tapa superior y el estado de la tela mosquitero del tubo de excedencias de los aljibes para que no entren insectos, hojas o tierra.*
- *Es muy importante concientizarse que el sector de los aljibes debe estar lo más limpio posible (sin bolsas de residuos, basura ni cualquier otra cosa que pueda contaminar la fuente de agua).*
- *A los aljibes se sugiere hacerles una limpieza total anual, desinfectándolos con lavandina. Si los filtros de arena funcionan bien, con el mantenimiento adecuado, este período se puede extender a varios años.*
- *Asegúrate de que el agua se saque por medio de llaves y no con cubetas u otros recipientes que se tengan que meter a la cisterna porque esto contaminaría tu agua.*
- *Trata de no agitar o mover el agua para que, en caso de haber tierra o microbios se mantengan en el fondo.*
- *En caso de agotarse el agua del tanque, es importante colocar un control automático o manual que conectará el tanque al agua de la red.*
- *Es preferible utilizar almacenamientos enterrados sin luz ni calor, para conservar el agua almacenada en perfectas condiciones.*

Desinfección del agua.

- *Recuerda aunque el agua se vea limpia, es necesario que realices un tratamiento que elimine los organismos patógenos, que no se ven a simple vista y que pueden causarte enfermedades gastrointestinales si consumes el agua sin hervir, clorar o cualquier otro método para potabilizar el agua que consumirás.*
- *La cloración mantiene el agua en óptimas condiciones en la distribución del agua hasta los grifos.*
- *Cada familia beneficiada con los sistemas SCALL, es la encargada de realizar las actividades necesarias para la desinfección del agua, las cuales en el caso de la desinfección solar consisten en lavar bien tanto las botellas como sus respectivas tapas después de cada uso;*



de lo contrario, la efectividad del sistema disminuirá. También es necesario mantener despejado el lugar donde estarán expuestas las botellas, a fin de que estas reciban de manera constante y directa los rayos del sol.

- *En el caso de la cloración se puede lograr con facilidad relativa agregando un dispositivo medidor de cloro simple al extremo del tanque o del depósito, o colocando una lámpara UV.*

■ **Generales.**

- *Asegurarse que los materiales utilizados en el sistema no contengan o desprendan residuos o contaminantes al contacto con el agua e incrementen el costo del tratamiento para obtener un producto de calidad.*
- *En el caso de materiales de concreto se deben limpiar antes de impermeabilizar; si son de lámina galvanizada o asbesto se recomienda revisar si tienen algún deterioro y en su caso sustituirlos por otros antes de su impermeabilización. Además, se requiere asegurar y verificar que sus estructuras soporten el peso de las canaletas más el agua de lluvia.*



6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Frente a los cambios físicos ambientales, motivados por el calentamiento global es importante cuidar al máximo los recursos hídricos con tecnologías alternativas que sean de bajo costo y que faciliten su implementación.

La utilización de sistemas de captación de agua de lluvia traen consigo benéficos muy grandes en poblaciones que carecen de un sistema de abastecimiento de agua potable automatizado además de mejorar su calidad de vida. Su principal desventaja de funcionamiento es que dependen de la temporada de lluvias y de la intensidad con que estas se presenten.

La utilización de los SCALL se ha convertido ya en una necesidad y deberán de ser considerados en cualquier obra de edificación como un sistema alternativo de abastecimiento de agua potable.

El SCALL en lugares urbanos podría no cumplir con su objetivo cuando la dotación requerida es muy grande como es el caso de universidades, escuelas o centros de salud en los cuales el sistema debe ser considerado como complementario y cubrir la mayor cantidad de la dotación de agua requerida por medios de los SCALL en tiempo de lluvias y la dotación faltante por los medios de distribución de agua ya establecidos.

Si se utilizaran todos los sistemas de captación de agua de lluvia en conjunto como un sistema integral de gestión del agua como el que se pretende utilizar en Sevilla, España se podrían lograr muchos beneficios entre los cuales se encuentran: proteger los sistemas naturales y mejoran el ciclo del agua en entornos urbanos, reducir volúmenes de escorrentía y caudales punta procedentes de zonas urbanizadas minimizando el costo de las infraestructuras de drenaje al mismo tiempo que aumenta el valor del entorno y solucionar la incapacidad hidráulica de la red de colectores convencional debida al crecimiento urbano no previsto en las fases de planificación de la misma, con esto puede evitarse la necesidad de incrementación de la red convencional o el hecho de tener que asumir inundaciones más frecuentes. Así mismo restaurar la sobreexplotación de acuíferos en un mediano y largo plazo almacenado en el subsuelo los escurrimientos superficiales no regulados controlando de alguna manera las inundaciones provocadas por la presencia de gastos extraordinarios, también se evita la contaminación del agua debido al arrastre de materiales como aceites o desechos inorgánicos, también se pueden reducir los costos en los recibos de agua y de luz al disminuir la cantidad de agua que se tiene que bombear por el sistema de agua potable entre otros.

Por otro lado el agua de lluvia comúnmente solo es utilizada para el riego, desperdiciando millones de litros de agua, por esta razón es necesario descartar el uso del agua de lluvia únicamente en riego y utilizarla para las diversas actividades humanas ya sean de uso personal, domestico o productivo ámbito en el cual se cuenta con grandes áreas de techado en fabricas, bodegas, escuelas, etcétera. Las cuales servirían adecuadamente para captar cantidades considerables de agua de lluvia.

6.2 RECOMENDACIONES

Al hacer el análisis de algunos casos de SCALL aplicados se encontró que al inicio de la implementación de estos sistemas la capacidad de almacenamiento, proveía de agua a las familias beneficiadas hasta 5 o 10 días después de finalizar la temporada de lluvias. Pero estudios más recientes demostraron que esas mismas familias aprendieron a utilizar más racionalmente el agua consiguiendo un abastecimiento de agua de hasta



40 días después de la temporada de lluvias con una dotación de aproximadamente 25 l/hab/día. Por lo cual es recomendable brindar capacitación a las familias respecto al uso eficiente del agua para obtener buenos resultados y mayor número de días de abastecimiento de agua por este medio.

Un punto importante para zonas rurales que se debe de establecer es que al terminar la temporada de lluvias y en caso de no existir el volumen de agua requerido en el tanque el agua que reste debe ser utilizada para los servicios más indispensables como lo es su consumo.

Una recomendación importante sería dividir los tanques de almacenamiento en dos secciones por dos motivos, el primero para que el agua que se encuentra almacenada y que ya tenga una cantidad de cloro para su desinfección, para que no se combine directamente con el agua de la siguiente precipitación y llevar un mejor control de la calidad del agua, y segundo para que la primera sección sirva como sedimentador en el caso de que el sistema de filtrado permita pasar partículas pequeñas e indeseables. Por lo que se recomienda limpiar y desinfectar periódicamente los componentes del sistema.

Los sistemas de tratamiento a través de filtración lenta en arena se pueden considerar excelentes ya que consiguen buenos resultados de hasta el 100% de remoción de los materiales indeseables, proporcionando buen color, olor y sabor del líquido. Y se ha podido demostrar que si comparamos los valores obtenidos por el IMTA y el CIDECALLI en los cuales estos valores son menores a los valores máximos permitidos por las normas mexicanas. Pero en el caso de que esta agua captada se ingiera siempre es recomendable utilizar alguno de los procesos sugeridos como hervir el agua, la aplicación de cloro o en su caso los rayos UV.

Para mejorar la calidad del agua se recomienda que los filtros lentos de arena contengan agua e inicien su funcionamiento de 2 a 3 semanas antes de la temporada para asegurar que el elemento biodegradable llamado "schmutzdecke" se forme con anticipación y proporcione agua de mejor calidad sin virus ni bacterias.

Antes de proyectar el SCALL es necesario determinar los usos que se le darán a esta agua como consumo doméstico, humano, de riego o animal, ya que esto ayudara a determinar la capacidad del tanque y el tipo de tratamiento que se requiere para la calidad del agua.

Es importante utilizar el agua de lluvia al máximo y en zonas con alta precipitación es importante el tamaño del sistema de almacenamiento ya que si este no es capaz de almacenar una buena cantidad de agua se desperdiciarán muchos litros. Por lo cual se recomienda en estos casos utilizar este tipo de agua en el mayor número de consumos evitando así un sobredimensionamiento del tanque que solo encarecería el sistema, o en su caso construir tanques interconectados que contengan estos excedentes.

Otra opción para los excedentes de agua captados y evitar que estos terminen en el drenaje es dirigirlos hacia las cubiertas vegetales a fin de evitar la contaminación de esta agua. Los SCALL presentan una gran ventaja en su costo en comparación con los sistemas de distribución de agua potable automatizados, además de que en muchas edificaciones ya se cuenta con tanque o cisternas de almacenamiento por lo cual sería recomendable habilitar estos elementos para que pudieran recibir los dos sistemas de abastecimiento.

Una desventaja importante que se puede encontrar es la capacidad de la población para aceptar este tipo de sistemas alternativos, además de que la calidad de agua que se recibe depende en mucho del mantenimiento que las familias le proporcionen al sistema ya que aunque este es mínimo, es muy importante ya que se tiene que estar pendiente de la temporada de lluvias y de abrir o cerrar las válvulas correspondientes de los dispositivos de las primeras aguas y de filtración para evitar captar agua contaminada. Por lo cual es recomendable utilizar sistemas de flotadores como lo es la bola de jebes de la figura 4.6 o sistemas de apertura y cierre automáticos que faciliten y garanticen el agua captada. También se recomienda utilizar este documento como un primer paso para la realización de un manual en SCALL, ya que aunque los elementos del sistema son muy sencillos, es necesario trabajar mucho en diseños que aseguren agua de buena calidad y la salud de la personas.



GLOSARIO

Actún o haltún: es un pequeño desfondamiento natural e irregular de la roca, de gran profundidad, con un acceso desde la superficie; ello permite que se acumule el agua de lluvia. La clasificación para este término varía según la región; es decir, en unas zonas se le conoce como actún y, en otras, como haltún. Algunos trabajadores de la región cobaña sugieren que la diferencia entre un término y otro depende básicamente de si la oquedad posee agua (haltún: ha: agua y tun: piedra) o no. Actún también significa cueva o cavidad.

Acueducto: es un sistema o conjunto de sistemas acoplados, que permite transportar agua en forma de flujo continuo desde un lugar en el que ésta es accesible en la naturaleza, hasta un punto de consumo distante. Su nombre proviene del latín "aquae ductus" que significa conducto de agua.

Agua blanda: puede definirse como agua con menos de 0,5 partes por mil de sal disuelta.

Aguada: son depresiones formadas por el hundimiento local de roca caliza. Contienen agua de lluvia y a veces freática. El crecimiento florístico circundante tiende a azolvarlas.

Akalché: son llanos o bajíos extensos en donde se deposita el agua de lluvia y se conserva durante algunos meses. Son terrenos con mal drenaje (Robles R., 1958:58).

Antrópico: se refiere a lo relativo al hombre entendido como especie humana o ser humano.

Canales: se trata de obras hidráulicas, cuya función primordial consiste en conducir el agua de un lugar hacia otro (Matheny, 1978: 201-203).

Carbonato de calcio (CaCO₃). Es una sustancia muy abundante en la naturaleza, formando rocas, como componente principal, en todas partes del mundo, y es el principal componente de conchas y esqueletos de muchos organismos (p.ej. moluscos, corales) o de las cáscaras de huevo. Es la causa principal del agua dura.

Cárcavas: son los socavones producidos en los suelos de lugares con pendiente a causa de las avenidas de agua de lluvia.

Cenote: en general son depresiones casi circulares, con paredes verticales que llegan frecuentemente al nivel freático y deben su formación a la erosión subterránea y al desfondamiento de la roca caliza superficial. Su diámetro es variable.

Chultun: en lengua maya, significa cisterna labrada en la roca para contener agua de lluvia; proviene de la contracción de chulub, (agua de lluvia) y tun (piedra labrada), según el diccionario maya Cordemex (Barrera V. 1980:114).

Chulub Tun y Chultun son muy similares en cuanto a estructura y edificación, podemos decir que el Chulub es un aljibe o silo abierto en peña para guardar maíz o recoger agua de lluvia es un sistema de captación y almacenamiento pluvial compuesto de una cámara subterránea en forma de una botella construida por los mayas precolombinos en Mesoamérica.

Cianuro: está presente en forma natural en algunos alimentos como las almendras, las nueces, las castañas. También se encuentra presente por generación antropogénica, como por los escapes de los automóviles, el humo del cigarrillo y la sal industrial que se usa para derretir el hielo de los caminos.



Coeficiente de escurrimiento (Cr): es la relación entre la lámina de agua precipitada sobre una superficie y la lámina de agua que escurre superficialmente, (ambas expresadas en mm).

Donde:

Es = Lámina escurrida (en mm)

Pr = Precipitación (en mm)

$$Cr = \frac{Es}{Pr}$$

- EL VALOR DEL PARÁMETRO CR VARÍA MUCHO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE MATERIAL DEL ÁREA DE CAPTACIÓN, ESTA FORMULA MOSTRADA ES PARA FINES TEÓRICOS EN LA PRESENTE TESIS

Color: el color que en el agua produce la materia suspendida y disuelta, se le denomina "Color aparente", una vez eliminado el material suspendido, el color remanente se le conoce como "Color verdadero" siendo este último el que se mide en esta determinación. Por comparación visual de la muestra con soluciones coloridas de concentraciones conocidas o discos de cristal de color calibrados previamente con las soluciones anteriores. La unidad para medición del color que se usa como estándar, es el color que produce 1 mg/l de Platino en la forma de cloroplatinato. La relación de cobalto a platino, se puede variar para igualar el matiz. La proporción Pt-Co que se utiliza en este método es normalmente la adecuada para la mayoría de las muestras. El color puede cambiar con el pH de la muestra, por lo que es necesario, que al medir el color, se reporte también el pH de la muestra.

Convección: es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido (aire, agua) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales fluidos. Éstos, al calentarse, aumentan de volumen y, por lo tanto, disminuyen su densidad y ascienden desplazando el fluido que se encuentra en la parte superior y que está a menor temperatura. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio de las corrientes ascendente y descendente del fluido.

Domus: era la casa unifamiliar romana de familias con cierto nivel económico, cuyo cabeza de familia llevaba el nombre de dominus.

Estuco: era hecho con Piedra Caliza cocida, y mezclada con un pegamento orgánico extraído de un árbol endémico en Petén llamado localmente Holol, mezclado con cal y Sascab, un mineral natural parecido a piedra caliza, que no hay que cocer.

Evapotranspiración: se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm por unidad de tiempo.

Geomembrana: lámina sintética fabricada a base de PVC, polietileno, caucho y otros compuestos, que se utilizan para revestir o envolver diversas sustancias que pueden contaminar el ambiente, tales como rellenos sanitarios, pozas de lixiviación o relaves mineros. Con ella se evita que dichas sustancias regresen al entorno a través de la lluvia y el viento.

Humedal: es una zona de tierras, generalmente planas, en la que la superficie se inunda permanente o intermitentemente, al cubrirse regularmente de agua, el suelo se satura, quedando desprovisto de oxígeno y dando lugar a un ecosistema híbrido entre los puramente acuáticos y los terrestres.

Infiltración: es la penetración del agua en el suelo.

Lago: es una gran extensión de agua, de forma irregular, rodeada de tierra. El agua que los conforma siempre es dulce.



Laguna: es así mismo una extensión acuosa sin forma constante y de menores dimensiones que un lago. El agua puede ser dulce o salada.

Laminación: controlar el cauce a través de embalse disminuyendo el caudal de salida.

Lignina: Sustancia que aparece en los tejidos leñosos de los vegetales y que mantiene unidas las fibras de celulosa que los componen: la lignina constituye el 25% de la madera. Es disuelta por los reactivos sódicos y por el cloro, que la convierten en un subproducto soluble en el agua.

Noria: es una máquina hidráulica que sirve para extraer agua siguiendo el principio del rosario hidráulico. Consiste en una gran rueda con aletas transversales que se coloca parcialmente sumergida en un curso de agua, el cual, gracias a las aletas, imprime a la rueda un movimiento continuo. Ésta, posee en su perímetro una hilera de recipientes, que con el movimiento de la rueda se llenan de agua, la elevan y la depositan en un conducto asociado a la noria que la distribuye. Existen también norias para sacar agua de pozos, en los que el movimiento se consigue generalmente utilizando tracción animal.

Número Más Probable (NMP): cantidad más probable de bacterias coliformes o de estreptococos fecales presentes en una muestra de agua, estimada estadísticamente con base en el método de dilución múltiple en tubos.

Óxido de silicio (SiO₂): es un compuesto de silicio y oxígeno, llamado comúnmente sílice. Es uno de los componentes de la arena. Una de las formas en que aparece naturalmente es el cuarzo. También es un desecante, es decir que quita la humedad del lugar en que se encuentra. Se encuentra muy generalmente en paquetes nuevos de aparatos ópticos, electrónicos, etc.

Partes por millón (ppm): es una unidad de medida que se refiere a los mg (miligramos) que hay en un kg de disolución; como la densidad del agua es 1, 1 kg de solución tiene un volumen de aproximadamente 1 litro, los ppm son también los mg de una sustancia en un litro expresado de otra forma, mg/l (Siguiendo el mismo razonamiento, los ppm también son los gramos que contiene cada metro cúbico, g/m³) Para calcular los ppm se divide el peso en mg por el volumen en litros, por ejemplo, una disolución de 15 gramos (g) en 3 metros cúbicos de agua: $15 \text{ g} \times 1000 \text{ mg/g} = 15000 \text{ mg}^3 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ l/m}^3 = 3000 \text{ l}$ Concentración: $15000 / 3000 = 5 \text{ mg/l} = 5 \text{ ppm}$.

Percolación: se refiere al movimiento y filtración de fluidos a través de materiales porosos no saturados.

Peten: se trata de ojos de agua dulce, producto de corrientes subterráneas en zonas de manglar o aun semiáridas cercanas a la costa. Facilita la proliferación de ciertos tipos de vegetación más alta que la que lo rodea.

Pozo: es una perforación profunda efectuada en la tierra para sacar el agua. Su profundidad varía según el nivel en que se halle el manto freático y sus paredes pueden estar revestidas de piedra o ladrillo, según la región.

Propiedades organolépticas: son el conjunto de descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, como por ejemplo su sabor, textura, olor, color. Todas estas sensaciones producen al comer una sensación agradable o desagradable.

Punzonamiento: es un esfuerzo producido por tracciones en una pieza debidas a los esfuerzos tangenciales originados por una carga localizada en una superficie pequeña de un elemento bidireccional de hormigón, alrededor de su soporte. Este esfuerzo de punzonamiento produce un efecto puntual sobre su plano de apoyo.



Rejollada: se trata de derrumbes que no llegaron a ser cenotes y en muchos casos llegan cerca del nivel freático y, en algunas ocasiones, conservan agua permanente.

Renovable: son las fuentes de agua naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de agua que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Represas: es el estancamiento o detención artificial de una corriente de agua.

Río: se trata de una corriente de agua bastante considerable que desemboca en otra o bien en el mar.

Sarteneja: es una oquedad poco profunda no mayor de 2 m de diámetro de un afloramiento de la roca madre. Únicamente se llena con agua de lluvia.

Sassi: en italiano significa piedras.

Terracota: del italiano terra cotta significa "tierra cocida", es la arcilla modelada y endurecida al horno, fundamento de los trabajos de cerámica, utilizada tanto para recipientes, como para la realización de esculturas y decoración arquitectónica.

Tanino: al igual que la lignina se puede encontrar en las plantas, son toxinas que reducen significativamente el crecimiento y la supervivencia de muchos herbívoros cuando se adicionan a su dieta. Además, tienen potencial de producir rechazo al alimento en una gran diversidad de animales. Los mamíferos como la vaca, el ciervo y el simio característicamente evitan a las plantas o partes de las plantas con alto contenido de taninos; las frutas no maduras, por ejemplo, con frecuencia tienen altos contenidos de taninos, que pueden estar concentrados en las capas celulares más externas de la fruta.

Unidades Formadoras de Colonias (UFC/ml): es un valor que indica el grado de contaminación microbiológica de un ambiente. Expresa el número relativo de microorganismos de un taxón determinado en un volumen de un metro cúbico de agua. Las "Unidades Formadoras de Colonias" (UFC) se miden en (UFC por mililitro).

Unidades Nefelométricas de Turbidez, o Nefelometric Turbidity Unit (NTU): son las unidades para medir la turbidez. El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

Unidades Siemens: Se denomina siemens (o siemens, símbolo S) a la unidad derivada del Sistema Internacional de medidas para la medida de la conductancia eléctrica (G), la cual es la facilidad de un objeto o circuito para conducir corriente eléctrica entre dos puntos. Se define como la inversa de la resistencia.

La unidad $S = \Omega^{-1}$ (ohm)

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{V}$$

En donde I es la intensidad eléctrica o corriente eléctrica, y V es el voltaje (Tensión o diferencia de potencial eléctrico).

Viajes de agua: los viajes eran unos ríos subterráneos artificiales que desembocaban en aljibes desde donde se distribuía el agua a los usuarios.

Xuayabá: es una pequeña depresión en el terreno, casi siempre se encuentra al pie de un árbol; su profundidad no excede los 50 o 60 cm; tiene, bajo esta capa de tierra, la roca madre. Solo conserva agua pluvial por algún tiempo.



REFERENCIAS

1. UNDESA. *World population prospects: The 2008 Revision. Medium Fertility Variant, 2010-2050*. Consultado en <http://esa.un.org/unpd/wpp2008/index.htm> (15/07/2010).
2. Conagua. Subdirección General de Programación. 2010. *Elaborado a partir de: World Climate*. Consultado en: <http://www.worldclimate.com>. (06/09/2010). Conagua. Subdirección General Técnica. 2010.
3. IPCC. *Climate Change and Water, IPCC Technical Paper VI, Ginebra, Suiza, 2008*.
4. Fuente: Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja (IFRC). *Informe Mundial sobre Desastres 2010*. Consultado en: <http://www.ifrc.org/Docs/pubs/disasters/wdr2010/WDR2010-full.pdf> (21/10/2010)
5. *Son aquéllas que están protegidas contra la contaminación exterior, especialmente la materia fecal.*
6. *Son aquéllos que garantizan higiénicamente que no se produzca contacto de las personas con la materia fecal.*
7. *El seguimiento a los ODM es mediante el programa conjunto ONU. UNICEFOMS Programa conjunto de vigilancia del abastecimiento de agua y el saneamiento. El último reporte es de 2010, con datos al 2008.*
8. UN-Water. *Global Annual Assessment of Sanitation and Drinking Water, 2010*. Consultado en: http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599351_eng.pdf (15/12/2010).
9. UNEP-UN Habitat. *Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development. 2010*. Consultado en: http://www.unwater.org/downloads/sickwater_unep_unh.pdf (15/12/2010).
10. UN-Water. *Op. cit.*
11. "Hidrología I". Ing. Carlos D. Segerer e Ing. Esp. Rubén Villodas. *Facultad de ingeniería civil. Unidad 5: las precipitaciones. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina 2006*. . <http://es.scribd.com/doc/61095308/LIBRO-HIDROLOGIA>
12. http://www.imta.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=179&catid=43&Itemid=86
13. *Distribución global del agua en* <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
14. "El cambio climático y el agua" Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Organización meteorológica mundial (OMM). Programa de naciones unidas para el medio ambiente (PNUMA). Documento técnico VI del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), 2008. . <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf>
15. "Cambio climático 2007 Informe de síntesis". IPCC, *Contribución del grupo de trabajo I al cuarto informe de evaluación del panel intergubernamental sobre cambio climático. Publicado por el Grupo Intergubernamental, 2007*.



16. "Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México, Tomo I" Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Grupo de cambio climático. Instituto mexicano de tecnología del agua (IMTA), 2007.
17. Usos del agua : http://mimosa.pntic.mec.es/~vgarci14/usos_agua.htm
18. Sistemas de recuperación de agua de lluvia. Soluciones para aprovechar el agua de lluvia CaratS. Empresa Otto Graf GmbH. 2009. http://www.construible.es/construible/biblioteca/catalogo_carat-graf.pdf
19. "Planeación del agua un enfoque social y sistémico: agua, un derecho social". Héctor Lugo Salazar. Instituto Politécnico Nacional, México 2006.
20. Anuario de estadísticas por entidad federativa 2011.
21. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aepef/2011/Aepef2011.pdf
22. "Estadísticas del agua en México". Gobierno federal a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Ed. 2011.
23. Valor que resulta de la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de una cuenca hacia aguas abajo y el volumen anual actual comprometido aguas abajo
24. "Tratado entre el gobierno de los estados unidos mexicanos y el gobierno de los estados unidos de america de la distribución de las aguas internacionales de los ríos colorado, Tijuana y bravo, desde fort quitman , texas, hasta el golfo de México".
25. "Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia". Dr. Manuel Anaya Garduño. Innovaciones tecnológicas ante el cambio climático. Centro Internacional De Demostración Y Capacitación En Aprovechamiento Del Agua De Lluvia (CIDECALLI), Mayo, 2008.
26. "Información por entidad federativa": <http://cuentame.inegi.org.mx>
27. <http://www.agua.unam.mx>
28. "Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México", Tomo I, IMTA 2007.
29. ¿Qué es el calentamiento global? por Felipe Varela en: http://sepiensa.org.mx/contenidos/2005/l_calenta/calentamiento_1.htm
30. "El cambio climático y el agua", IPCC 2008.
31. Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua, Cajina Canelo. CATIE, Costa Rica 2006.
32. Recolección, almacenamiento y tratamiento de agua de lluvia para uso interno, 2007.



33. *Guía para la persona educada de cómo cosechar agua de lluvia*, 2006.
34. *“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 FAO, Santiago de Chile, 2000.
35. *“Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia”*. José Alejandro Ballén Juárez, Miguel Ángel Galarza García, Rafael Orlando Ortiz Mosquera. VI SEREA - Seminario Iberoamericano Sobre Sistemas De Abastecimiento Urbano De Agua. João Pessoa (Brasil), 5 a 7 de junio. Universidad Nacional De Colombia, Unidad De Hidráulica –Bogotá, Colombia, 2006..
36. *“La lucha contra la desertificación da sus frutos, estudios de caso”*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Estudios realizados según el espíritu de la convención de las naciones unidas para la lucha contra la desertificación, 1999.
37. *“Los viajes del agua en el Mayab: pozos, ríos subterráneos y cenotes”*. Clara Martín Ramos, Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), 2000.
38. *“Estudio antropológico sobre sistemas de riego y captación de agua prehispánica”*. José Luis Martínez Ruiz. Coordinación de comunicación, participación e información. Subordinación de participación social. Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 2004.
39. *“Los chultunes sistemas de captación y almacenamiento de agua pluvial”*. Lorelei Zapata Peraza. Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), 1989.
40. *“Guadalajara desperdicia el agua de lluvia”*. Eduardo Carrillo. Ed. Periódico gaceta universitaria. Ecología 30 de enero, 2006.
41. *“El ciclo urbano del agua. Un nuevo modelo de sistema integral de gestión”*. M. López De Asiain Alberich, A. Ehrenfried y P. Pérez Del Real. Eddea arquitectura y urbanismo s.l., Sevilla, España. Noviembre 2007.
42. *“Unidad de Desarrollo de Tecnología (Development Technology Unit)”* en: <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/civil/dtu>
43. *“Agua para vivir: como proteger el agua comunitaria”*. Jeff Conant. Fundación Hesperian, 2005.
44. *“Agua para vivir: como proteger el agua comunitaria”*. Jeff Conant. Ed. Fundación Hesperian en colaboración con el programa de las naciones unidas para el desarrollo, 2005.
45. *“Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. Manual técnico”*. Tertuliano Caballero Aquino. Editorial IPN 2007.
46. *“Abastecimiento de agua potable”*. Universidad mayor de san simón (UMSS) facultad de ciencias y tecnología La Paz, Bolivia. Capítulo II y III. Estudios preliminares. 2001
47. *“El riego con aguas de avenida en las laderas subaridas”*. Alfredo Morales Gil. 1969.



48. "Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia". Sara Perales Momparler e Ignacio Andrés Doménech. Dep. Ing. Hidráulica y medio ambiente. Universidad Politécnica de Valencia, 2000.
49. "El agua de niebla una alternativa para el abastecimiento y dotación a pequeñas comunidades rurales en la zona costera de baja california norte". Martin D. Mundo Molina, Polioptro Martínez Austria, Leonardo Hernández Barrios, Joel Hernández Blanket. XV Congreso Nacional de Hidráulica. Oaxaca, México, Ed. Instituto mexicano de tecnología del agua y universidad autónoma de baja california, Octubre, 1998.
50. "Guía de diseño para captación del agua de lluvia". Unidad De Apoyo Técnico En Saneamiento Básico Rural (UNATSABAR). Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. División de salud y ambiente. Organización panamericana de la salud. Oficina sanitaria panamericana - oficina regional de la organización mundial de la salud. Lima, Perú. Enero, 2001.
51. "Captación de agua de lluvia para consumo humano: especificaciones técnicas". Unidad De Apoyo Técnico Para El Saneamiento Básico Del Área Rural (UNATSABAR). Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. División de salud y ambiente. Organización panamericana de la salud. Oficina sanitaria panamericana – oficina regional de la organización mundial de la salud. Lima, Perú 2003.
52. "Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria. Manejo integrado de la subcuenca alta del rio grande en la sierra norte, Oaxaca". Floriana Hernández Martínez. 2005.
53. "Agua potable - Fuentes de abastecimiento y obras de captación - Parte 1: Captación de aguas superficiales" Instituto Nacional de Normalización Chilena, INN, publicado en el Diario Oficial del 16 de diciembre de 2000.
54. "Proyecto experimental: un sistema para captar aguas pluviales y filtración para la universidad de ECOSUR". Matthew Elke And Karen Setty, Bren School Of Environmental Science And Management. University Of California, Santa Barbará, 2000.
55. "Proyecto experimental: un sistema para captar aguas pluviales y filtración para la universidad de ECOSUR". Matthew Elke And Karen Setty, Bren School Of Environmental Science And Management. University Of California, Santa Barbará, 2000.
56. "Guía de diseño para captación del agua de lluvia". Unidad De Apoyo Técnico Para El Saneamiento Básico Del Área Rural (UNATSABAR). Organización panamericana de la salud. Oficina regional de la organización mundial de la salud. Área de desarrollo sostenible y salud ambiental. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (CEPIS/OPS). Lima, Perú 2004.
57. "Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible". Lozano Rivas, W. y Ramírez M., O., Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA), Universidad del Valle, Cali Colombia 2003.
58. "Manual I, II y III. Teoría y evaluación. Diseño. Operación, mantenimiento y control del filtro de arena". Cánepa de Vargas, L, Pérez Carrión, J. Lima, Organización panamericana de la salud/ Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (OPS/CEPIS), 1992.
59. Manual para situaciones de emergencia "el agua" <http://www.acnur.org/biblioteca/pdf/1666.pdf>



60. "Las tecnologías que América latina necesita". Fundación Tecnológica de Costa Rica Instituto Tecnológico de Costa Rica (FUNDATEC/ITCR) Proyecto realizado en el Municipio de Nandalme, Granada, Nicaragua, 2001.
61. "Sistemas de recuperación de agua de lluvia." Soluciones para aprovechar el agua de lluvia CaratS. Empresa Otto Graf GmbH. 2009.
62. Sistema de captación pluvial en: http://www.organi-k.org.mx/nsp/viewpage.php?page_id=11.
63. "Soluciones innovadoras para el suministro de agua en comunidades rurales dispersas de honduras". Kenneth Rivera y Dennis Funes. Programa de agua y saneamiento América latina y el Caribe PAS-LAC. Impreso en Perú por Biblos, 2003.
64. "Captación de agua de lluvia en Santa Catarina Ocotlán, Coixtlahuaca, Oaxaca". Ing. E. César Pedro Santos Y M. C. Gabriela Álvarez Olguín. Profesor-investigador del instituto de hidrología. Universidad tecnológica de la mixteca, 2007.
65. "Abastecimiento de agua potable y disposición y eliminación de excretas". Pedro López Alegría. Instituto Politécnico Nacional 2001.
66. "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Normas oficiales mexicanas SSA1. Salud ambiental. Diario oficial de la federación, 22 de noviembre de 2000.
67. "Conceptos básicos de: aguas para consumo humano y disposición de aguas residuales". Dr. Darner Mora Alvarado y Dra. Ana Victoria Mata Solano. Instituto costarricense de acueductos y alcantarillados. Laboratorio nacional de aguas. Mayo, 2007.
68. Distintas clases de agua. <http://www.mailxmail.com/curso-analisis-agua/distintas-clases-agua>
69. "Hidroquímica y contaminación". Oscar pintos rodríguez. Madrid, España 1997.
70. "Lluvia acida". Gobierno del distrito federal secretaria del medio ambiente. Dirección general de prevención y control de la contaminación. Red Automática De Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A.), 1999.
71. "Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia". Dr. Manuel Anaya Garduño. Innovaciones tecnológicas ante el cambio climático. Centro Internacional De Demostración Y Capacitación En Aprovechamiento Del Agua De Lluvia (CIDECALLI), Mayo, 2008.
72. "Sistema para la captación y potabilización de aguas pluviales para uso y consumo humano en comunidades rurales del norte del estado de Morelos, 1ª parte". S. Garrido, M. Avilés, A. Ramírez, L.A. Barrera, A. González, L. Montellano, R.M. Ramírez, O. Cervantes, G. Reza Y C. Díaz. Anuario del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 2004.
73. "Uso y mantenimiento de los aljibes, capacitación en agua potable". Ing. En Rec. Hídr. (M.Sc.) Mario Basán Nickisch. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 2008.