



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“SISTEMA DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LLUVIA PARA  
CONSUMO HUMANO EN LA CIUDAD DE MÉXICO”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA:**

**ADRIÁN CORDERO IBARRA**



**MÉXICO, D.F.**

**2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:**           **Profesor: JOSÉ AGUSTÍN TEXTA MENA**  
**VOCAL:**               **Profesor: MARIANO PÉREZ CAMACHO**  
**SECRETARIO:**       **Profesor: MA. NEFTALÍ ROJAS VALENCIA**  
**1er. SUPLENTE:**     **Profesor: LANDY IRENE RAMÍREZ BURGOS**  
**2° SUPLENTE:**       **Profesor: ALFONSO DURÁN MORENO**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM**

**ASESOR DEL TEMA:**

**MA. NEFTALÍ ROJAS VALENCIA**

**SUSTENTANTE (S):**

**ADRIÁN CORDERO IBARRA**

# DEDICATORIAS

A la vida por brindarme la oportunidad y la dicha, al darme todos los medios necesarios para continuar mi formación hasta este punto.

Le dedico el presente documento a mi madre a quien permanentemente me apoyo con su espíritu alentador, que me ha heredado el tesoro más grande que se le puede dar a un hijo, amor. Quien sin escatimar esfuerzo alguno ha sacrificado gran parte de su vida, que me ha formado y educado, a quien la ilusión de su vida es verme convertido en persona de provecho, a quien nunca podré pagar con las riquezas más grandes del mundo, gracias.

A mi hermano que me ha acompañado a lo largo de este camino, brindándome la fuerza necesaria para continuar, ayudándome con momentos de ánimo en lo que fuera posible, dándome consejos y orientación, estoy especialmente agradecido contigo gracias.

A mi padre por apoyarme y darme bases sólidas sobre mis metas y los sacrificios que significa conseguirlos, contribuyendo incondicionalmente a lograr mis objetivos propuestos, muchas gracias.

A Arturo por haber estado en los momentos difíciles y apoyarme a ver mis logros y tropiezos de una manera amena, brindándome siempre su ejemplo perseverante que me dio la fuerza necesaria que me impulso a conseguirlo, gracias.

A todas las personas que estuvieron a mi lado durante este camino, gracias por su enorme paciencia y por su bondadoso amor, que me han dado fuerza para continuar cuando a punto de caer he estado, a quienes han sabido formarme a base de buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.

# AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México mi alma Máter por abrirme las puertas y a la Facultad de Química, por formarme profesionalmente con un espíritu de servicio a la comunidad y elevadas normas éticas; y en donde ha pasado gran 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 donde quiera que me encuentre.

También quiero agradecer a mi asesor de tesis, la Dra. Ma. Neftalí Rojas Valencia por sus invaluable conocimientos que me brindo para llevar a cabo esta investigación y sobre todo su gran paciencia para esperar a que este proyecto pudiera llegar a su fin.

Agradezco a los miembros del jurado el Ing. José Agustín Texta Mena y al Ing. Mariano Pérez Camacho por las valiosas contribuciones que hicieron al trabajo final y por el tiempo que dedicaron para revisarlo, a pesar de tantas actividades que los ocupan.

A Isla Urbana por brindarme la oportunidad de trabajar con ellos para seguir buscando nuevas formas de ayudar a la sociedad.

Agradezco a todos mis profesores que me han acompañado durante este camino, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y afianzando mi información.

A mis compañeros y amigos por todos los buenos momentos que he vivido con ellos, que han contribuido en buena medida en transformar y mejorar mi forma de actuar en mi vida.

## ÍNDICE

	<b>Listado de figuras</b>	
	<b>Listado de tablas</b>	
	<b>Resumen</b>	1
<b>1.</b>	<b>Introducción</b>	2
<b>2.</b>	<b>Marco teórico</b>	3
2.1	Definiciones de captación de agua de lluvia	3
2.2	Una sola gota de agua para saciar la sed del hombre	5
2.3	La contaminación del agua	5
2.4	La escasez y contaminación del agua, una tendencia global	6
2.5	Impactos del cambio climático en los recursos hídricos	7
2.6	El aprovechamiento de las aguas superficiales	8
2.7	El agua en el mundo	9
2.8	Usos de agua en el mundo	10
2.9	El ciclo Hidrológico	11
2.10	Formas de precipitación	12
2.11	Como se mide la precipitación	13
2.12	Los recursos hídricos en el país	14
2.13	La precipitación pluvial	16
2.14	Grado de presión sobre los recursos hídricos	18
<b>3.</b>	<b>Antecedentes</b>	20
3.1	Importancia de la Potabilización del Agua	20
3.2	Calidad de agua de lluvia, Parámetros de Calidad de las Aguas	21
3.3	Factores de la contaminación del agua	23
3.4	Lluvia acida	24
3.4.1	Países que afecta la lluvia ácida	25
3.4.2	Efectos de la lluvia acida	26
3.5	Límites permisibles de calidad de agua - Normatividad	27
3.5.1	Límites permisibles de características microbiológicas	27
3.5.2	Límites permisibles de características físicas y organolépticas	28
3.5.3	Límites permisibles de características químicas	28
3.5.4	Límites permisibles de características radiactivas.	30
3.5.5	Norma "International Bottled Water Association" (IBWA)	30
3.6	Límites permisibles de calidad de agua - Normatividad	31
<b>4.</b>	<b>Justificación</b>	34
4.1	Situación del agua en México	35
4.2	Problemática del agua en la Ciudad de México	36
4.3	Recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas	37
4.4	Escasez de agua en el DF empeorará en 2011	37
<b>5.</b>	<b>Objetivos</b>	40
5.1	Objetivo general	40
5.2	Objetivos específicos	40

<b>6. Hipótesis</b>	41
<b>7. Metodología</b>	42
7.1 Trabajo de gabinete	42
7.2 Trabajo de laboratorio	43
7.2.1 Preparación de medios	44
7.2.2 Parámetros analizados	46
7.3 Trabajo de campo	48
7.3.1 Trenes de tratamiento utilizados	49
7.3.2 Parámetros analizados	53
7.4 Evaluación de la calidad del agua	55
<b>8. Resultados</b>	58
8.1 Resultados del trabajo de gabinete	58
8.1.1 Resultados de la revisión de Sistemas de captación de agua de lluvia, en el mundo	58
8.1.1.1 Oceanía	58
8.1.1.2 Asia	59
8.1.1.3 Europa	61
8.1.1.4 África	63
8.1.1.5 Sudamérica	64
8.1.1.6 Centro América	64
8.1.1.7 Norte América	65
8.1.1.8 Pequeñas Islas	66
8.1.2 Situación actual de los sistemas de captación de agua de lluvia en México	66
8.1.3 Principales tecnologías para la purificación de agua de lluvia.	73
8.1.4 Principales métodos de captación de agua de lluvia	74
8.2 Resultados del trabajo de laboratorio	77
8.2.1 pH	77
8.2.2 Sólidos totales	78
8.2.3 DQO y DBO <sub>5</sub> demanda química y bioquímica de oxígeno	79
8.2.4 COT carbón orgánico total	81
8.2.5 Nitratos	82
8.3 Resultados del trabajo de campo	83
8.3.1 Coliformes totales	83
8.3.2 DBO <sub>5</sub> Total	84
8.3.3 DQO Total	85
8.3.4 Sólidos Totales	85
8.3.5 Nitrógeno Total	86
8.3.6 pH	87
<b>9. Propuesta de tren de tratamiento</b>	90
9.1 Etapas del proceso de purificación.	90
9.2 Descripción del Proceso para Purificación del Agua de Lluvia	92
9.2.1 Filtro Multicapa o de lecho profundo	93

9.2.2	Filtro de Carbón Activado	94
9.2.3	Intercambio Iónico	95
9.2.4	Ósmosis Inversa	96
9.2.5	Lámpara de Rayos Ultravioleta	97
9.2.6	Tanque o cisterna de almacenamiento	98
9.2.7	Equipo de generador de ozono	99
9.3	Etapas de sistema para Purificación del Agua de Lluvia	100
9.4	Análisis de tren de tratamiento	104
<b>10.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>107</b>
<b>11.</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>110</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>112</b>
	<b>Glosario</b>	<b>116</b>



## Listado de Figuras

Figura 1.	El agua disponible para la humanidad	4
Figura 2.	La distribución de agua en la tierra	4
Figura 3.	Niño en Rio Yamuna, en Nueva Delhi, India	7
Figura 4.	Vista de la Presa de las Tres Gargantas, en China	9
Figura 5.	El Ciclo del Agua	12
Figura 6.	Disponibilidad natural media per cápita por región hidrológica administrativa, 2007	14
Figura 7.	Variación de la disponibilidad natural media per cápita del agua, de 1950 a 2005 en (m <sup>3</sup> /hab/año)	15
Figura 8.	Precipitación pluvial normal mensual en México, en el periodo 1970-2000, en milímetros	16
Figura 9.	Precipitación anual 1994-2007	17
Figura 10.	Grado de presión sobre los recursos hídricos por región hidrológico-administrativa, 2007	19
Figura 11.	Principales transformaciones químicas que forman la lluvia acida	25
Figura 12.	El pH del agua de lluvia en diferentes regiones del mundo	25
Figura 13.	pH histórico en la Ciudad de México, periodo 1987-1998	26
Figura 14.	Componentes de un sistema de captación de agua pluvial	31
Figura 15.	Mecanismo de primera lavada	32
Figura 16.	Tanques sedimentadores	32
Figura 17.	Filtro de carbón activado, Sistema de captación de agua de lluvia	33
Figura 18.	Viviendas sin agua entubada en México	36
Figura 19.	Pipas de agua repartiendo agua potable en zonas de alta escases del Distrito Federal	38
Figura 20.	Contenedores para captación de agua de lluvia, Instituto de Ingeniería UNAM	43
Figura 21.	Muestras de agua de lluvia, Instituto de Ingeniería UNAM	43
Figura 22.	Análisis de coliformes totales, 10, 50 y 100 ml	45
Figura 23.	Análisis agua de lluvia, TSA	46
Figura 24.	Análisis coliformes fecales y TSA	46
Figura 25.	Equipo Pastel-UV, para análisis de parámetros de agua de lluvia	47
Figura 26.	Trenes de tratamiento utilizados para la purificación de agua de lluvia	50
Figura 27.	Tren de tratamiento, filtro de carbón activado + filtro de 50 µ de papel celulosa	51
Figura 28.	Tren de tratamiento, filtro de carbón activado + filtro de 50 µ de papel celulosa + filtro de polipropileno de 10 µ	51
Figura 29.	Bomba sumergible de 0.5 Hp, para bombeo de tren de tratamiento	52
Figura 30.	Filtros utilizados para purificación de agua de lluvia	52
Figura 31.	Muestreo de agua, según diferentes trenes de tratamiento	53
Figura 32.	Sistema de Captación de agua pluvial al norte de Australia	59
Figura 33.	Instalación para la utilización de agua lluvia a nivel comunitario Tokio, Japón	61

Figura 34.	Modelo de sistema integral de gestión del agua	62
Figura 35.	Pequeño sistema de captación de aguas pluviales en una escuela primaria en la Villa de Maasai, África	64
Figura 36.	Esquema del funcionamiento del sistema de aprovechamiento de agua de lluvia llamado "Healty House" en Toronto, Canadá	66
Figura 37.	Sistema de captación de agua de lluvia Colpos-1 del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo	68
Figura 38.	Estanque para peces de ornato y comestibles y riego de huerto familiar Colpos-2 del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo	69
Figura 39.	Planta purificadora de agua de lluvia Colpos-3 del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo	70
Figura 40.	Abrevadero para pequeñas explotaciones ganaderas Colpos-4 del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo	71
Figura 41.	Cisterna para riego en invernaderos Colpos-5 del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo	72
Figura 42.	Variación del pH durante la temporada de lluvias del 2010, Ciudad Universitaria	77
Figura 43.	Análisis de Sólidos Totales durante la temporada de lluvias 2010, Ciudad Universitaria	78
Figura 44.	Análisis de DQO durante la temporada de lluvias 2010, Ciudad Universitaria	80
Figura 45.	Análisis de DBO <sub>5</sub> durante la temporada de lluvias 2010, Ciudad Universitaria	80
Figura 46.	Análisis de COT durante la temporada de lluvias 2010, Ciudad Universitaria	81
Figura 47.	Análisis de nitratos durante la temporada de lluvias 2010, Ciudad Universitaria	82
Figura 48.	Análisis de Coliformes Totales, según diferentes tipos de tratamiento	84
Figura 49.	Análisis DBO <sub>5</sub> Total, según diferentes trenes de tratamiento	85
Figura 50.	Análisis de Sólidos Totales, según diferentes trenes de tratamiento	86
Figura 51.	Análisis de Nitrógeno Total, según diferentes trenes de tratamiento	87
Figura 52.	Análisis de pH, según diferentes trenes de tratamiento	88
Figura 53.	Tanque de almacenamiento de agua cruda	92
Figura 54.	Filtros de lecho profundo	93
Figura 55.	Instalación filtro de lecho profundo y carbón activado	94
Figura 56.	Filtro de carbón activado	95
Figura 57.	Suavizadores de agua comercial	95
Figura 58.	Unidad de ósmosis inversa	96
Figura 59.	Lámpara de UV	97
Figura 60.	Tanque de almacenamiento de agua purificada	99
Figura 61.	Sistema generador de ozono	99
Figura 62.	Propuesta tren de tratamiento para purificación de agua de lluvia	101

## Listado de Tablas

Tabla 1.	Número de estaciones climatológicas e hidrométricas en México, 2007	14
Tabla 2.	Parámetros físicos	21
Tabla 3.	Parámetros químicos	22
Tabla 4.	Parámetros biológicos	23
Tabla 5.	Límites permisibles características microbiológicas	27
Tabla 6.	Límites permisibles características físicas y organolépticas	28
Tabla 7.	Límites permisibles de características químicas	29
Tabla 8.	Límites permisibles de características radioactivas	30
Tabla 9.	Límites permisibles para agua, según diferentes normas vigentes en México y el mundo	30
Tabla 10.	Medios utilizados para la caracterización microbiológica de agua de lluvia	44
Tabla 11.	Parámetros analizados, calidad de agua de lluvia	48
Tabla 12.	Sistemas de captación de agua pluvial muestreados	49
Tabla 13.	Trenes de tratamiento utilizados para la purificación de agua de lluvia	50
Tabla 14.	Parámetros analizados para agua de lluvia muestreada en Sistemas de captación pluvial	54
Tabla 15.	Método de estabilización de muestras, para pruebas de laboratorio	54
Tabla 16.	Métodos analíticos utilizados para cada parámetro analizado	55
Tabla 17.	Escalas de clasificación de la calidad de agua	56
Tabla 18.	Métodos alternativos para la purificación del agua de lluvia	74
Tabla 19.	Tipos de sistemas de captación de agua pluvial	75
Tabla 20.	Resultados obtenidos de análisis realizados, según diferentes trenes de tratamiento	83
Tabla 21.	Límites permisibles para Nitrógeno, NOM-041	86
Tabla 22.	Calidad del agua antes de operar el sistema de UV	98
Tabla 23.	Dosis de ozono aplicadas según sus distintas aplicaciones	100
Tabla 24.	Propuesta de tren de tratamiento	100
Tabla 25.	Diferentes etapas en el proceso de purificación de agua de lluvia	101

## **Resumen**

El agua de lluvia, una vez captada, debe tratarse mediante algún sistema de potabilización para obtener una calidad de agua apta para el consumo humano. Una forma de aprovechar el agua de lluvia para consumo humano es un sistema de potabilización que dependerá de la extensión y diversidad geográfica de la región, la distribución de la población, el propósito del proyecto y la necesidad de la comunidad, este se integra por: área de captación, sistema de conducción, filtro de sedimentos, almacenamiento y tratamiento.

Pruebas de campo y análisis de laboratorio que se han realizado, han comprobado que el agua de lluvia captada y almacenada puede emplearse para el consumo humano, siendo opciones viables y eficientes para dotar agua a diversas comunidades urbanas, periurbanas y rurales.

La calidad del agua cruda oscila de una fuente a otra; por ello el tipo de tratamiento requerido para producir agua potable y/o purificada, también varía. Dependiendo de la calidad de esta, el grado de complejidad del tratamiento es diferente; sin embargo, se utiliza con mayor frecuencia la desinfección con cloro, filtración (lecho profundo, carbón activado, suavizador y pulidor), ósmosis inversa, desinfección por luz ultra violeta y ozono.

Dentro del alcance de este trabajo se identificaron y analizaron diferentes parámetros tanto físicos, químicos y biológicos del agua de lluvia, así como la normatividad vigente, en base a los resultados obtenidos se planteó un tren de tratamiento que permita obtener agua en condiciones óptimas para consumo humano en la Ciudad de México. El diseño de un de tratamiento eficiente y económico requiere un estudio basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados y económicos para producir agua de la calidad requerida.

Se realizaron muestreos y análisis tanto de agua de lluvia cruda, así como agua de lluvia captada a través de sistemas de captación en operación en la zona del Ajusco medio, se plantearon y utilizaron diferentes trenes de tratamiento para su purificación encontrando que la cantidad de contaminantes presentes en el agua de lluvia es muy bajo, siendo por el arrastre y el contenido de materia orgánica e inorgánica del área de recolección que esta se contamina, por lo cual es de suma importancia mantener las zonas de captación lo más limpias posibles, lo cual garantizara una mejor calidad de agua de lluvia recolectada, permitiendo que el proceso de potabilización sea más eficiente y económico.

Se analizaron los diferentes métodos de potabilización y purificación de agua de lluvia para uso y consumo humano, a partir del análisis químico, físico y biológico de las muestras, es posible decir que existen varios sistemas viables para purificar el agua de lluvia y obtener agua potable.

## **1. Introducción**

Una gran parte de la población mundial, alrededor de 1,1 mil millones de personas, no tiene acceso a fuentes mejoradas de agua. Para otros, la contaminación del agua durante el transporte al hogar presenta un riesgo significativo para la salud. Para este segmento de la población mundial, el uso de tecnologías efectivas para el tratamiento y almacenamiento de agua de lluvia puede traer beneficios al reducir las enfermedades infecciosas, contribuir con una mayor productividad y otras ventajas relacionadas con la salud y disponibilidad del recurso.

En el caso de las poblaciones que no están cubiertas por el servicio de abastecimiento de agua, resulta mucho más rápido implementar el tratamiento domiciliario en lugar de diseñar e instalar sistemas de tuberías para el abastecimiento comunitario de agua.

Este trabajo abarca la identificación de los métodos más accesibles y eficaces para el almacenamiento y tratamiento domiciliario del agua. La finalidad de este trabajo es examinar con un enfoque crítico las diversas tecnologías y sistemas para proveer agua de lluvia de buena calidad. Estos criterios incluyen la eficacia para mejorar y mantener la calidad microbiológica del agua, la eficacia para reducir la incidencia de enfermedades infecciosas transmitidas por el agua, la dificultad o simplicidad técnica, la accesibilidad, los costos, la aceptabilidad sociocultural y la sostenibilidad.

Esta revisión considera métodos y sistemas que protegen el agua durante su almacenamiento, recolección y uso y que mejoran la calidad microbiológica a fin de reducir la exposición a agentes patógenos y los riesgos de contraer enfermedades infecciosas transmitidas por el agua. Se ha demostrado que los riesgos más significativos e inmediatos relacionados con el uso de agua potable contaminada son los microbios entéricos de origen fecal u otras fuentes. Por consiguiente, este trabajo se centra principalmente en las estrategias y sistemas para proteger y mejorar la calidad microbiológica del 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 o los materiales de construcción sean muy costosos, cuando la calidad del agua es muy baja provocada por su contaminación. Es por eso que los sistemas de captación de agua de lluvia representan un método confiable y eficaz para dotar de agua de buena calidad a la población.

## **2. Marco Teórico**

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. (Ventura, 2007).

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). (Turrialba, 2006.)

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. (Phillips, 2006.)

La captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para consumo humano en aquellas zonas de alta o media precipitación pluvial. Al efecto, el agua de lluvia es interceptada, recolectada y almacenada para su uso posterior. La interceptación del agua de lluvia se realiza, generalmente, en los techos de la vivienda, la recolección mediante canaletas y el almacenamiento en tanques exclusivos para este fin. (CEPIS, 2003)

La captación del agua de lluvia puede ser definida como la recolección de los escurrimientos superficiales para uso productivo. (FAO, 2000)

En la figura 1 se muestra el agua disponible para la humanidad, se observa que el solo el 2.80% del agua disponible es agua dulce y solo el 12.14% de esta agua está disponible para uso y consumo humano, en la figura 2 se ejemplifica la distribución de agua en la tierra, se puede observar que la cantidad de agua superficial y subsuperficial representa solo un mínimo porcentaje (0.009% y 0.005%) de la cantidad total de agua presente en el planeta tierra.



Figura 1. El agua disponible para la humanidad

### La distribución del agua en la Tierra



Figura 2. La distribución de agua en la tierra.

## **2.2 Una sola gota de agua para saciar la sed del hombre**

Para hacer gráfica la disponibilidad de agua para el consumo humano, imagine que la provisión total de este líquido cabe en un recipiente de cuatro litros. De este volumen, el hombre podría disponer para sus necesidades solo de 40 mm, y si a ese volumen le restamos el agua que le es imposible extraer y el líquido que se encuentra contaminado, al hombre le quedaría apenas una gota. Sólo una pequeña porción del agua técnicamente disponible para consumo humano se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos poco profundos, cuya renovación, por cierto, se debe a la infiltración.

Por desgracia, un gran volumen del agua técnicamente utilizable se encuentra muy lejos de las zonas pobladas, hecho que impide o dificulta su aprovechamiento. Por otro lado, la razón por la que escasea el agua es múltiple, pero en ello incide especialmente el ritmo y continuidad del ciclo hidrológico, la desigual distribución del vital líquido y la demanda que crece sin cesar.

## **2.3 La contaminación del agua**

Cuando contiene materias extrañas como microorganismos, químicos, residuos industriales o domésticos, que alteran su composición natural, se dice que el agua está contaminada.

Si bien la contaminación del agua puede ser consecuencia de fenómenos naturales, como la erosión o el desprendimiento de minerales, en el caso de las aguas subterráneas, lo cierto es que la explosión demográfica, la creciente demanda de líquido y el avance de las tecnologías propician no solo la explotación desmedida de los cuerpos superficiales y subterráneos, sino también su contaminación.

La presión que ejerce el hombre sobre los ecosistemas costeros y marinos y los depósitos de agua dulce, es tan fuerte que, incluso, algunos han desaparecido. Los efectos colaterales de este quebranto son la pérdida de zonas pantanosas, la disminución del caudal de los ríos, la mayor frecuencia de inundaciones y, por supuesto, la reducción del hábitat de la fauna y la flora, dando pie a que haya escasez de agua dulce y que las especies marinas se extingan de modo más acelerado que los otros ecosistemas.

La agricultura, la industria y la producción de energía aumentan sus requerimientos de agua desde hace 50 años, al grado que la disposición del vital líquido excede con mucho el reabastecimiento promedio anual natural.



## **2.4 La escasez y contaminación del agua, una tendencia global**

Hacia el año 2025, muchos países tendrán serios problemas de agua por la escases, contaminación o insuficiencia de recursos económicos y tecnológicos para abastecerla y sanearla.

En la India, miles de personas dejarán de recibir agua, pues de los 2700 pozos que existen en ese país, 2300 se habrán secado para esa fecha.

De acuerdo con datos de la OMS, el consumo de agua contaminada en los países en vías de desarrollo es la causa de 85% de las enfermedades, de más de 33% de las muertes, de 65% de las hospitalizaciones y de 80% de las consultas médicas.

Según el informe sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (2003), elaborado por la ONU, la disposición de agua dulce disminuye de modo alarmante a causa de la contaminación de los cuerpos de agua. Unos 2 mil millones de toneladas de residuos son arrojados diariamente en aguas receptoras, incluyendo residuos industriales, desechos humanos y agrícolas, como fertilizantes y pesticidas.

Asimismo, en este informe se destaca que la producción global de aguas residuales es de 500 km<sup>3</sup> aproximadamente. Por otro lado, se sabe que un litro de aguas residuales contamina 8 litros de agua dulce, entonces la carga mundial de contaminación en el mundo podría ascender a 12,000 km<sup>3</sup>. Si se degrada el agua al mismo ritmo del crecimiento poblacional, se calcula que se habrán perdido 18,000 km<sup>3</sup> de agua dulce en 2050.

En la figura 3 se puede observar a un niño en el Río Yamuna, este rio es la fuente principal de abastecimiento de la ciudad de Nueva Delhi, India y a pesar de los contaminantes químicos y biológicos, abastece aproximadamente a 57 millones de personas



Figura 3. Niño en Río Yamuna, en Nueva Delhi, India.

La OMS señala que 50% de la población de los países en vías de desarrollo vive expuesta a fuentes de agua contaminada, que 3 millones de personas mueren al año por enfermedades relacionadas con el agua y que la mayoría de los decesos son de menores de cinco años.

Según datos de la cruz roja de España, cada 15 segundos muere un niño debido a enfermedades originadas por la contaminación o deficiente saneamiento del agua.

### **2.5 Impactos del cambio climático en los recursos hídricos**

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), algunas de las consecuencias del cambio climático en este tercer milenio en cuanto al agua, el campo, y la biodiversidad serán las siguientes:

- a) La tercera parte de la población mundial, 1,700 millones, vive en países en los cuales escasea el agua y, considerando su índice demográfico, se prevé que su número crezca a 5,000 millones en 2025.
- b) El cambio climático provocará que disminuya aún más la infiltración hacia los mantos acuíferos, principalmente en países de Asia Central, África Meridional y los que limitan con el Mediterráneo. No obstante, por el aumento de la precipitación pluvial, el volumen puede crecer en otros países y regiones.

- c) La calidad de agua se deteriorará por el aumento de su temperatura y la presencia de contaminantes y desechos de escorrentías e inundaciones. La calidad podría degradarse más si disminuye su circulación.
- d) Las modificaciones de los patrones de precipitación pluvial y la desaparición de los glaciares en el Antártico tendrán un efecto muy significativo en la disponibilidad de agua para el consumo humano, agrícola e hidroeléctrico.

## **2.6 El aprovechamiento de las aguas superficiales**

Las aguas superficiales han sido importante fuente de abastecimiento desde la antigüedad hasta nuestros días. Grandes ciudades como Atenas en Grecia, Roma en Italia y Tenochtitlán en México, se asentaron cerca de ríos, lagos o lagunas para utilizar su caudal en actividades relacionadas con la agricultura, la pesca y la orfebrería, además de las necesidades básicas del ser humano. Como la demanda de agua no ha cesado, el hombre ha hecho uso de la ingeniería para almacenarla ya sea en presas, embalses o estanques, dependiendo de las condiciones climatológicas, geográficas y culturales del lugar.

Sin embargo, almacenar agua a cielo abierto en grandes volúmenes tiene varias desventajas, por ejemplo, que están expuestas y pueden contaminarse, que su tasa de evaporación es alta, que la composición físico-química puede ser deficiente y puede verse alterada debido a las variaciones climatológicas, y que los costos para construir obras de tal magnitud muchas veces son muy altos.

Las presas están formadas por muros de materiales impermeables que almacenan el agua. El embalse, por su parte es el depósito que se forma artificialmente y que es cerrado por medio de una presa, que almacena el agua proveniente de arroyos, ríos, canales, lagos y de la lluvia. La toma de presas y embalses se realiza mediante sistemas hidráulicos conectados a la fuente de abastecimiento.

**Arroyos, ríos, lagos y manantiales.** Estas son algunas de las fuentes de agua más antiguas y de primera mano que conoce y utiliza la humanidad y que a su vez también alimentan las presas.

**Precipitaciones.** En muchos casos, el agua de lluvia constituye una importante fuente de alimentación para las presas. De esta manera es necesario conocer el índice de las precipitaciones en la cuenca, así como la superficie de la misma y el coeficiente de escorrentía, para así aprovechar el caudal que pueda generarse.

Actualmente existe tecnología para la construcción de obras destinadas a recolectar agua de lluvia. De esta manera es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su uso posterior. En regiones con alto índice de precipitación, esta fuente constituye una alternativa valiosa, pero debe tenerse en cuenta el alto costo financiero así como los riesgos de contaminación durante su captación. En la figura 4 se observa la Presa de las Tres Gargantas, en China, el mayor proyecto de almacenamiento de agua en el mundo con una inversión aproximada de 22,500 millones de dólares.



Figura 4. Vista de la Presa de las Tres Gargantas, en China

## **2.7 El agua en el mundo**

Según datos del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), el porcentaje de personas de personas que contaban con cobertura de agua potable creció de 78 a 83% entre 1990 y 2004, pero 1,068 millones de personas todavía no tenían acceso a servicios de agua potable. Dicha cantidad constituye 16% de la población del mundo, aproximadamente, y la mayoría vive en África y en Asia, los continentes con mayor rezago de este tipo.

Al respecto, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT) estima que, en 2007, 31 países, donde vive el 8% de la población mundial, padecieron un déficit crónico de agua dulce y pronostica que en 2025, 48 países enfrentarían dicho problema, entre ellos Etiopía, India, China, Kenia, Nigeria y Perú, afectando a más de 2,800 millones de personas, aproximadamente 35 % de la población que se proyecta para esa época.

Es necesario mencionar que la población más afectada por la falta de agua potable será la que viva en países en vías de desarrollo. De hecho, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en esos países el aumento en el consumo de agua contaminada ha provocado que se multipliquen dramáticamente las enfermedades de tipo diarreico, el paludismo, la hepatitis, el tracoma, el cólera, y la malaria, entre otras.

## **2.8 Usos de agua en el mundo**

### **-Uso Agrícola (70%)**

El volumen total de agua requerida para la producción mundial agrícola es de 6,390 kilómetros cúbicos al año. En cuanto a la extracción de agua, México ocupa el lugar 36 en este rubro, pues en 2005 extrajo 78.9 km<sup>3</sup>, 76.8% del caudal fue utilizado para la agricultura, 14.1% para el abastecimiento público urbano y 9.1% para el industrial.

### **-Uso en industria y minería (22%)**

Según fuentes de la FAO, la industria produce 29% del Producto Interno Bruto (PIB) en los países de altos ingresos, 48% en los países del este de Asia y el Pacífico y 26% en los países de bajos ingresos, pero en general aporta prosperidad y una elevada calidad de vida a las personas. Se estima que el uso global del agua para la industria aumentara de 725 km<sup>3</sup> en 1995 a 1,170 km<sup>3</sup> en 2025, pues tanto la generación de energía térmica, atómica e hidroeléctrica como la industria minera, química, petroquímica, metalúrgica, maderera, papelera y otras, utilizan el agua para generar vapor, para enfriar, calentar, limpiar, disolver o transportar sustancias o partículas, o simplemente como materia prima, en el caso de los refrescos.

El desarrollo económico de países como China, Corea, Malasia, Taiwán, Brasil, Chile y Argentina presionara los recursos hídricos del mundo e incluso los pondrá al límite si utilizaran en la industria 50% de sus reservas de agua, como hoy lo hace Francia.

### **-Uso público-urbano (8%)**

En la actualidad, 48% de la población mundial vive en pequeños pueblos y ciudades pero en 2030 la proporción subirá hasta 60%. Sin duda, en ese entonces el crecimiento de la economía y, en consecuencia, el de las urbes, multiplicará el caudal que necesitaran sus habitantes.

Al respecto, en un informe de la UNESCO se calcula un consumo per cápita entre 300 y 600 litros diarios en las grandes ciudades, sin embargo, todavía no hay un acuerdo acerca del mínimo que necesita un hombre para satisfacer sus cuatro necesidades básicas: beber, cocinar, bañarse y eliminar sus desechos orgánicos.

Pero, si se considera que los recursos hídricos tienden a disminuir, que la explosión demográfica se estabilizara hasta mediados de este siglo y que 55 países con una población que suma cerca de 1,000 millones de habitantes en 1990 no eran capaces de suministrar 73 litros diarios a sus habitantes, esto quiere decir que la competencia por el agua quizá transforme a muchas ciudades en los entornos más peligrosos del mundo.

## **2.9 El ciclo Hidrológico**

Puede definirse como ciclo hidrológico el recorrido del agua por la atmósfera y las nubes, la tierra, el subsuelo, los lagos, los ríos, mares y océanos.

Cabe mencionar que en la naturaleza el agua siempre está en movimiento y que cuando la energía del sol penetra la atmósfera aumenta su temperatura, ayudando a modificar el clima, cambiando su estado físico o haciendo que pase de vapor a líquido o sólido. A continuación se describen las principales etapas del ciclo del agua:

- a) **Evaporación.** Esta acción se define como el proceso por el cual el agua se convierte en gas o en vapor de agua, que llega a la atmósfera gracias a la radiación solar. Del total de evaporación que tiene lugar en el mundo, se calcula que 80 % proviene de los océanos y 20% de las cuencas de agua continentales y la transpiración de la vegetación. La mayor fuente de vapor de agua se ubica en las zonas oceánicas próximas al Ecuador, debido a que éstas son las regiones más cálidas del mundo. Sin embargo, poco después el vapor de agua regresará a la superficie terrestre en forma de agua o nieve.
- b) **Condensación.** Esta acción se define como el paso de vapor de agua al estado líquido. Este proceso tiene lugar cuando el aire caliente asciende por la atmósfera y se enfría, lo que disminuye su capacidad de almacenar vapor de agua, dando como resultado la condensación y la formación de gotas de agua o copos de nieve.
- c) **Trasportación.** Esta acción hace referencia al movimiento del vapor de agua en la atmósfera terrestre. Las nubes, que son desplazadas por el viento, están formadas por gotas de agua o cristales de hielo. De hecho, la mayor parte del agua se transporta como vapor, que constituye uno de los gases más abundantes en la atmósfera, aunque es invisible para el ojo humano.
- d) **Lluvia.** Es el medio por el cual el agua proveniente de la atmósfera cae en la superficie terrestre. Cuando se combina la humedad en el aire y la disminución de temperatura, el



contenido de agua se descarga y se manifiesta en forma de lluvia, granizo o nieve. Gran parte del agua de lluvia se precipita en los mares y océanos, aunque un porcentaje no alcanza la superficie terrestre debido a que se evapora mientras cae; otro cae en la superficie vegetal y se evapora en poco tiempo, para así regresar a la atmósfera.



Figura 5. El Ciclo del Agua

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

## 2.10 Formas de precipitación

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

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 sobrepasa un valor de 1 mm/hr.
- **Chispear:** se usa para describir un término medio entre una llovizna y una lluvia débil. En comparación con la primera de éstas, la pluviosidad es mayor y las gotas también aumentan de tamaño.
- **Lluvia:** consiste en gotas de agua líquida con diámetros mayores a las que componen la llovizna propiamente dicha, va de débil a moderada, sin alcanzar la intensidad de una

tormenta.

Comúnmente se reportan cuatro intensidades de lluvia:

- Ligera, hasta 2.5 mm/hora.
- Moderada, entre 2.5 y 7.6 mm/hora.
- Fuerte, mayores a 7.6 mm/hora.
- Torrencial, aquella que supera los 12.7 mm/hora.

### 2.11 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 existiera perdidas por infiltración y evaporación; tal altura se mide en milímetros (mm).

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

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

Las estaciones climatológicas miden temperatura, precipitación pluvial, evaporación, velocidad y dirección del viento.

Las estaciones hidrométricas miden el nivel, el caudal de agua de los ríos y los volúmenes de agua almacenados en las presas, así como la extracción por obra de toma.

Las estaciones hidroclimatológicas miden algunos parámetros climatológicos e hidrométricos, el número de estaciones en el país se aprecia más detalladamente en la Tabla 1.

**Tabla 1. Número de estaciones climatológicas e hidrométricas en México, 2007**

Tipo de estación	Número de estaciones
<b>Climatológica</b>	13,348
<b>Hidrométrica</b>	499
<b>Hidroclimatológica</b>	211
<b>Total</b>	4,058

Fuente: Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT y CONAGUA 2008.



## 2.12 Los recursos hídricos en el país

México es un país de contrastes profundos en lo que a sus recursos hídricos se refiere. La nación no sólo tiene una desigual disponibilidad en las regiones Norte, Centro y Noreste y la región Sureste del país, sino que la disparidad también tiene que ver con el volumen de la precipitación durante la temporada de lluvias, de Junio a Septiembre, que concentra el 68 % de la precipitación anual. La captación y distribución de este caudal representa un desafío para quienes administran los recursos hídricos, los cuales, por cierto, cada día son más escasos. En la figura 6 se observa la distribución natural media per cápita ( $m^3/hab$ ), según cada región hidrológico-administrativa.

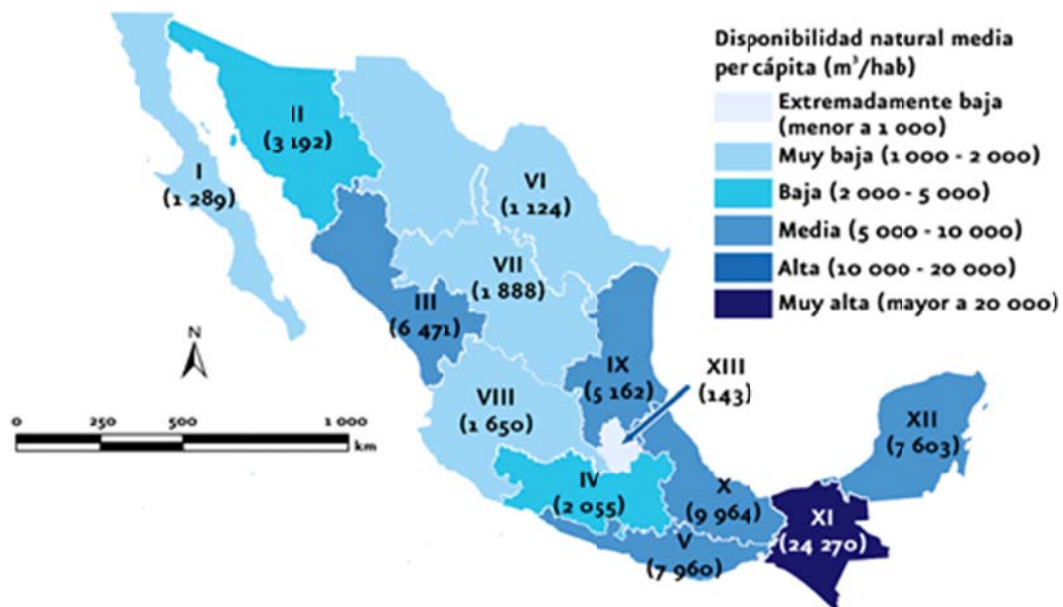


Figura 6. Disponibilidad natural media per cápita por región hidrológica administrativa, 2007

Fuente: CONAGUA, Estadísticas del agua en México, 2008.

Es importante mencionar que de acuerdo con CONAGUA, actualmente se cuenta con 4,058 estaciones climatológicas que permiten monitorear las variables climatológicas e hidrométricas. Al respecto, por medio de estas estaciones pueden medirse las variaciones en la temperatura, la precipitación pluvial y la evaporación. Por otra parte, la medición de caudales y volúmenes almacenados se lleva a cabo en las estaciones hidrométricas, incluyendo los caudales de agua escurrida en ríos y los volúmenes de agua almacenados en presas.

Gracias a estos instrumentos de medición, hoy se sabe que de un billón 488 mil millones de m<sup>3</sup> de agua que recibe el país en forma de precipitación, 72.5% se evapora transpira, regresando así a la atmósfera, mientras que 25.4% escurre por ríos y arroyos, al tiempo que 2.1% se infiltra al subsuelo, recargando de modo natural los mantos acuíferos. De esta manera se conoce que el país cuenta con 458,400 millones de m<sup>3</sup> de agua dulce renovable, cifra que se considera como la disponibilidad natural media.

La disponibilidad natural media per cápita, ha disminuido de 18,035 m<sup>3</sup>/habitante/año en 1950 a tan solo 4,427 m<sup>3</sup>/habitante/año en al 2005. En la figura 7 se puede apreciar cómo ha disminuido su valor.

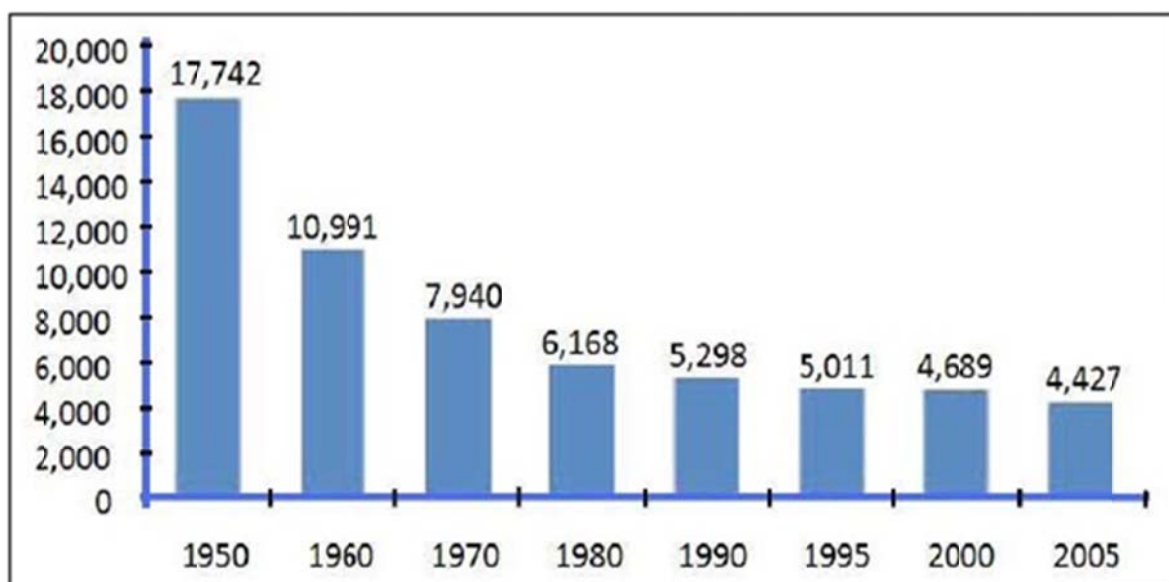


Figura 7. Variación de la disponibilidad natural media per cápita del agua, de 1950 a 2005 en (m<sup>3</sup>/hab/año).

Fuente: Estadísticas del agua en México, SEMARNAT y CONAGUA 2008.

### 2.13 La precipitación pluvial

El promedio de la precipitación pluvial en el país entre los años 1971 y 2000 fue de 759.6 mm, valor que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) considera normal, sin embargo, en 2007 se registraron 812.2 mm, 6.9% más que el promedio de la precipitación en el periodo descrito. Esto significa que en México caen al año un billón 488 mil millones de m<sup>3</sup> de agua en forma de lluvia.

Sin embargo, como 68% de la precipitación ocurre entre Junio y Septiembre, la disponibilidad de agua suele complicarse en los meses en que la precipitación suele ser escasa o nula.

En la figura 8 se muestra la precipitación pluvial normal mensual en México en el periodo de 1970-2000.

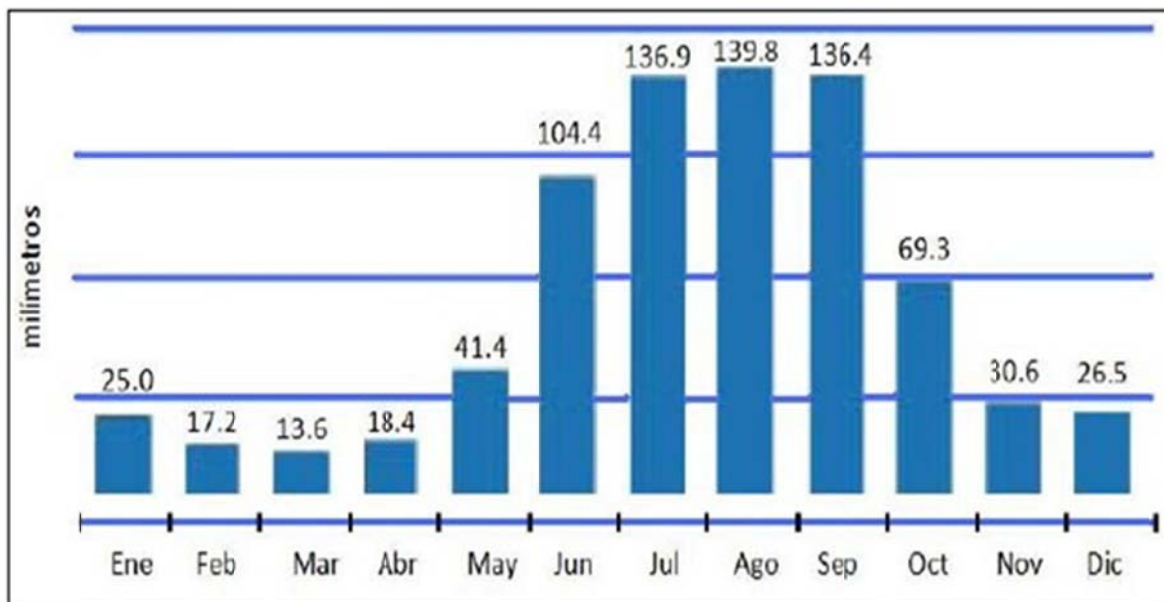


Figura 8. Precipitación pluvial normal mensual en México, en el periodo 1970-2000, en milímetros.

FUENTE: Estadísticas del Agua en México, SEMARNAT y CONAGUA 2008

Al respecto, según estimaciones de la CONAGUA, entre 1971 y 2000, la precipitación en Tabasco, la entidad más lluviosa, fue 13 veces mayor que en Baja California, la entidad más seca.

Según datos de CONAGUA, los estados de la región sursureste conformada por: Chiapas, Oaxaca, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Veracruz y Tabasco, a pesar de que representan solo 27.5% del territorio nacional, reciben casi la mitad (49.6%) de la precipitación pluvial del país.

De la misma manera que los valores promedio de la precipitación y el escurrimiento no reflejan la heterogeneidad espacial del país, tampoco muestran las variaciones temporales. En 2004, por ejemplo, la precipitación fue casi 15% superior al promedio del periodo 1971-2000, mientras que en 1994, 1996, 1997, 1998 y 2002 estuvo por debajo de los 760 milímetros. De hecho, considerando a todo el país entre 1994 y 2002, la precipitación promedio estuvo por debajo de

la media histórica, mientras que entre los años 2003 y 2007 fue superior a la media histórica de 1971-2000.

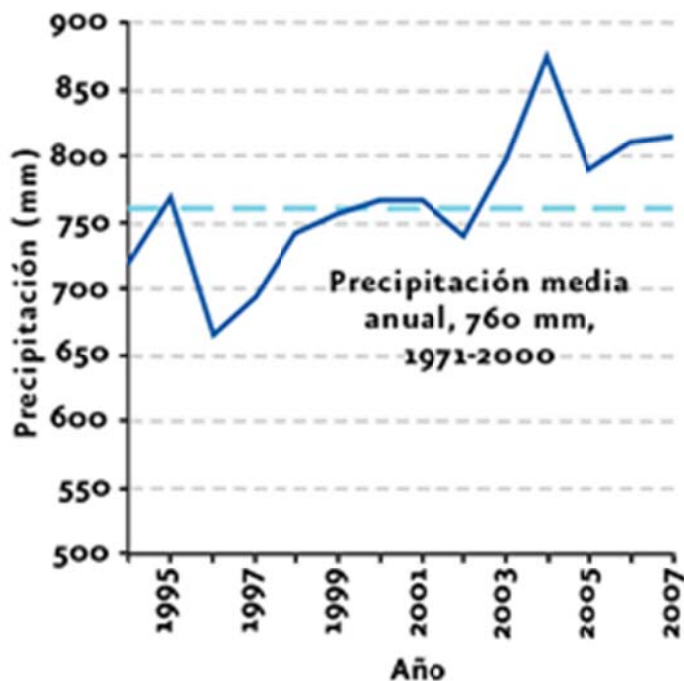


Figura 9. Precipitación anual 1994-2007

FUENTE: Servicio Meteorológico Nacional, México, 2008.

Junto con la variación interanual en la precipitación, debe considerarse la variación en la precipitación que ocurre entre meses. En el país, 68% de la precipitación normal mensual cae entre los meses de junio y septiembre, lo cual afecta la disponibilidad temporal del líquido en muchas zonas del país, sobre todo en aquellas localizadas en zonas secas. Como consecuencia de ello, casi todos los ríos muestran una diferencia notable en el volumen de agua que acarrearán entre las épocas de lluvias y de secas.

Los ciclones que afectan regularmente las costas del país también modifican los volúmenes temporales de precipitación en el territorio nacional. En México se presentan alrededor de 25 ciclones al año con vientos mayores a 63 kilómetros por hora, principalmente en las costas del Pacífico (60% del total), de los cuales cuatro, en promedio, tienen efectos importantes sobre el territorio. La ocurrencia de ciclones tropicales se concentra entre mayo y noviembre, con lluvias intensas en cortos periodos que incrementan sustancialmente la cantidad de agua que cae sobre ciertas zonas. Sin embargo, el agua que ingresa por estos meteoros, además de que

frecuentemente ocasiona inundaciones y daños a las poblaciones, en muchos casos no es aprovechable, ya que escurre muy rápidamente vertiéndose a los ríos o directamente al mar.

#### **2.14 Grado de presión sobre los recursos hídricos**

El grado de presión sobre los recursos hídricos, que representa la proporción de agua disponible que se extrae en una zona, ya sea para fines agrícolas, públicos, industriales o de otros tipos, es otra forma de evaluar la disponibilidad del agua.

La Comisión para el Desarrollo Sustentable (CDS) de la ONU define cuatro categorías para clasificar el grado de presión, que van desde una presión fuerte (la extracción supera el 40% de la disponibilidad natural) hasta una presión escasa (el agua extraída no rebasa el 10% del líquido disponible). México, con un valor estimado de GPR de 17% en 2007, se encuentra en la categoría de presión moderada, valor ligeramente superior al 11.5% estimado como promedio para los países de la OCDE (OECD, 2002). No obstante, el valor relativamente bajo de GPR de México está influido de manera muy significativa por la alta disponibilidad de agua en el sur del país, ya que en regiones como Frontera Sur, Golfo Centro, Península de Yucatán y Pacífico Sur se extrae menos del 8% de su agua disponible. En contraste, las regiones de Baja California, Noroeste, Pacífico Norte, Río Bravo, Cuencas Centrales del Norte, Balsas y Lerma-Santiago-Pacífico, se encuentran en una situación radicalmente distinta, con grados de presión superiores al 40%. Caso particular es el de la región de Aguas del Valle de México, cuyo valor de presión sobre el recurso alcanzó 155% en 2007.

En la figura 10 se puede observar los diferentes grados de presión hídrica según cada región hidrológico-administrativa, se muestra que la parte centro del país es la que sufre un mayor grado de presión hídrica, mientras que en la zona sur es escasa.

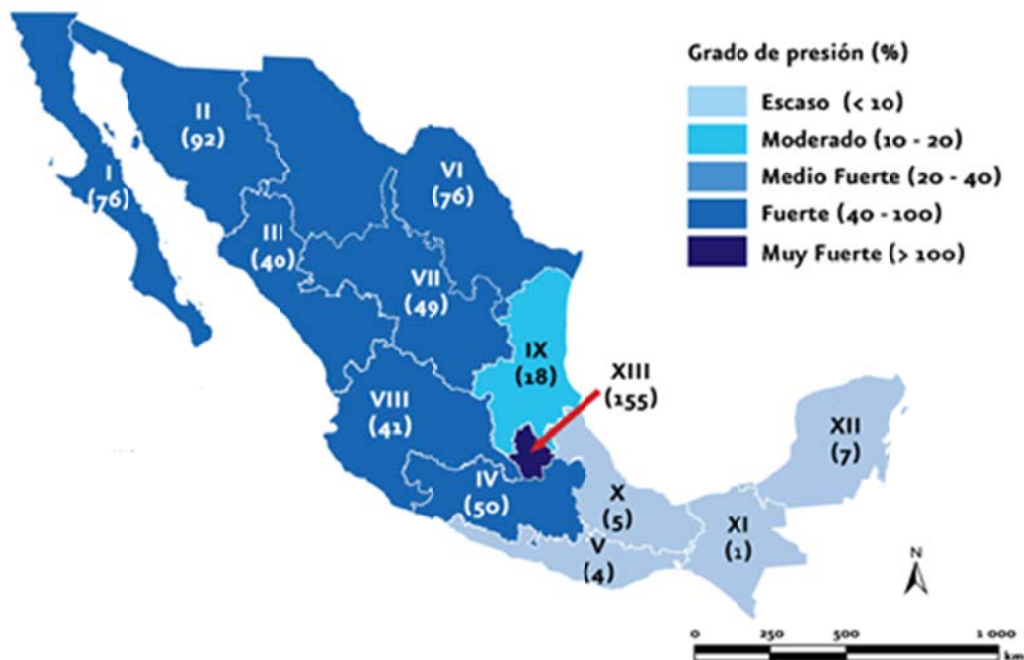


Figura 10. Grado de presión sobre los recursos hídricos por región hidrológico-administrativa, 2007

Fuente: CONAGUA, Estadísticas del Agua en México, 2008. México, 2008.

### **3. Antecedentes**

#### **3.1 Importancia de la Potabilización del Agua**

Es innegable que la problemática no natural del agua es provocada por el hombre en su interacción con el medio natural. Y está determinada por la forma de aprovechar, usar y administrar, tanto el agua como los otros recursos, los cuales son inherentes al equilibrio ecológico y al sano fluir del ciclo hidrológico. La cual se hace crítica en los centros de uso, particularmente en los centros de mayor población. Como representativa de las aglomeraciones humanas se tiene a la Ciudad de México y su zona metropolitana.

Esta situación impide que la población cuente con un servicio adecuado de agua potable, lo que obliga a bombear de distancias muy alejadas (Valle de Bravo, Cutzamala), en este proceso es cuando se contamina y para solucionar el problema los gobiernos de las ciudades optan por un sistema que no resulte una inversión cuantiosa, seleccionando los métodos tradicionales que incrementan los problemas para el consumidor (CEAS, 1993).

A pesar de lo anterior es necesario disponer de agua que no tenga mal sabor, olores extraños, tanto fría como caliente, de manera que solo desprenda leve alcalinización que le confieren las sales y gases disueltos en ellas, desde luego conviene que contenga cierta cantidad de sal, pues en caso contrario, resulta insípida.

El agua potable es indispensable para la mayoría de los seres vivos ya que es el constituyente mayor de seres vivos; estando incorporada a los tejidos y órganos. Así, podemos indicar que el tejido adiposo contiene entre un 22% y un 34% de agua, y en el hígado y corazón la proporción oscila entre un 70% y 80%. El tejido con mayor contenido en agua es el nervioso, con una proporción entre el 82% y 94% (Delta, 2001).

El agua puede estar libre, conteniendo sustancias minerales u orgánicas en disolución o combinada con ciertos cuerpos. También se presenta retenida, por absorción, por ciertas sustancias dentro de las células, su papel es muy importante, hasta el punto que una pérdida de agua del 15% produce graves trastornos en los animales superiores. En los inferiores, da lugar al enquistamiento, o a la adopción del estado de vida latente. Es el medio de disolución de los componentes minerales y orgánicos del protoplasma celular y gracias a ella pueden realizar varias acciones vitales para el organismo. Lo anterior nos pone en tela de juicio para decidir el

tipo de agua que deseamos incorporar al organismo para prevenir las enfermedades que se pueden transmitir mediante el agua (Delta, 2001).

Por tal la transformación en su calidad esta debe estar acorde a las necesidades de la sociedad, pasando de ser un elemento esencial natural a un producto elaborado y de buena calidad.

### 3.2 Parámetros de Calidad de las Aguas

El agua pura es un líquido incoloro, inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A la presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de congelación del agua es de 0° C y su punto de ebullición de 100°C. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4° C y se expande al congelarse. Como muchos otros líquidos, el agua puede existir en estado sobre enfriado, es decir, que puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar fácilmente a unos -25° C sin que se congele. Tiene un peso molecular de 18 gr/ mol.

Los parámetros del agua son características físicas, químicas, biológicas y radiológicas que permiten detectar cual es el grado de contaminación que presenta el agua, la razón principal de este problema es su estructura molecular que es dipolar, con una constante dieléctrica muy alta superior a cualquier otro líquido. Algunos de estos se utilizan en el control de los procesos de tratamiento realizando mediciones de forma continua o discreta.

Como se muestra de la Tabla 2 a la 5, los parámetros se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: físico, químico, biológico y radiológico.

Tabla 2. Parámetros físicos

PARÁMETRO	DETERMINACIÓN	UNIDAD	RANGO
<b>Turbidez</b>	Nefelómetro	UTN	< 5 UTN
<b>Color</b>	En laboratorio por comparación de un estándar arbitrario.	UCV	5-15 UCV
<b>Olor y Sabor</b>	-Salado > 300 Cl <sup>-</sup> -Saldo y amargo > 450 ppm SO <sup>4-</sup> -Picante por CO <sub>2</sub>	-----	-----
<b>Conductividad y Resistividad</b>	Conductivímetro, electro-conductividad	Ohm, siemens	Agua ultra pura -18.24 mohms/cm -0.05483 msiemens/cm



Tabla 3. Parámetros químicos

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	ELIMINACIÓN	RANGO
<b>Alcalinidad</b>	Contribuyen iones CO <sub>3</sub> H- bicarbonato CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> carbonato OH <sup>-</sup> oxhidrilo Ácidos débiles y fosfatos	-Descarbonatación con cal -Tratamiento con ácido -Intercambio iónico	< 10 ppm Agua uso doméstico
<b>Coloides</b>	Material en suspensión	-Floculación -Precipitación -Eliminación de arcillas	Tamaño 10-4-10-5 mm
<b>Sólidos Disueltos Totales (SDT)</b>	Toda la materia sólida contenida en el líquido disueltos + suspensión	-Precipitación -Intercambio iónico -Destilación -Electrodialisis -Ósmosis Inversa	<500 ppm, valor max. Para aguas potables
<b>Cloruros</b>	Ion cloruro (Cl <sup>-</sup> ) disuelto	-Filtro de carbón activado -Intercambio iónico	10-250 ppm aguas dulces
<b>Sulfatos</b>	Ion sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) disuelto	-Intercambio iónico	2-250 ppm aguas dulces
<b>Nitratos</b>	Ion nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) disuelto, en medio reductor puede pasar a nitritos, gas nitrógeno y amoníaco "eutrofización"	-Intercambio iónico	< 10 ppm aguas normales
<b>Fosfatos</b>	Ion fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ), precipita como fosfato cálcico	No suele existir en el agua	< 10 ppm
<b>Fluoruros</b>	Ion fluoruro (F <sup>-</sup> ), solubilidad limitada	En algunos casos puede resultar beneficioso	> 1 ppm
<b>Sodio</b>	Ion sodio (Na <sup>+</sup> ), solubilidad muy elevada	-Intercambio iónico	1-150 ppm en guas dulces
<b>Potasio</b>	Ion potasio (K <sup>+</sup> )	-Intercambio iónico -Ósmosis inversa	< 10 ppm
<b>Calcio</b>	Ion calcio (Ca <sup>2+</sup> ) moderadamente soluble, CO <sub>3</sub> Ca principal componente de la dureza del agua.	-Precipitación -Intercambio iónico -Ósmosis inversa	10-250 ppm en aguas dulces
<b>Magnesio</b>	Mg <sup>2+</sup> sales solubles y difíciles de precipitar, sabor amargo y efectos laxantes	-Ósmosis inversa -Intercambio iónico	1-100 ppm en aguas dulces
<b>Hierro</b>	2 formas, ion ferroso (Fe <sup>2+</sup> ) y ion férrico (Fe <sup>3+</sup> ), solo en aguas con pH ácido	-Coagulación filtración -Intercambio iónico -Aireación del agua	0-10 ppm
<b>Manganeso</b>	Ion manganeso bivalente, trivalente o de valencia 4+, solo en aguas con pH ácido	-Ósmosis inversa -Intercambio iónico	< 1ppm
<b>Metales tóxicos</b>	Arsénico, cadmio, plomo, cromo, bario y selenio	-Control en el origen	-----
<b>Arsénico</b>	Muy tóxico	-Coagulación, decantación, filtración -Adsorción con alúmina activada -Ablandamiento con cal -Intercambio catiónico -Ósmosis inversa	< 10 mg/L según OMS
<b>Dióxido de Carbono</b>	CO <sub>2</sub> , soluble en agua forma carbonatos y bicarbonatos	-Desgasificación -Descarbonatación	1-30 ppm

Tabla 4. Parámetros biológicos

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN	UNIDAD
<b>Demanda Biológica de Oxígeno DBO</b>	Cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios	En 5 o 21 días.	ppm de O <sub>2</sub> , mg/L
<b>Demanda Química de Oxígeno DQO</b>	Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico Ej. Dicromato, permanganato etc., por el total de materia oxidante orgánica e inorgánica.	Inmediata	ppm de O <sub>2</sub> , mg/L
<b>Carbón Orgánico Total COT</b>	Medida de control de materia orgánica en el agua, en presencia de un catalizador el carbono se oxida a CO <sub>2</sub>	Inmediata	CO <sub>2</sub> desprendido

### 3.3 Factores de la contaminación del agua

Agentes patógenos. Se trata de bacterias, virus, protozoarios, gusanos y parásitos que proceden de drenajes y desechos orgánicos, y dan lugar a enfermedades como el cólera, la cual, en 2004, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recibió 101, 383 notificaciones, 2, 345 de ellas mortales.

Desechos que requieren oxígeno. Son las heces y otras excreciones que las bacterias aeróbicas descomponen, es decir, bacterias que consumen oxígeno. Cuando los desechos abundan, proliferan bacterias, se agota el oxígeno y muere la vida acuática. Esta clase de contaminación se mide por medio de la cantidad de Oxígeno Disuelto (OD) en agua o por la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

Sustancias químicas inorgánicas. Se trata de sales, ácidos y compuestos de metales pesados, como mercurio (Hg) y plomo (Pb), que en altas concentraciones hacen el agua inadecuada para la vida. También hacen que disminuya la producción agrícola.

Nutrientes vegetales inorgánicos. Los nitratos y fosfatos son necesarios para el crecimiento de las plantas, pero concentrados inducen a la reproducción desmesurada de algas y otros organismos, provocando la eutrofización del agua.

Sustancias químicas orgánicas. Se trata de productos químicos solubles e insolubles, como el petróleo, plásticos, gasolinas, plaguicidas, solventes o detergentes, que al mezclarse con el agua pueden causar en los seres vivos trastornos renales, defectos congénitos, cáncer e, incluso, la muerte.

Sedimentos y materia suspendida. Es materia orgánica e inorgánica suspendida que transporta plaguicidas, genera bacterias, obstruye estanques, lagos, presas y canales, al tiempo que disminuye la fotosíntesis en plantas acuáticas y, en consecuencia, su capacidad de alimentarse.

Sustancias radioactivas. El yodo (I), el uranio (U) y el estroncio (Sr) son sustancias radioactivas que se utilizan en la industria eléctrica y nuclear, y pueden romper las cadenas alimenticias causando defectos congénitos, mutaciones y hasta cáncer.

Calentamiento de lagos y ríos. Se puede ocasionar cuando algunas industrias descargan el agua que utilizan para enfriar maquinas o herramientas, haciendo que disminuya el oxígeno y que se debilite el sistema inmunológico de algunos organismos acuáticos, provocándoles incluso la muerte.

### **3.4 Lluvia ácida**

La lluvia ácida es un problema no solo de interés ambiental sino de gran importancia económica, por sus efectos sobre los ecosistemas y las edificaciones del hombre provocada por los cambios de temperatura pero aún más por la contaminación producida por la quema de combustibles.

La lluvia ácida fue descubierta por un químico inglés llamado Robert Angus Smith en 1872 y se define como toda aquella agua de lluvia cuyos valores de Potencial Hidrogeno (pH) son inferiores a los de la lluvia normal. El pH es una escala que va de 0 a 14 la cual indica qué tan ácida o alcalina es una sustancia, en la figura 13 se muestran las principales transformaciones químicas que forman la lluvia ácida.

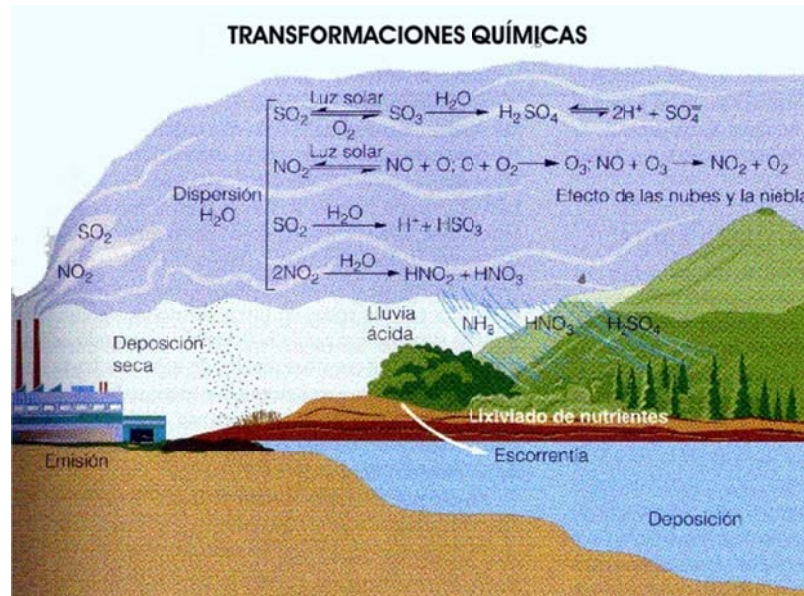


Figura 11. Principales transformaciones químicas que forman la lluvia ácida

Fuente: <http://www.sagan-gea.org/hojared/lluviacid.jpg>

### 3.4.1 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.

En la figura 14 se presentan algunos datos del pH del agua de lluvia en diferentes regiones del mundo:

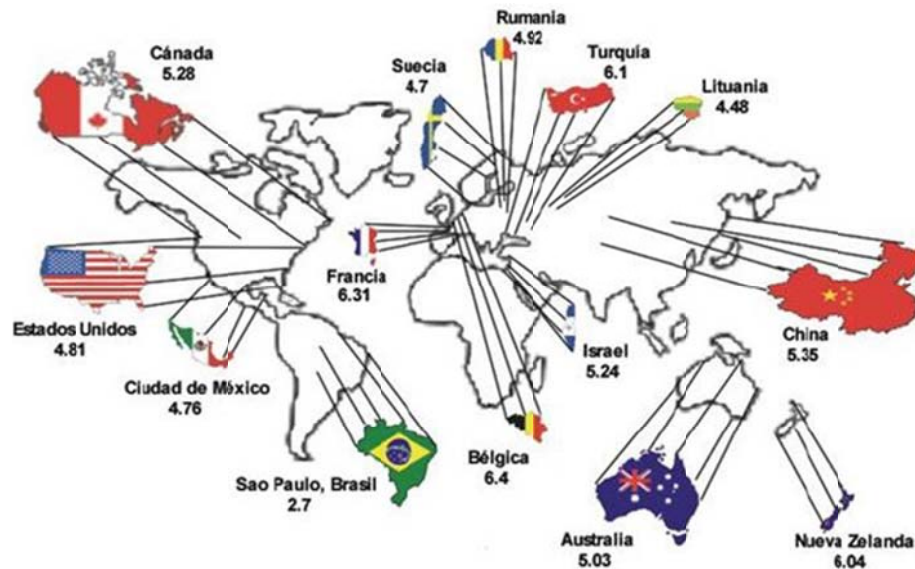


Figura 12. El PH del agua de lluvia en diferentes regiones del mundo.

Fuente: Lluvia ácida, GDF

### 3.4.2 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.

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 figura 15:

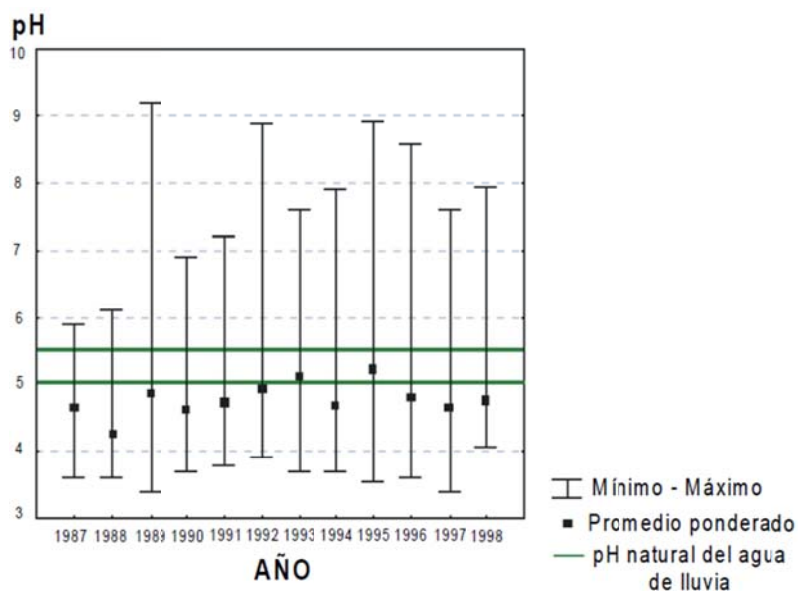


Figura 13. pH histórico en la Ciudad de México, periodo 1987-1998

Fuente: Lluvia ácida, GDF

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.

### **3.5 Límites permisibles de calidad de agua - NORMATIVIDAD**

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.

Los límites permisibles de calidad del agua son los siguientes:

#### **3.5.1 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.

El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la tabla 5.

Tabla 5. Límites permisibles características microbiológicas

<b>Característica</b>	<b>Limite permisible</b>
Organismos coliformes totales	No detectables NMP/100mL Ausencia UFC/100 mL
Organismos coliformes fecales	No detectables NMP/100 mL Ausencia UFC/100 mL

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

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.

### 3.5.2 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 6.

Tabla 6. Límites permisibles características físicas y organolépticas.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala platino-cobalto
Olor y Sabor	Agradable para los consumidores
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

### 3.5.3 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 7. 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.

Tabla 7. Límites permisibles de características químicas

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE	CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20	pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Arsénico	0.05	Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Bario	0.70	Clordano (total de isómeros)	0.30
Cadmio	0.005	DDT (total de isómeros)	1.00
Cianuros (como CN <sup>-</sup> )	0.07	Gamma-HCH (lindano)	2.00
Cloro residual libre	0.2-1.50	Hexaclorobenceno	0.01
Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )	250.00	Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Cobre	2.00	Metoxicloro	20.00
Cromo total	0.05	2,4 - D	50.00
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500.00	Plomo	0.025
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001	Sodio	200.00
Fierro	0.30	Sólidos disueltos totales	1000.00
Fluoruros (como F <sup>-</sup> )	1.50	Sulfatos (como SO <sup>4-</sup> )	400.00
Manganeso	0.15	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Mercurio	0.001	Trihalometanos totales	0.20
Nitratos (como N)	10.00	Zinc	5.00
Nitritos (como N)	0.05		
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50		

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

El agua debe cumplir con la NOM-127 que establece los parámetros permisibles del agua para el consumo humano. Una vez cumplido lo anterior las personas físicas o morales que se dediquen al proceso de producir agua purificada deben cumplir la NOM-041 que establece las especificaciones sanitarias del agua purificada envasada.



### 3.5.4 Límites permisibles de características radiactivas.

Son aquellas resultantes de la presencia de elementos radioactivos. El contenido de constituyentes radioactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 8, los límites se expresan en Bq/L (Becquerel por litro).

Tabla 8. Límites permisibles de características radioactivas

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE (BQ/L)
Radioactividad alfa global	10.56
Radioactividad beta global	11.85

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

### 3.5.5 Norma “International Bottled Water Association” (IBWA)

La industria del agua embotellada normalmente emplea medidas adicionales para mayor protección de su producto empezando desde la fuente hasta el empaque. Estos requerimientos vienen escritos en el código de modelo IBWA que establece la FDA (Administración Federal del Medicamento) las cuales son requisitos indispensables para que el producto sea consumido.

Las especificaciones establecidas se indican y se comparan con las normas vigentes mexicanas en la tabla 9:

Tabla 9. Límites permisibles para agua, según diferentes normas vigentes en México y el mundo.

PARÁMETRO	NOM-127	IBWA	NOM-041	FDA
<b>Acidez o alcalinidad total</b>	300 ppm		300 ppm	
<b>Cloro residual</b>	0.2-1.5 ppm		0.10 ppm	
<b>Cloruros</b>	250 ppm	250 ppm	250 ppm	250 ppm
<b>Color</b>	20 UCV	5 UCV	15 UCV	15 UCV
<b>Dureza total</b>	500 ppm		200 ppm	
<b>Hierro (como Fe)</b>	0.3 ppm		0.30 ppm	
<b>Turbiedad</b>	5 UTN	5 UTN	5 UTN	5 UTN
<b>SDT (sólidos disueltos totales)</b>	1,000 ppm	500 ppm	500 ppm	500 ppm
<b>SAAM</b>	0.5 ppm		0.50 ppm	
<b>Sulfatos</b>	400 ppm	250 ppm	250 ppm	250 ppm
<b>pH</b>	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	NA
<b>Zinc</b>	5 ppm	5 ppm	3 ppm	5 ppm

### 3.6 Proceso de captación de agua de lluvia

El proceso de captación de lluvia es un proceso fundamentalmente sencillo y muy antiguo. En su forma más básica, consiste en una superficie de captación (comúnmente el techo de un edificio), un tinaco o cisterna donde almacenar el agua recolectada, y tubos y canaletas para conducir el agua de la superficie de captación al almacenamiento. Para asegurar o garantizar una mejor calidad de agua en muchos casos se agregan otros elementos que ayuden a filtrar sedimentos y matar bacterias

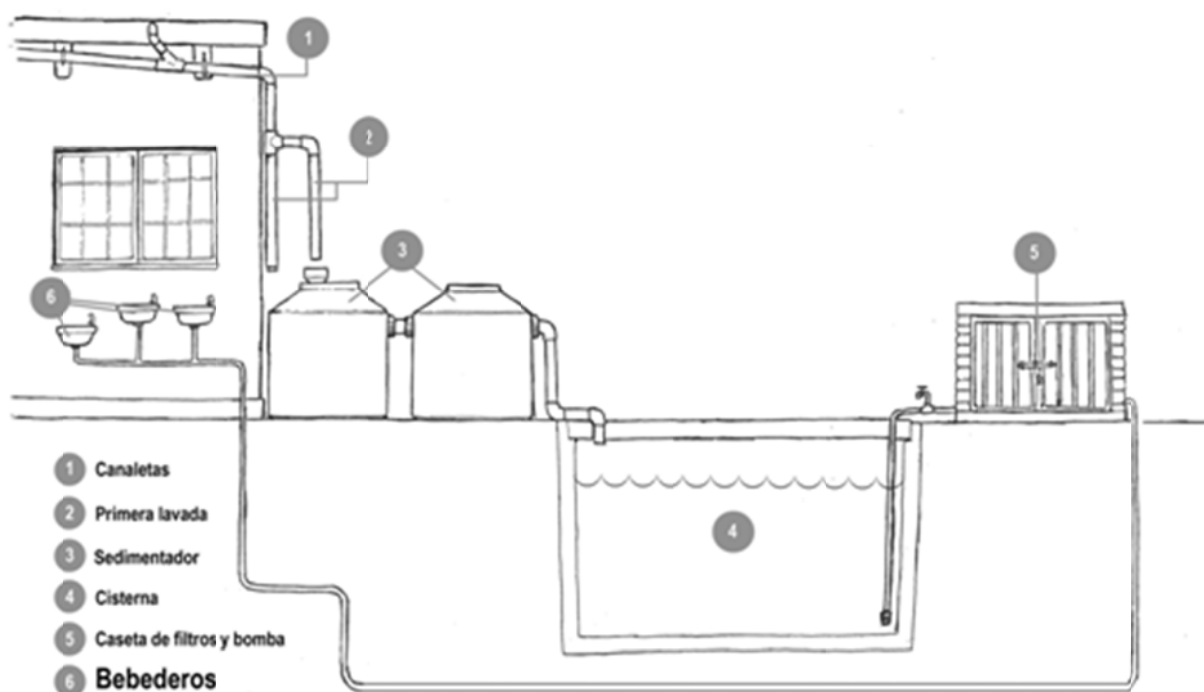


Figura 14. Componentes de un sistema de captación de agua pluvial

Fuente: <http://www.irrimexico.com/isla-urbana/>

Después de bajar del techo por los tubos (1), el agua pasa por un simple mecanismo que llamamos la "primera lavada". Este consiste en un tubo vertical (2) con un tapón (3) y una "T" arriba que conecta al tubo que va hacia el sedimentador y la cisterna (4). Cuando se coloca el tapón en el extremo del tubo vertical, el agua cae allí hasta que rebosa por la "T" y sigue al sedimentador y a la cisterna. Abrir el tapón hace que el agua caiga sin entrar a la cisterna. La primera lavada se usa para prevenir que agua muy sucia, por ejemplo la primera lluvia de la temporada que cae sobre el techo más lleno de polvo y tierra, entre al sistema. (Ver figura 17)

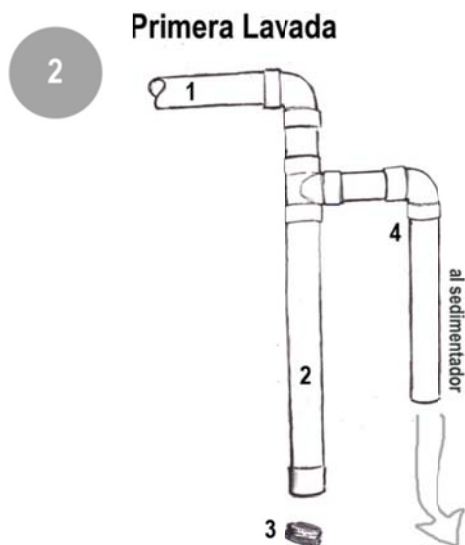


Figura 15. Mecanismo de primera lavada

Fuente: <http://www.irrimexico.com/isla-urbana/>

Después de la primera lavada, el agua pasa a un tanque sedimentador. Allí el agua tiene que rebosar varias paredes y pasar por telas de malla para dejar atrás algunos de los sedimentos más pesados y basuras más grandes que pueda haber arrastrado del techo. El sedimentador hace que el agua llegue a la cisterna más cristalina.

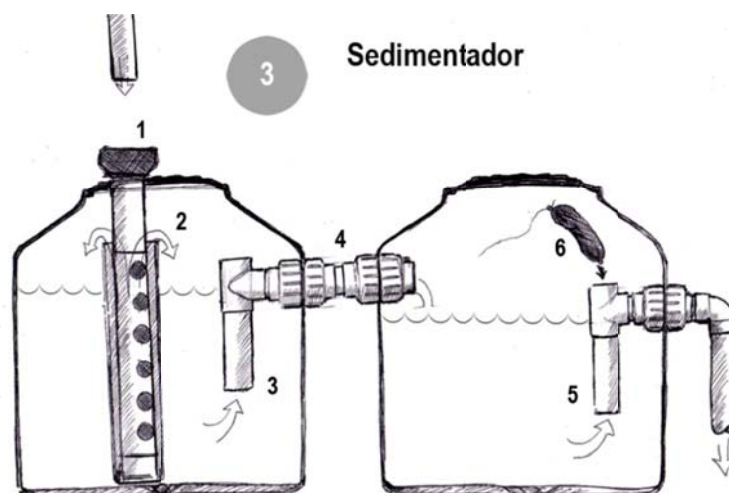


Figura 16. Tanques sedimentadores

Fuente: <http://www.irrimexico.com/isla-urbana/>

Al salir del sedimentador, el agua entra por fin a la cisterna. Allí aplicamos cloro con un flotador para matar bacterias y precipitar sedimentos. También se pone una manguera que permite usar la bomba para recircular el agua y oxigenarla, ayudando a mantenerla más limpia.

Al salir de la cisterna, al agua pasa por uno o más filtros antes de llegar al tinaco del techo. Estos filtros pueden contener zeolita, carbón activado, grava, celulosa u otros materiales que reducen el tamaño de partículas que pueden pasar y que además pueden quitar metales pesados, colores, olores y cloro del agua, dejándola lista para uso en la casa. Si se quiere obtener agua 100% potable, hay que agregar más filtros y tratamientos para estar seguros de no dejar pasar ningún patógeno.

4 Filtro de carbón activado

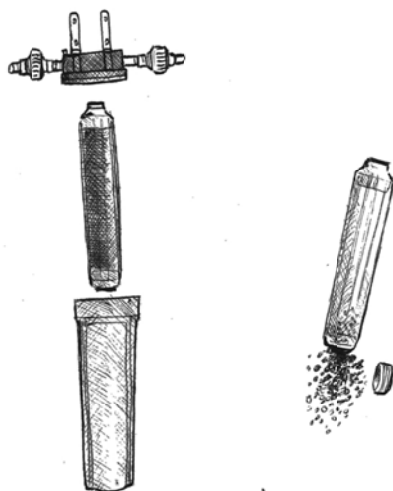


Figura 17. Filtro de carbón activado, Sistema de captación de agua de lluvia

Fuente: <http://www.irrimexico.com/isla-urbana/>

#### **4. Justificación**

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.

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 el presente trabajo se pretende mostrar un panorama general relacionado con la disponibilidad de agua a nivel mundial, la situación de México y los retos a los que se enfrenta la sociedad actual, así como el método más adecuado para obtener agua de lluvia de buena calidad.

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. 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. 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 se han realizado, 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.

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

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 controlarla y preservarla.

#### **4.1 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.

Una forma en la que se evalúa la disponibilidad del agua es por el volumen que le corresponde a cada habitante. El valor de esta medida depende claramente del tamaño de la población que se asienta en el país o región para el cual quiera calcularse, considerando que la precipitación no se reduce de un año al otro. A nivel mundial, la tendencia en la disponibilidad per cápita ha sido decreciente. En 1960, a cada ciudadano del mundo le correspondían 11,300 m<sup>3</sup>/año, los cuales se redujeron a tan sólo 5,600 m<sup>3</sup>/año en el año 2000 y, según proyecciones, podrían ser tan sólo 5,000 m<sup>3</sup> para el año 2010 (MEA, 2005).

En México, considerando la proyección de la población a diciembre de 2007, que estimaba un total de 106 millones de personas en el país, la disponibilidad natural de agua por habitante fue de 4,312 m<sup>3</sup> cúbicos anuales, un volumen que, de acuerdo al World Resources Institute (WRI), se considera como de disponibilidad baja (el límite inferior para clasificar a la disponibilidad media es de 5,000 m<sup>3</sup> por habitante por año). En el contexto mundial, la disponibilidad de agua por habitante en México en la actualidad es mucho menor que la de países como Canadá (91

420 m<sup>3</sup>/hab/año), Brasil (45 570 m<sup>3</sup>/hab/año) o Estados Unidos (10 270 m<sup>3</sup>/hab/año), y en general toda América del Sur, pero ligeramente superior al promedio de los países europeos (PNUMA, 2002).

En la figura 18 se ejemplifica los millones de viviendas sin servicio de agua entubada, según cada estado de la república.

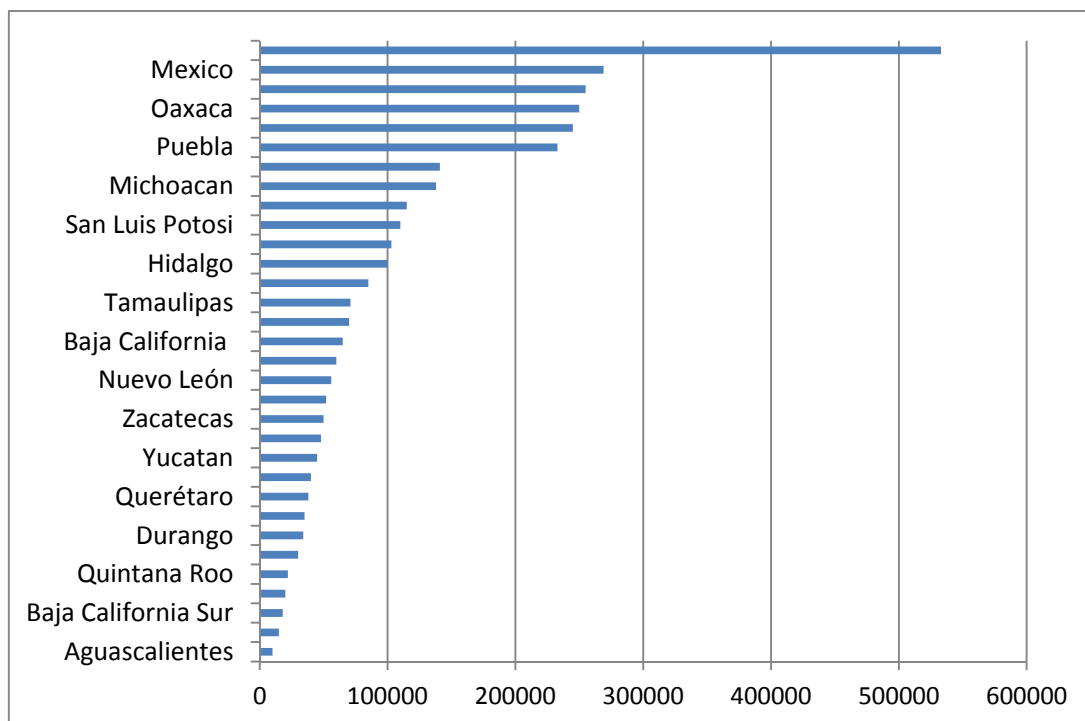


Figura 18. Millones de viviendas sin agua entubada en México

Fuente: <http://www.colpos.mx/ircsa/cidecall/odcs/ponencia.pdf>

#### 4.2 Problemática del agua en la Ciudad de México

El problema del agua en la Ciudad de México ha alcanzado una situación alarmante: del acuífero del Valle de México se extraen 48.72 m<sup>3</sup>/seg de los cuales sólo se recargan aproximadamente el 50%, lo cual pone en riesgo el abasto de agua de sus habitantes. En delegaciones como la de Iztapalapa el 30% de la población sufre de desabasto del vital líquido. (Secretaría de Ecología del Distrito Federal, 2003)

Actualmente, en la Ciudad de México, se desperdician 5,000 L/seg y se reciben al año entre 22,000 y 25,000 reportes de fugas de agua. (SACM, 2002)

El hecho de que el balance hidrológico de la Ciudad de México sea deficitario trae como consecuencias:

- Una creciente demanda e importación de agua de fuentes externas a la cuenca de México.
- El hundimiento progresivo de la ciudad que, entre otras cosas, acentúa el problema de las fugas al fracturarse las redes de distribución.
- El riesgo de la inviabilidad de ciudad por la agudización de la escasez de este vital recurso.

El problema del desperdicio del agua en el caso de la Ciudad de México, por las condiciones antes mencionadas, adquiere dimensiones particulares por la delicadeza de la situación del recurso, y significa la afectación tanto para la presente como para las futuras generaciones en términos de su derecho a este recurso y a una vida digna y de calidad.

Datos como los anteriores ilustran la importancia del contenido de este trabajo que pretende, además de señalar el caso concreto, hacer énfasis en la deficiencia estructural que presenta a diario la Ciudad de México, es por eso proponer nuevas alternativas para resolver esta problemática a la que la Ciudad de México se enfrenta diariamente y cada vez con más frecuencia.

#### **4.3 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, consorcios comerciales, etcétera., la infiltración del agua de lluvia al subsuelo se reduce por el incremento de las zonas pavimentadas y su desalojo a través de drenajes, lo que genera problemas de gran magnitud en obras recientes; pues la sobreexplotación del manto acuífero 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

#### **4.4 Escasez de agua en el DF empeorará en 2011**

Para el año 2011 se prevé una de las peores crisis en materia de abasto de agua potable en la Ciudad de México, debido a la escasez que se registra y que 2009 es considerado como el más seco de los últimos 40 años. (Aguirre, 2010)

Se estima que el Valle de México resentirá la falta de lluvia y del caudal proveniente del Sistema Cutzamala el próximo año, si en los meses siguientes no disminuye la demanda del vital líquido. (Aguirre, 2010)



"Puede haber varios millones de gente con serios problemas de abasto y las pipas resultarán insuficientes para atender la demanda", en la Figura 12 se muestra pipas de aguas repartiendo el valioso recurso a habitantes sin servicio de agua potable.



Figura 19. Pipas de agua repartiendo agua potable en zonas de alta escases del Distrito Federal  
Fuente: Archivo El Universal

El subsidio al agua en el Distrito Federal es selectivo por beneficiar a quienes tienen un buen servicio y no son pobres, y es desproporcionado al tener una tarifa promedio de dos pesos por metro cúbico para uso doméstico, cuando el costo directo es de \$13.00 pesos. (Soto, 2009)

El (mal) servicio del agua ha puesto en vulnerabilidad a millones de personas, principalmente en la zona oriente del DF, donde el 91 por ciento de las personas consume agua embotellada, 72% padece baja presión del agua, 61% del agua es de mala calidad y el 52% tiene recortes frecuentes del líquido.

En el caso de la ciudad de México, se estima que un millón 430 mil 667 personas tienen problemas relativos al abasto de agua y 240 colonias de diversas delegaciones sufren tandeos, que en Iztapalapa llegan a ser de diez horas a la semana.

Los problemas de agua generan pérdida de la cantidad y calidad de la infiltración y disponibilidad del agua, irregularidad en las actividades económicas, deterioro en las condiciones de vida de la población, desarrollo de actividades que vulneran la conservación del ambiente y riesgos ambientales y territoriales para la ciudad. (Ponce, 2010)

También se estima que la dotación mínima para lograr un desarrollo adecuado es de mil metros cúbicos anuales por habitante; sin embargo, en el 2050 sufrirán escasez de agua 3,290 millones de personas de 50 países.

Algunos datos duros son por ejemplo que la disponibilidad del agua en México -en metros cúbicos por habitante al año-, descendió drásticamente de 17,742 en 1950 a 4,312 en 2007 y bajará hasta 3,783 en 2030. (Aureoles, 2010)

Asimismo, en la actualidad las pérdidas en redes de agua de la Zona Metropolitana del Valle de México son de 23 metros cúbicos por segundo, mientras que la sobreexplotación de los acuíferos es de 31 metros cúbicos por segundo –se extraen 50.2 y sólo se recargan 19.2-.

Finalmente, Jiménez (2010) menciona que la sobre explotación del agua en la ciudad de México produce hundimiento diferencial, pérdida de capacidad de drenaje, 20 a 30 inundaciones por año con más de 30 centímetros de agua, problemas estructurales en edificios, problemas de baches y fugas de la red de agua potable y drenaje.

## **5. Objetivos**

### **5.1 Objetivo General**

Proporcionar información básica para la captación de agua de lluvia como alternativa para enfrentar la escasez del recurso, contribuir en la toma de decisiones para el abastecimiento de agua en calidad y cantidad para consumo humano en la Ciudad de México, generando una correcta cultura en cuanto al manejo de este recurso se refiere.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Analizar los principales Sistemas de Captación de Agua de Lluvia utilizados en México y en el mundo, así mismo definir las nuevas técnicas y métodos desarrollados y la importancia que han tomado, así como resaltar las ventajas, desventajas y nuevas necesidades de los sistemas de captación.
- Identificar y analizar los principales contaminantes presentes en el agua de lluvia, comparando los resultados obtenidos con instituciones dedicadas a la regulación del recurso de agua en México y los límites permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.
- Realizar un análisis de la calidad de agua de lluvia, componentes del sistema, materiales, en sistemas que se encuentren actualmente en operación, así como diseñar un tren de tratamiento adecuado para la purificación del agua captada por estos sistemas.
- Describir y encontrar los métodos de potabilización y purificación del agua de lluvia para uso y consumo humano, a fin de seleccionar el equipo y tratamiento más adecuado a partir de un análisis físico, químico y bacteriológico de la fuente, para obtener el sistema más viable y eficiente que permita dotar de agua de calidad a la población de la Ciudad de México.
- Mencionar los diferentes tipos de purificación básicos como parte del tratamiento para obtener agua de buena calidad y algunas recomendaciones de operación y mantenimiento que se le debe brindar a un sistema de captación de agua de lluvia.
- Proponer mejoras y hacer recomendaciones sobre los sistemas de captación de agua de lluvia existentes.

## **6. Hipótesis**

- Los sistemas de captación de agua de lluvia son una buena alternativa para enfrentar la escasez del recurso y permiten el abastecimiento permanente de agua en buena calidad y cantidad a la población.
- Los sistemas de captación de agua de lluvia son sistemas de fácil instalación, los materiales utilizados son de bajo costo y de fácil adquisición, además de ser de fácil operación y mantenimiento son sistemas que permiten obtener agua de buena calidad para consumo humano.
- La mejor alternativa de tratamiento de purificación de agua de lluvia es la secuencia: filtración-carbón activado-intercambio iónico-ósmosis inversa-radiación ultravioleta y ozonización del agua, este tren de tratamiento garantizara tener agua de lluvia de excelente calidad para consumo humano.

## **7. Metodología**

En cuanto a la metodología de estudio se refiere, esta se divide principalmente en tres partes:

- 1) Trabajo de gabinete:** Se realizó una investigación extensa sobre los estudios que se han realizado en México, principalmente en el Distrito Federal, sobre la composición y calidad de agua de lluvia para así poder comparar los resultados obtenidos durante el trabajo de campo y el trabajo de laboratorio.

Además se realizó un análisis sobre los diferentes sistemas de captación de agua de lluvia que se utilizan en el mundo, con el fin de definir si la captación de agua de lluvia para consumo humano es un método utilizado y probado por diferentes comunidades alrededor del mundo, así como los diferentes métodos que existen para la purificación y desinfección del agua de lluvia.

Se estudiaron los diferentes métodos y sistemas que existen actualmente para la captación de agua de lluvia, se analizaron los principales usos que se le da al recurso según su forma de captación, así como sus ventajas y desventajas.

- 2) Trabajo de laboratorio:** Dentro del trabajo de laboratorio se tomaron muestras de agua de lluvia, en las instalaciones del Instituto de Ingeniería de la UNAM durante el periodo de lluvias del año 2010, se realizaron pruebas de calidad de agua de lluvia con el fin de estudiar sus principales contaminantes y en base a esto poder establecer un sistema de tratamiento que permita obtener agua de buena calidad para consumo humano.

- 3) Trabajo de campo:** Se recolectaron muestras con ayuda de Isla Urbana, (asociación civil que busca ayudar a solucionar la crisis de agua en la Ciudad de México). Están ubicados en la Delegación Tlalpan en la zona del Ajusco medio, en esta zona han creado un prototipo a escala barrio que demuestre lo viable que es agregar la captación de lluvia aun manejo integral y sustentable del agua en México.

Estas muestras fueron tomadas de sistemas que se encuentran actualmente en funcionamiento, a estas se les realizó un estudio de los principales contaminantes presentes en el agua de lluvia, además se plantearon y utilizaron 5 trenes de tratamiento diferentes para identificar las etapas de tratamiento que permitan obtener agua de lluvia que cumpla con la normativa mexicana y por lo tanto sea apta para consumo humano.

## **7.2 Trabajo de laboratorio**

Se tomaron muestras de agua de lluvia en el techo del edificio 5 del Instituto de Ingeniería de la UNAM, estas muestras se llevaron a cabo durante cada una de las lluvias registradas en la temporada de lluvias del año 2010, estas se tomaron en 2 recipientes de 200 L cada uno, debidamente desinfectados, lavados y protegidos mediante una malla ciclónica para evitar el contacto de las muestras con agentes externos que pudieran contaminar la muestra.



Figura 20. Contenedores para captación de agua de lluvia, Instituto de Ingeniería UNAM

Cada muestra de agua de lluvia se tomó debidamente en bolsas esterilizadas de 0.5 L para su posterior análisis en el laboratorio.



Figura 21. Muestras de agua de lluvia, Instituto de Ingeniería UNAM

El análisis experimental para determinar la calidad de agua de lluvia, se comenzó sembrando las primeras muestras en diferentes medios de cultivo para determinar los principales contaminantes presentes en el agua de lluvia. Los medios analizados se mencionan en la Tabla 10:

Tabla 10. Medios utilizados para la caracterización microbiológica de agua de lluvia

fecha	tsa	coliformes totales	coliformes fecales	salmonella- shigella	mc	sabouraud dextrose agar
22-jun	4	3	6	3	3	-----
01-jul	3	3	-----	3	-----	-----
03-jul	10	12	-----	-----	-----	8
27-jul	6	4	-----	-----	-----	6
28-jul	4	4	-----	-----	-----	4
02-ago	10	10	-----	-----	-----	10
03-ago	4	4	-----	-----	-----	4
04-ago	2	2	-----	-----	-----	2

### 7.2.1 Preparación de medios

Para el estudio de microorganismos presentes en el agua de lluvia, se utilizaron varios medios de cultivo estériles con el fin de identificar los principales contaminantes presentes y en función del grupo microbiano que se requiere estudiar. El modo de preparación fue el siguiente:

Todos los medios se prepararon con agua destilada, verificando que todo el equipo y material a utilizar estuviera perfectamente limpio y en correctas condiciones, los medios se prepararon en matraces cónicos con tapa, se pesó la cantidad de medio requerida para cada caso y se disolvió en agua destilada con calentamiento constante, según el caso se esterilizó el medio y se sirvió 20 ml aproximadamente en cada caja petri.

El proceso de esterilización fue un tipo de esterilización húmeda con la ayuda de una autoclave, esta se utilizó a una temperatura aproximada de 120 °C por un lapso de 15 min.

Los medios de cultivo utilizados eran polvos deshidratados, debidamente conservados en sus frascos originales con etiqueta donde viene el método de preparación para cada caso.

Se pesó la cantidad correspondiente para cada caso, se agregó agua destilada y se agitó vigorosamente con ayuda de una parrilla eléctrica y un agitador magnético, hasta obtener una suspensión o solución homogénea.

Las soluciones con agar requirieron calentamiento hasta ebullición con agitación constante, para lograr su solubilización completa. Fue necesario observar con cuidado la solución durante el calentamiento ya que una vez que aparecían las primeras burbujas la solución tiende a desbordar.

Luego los medios se dosificaron teniendo en cuenta el uso que se les dará. Las cajas petri utilizadas como recipientes para las soluciones fueron esterilizadas en la autoclave con solo dos terceras partes de su volumen para evitar desbordes, una vez retirados de la autoclave, los medios se dejaron enfriar y se conservaron en refrigeración hasta su uso.

En las figuras 22, 23 y 24 se muestra los principales medios que se utilizaron para el estudio de microorganismos presentes en el agua de lluvia.



Figura 22. Análisis de coliformes totales, 10, 50 y 100 ml





Figura 23. Analisis agua de lluvia, TSA

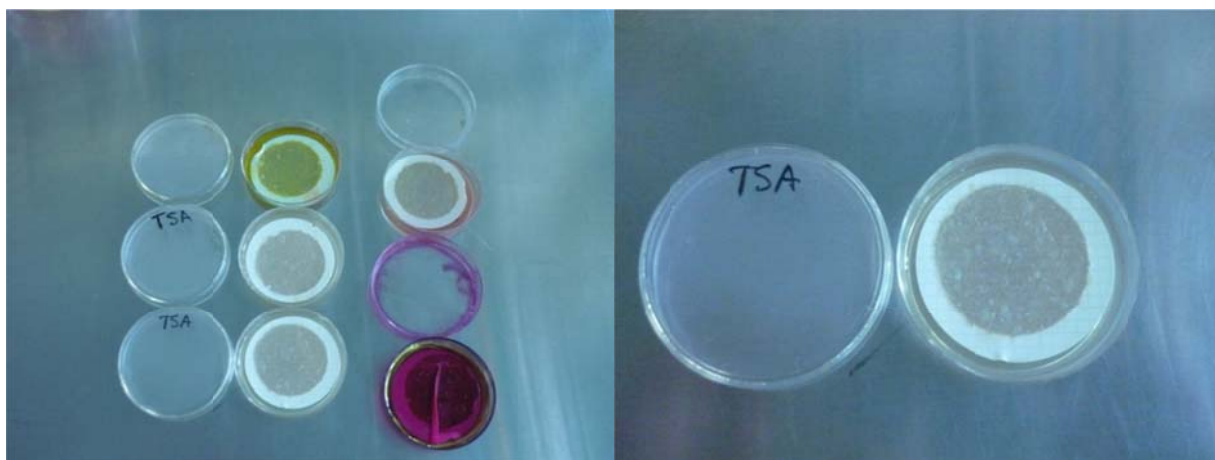


Figura 24. Análisis coliformes fecales y TSA

### 7.2.2 Parámetros analizados de agua de lluvia

Los parámetros medidos para el agua de lluvia captada en el Instituto de Ingeniería de la UNAM se analizaron con la ayuda de un equipo pastel-UV, que analiza diferentes parámetros en base a estándares ISO-9001 este es un tipo de analizador portátil que trabaja en rango de temperaturas desde 5°C hasta 40°C.

Para el análisis de las muestras no fue necesario diluir las muestras de agua de lluvia, ya que se considera que esta es una fuente no contaminada. En cada caso se tomó un volumen de 1 ml de agua de lluvia con una micropipeta, esta se insertó en la celda, previamente lavada, se corroboró que no existieran burbujas de aire al momento del vertido, la celda con el agua de lluvia se insertó en el equipo pastel-UV, se seleccionó una trayectoria óptica de 10 mm y

posteriormente se inició el análisis poniendo como opción NWAT, ya que es una agua no contaminada con una concentración baja de sales ( $< 18\%$ ), los tiempos de medición fueron aproximadamente de 45 segundos en cada muestra, los resultados de los diferentes parámetros se muestran en el display del equipo, al terminar se extrajo la celda, se limpió y se reintrodujo para una nuevo muestreo.



Figura 25. Equipo Pastel-UV, para análisis de parámetros de agua de lluvia.

Los parámetros analizados con el equipo pastel-UV, durante la temporada de lluvias del 2010 se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Parámetros analizados, calidad de agua de lluvia

	Sólidos Totales	DBO Total	DQO Total	Carbón Orgánico Total	Nitratos	Surfactantes
22-jun	●	●	●	●	●	●
01-jul	●	●	●	●	●	●
01-jul	●	●	●	●	●	●
27-jul	●	●	●	●	●	●
28-jul	●	●	●	●	●	●
29-jul	●	●	●	●	●	●
03-ago	●	●	●	●	●	●
04-ago	●	●	●	●	●	●
05-ago	●	●	●	●	●	●
22-jun	●	●	●	●	●	●
01-jul	●	●	●	●	●	●
01-jul	●	●	●	●	●	●
●	Se realizó la prueba del parámetro					
DBO: Demanda Biológica de Oxígeno						
DQO: Demanda Química de Oxígeno						

En base a estos resultados se realizaron graficas comparativas para cada parámetro y se midió la cantidad de contaminantes presentes en el agua de lluvia.

### 7.3 Trabajo de campo

El 19 de octubre se recolectaron muestras de dos sitios con un sistema de recolección de agua de lluvia, ubicadas en el Ajusco medio, se nombraron los sistemas de recolección en función al nombre de la familia para diferenciar las diferentes muestras, los sistemas de recolección fueron los siguientes:

**A- SISTEMA MANUEL MIRANDA**

**B- SISTEMA CLARA GAYTAN**

El tratamiento en sitio para cada fuente de muestreo fue diferente, a continuación en la tabla 12, se enlistan las diferentes características del lugar de muestreo:

Tabla 12. Sistemas de captación de agua pluvial muestreados

SISTEMA	A	B
<b>DIRECCIÓN</b>	Becal Mz. 13 Lote 22	Izamal Mz. 22 Lote 17
<b>MATERIAL DE CISTERNA</b>	Ferrocemento	Tinaco Rotoplas 600 L
<b>EXPOSICIÓN A LUZ SOLAR</b>	Enterrada en el piso	Con tapa, tinaco expuesto al sol
<b>INTERCEPTOR</b>	Si	Si
<b>CLORADA</b>	Si, cloralex 0.5 ml/L	Si, tricloro isocianurico, 10g por 10,000 L
<b>FILTROS</b>	No	Si, filtro de 50 Micras
<b>MATERIAL DEL ÁREA DE CAPTACIÓN</b>	Losa con impermeabilizante	Losa sin impermeabilizante
<b>USO</b>	Para riego de plantas, baños y lavado de ropa	Para todas las actividades domésticas

En cada sitio se recolectaron aproximadamente 60 litros de agua, en tres garrafones nuevos previamente desinfectados.

El agua de lluvia recolectada se trató mediante diferentes trenes de tratamiento compuestos de diferentes etapas, para comprobar el tren de tratamiento más adecuado para obtener agua potable que cumpla con la norma vigente.

### 7.3.1 Trenes de tratamiento utilizados

Se realizaron 5 diferentes trenes de tratamiento con diferentes etapas:

- 0) Muestra original
- 1) Bomba + Filtro papel celulosa de 50 Micras
- 2) Bomba + Filtro papel celulosa de 50 Micras + Filtro carbón activado granulado
- 3) Bomba + Filtro carbón activado granulado
- 4) Bomba + Filtro papel celulosa de 50 Micras + Filtro carbón activado granulado + Filtro de polipropileno de 50 Micras + Filtro carbón activado de 50 Micras
- 5) Bomba + Filtro papel celulosa de 50 Micras + Filtro carbón activado granulado + Filtro de polipropileno de 50 Micras + Filtro carbón activado de 50 Micras + UV

En cada caso se tomó 1 muestra de 1 L, para dar un total de 12 muestras.

Tabla 13. Trenes de de tratamiento utilizados para purificación de agua de lluvia.

<b>A Muestra original " CASA MANUEL"</b>	
<b>A-1</b>	Bomba + 50 micras papel celulosa
<b>A-2</b>	Bomba + 50 micras papel celulosa+ Carbón activado
<b>A-3</b>	Bomba + Carbón activado
<b>A-4</b>	Bomba + 50 micras + Carbón activado + Polipropileno 10 micras + Carbón activado 5 micras
<b>A-5</b>	Bomba + 50 micras + Carbón activado + Polipropileno 10 micras + Carbón activado 5 micras + UV

<b>B Muestra original " CASA CLARA"</b>	
<b>B-1</b>	Bomba + 50 micras papel celulosa
<b>B-2</b>	Bomba + 50 micras papel celulosa + Carbón activado
<b>B-3</b>	Bomba + Carbón activado
<b>B-4</b>	Bomba + 50 micras + Carbón activado + Polipropileno 10 micras + Carbón activado 5 micras
<b>B-5</b>	Bomba + 50 micras + Carbón activado + Polipropileno 10 micras + Carbón activado 5 micras + UV

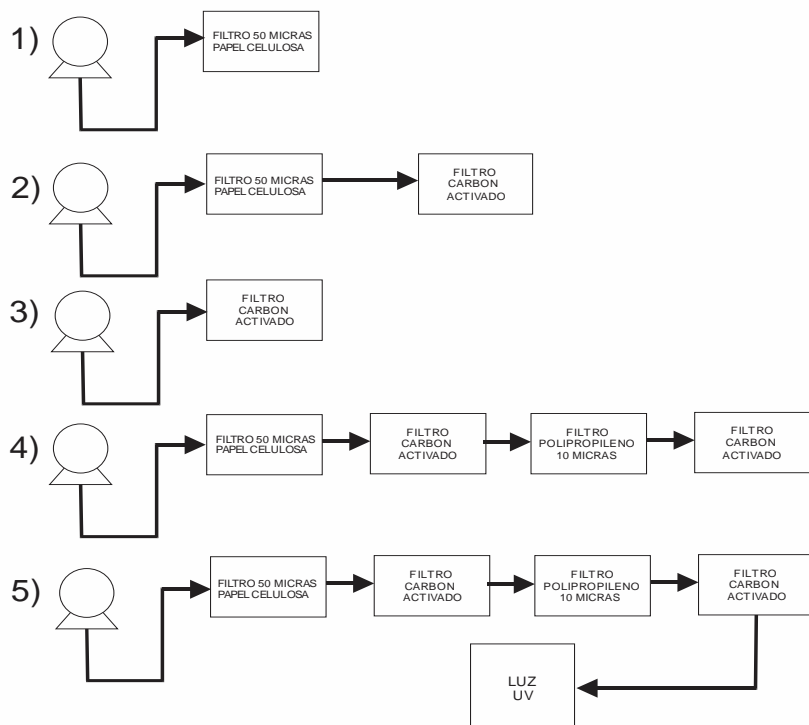


Figura 26. Trenes de tratamiento utilizados para la purificación de agua de lluvia.

A continuación se describen las principales características de los equipos utilizados en los diferentes trenes de tratamiento propuestos:

En las figuras 27, 28, 29 y 30 se muestran los principales equipos que se utilizaron para la purificación de agua de lluvia, para sistemas que se encuentran actualmente en operación:



Figura 27. Tren de tratamiento, filtro de carbón activado + filtro de 50  $\mu$  de papel celulosa



Figura 28. Tren de tratamiento, filtro de carbón activado + filtro de 50  $\mu$  de papel celulosa + filtro de polipropileno de 10  $\mu$





Figura 29. Bomba sumergible de 0.5 Hp, para bombeo de tren de tratamiento



Figura 30. Filtros utilizados para purificación de agua de lluvia



Figura 31. Muestreo de agua, según diferentes trenes de tratamiento

El filtro de papel plisado de 50  $\mu$  y el filtro de carbón activado se lavaron con agua purificada ya que se utilizaron completamente nuevos y era necesario lavarlos para que no existieran alteraciones en las muestras tomadas después de cada tren de tratamiento propuesto. La bomba sumergible también se lavó debido a que tenía un poco de óxido y esto podría representar alteraciones en las muestras tomadas.

### **7.3.2 Parámetros analizados**

De cada muestra con cada tren de tratamiento se tomó aproximadamente 1 L de muestra para ser analizada en laboratorio. Las muestras se tomaron en bolsas de 0.5 L previamente esterilizadas.

Las muestras tomadas se analizaron el mismo día del muestreo en los laboratorios del Instituto de Ingeniería de UNAM, se la tabla 14 se muestran los siguientes parámetros analizados para cada muestra:



Tabla 14. Parámetros analizados para agua de lluvia muestreada en sistemas de captación pluvial.

	Coliformes Totales	DBO Total	DQO Total	Sólidos Totales	Nitrógeno Total Kjeldhal	pH
A	●	●	●	●	●	●
A-1	●	●		●	●	●
A-2	●	●		●	●	●
A-3	●	●		●	●	●
A-4	●	●		●	●	●
A-5	●	●		●	●	●
B	●	●	●	●	●	●
B-1	●	●		●	●	●
B-2	●	●		●	●	●
B-3	●	●		●	●	●
B-4	●	●		●	●	●
B-5	●	●		●	●	●

● Se realizó la prueba del parámetro

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

Las muestras se estabilizaron en el laboratorio según cada parámetro, en la tabla 15 se muestran los métodos de estabilización de agua de lluvia para cada parámetro:

Tabla 15. Método de estabilización de muestras, para pruebas de laboratorio.

	Método de estabilización
Coliformes totales	bolsa estéril
DBO total	envase de plástico
DQO total	envase de plástico, pH < 2 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Sólidos Totales	envase de plástico
Nitrógeno Total Kjeldhal	envase plástico pH < 2 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
pH	Bolsa estéril

Los métodos analíticos para cada parámetro fueron los siguientes:

Tabla 16. Métodos analíticos utilizados para cada parámetro analizado.

	<b>Método Analítico</b>	<b>Unidades</b>	<b>Fecha</b>
<b>Coliformes totales</b>	NMX AA-042-1987	NMP/100 ML	20/10/2010
<b>DBO total</b>	NMX AA-028-SCFI-2001	mg/L	20/10/2010
<b>DQO total</b>	NMX AA-030-SCFI-2001	mg/L	21/10/2010
<b>Sólidos Totales</b>	NMX AA-034-SCFI-2001	mg/L	22/10/2010
<b>Nitrógeno Total Kjeldhal</b>	NMX AA-026-SCFI-2001/EPA 351.2-1978	mg/L	21/10/2010
<b>pH</b>	Papel indicador pH		19/10/2010

#### 7.4 Evaluación de la calidad de agua

La evaluación de la calidad de agua se llevó a cabo utilizando tres indicadores, la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días ( $DBO_5$ ), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST). La  $DBO_5$  y la DQO se utilizan para indicar la cantidad de materia orgánica presenten los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen municipal y no municipal.

La primera indica la cantidad de materia orgánica biodegradable y en tanto que la segunda indica la cantidad total de materia orgánica. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, el aumento de la DQO indica la presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Los SST tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento de los niveles de SST hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática. Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales, así como áreas de deforestación severa.

Los criterios de clasificación de calidad de agua se muestran en la Tabla 17, se identifican diferentes criterios según cada parámetro y se le asigna una clasificación según su calidad, pudiendo identificarlas con ayuda de colores.

Tabla 17. Escalas de clasificación de la calidad de agua

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )		
Criterio (mg/L)	Clasificación	Color
DBO <sub>5</sub> ≤ 3	<b>Excelente</b> No contaminada	<b>Azul</b>
3 < DBO <sub>5</sub> ≤ 6	<b>Buena Calidad</b> Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable.	<b>Verde</b>
6 < DBO <sub>5</sub> ≤ 30	<b>Aceptable</b> Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	<b>Amarillo</b>
30 < DBO <sub>5</sub> ≤ 120	<b>Contaminada</b> Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	<b>Naranja</b>
DBO <sub>5</sub> > 120	<b>Fuertemente contaminada</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	<b>Rojo</b>

Demanda Química de Oxígeno (DQO <sub>5</sub> )		
Criterio (mg/L)	Clasificación	Color
DQO ≤ 10	<b>Excelente</b> No contaminada	<b>Azul</b>
10 < DQO ≤ 20	<b>Buena Calidad</b> Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.	<b>Verde</b>
20 < DQO ≤ 40	<b>Aceptable</b> Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente.	<b>Amarillo</b>
40 < DQO ≤ 200	<b>Contaminada</b> Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.	<b>Naranja</b>
DQO > 200	<b>Fuertemente contaminada</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.	<b>Rojo</b>

Tabla 17. Escalas de clasificación de la calidad de agua (continuación)

Sólidos Suspendidos Totales (SST)		
Criterio (mg/L)	Clasificación	Color
SST ≤ 25	<b>Excelente</b> Clase de excepción muy buena calidad	<b>Azul</b>
25 < SST ≤ 75	<b>Buena Calidad</b> Aguas superficiales con bajo contenido de sólidos suspendidos, generalmente condiciones naturales. Favorece la conservación de comunidades acuáticas y el riego agrícola irrestricto.	<b>Verde</b>
75 < SST ≤ 150	<b>Aceptable</b> Aguas superficiales con indicio de contaminación. Con descarga de aguas residuales tratadas biológicamente. Condición regular para peces. Riego agrícola restringido.	<b>Amarillo</b>
150 < SST ≤ 400	<b>Contaminada</b> Aguas superficiales de mala calidad con descargas de aguas residuales crudas. Aguas con alto contenido de material suspendido.	<b>Naranja</b>
SST > 400	<b>Fuertemente contaminada</b> Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales con alta carga contaminante. Mala condición para peces.	<b>Rojo</b>

Fuente: CONAGUA, Subdirección General Técnica

## **8. Resultados**

### **8.1 Resultados del trabajo de gabinete**

En base a la revisión bibliográfica de las principales fuentes disponibles en cuanto a captación de agua de lluvia se refiere se obtuvieron los siguientes resultados:

Para contar con agua de lluvia con la calidad necesaria, 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 a gran escala esconden la gran diferencia de distribución del agua que existen a lo largo y ancho del país.

#### **8.1.1 Resultados de la revisión de 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.

##### **8.1.1.1 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. En la figura 32 se ejemplifica un sistema de captación de agua de lluvia en una zona rural.



Figura 32. Sistema de Captación de agua pluvial al norte de Australia

Fuente: <http://www.rwh.in/>

#### **8.1.1.2 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: ésta es 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 cada familia 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.

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 las inundaciones y asegurar agua para los estados de emergencia. A nivel comunitario se están implementando instalaciones que están introduciendo a la población en la utilización del agua de lluvia, éstas son llamadas “Ronjinson”, se les encuentra en la vía pública del distrito de Mukojim. Está instalación recibe el agua de lluvia del techo de la casa, la cual es almacenada en un pozo subterráneo, para extraer el agua se utiliza una bomba manual como se ilustra en la figura 33, el agua colectada es utilizada para el riego de jardines, aseo de fachadas y pisos, para combatir incendios y como agua de consumo en situaciones de emergencia.

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.

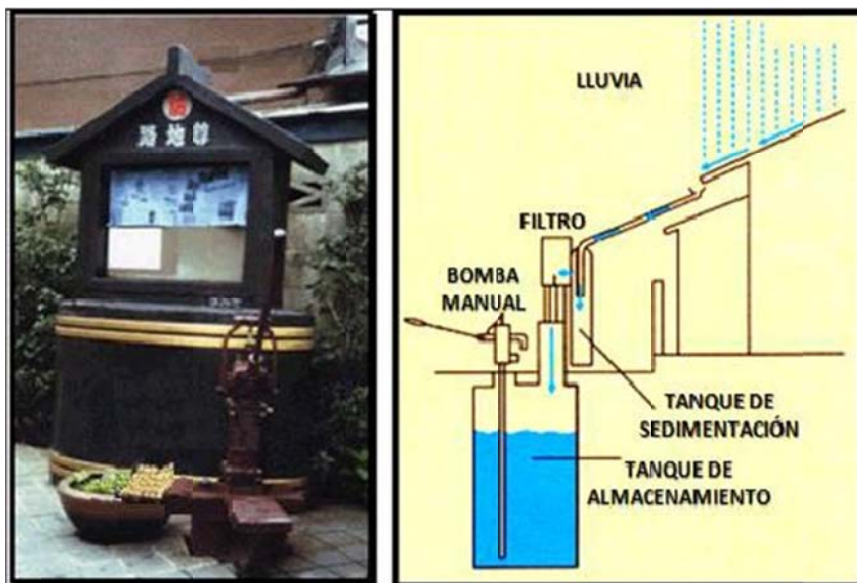


Figura 33. Instalación para la utilización de agua lluvia a nivel comunitario Tokio, Japón.

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA)

### 8.1.1.3 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.

En Octubre de 1998, los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia fueron introducidos en Berlín, Alemania como parte de un redesarrollo 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 m<sup>2</sup>, se recoge y almacena en un tanque subterráneo de 3,500 m<sup>3</sup>. 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 m<sup>2</sup> es descargada a una cisterna con capacidad de 160m<sup>3</sup> junto con el agua de escurrimiento de las calles, espacios de estacionamiento y vías peatonales con un área de 4,200 m<sup>2</sup>. 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 m<sup>3</sup> por año, con este volumen se puede preservar el manto de agua subterránea de Berlín.

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, un esquema sistema se muestra en la figura 34.

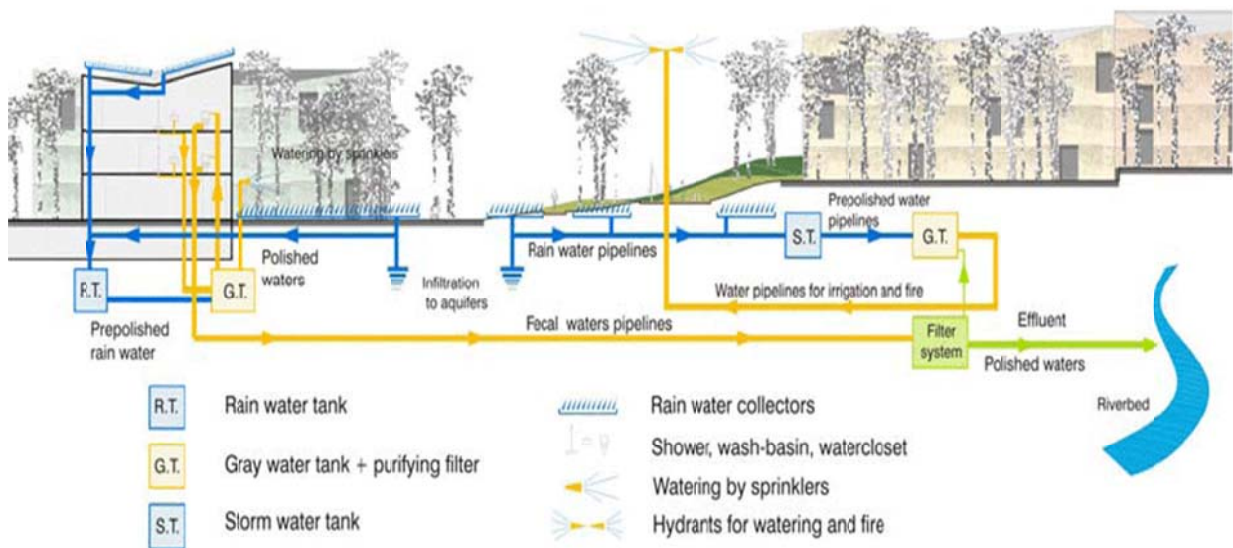


Figura 34. Modelo de sistema integral de gestión del agua.

Fuente: Eddea Arquitectura y Urbanismo, Sevilla, España.

#### **8.1.1.4 África**

En el continente Africano la problemática del abastecimiento de agua potable es una situación muy 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. Sin embargo, 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 el de “Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia de Muy Bajo Costo” a través de los techos de las casas y almacenamiento en depósitos de ferrocemento, el cual se impulsó 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 las tecnologías de “bajo costo”, con estas tecnologías se pretende suplir sólo un porcentaje de la demanda total de las casas a partir de una inversión que no supera los \$120 USD y utilizando los materiales disponibles en la zona, en la figura 35 se observa un sistema de captación de agua de lluvia básico en la Villa Maasai.



Figura 35. Pequeño sistema de captación de aguas pluviales en una escuela primaria en la Villa de Maasai, África

Fuente: <http://sgp.undp.org/web/images/4302/.html>

#### **8.1.1.5 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.

#### **8.1.1.6 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 y algunos prototipos muestran grandes niveles de iniciativa e ingenio.

### **8.1.1.7 Norte América**

Los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia son usados en 15 Estados y territorios de los Estados Unidos: 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 los Estados Unidos utilizan sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, abasteciéndose de agua para usos doméstico o propósitos agrícolas, comerciales o industriales. 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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> denominada "HEALTHY HOUSE" (CASA SALUDABLE). Esta edificación es totalmente autosuficiente, no depende del sistema de acueducto municipal. En la Figura 36 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.

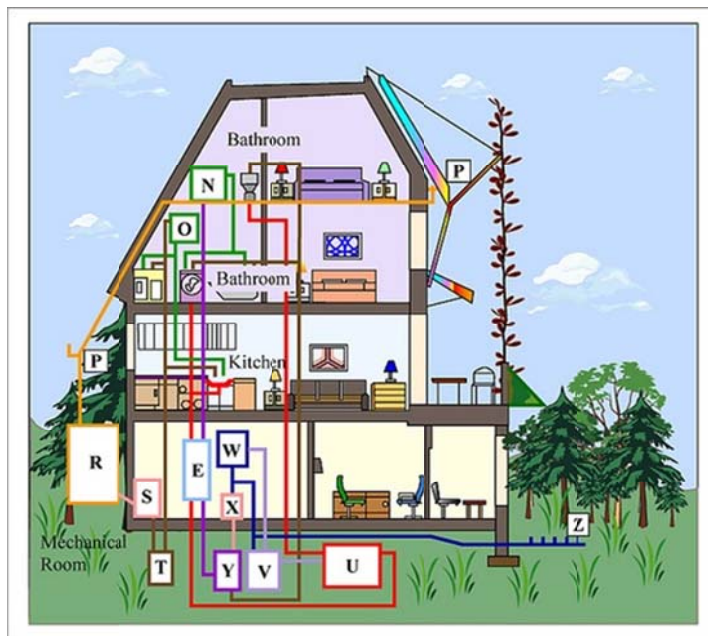


Figura 36. Esquema del funcionamiento del sistema de aprovechamiento de agua de lluvia llamado “Healy House” en Toronto, Canadá

Fuente: <http://www.cmhc-schl.gc.ca/popup/hhtoronto/suppl.htm>

#### 8.1.1.8 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.

#### 8.1.2 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  $m^3$  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.

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 Postgraduados 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:

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 m<sup>3</sup>. 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 m<sup>2</sup> 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, un esquema detallado se muestra en la figura 37.

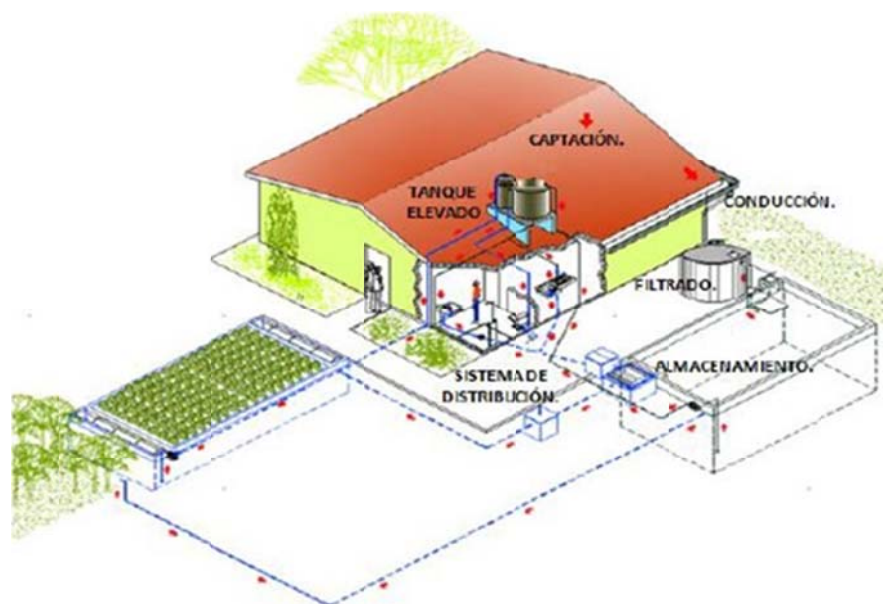


Figura 37. Sistema de captación de agua de lluvia Colpos-1 del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo

Fuente: CIDECALLI, 2008

El prototipo COLPOS 2, tiene capacidad de 70 m<sup>3</sup> 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 38. Estanque para peces de ornato y comestibles y riego de huerto familiar Colpos-2 del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo.

Fuente: CIDECALLI, 2008

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 inmediatamente lista para su venta comercial y actualmente es distribuida en tamaños de medio litro, un litro, y 19 litros en distintos lugares de la ciudad de Texcoco, México; además de utilizarse en el campus de la universidad como la principal fuente de agua potable. La capacidad de la cisterna es de 2,000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>, 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, una ejemplificación del sistema COLPOS 3 se muestra en la figura 39. (CIDECALLI)



Figura 39. Planta purificadora de agua de lluvia Colpos-3 del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo

Fuente: CIDECALLI, 2008

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

El 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 m<sup>3</sup> y tiene un costo de construcción estimado de \$ 52,000, en la figura 40 se muestran los principales componentes de este sistema.

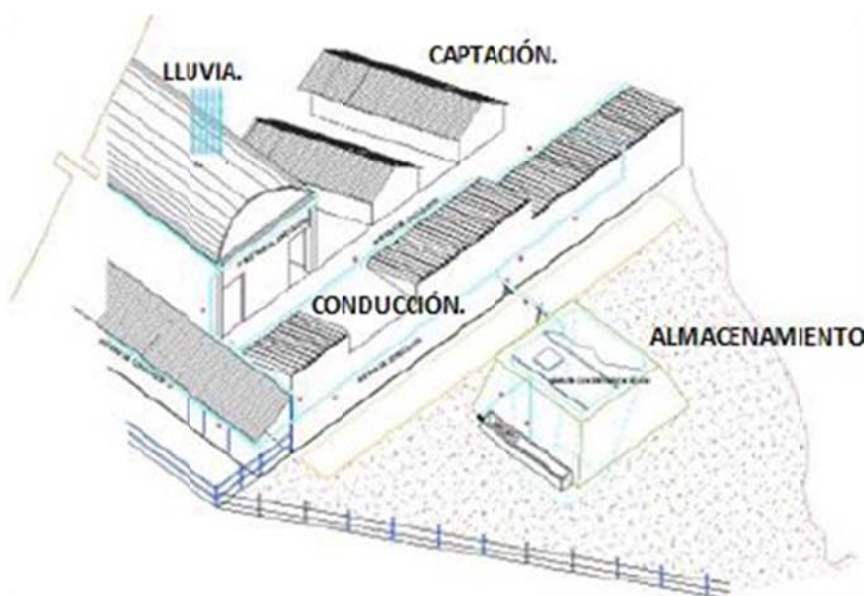


Figura 40. Abrevadero para pequeñas explotaciones ganaderas Colpos-4 del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo

FUENTE: CIDECALLI, 2008

El 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 m<sup>3</sup> y el costo total estimado del proyecto es de \$ 234,000, en la figura 41 se muestra el sistema propuesto para riego de invernaderos.

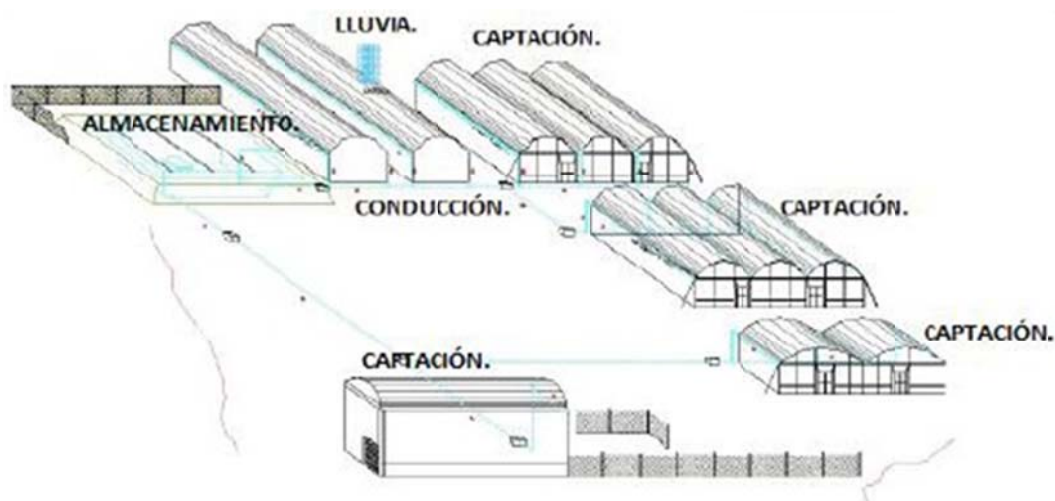


Figura 41. Cisterna para riego en invernaderos Colpos-5 del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo.

Fuente: CIDECALLI, 2008

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.

### **8.1.3 Principales tecnologías para la purificación de agua de lluvia.**

Existen una gran variedad de tecnologías para el tratamiento de agua de lluvia que se han utilizado en diferentes partes del mundo. Las tecnologías para mejorar la calidad microbiológica del agua y disminuir la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua incluyen varios métodos de tratamientos físicos y químicos. Los métodos químicos incluyen hervir, calentar (con combustible o energía solar), sedimentar, filtrar, exponer a la radiación ultravioleta de la luz solar y desinfectar con radiación ultravioleta a través de lámparas. Los métodos químicos incluyen coagulación-floculación y precipitación, adsorción, intercambio de iones y desinfección química con agentes germicidas (principalmente cloro). Algunos sistemas de tratamiento y almacenamiento de agua requieren productos químicos y materiales que no se pueden obtener fácilmente a nivel local a un costo razonable, lo que resulta en sistemas y procedimientos complejos y costosos para tratar el agua.

Sin embargo se ha documentado la eficacia de algunos métodos de tratamiento para remover físicamente partículas, microbios y bacterias indicadoras de contaminación del agua. Por otro lado también se han evaluado algunos otros métodos de tratamiento, como la ebullición, la desinfección solar, la desinfección ultravioleta con lámparas, la cloración y los tratamientos combinados de coagulación-filtración química y cloración, para disminuir el contenido de bacterias y virus. No obstante, no existe un método comprobado o documentado que demuestre la capacidad para eliminar o desactivar una amplia gama de agentes patógenos.

Con la excepción de la cloración y el almacenamiento en contenedores seguros y la desinfección solar “SODIS” (UV más calor), todavía no se ha evaluado la capacidad de la mayoría de las tecnologías de tratamiento y almacenamiento domiciliario de agua para reducir la exposición a enfermedades transmitidas por el agua.

En los países desarrollados y en desarrollo se dispone de varias tecnologías de tratamiento y almacenamiento domiciliario de agua que son accesibles, simples y económicas. Algunas se caracterizan por su eficacia microbiana, por la reducción de enfermedades transmitidas por el agua, por la sostenibilidad y aceptación por parte de las comunidades y por la recuperación de costos. Entre los sistemas disponibles, los siguientes parecen ser los más conocidos y prometedores para un mayor desarrollo, caracterización, implementación y diseminación:

- Ebullición
- Desinfección solar por la acción combinada del calor y de la radiación ultravioleta
- Desinfección solar a través del calor solamente (“cocción solar”)

- Desinfección ultravioleta con lámparas
- Cloración y almacenamiento en un contenedor adecuado
- Sistemas combinados de coagulación-filtración química y cloro desinfección.

En la tabla 18 se pueden observar varios métodos alternativos para la purificación y/o potabilización del agua de lluvia, estos métodos son en algunos casos son costosos y los materiales son difíciles de conseguir, sin embargo estos métodos han demostrado ser eficaces en cuanto la remoción de contaminantes presentes en el agua de lluvia.

Tabla 18. Métodos alternativos para la purificación del agua de lluvia

MÉTODO	COMO FUNCIONA	ELIMINACIÓN DE
<b>Desinfección Solar de Aguas (SODIS)</b>	Se basa en la exposición al sol de una botella transparente de PET conteniendo el agua contaminada por aproximadamente 6 hrs. Técnica universal y altamente probada.	Los rayos solares actúan por combinación de la radiación UV-A y la radiación infrarroja destruyendo bacterias y virus (incluyendo al <i>Vibrio cholerae</i> ).
<b>Remoción de Arsénico por Oxidación Solar modificada (SORAS)</b>	El agua se coloca con algunos gramos de alambre o lana de acero, que se irradia por algunas horas. Por la noche, la botella se deja en posición vertical para promover la precipitación y por la mañana se filtra por un paño de tela.	Este tratamiento elimina el arsénico por oxidación y coprecipitación con óxido de hierro formados en el proceso.
<b>Fotocatálisis heterogénea solar con TiO<sub>2</sub> (FH)</b>	Es una tecnología avanzada de oxidación que emplea el dióxido de titanio, las botellas se colocan al sol con el agua y el fotocatalizador (TiO <sub>2</sub> ) fijado a sus paredes.	Elimina compuestos orgánicos tóxicos, metales como cromo o arsénico, y hasta puede destruir bacterias y virus.
<b>Nanotubos de carbono</b>	Los nanotubos de carbono son fibras huecas de carbono Las propiedades únicas químicas de los nanotubos de carbono hacen que puedan permitir filtrar moléculas.	Podría eliminar el arsénico, flúor, metales pesados tóxicos y químicos orgánicos.

#### 8.1.4 Principales métodos de captación de agua de lluvia

En base al estudio realizado se han encontrado una gran variedad de sistemas de captación de agua de lluvia, estos han sido utilizados a través de la historia hasta la actualidad por el ser humano para satisfacer sus necesidades relacionadas con el recurso del agua.

Los sistemas de captación de agua de lluvia son un medio muy importante para abatir la escases 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 están

tomando auge y se han empezado a desarrollar técnicas por diversas Instituciones tanto en México como en el mundo , para mejorar los sistemas de captación , sin embargo estas mejoras no han tenido la difusión necesaria suficiente como para convencer a la población de las ventajas que representa el captar agua de lluvia en nuestros domicilios, ya que no solo proporciona agua de buena calidad a los habitantes que utilizan el sistema, si no que al mismo tiempo elevan su calidad de vida al no tener que sufrir por la escases del recurso.

Los sistemas de captación de agua de lluvia, son sistemas que proporcionan diversas ventajas por ser de fácil aplicación y manejo, se pueden utilizar materiales locales, el consumo de energía es bajo, lo cual sin duda permite dotar de agua de buena calidad a la población.

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, 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.

En la tabla 19, se muestra un resumen de algunos de los sistemas de captación de agua de lluvia que se pueden utilizar, los cuales se describen brevemente según sus usos, ventajas y desventajas.

Tabla 19. Tipos de sistemas de captación de agua pluvial

Tipo de sistema	Forma de escurrimiento	Uso que se le da al agua	Descripción	Ventajas	Desventajas
<b>Sistemas SCALL</b> "Sistemas de captación de agua de lluvia"	Escurrimiento superficial captado especialmente a través de tejados o superficies terrestres para ser almacenada luego en diversos tipos de cisternas	Consumo humano y consumo doméstico	Captación a través de los techos, recolección y conducción en canaletas, tratamiento a través de filtros de arena y grava graduada, almacenamiento en cisternas de diferentes materiales y formas, sistema de distribución por bombeo si es posible.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se minimiza la contaminación del agua.</li> <li>• Alta calidad físico-química del agua.</li> <li>• Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas.</li> <li>• No requiere energía para operación del sistema.</li> <li>• Fácil mantenimiento.</li> <li>• Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección de agua de lluvia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos iniciales pueden impedir puesta en práctica, por familias de escasos recursos económicos.</li> <li>• Cantidad de agua captada depende directamente de la precipitación del lugar y del área de captación.</li> <li>• En algunos casos es necesario el uso de bombas lo que aumenta los costos.</li> </ul>
<b>Captación de agua de niebla</b>	Captación de partículas de agua provocadas por la condensación de la humedad (neblina)	Consumo humano y consumo doméstico	Captación a través de capta nieblas, recolección y conducción en canaletas y mangueras, almacenamiento en pequeños depósitos.		

Tabla 19 Tipos de sistemas de captación de agua pluvial (continuación)

Tipo de sistema	Forma de escurrimiento	Uso que se le da al agua	Descripción	Ventajas	Desventajas	
<b>Lagunas con revestimiento de arcilla</b>	Escurrecimientos superficiales en terreno natural para su almacenamiento en presas de tierra y estanques.	Riego	Captación en pequeños embalses, recolección y conducción a través de los escurrimientos naturales, bajo el concepto de micro captación, no se requiere un tratamiento especial de filtración y el sistema de distribución es a través de canales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la producción agrícola</li> <li>• Previene la erosión del suelo</li> <li>• Regulan los caudales</li> <li>• Aumenta las posibilidades de crecimiento animal y vegetal.</li> <li>• No se requiere energía para su funcionamiento.</li> <li>• Aumenta la retención de humedad del suelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.</li> <li>• Se requiere de áreas grandes de captación.</li> </ul>	
<b>Lagunas revestidas con polietileno</b>		Disminución de la erosión del suelo				
<b>Dique con gaviones y piedra</b>		Lugares apropiados para abrevaderos				
<b>Diques con sacos de arena y plástico</b>						
<b>Hondadas o terrazas individuales</b>		Riego de cultivo en pequeña escala como árboles y pastizales propensos a sequías.				
<b>Surcado pre plantación para cultivos básicos</b>						
<b>Anillos de captación en cerros</b>						
<b>Terrazas de cultivo</b>		Disminución de la erosión del suelo.				
<b>Zanjas cubiertas con plástico</b>						
<b>Superficies o pavimentos permeables</b>	Escurrecimientos superficiales en terreno natural para su infiltración.	Infiltra de forma natural el 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.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protegen los sistemas naturales y mejoran el ciclo del agua en entornos urbanos.</li> <li>• Integrar el tratamiento de aguas de lluvia al paisaje, mejora el entorno del ciudadano con la integración de láminas de agua.</li> <li>• Minimizan el costo de la infraestructura de drenaje al mismo tiempo que aumentan el valor del entorno.</li> <li>• Reducción de volúmenes de escorrentía y caudales punta, que ayudan a solucionar la incapacidad hidráulica de la red.</li> <li>• Restauran la sobreexplotación de acuíferos a un mediano plazo.</li> <li>• Disminuyen el riesgo de inundaciones.</li> <li>• Se pueden reducir los costos de transportación, almacenamiento y bombeo de agua subterránea.</li> <li>• Aguas menos expuestas a contaminación y pérdidas por evaporación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.</li> <li>• Altos costos de excavación.</li> <li>• Se requiere de grandes áreas de captación.</li> </ul>	
<b>Franjas filtrantes</b>						
<b>Drenes filtrantes</b>						
<b>Cunetas verdes</b>						
<b>Depósitos de infiltración</b>						
<b>Depósitos de detención</b>						
<b>Estanques de retención</b>						
<b>Humedales</b>						
<b>Cubiertas vegetadas</b>		Infiltración de forma artificial del agua al acuífero para así conseguir una mejora en la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos almacenados en el subsuelo.				Captación en pozos perforados para su infiltración, recolección y conducción a través de pavimentos, cunetas o escurrimientos naturales, filtración primaria a través de capas de grava graduada antes de la infiltración al subsuelo y al acuífero.
<b>Pozos de absorción</b>						
<b>Pozos de infiltración</b>						



## 8.2 Resultados del trabajo de laboratorio

A continuación se presentan los resultados obtenidos sobre los análisis de calidad de agua realizados en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, estos demuestran que la calidad de agua es una muy buena opción como fuente de abastecimiento de agua potable.

Estos estudios demuestran que aún en lugares con condiciones inadecuadas, desde el punto de vista sanitario del agua, es posible con un sistema de captación de bajo costo y un tratamiento eficiente, habilitar el agua de lluvia para consumo humano, permitiendo abatir la incidencia de enfermedades derivadas y asociadas a la calidad y disposición de agua.

Los resultados de los parámetros analizados con el equipo Pastel-UV, son los siguientes:

### 8.2.1 pH

En base a las pruebas realizadas se puede observar el cambio de pH a través del tiempo de muestreo durante la temporada de lluvias del año 2010, estos valores se pueden observar en la Figura 42.

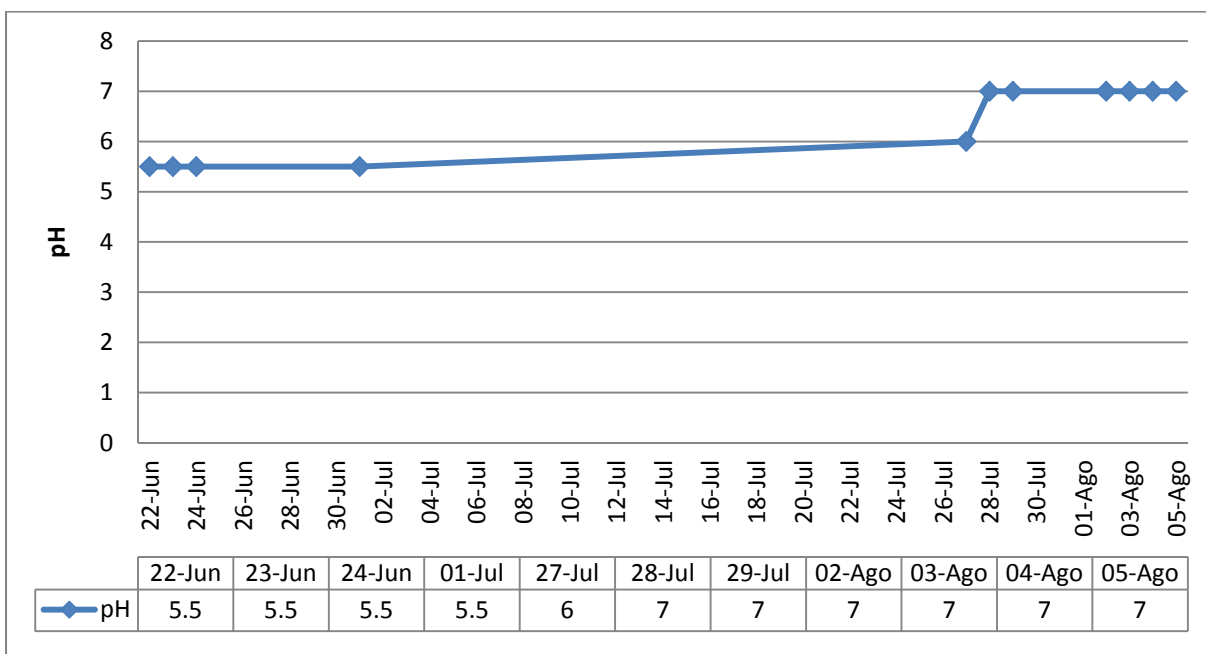


Figura 42. Variación del pH durante la temporada de lluvias del 2010, Ciudad Universitaria.

La temperatura de muestreo fue constante (25°C), en la figura 42 se puede observar que al principio del temporal de lluvia el pH tiene valores de 5 a 6 lo cual nos indica que el pH de las muestras es ácido, esto se puede deber a la lluvia ácida que hay al inicio de la temporada de lluvia, sin embargo conforme avanza el temporal de lluvias este se regulariza hasta llegar a un



pH neutro de 7, por lo tanto mientras más avanza el periodo de lluvias el pH se estabiliza mejorando la calidad de lluvia, sin embargo la norma dice que cualquier agua que se encuentre en un rango de pH entre 6.5-8.5 puede ser considerada potable, por lo cual este parámetro en la mayoría de las muestras cumple con la norma oficial vigente.

### 8.2.2 Sólidos Totales

Otro parámetro importante a medir fueron los sólidos disueltos totales presentes en el agua de lluvia, este parámetro permite determinar específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2  $\mu\text{m}$  (o más pequeños). Los sólidos disueltos totales pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente en varias formas. Específicamente aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor, por esta razón se ha establecido un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos para el agua potable por diferentes normas nacionales como la NOM-041 y normas internacionales de IBWA y FDA.

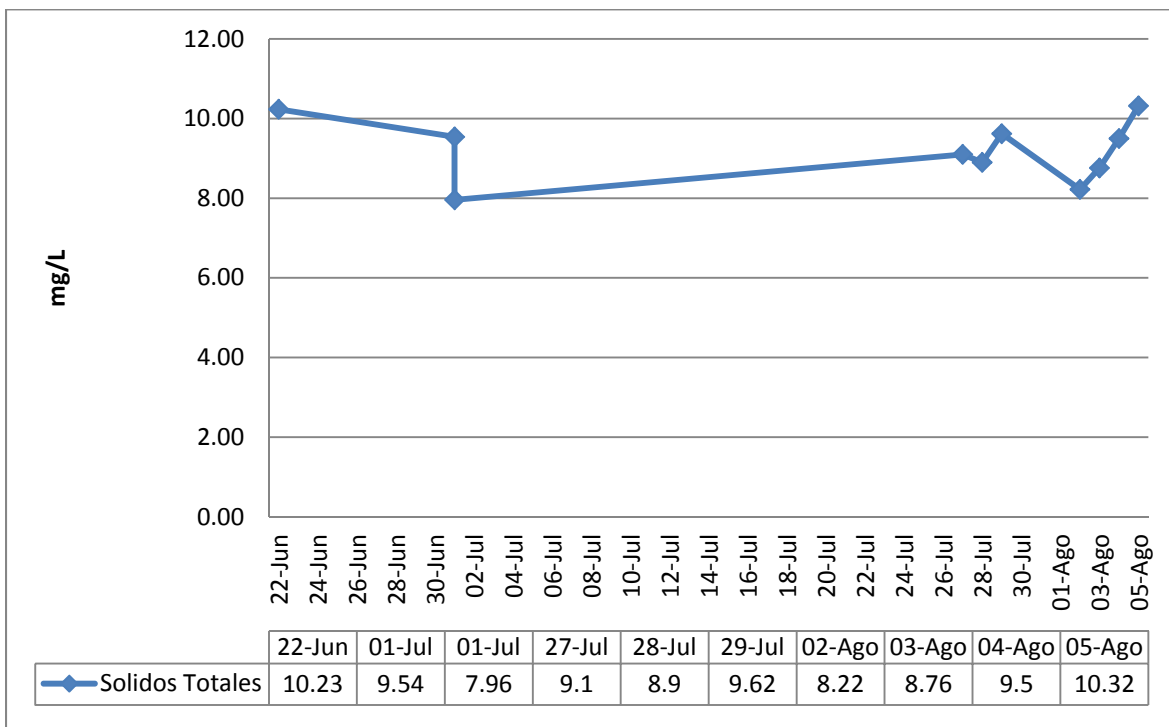


Figura 43. Análisis de Sólidos Totales durante la temporada de lluvias 2010, Ciudad Universitaria

Los resultados obtenidos durante la medición de los sólidos totales disueltos durante las muestras tomadas durante la temporada de lluvia 2010 se encontró que los valores van desde 8 a 10.3 mg/L, según la NOM-041 el valor permisible para este parámetro es de 500 mg/L, por lo cual se puede concluir que el contenido de sólidos disueltos totales en el agua de lluvia es muy bajo en comparación a otras aguas de consumo humano, el promedio de sólidos disueltos totales para ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 mg/L (Livingston, 1963).

### **8.2.3 DQO y DBO<sub>5</sub> demanda química y bioquímica de oxígeno**

La evaluación de la calidad de agua se lleva a cabo utilizando estos dos indicadores, la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO<sub>5</sub>) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). La DBO<sub>5</sub> y la DQO se utilizan para indicar la cantidad de materia orgánica presenten los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas residuales, de origen municipal y no municipal.

La primera indica la cantidad de materia orgánica biodegradable y en tanto que la segunda indica la cantidad total de materia orgánica. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con la consecuente afectación a los ecosistemas acuáticos.

En las figuras 44 y 45 se puede observar en la medición de estos parámetros durante la temporada de lluvias del año 2010, en el caso de la demanda química de oxígeno (DQO) los valores reportados están en el rango de 7 mg/L, según escala de clasificación de agua realizada por la CONAGUA, el agua de lluvia en cuanto a este parámetro se refiere se encuentra dentro del criterio de DBO<sub>5</sub> < 10, por lo cual el agua de lluvia analizada no está contaminada y su calidad es excelente. En cuanto a los análisis realizados para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) los valores obtenidos tiene un promedio de 3mg/L, comparando estos resultados con las escalas de clasificación de calidad de agua realizadas por la CONAGUA, el criterio al que corresponde está entre calidad excelente y buena calidad, por lo que se puede concluir que en ambos casos el agua de lluvia muestreada corresponde a agua con muy bajo contenido de materia orgánica.

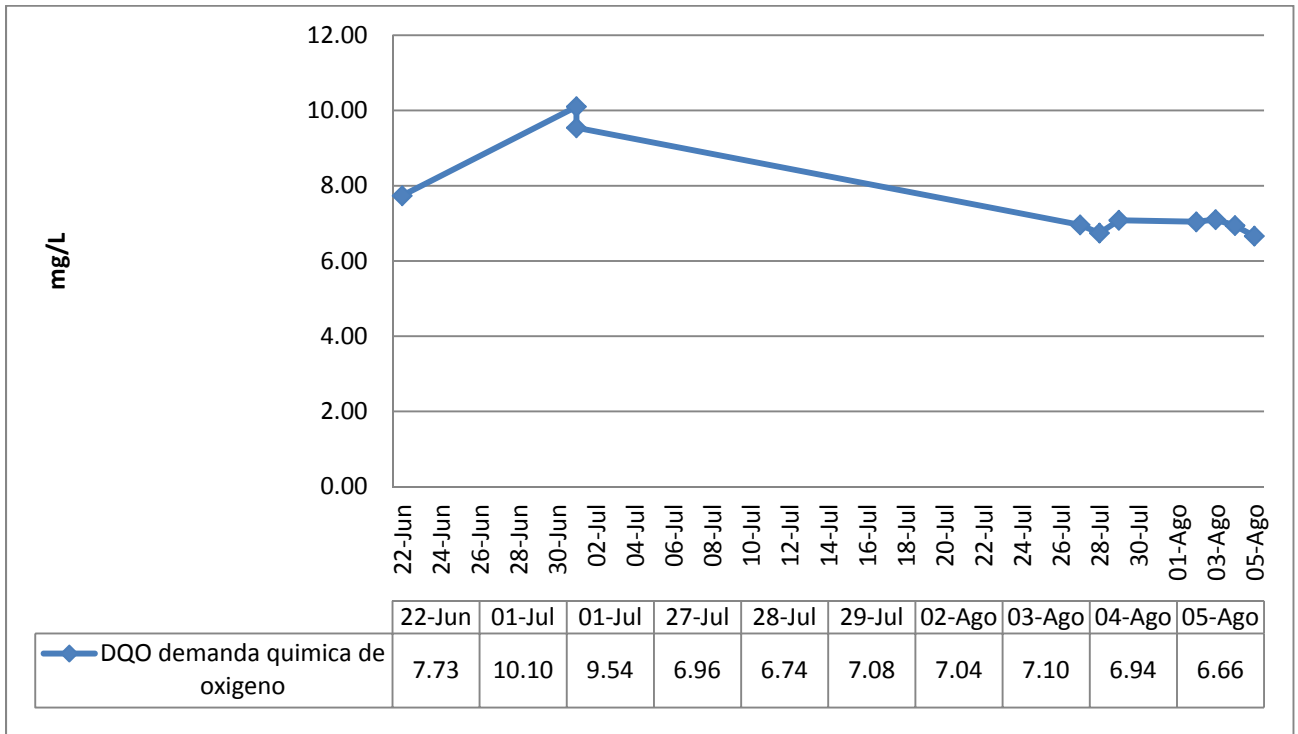


Figura 44. Análisis de DQO durante la temporada de lluvias 2010, Ciudad Universitaria

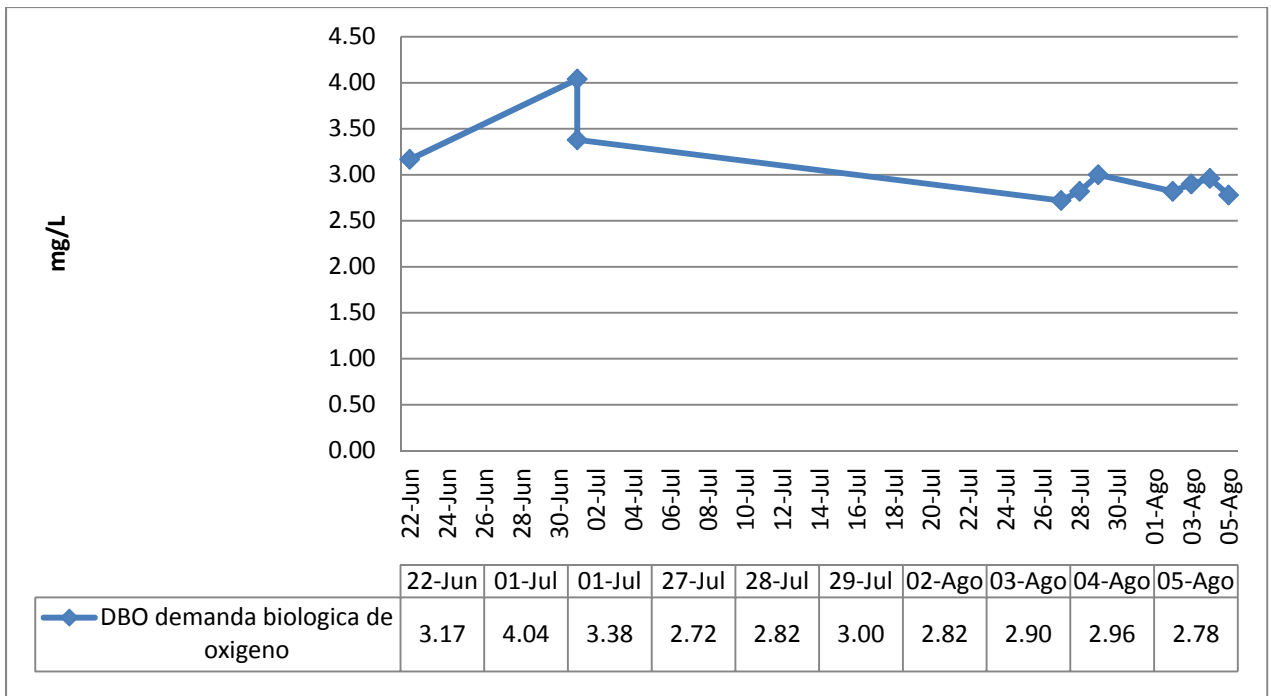


Figura 45. Análisis de DBO<sub>5</sub> durante la temporada de lluvias 2010, Ciudad Universitaria

### 8.2.4 COT carbón orgánico total

Para conocer el nivel de contaminación orgánica de aguas, se han descrito diversos parámetros entre los que destaca el denominado Carbono Orgánico Total (COT). Este parámetro presenta ventajas frente a otros de más amplia aplicación tales como la Demanda Química (DQO) o Bioquímica (DBO<sub>5</sub>) de oxígeno que lo hacen más apropiado para monitorizar el riesgo medioambiental y para la salud que pueda tener una determinada agua. Dentro del COT nos podemos encontrar con diversas fracciones de carbono: El Carbono Orgánico Disuelto (COD), el No Disuelto (COND), el Carbono Orgánico Volátil (COV) y el No Volátil (CONV). La determinación de cada una de estas fracciones da una idea de las características de un agua. El carbono inorgánico (IC) es un parámetro útil para la caracterización de una muestra de agua y refleja la concentración total de CO<sub>2</sub> disuelto, carbonatos y bicarbonatos.

Los resultados obtenidos se observan en la figura 46, se aprecia que el contenido de COT presente en las muestras de agua de lluvia es de un promedio de 2 mg/L, este valor fue muy bajo lo que nos permite confirmar que el contenido de materia orgánica presente en el agua de lluvia es mínimo, estos resultados se pueden comparar con los obtenidos para la DQO y DBO, lo que garantiza que el material orgánico presente en las muestras no representa algún problema.

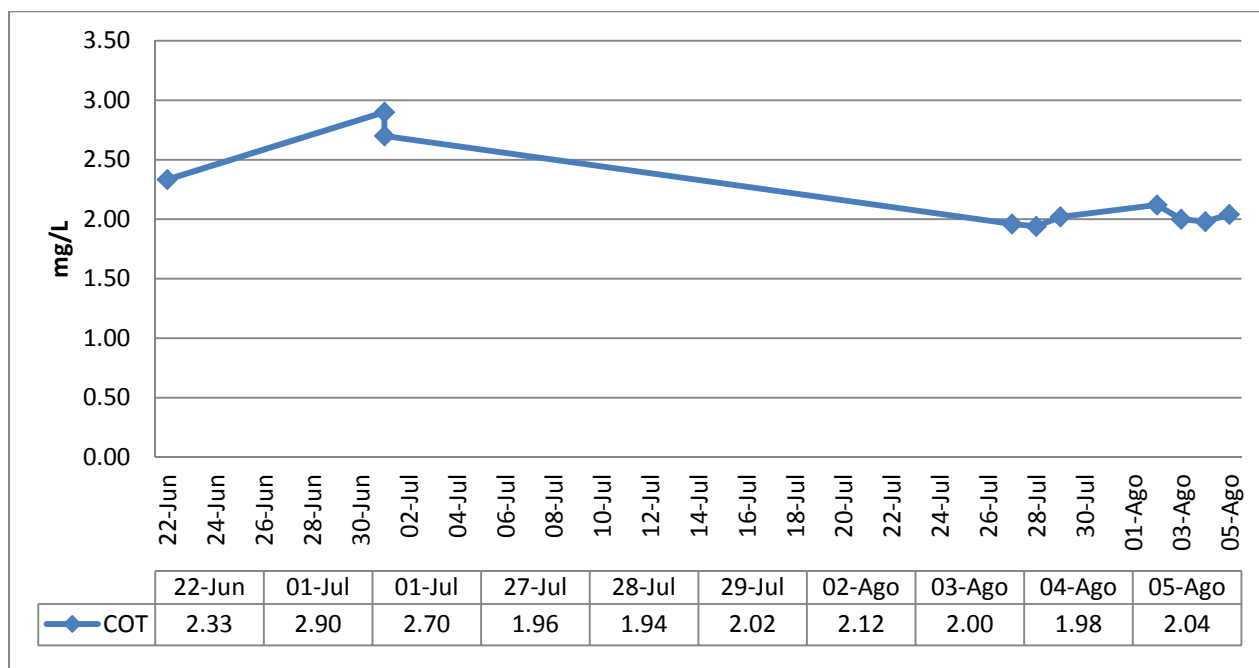


Figura 46. Análisis de COT durante la temporada de lluvias 2010, Ciudad Universitaria

### 8.2.5 Nitratos

Otro parámetro importante que se analizó con ayuda del equipo pastel, fue el nivel de nitratos presente en la muestras de agua lluvia tomadas durante la temporada de lluvias del 2010, los resultados obtenidos muestran que el nivel de nitratos presentes en el agua de lluvia es muy bajo en la mayoría de la muestras tomadas no supera 1 mg/L, los valores permisibles para este parámetro según la NOM-041 son de 3.5 mg/L y la organización mundial para la salud OMS recomienda una concentración máxima de 50 mg/L, por lo cual cualquiera de las muestras analizadas cumple perfectamente con la norma a pesar de la variación que se muestra. La contaminación de nitratos es esencialmente atribuida a actividades agrícolas por lo cual el aporte de los nitratos derivados del agua de lluvia en condiciones normales es casi inapreciable. Con frecuencia la contaminación por nitratos procede principalmente de fuentes no puntuales o difusas que se caracterizan por una gran cantidad de puntos de entrada de contaminación en el terreno y por la dificultad que supone hacer una localización precisa de las zonas donde se produce la entrada de contaminantes. Este contaminante está asociado a ciertas actividades industriales, principalmente agrícolas, que deben ser analizadas según cada punto de captación de agua de lluvia.

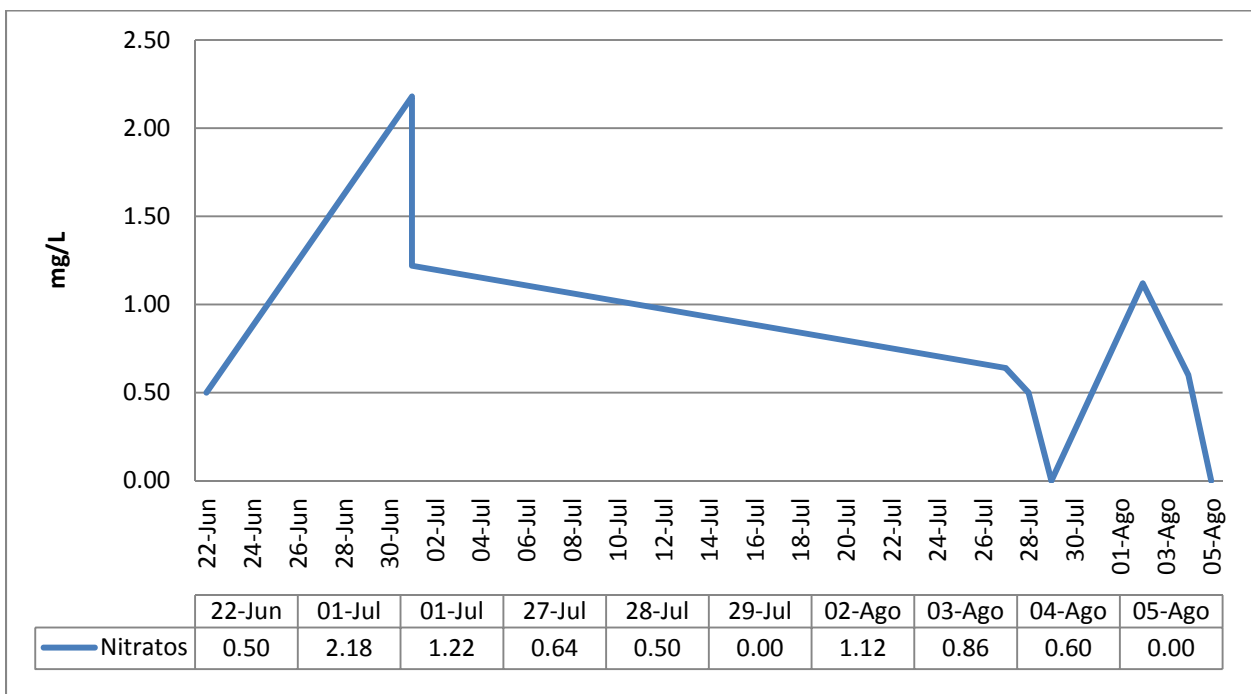


Figura 47. Análisis de nitratos durante la temporada de lluvias 2010, Ciudad Universitaria

### 8.3 Resultados del trabajo de campo

Los resultados obtenidos del muestreo realizado a diferentes sistemas de captación de agua de lluvia según los diferentes trenes de tratamiento se reportan a continuación:

Tabla 20. Resultados obtenidos de análisis realizados, según diferentes trenes de tratamiento

	Coliformes totales NMP/100 mL	DBO total mg/L	DQO total mg/L	Sólidos Totales mg/L	Nitrógeno Total Kjeldhal mg/L	pH
<b>A</b>	ND	9	ND	112	ND	6
<b>A-1</b>	ND	8		112	0.2664	6
<b>A-2</b>	ND	4		124	1.0033	7
<b>A-3</b>	ND	7		108	2.1683	6
<b>A-4</b>	ND	6		130	ND	7
<b>A-5</b>	ND	12		122	ND	6
<b>B</b>	ND	4	ND	128	0.2079	7
<b>B-1</b>	ND	4		132	0.2036	7
<b>B-2</b>	ND	9		124	ND	7
<b>B-3</b>	ND	11		132	ND	6
<b>B-4</b>	430	10		172	0.7324	7
<b>B-5</b>	ND	11		152	0.8216	6

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno  
DQO: Demanda Química de Oxígeno

#### 8.3.1 Coliformes Totales

En el caso de coliformes totales según la norma NOM-041 para agua potable indica que los sólidos totales suspendidos no deben ser mayores a 30 NMP/100ml, en todas las muestras, los coliformes totales no son detectables por lo que cumplen con la norma. En la figura 48 se observa el comportamiento del parámetro de coliformes totales según los diferentes trenes de tratamiento:

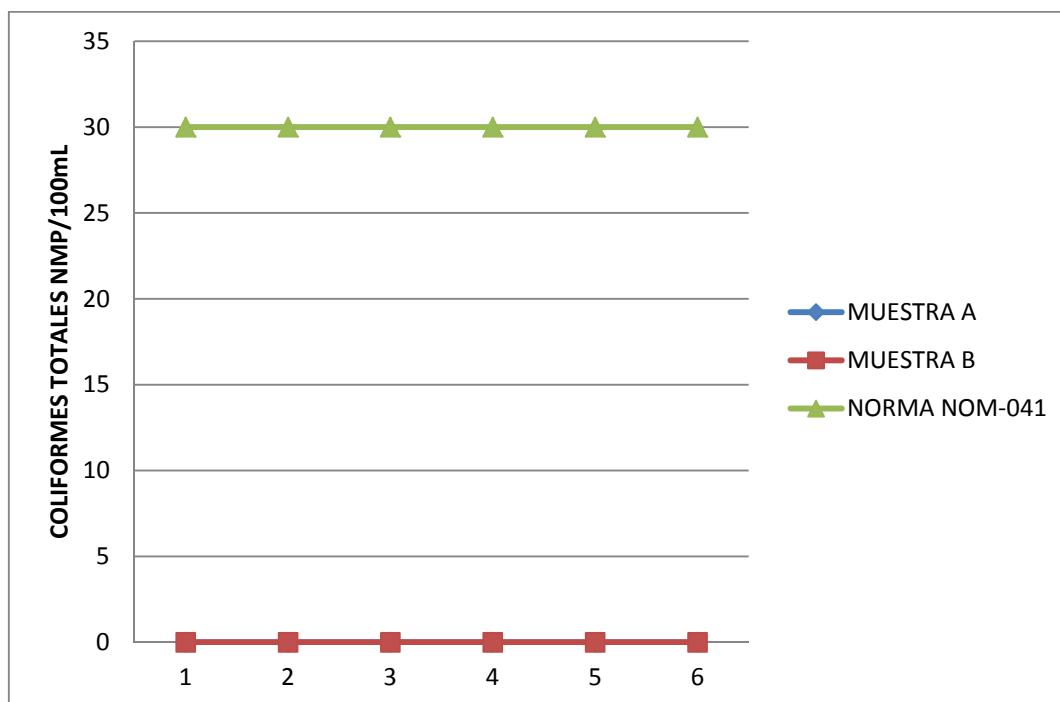


Figura 48. Análisis de Coliformes Totales, según diferentes tipos de tratamiento.

### 8.3.2 DBO<sub>5</sub> Total

En el caso de la medición del parámetro de la DBO<sub>5</sub> total, el valor típico reportado para drenajes pluviales es de 100 mg/L, pero para que un agua sea considerada potable debe tener una DBO total menor a 5 mg/L, en la siguiente figura 49 se observan los valores obtenidos para la DBO<sub>5</sub> total de las muestras obtenidas, los valores no cumplen con la norma a excepción de las muestras B-1, B-2 y A-3, se observa que mientras se utilizan más etapas en el tren de tratamiento la DBO aumenta considerablemente por lo que se puede concluir que el tren de filtrado podría haber estado contaminado de materia orgánica lo que provocó que la DBO<sub>5</sub> total aumentará conforme se agregaban etapas al tren de tratamiento. Sin embargo todas las muestras se encuentran por debajo del valor típico que suelen presentar la mayoría de las aguas de consumo humano, lo que nos garantiza que el agua de lluvia contiene una baja concentración orgánica.

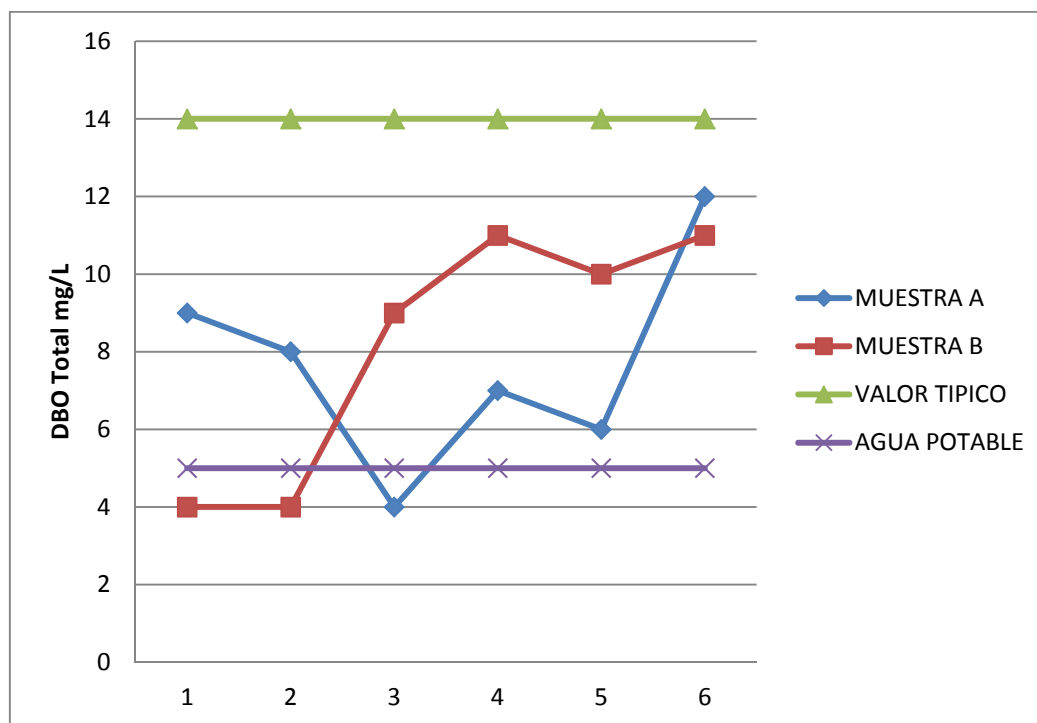


Figura 49. Análisis DBO<sub>5</sub> Total, según diferentes trenes de tratamiento.

### 8.3.3 DQO Total

En el caso de la muestra de DQO total solo se realizó la prueba para las muestras testigo es decir a las muestras sin ningún tipo de tratamiento ya que se consideraba poco probable la existencia de este parámetro, lo cual se confirmó con los resultados obtenidos ya que para ambas muestras el resultado fue no detectable, por lo que no existen problemas por materia orgánica en las muestras de agua de lluvia analizadas.

### 8.3.4 Sólidos Totales

Para el análisis de sólidos totales el límite permisible para la NOM-041 son 500 mg/L, los resultados obtenidos de ambas muestras en ningún caso sobrepasan los límites establecidos por la norma los valores se encuentran en un promedio 120 mg/L, lo cual es bueno, sin embargo no se aprecia una disminución en la cantidad de sólidos totales conforme el agua es tratada por lo tanto se puede concluir que el tren de tratamiento no es el adecuado para disminuir el contenido total de sólidos totales en el agua de lluvia, sin embargo el agua de lluvia sin tratamiento no necesita pasar por un tren para cumplir con lo que estipula la norma. En la figura 50 se observan los resultados obtenidos:



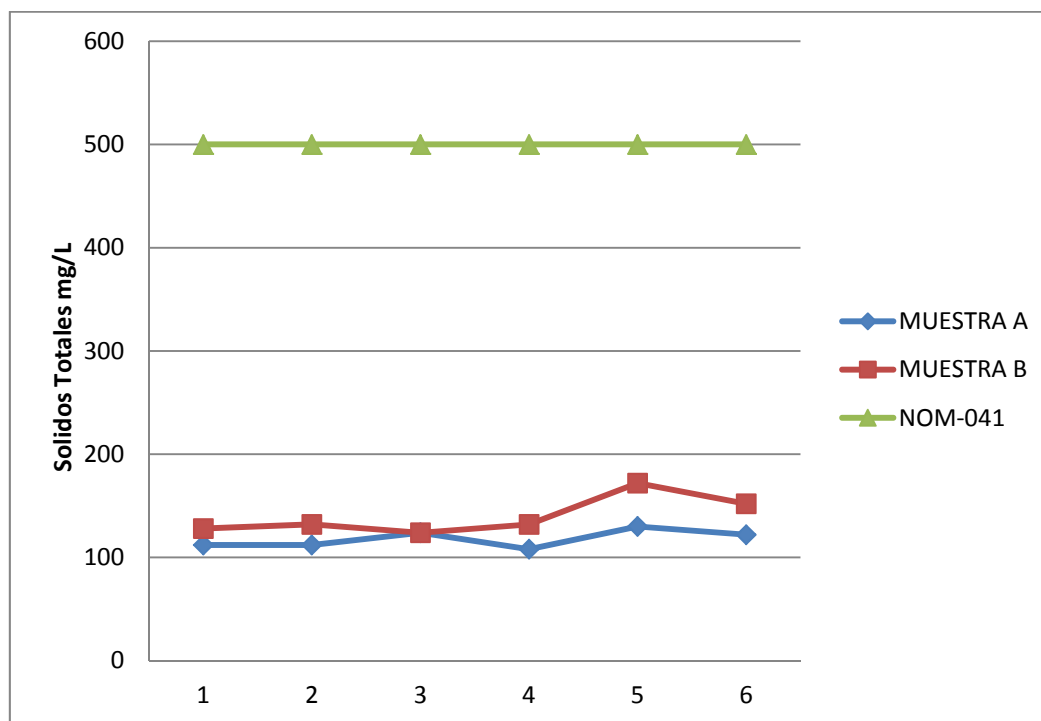


Figura 50. Análisis de Sólidos Totales, según diferentes trenes de tratamiento.

### 8.3.5 Nitrógeno Total

El método utilizado fue la medición de nitrógeno total fue el método Kjeldahl, este refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas (proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc.) y el ion amonio  $\text{NH}_4^+$ .

Es un parámetro importante ya que mide el nitrógeno total capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos y, posteriormente y en su caso, desnitrificado a nitrógeno gaseoso. No incluye, por tanto, los nitratos ni los nitritos.

Los límites permisibles para nitrógeno estipulados por la NOM-041, se mencionan en la Tabla 21.

Tabla 21. Límites permisibles para Nitrógeno, NOM-041

PARÁMETRO	mg/L
Nitratos como N	10.00
Nitritos como N	0.05
Nitrógeno amoniacal como N	0.5
Nitrógeno orgánico total como N	0.1

Los resultados obtenidos se pueden observar en la Figura 51.

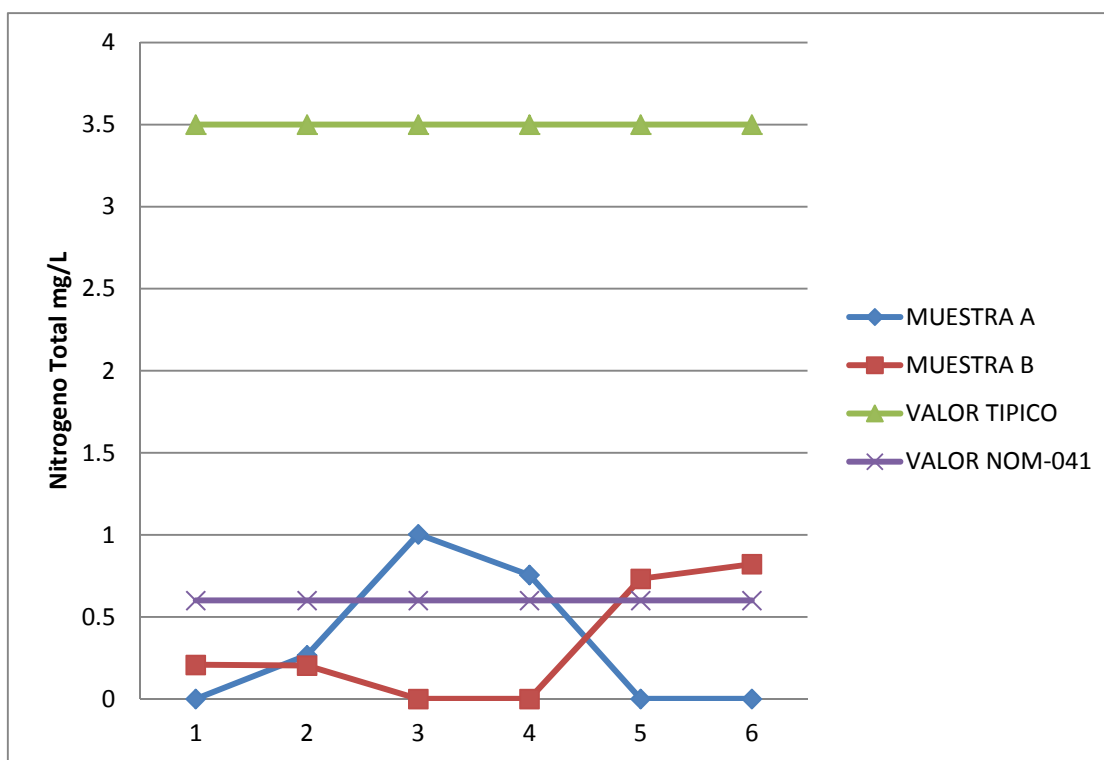


Figura 51. Análisis de Nitrógeno Total, según diferentes trenes de tratamiento

Se observa que el agua pluvial sin tratamiento cumple con los límites permisibles que estipula la NOM-041, pero se presenta el mismo caso que en el parámetro de DBO, la cantidad de nitrógeno aumenta conforme se agregan etapas al tren de tratamiento lo que significa que alguna etapa de filtrado se encontraba con una cantidad importante de material orgánico, aun así para el caso de la muestra A se observa que el tren de tratamiento en la etapa 5 y 6 es el adecuado ya que la cantidad de nitrógeno total es no detectable.

En el caso de la muestra B los primeros trenes de tratamiento son los que funcionan para cumplir con los límites estipulados por la NOM-041. Es decir solo con tratamiento físico disminuye considerablemente la cantidad de nitrógeno total presente en la muestra.

### 8.3.6 pH

Los valores de límites permisibles reportados en la NOM-041 para pH son de 6.5 a 8.5, la medición del pH se realizó mediante papel indicador por lo que los resultados no son muy exactos sin embargo se observa que los resultados obtenidos para las muestras de agua varían entre 6 y 7, por lo que se ajustan se puede concluir que son valores que se acercan a la NOM-041 sin ningún problema, los resultados obtenidos se muestran en la figura 52.

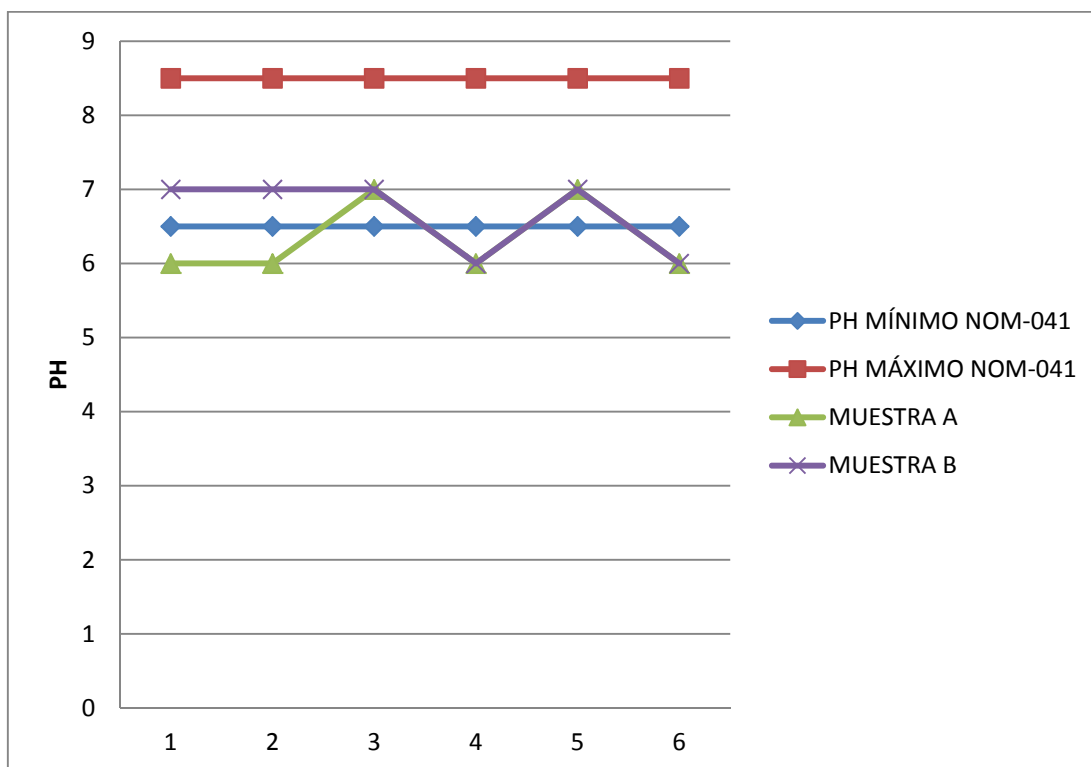


Figura 52. Análisis de pH, según diferentes trenes de tratamiento

En general se puede concluir que las muestras de agua de lluvia tomadas poseen una buena calidad y en la mayoría de los parámetros analizados cumplen con la NOM-041 que establece los límites permisibles para que un agua sea potable, los únicos valores que salieron de la NOM-041 son los que tienen que ver con algún tipo de contenido orgánico en el agua, como la DBO y el nitrógeno total Kjeldah, por lo tanto es importante considerar en el tren de tratamiento una etapa que permita disminuir el contenido orgánico presente en el agua de lluvia, para así garantizar que el tren de tratamiento propuesto de cómo producto un agua potable de alta calidad.

Es sobresaliente que el análisis de coliformes totales demostró que las muestras tomadas cumplen sin ningún problema con la NOM-041, ya que este parámetro no fue detectable.

Los resultados obtenidos después de analizar varios parámetros del agua de lluvia, se puede decir que los sistemas de captación de agua de lluvia, pueden ser una fuente de agua relativamente inocua. Las principales fuentes de contaminación son las aves, pequeños animales y restos acumulados en los tejados del área de captación. El efecto de estas fuentes se puede reducir al mínimo mediante medidas sencillas como: limpiar periódicamente las canaletas, eliminarse en lo posible ramas (porque pueden ser fuente de restos vegetales y

porque favorecen el acceso a las zonas de captación del tejado de pájaros y pequeños animales); también es importante poner en las tuberías de entrada al sistema dispositivos que eviten la entrada de hojas. Es recomendable utilizar interceptor de aguas, a manera de separar la purga inicial impidiendo la entrada a los depósitos de la primera fracción de agua (20 a 25 litros, según el área de captación) que lava el tejado. Si no se dispone de este tipo de dispositivos, puede obtenerse el mismo resultado con una bajante desmontable que se conecte a desconecte manualmente.

En general para garantizar la inocuidad microbiana, las aguas superficiales deberán al menos desinfectarse y habitualmente también filtrarse. La primera barrera se basa en reducir al mínimo la contaminación en la fuente de abastecimiento derivada de los residuos humanos y otros factores de peligro.

## **9. Propuesta de tren de tratamiento**

### **9.1 Etapas del proceso de purificación**

La calidad del agua de lluvia oscila gradualmente de una fuente a otra; por ello el tipo de tratamiento requerido para producir agua potable, también varía. Dependiendo de la calidad de esta, el grado de complejidad del tratamiento es diferente. El diseño de una planta de tratamiento eficiente y económica requiere un estudio basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuadas y económicos para producir agua de la calidad requerida (Romero, 1999).

Uno de los objetivos de este trabajo fue elegir el proceso adecuado para la instalación de un tren de tratamiento para obtener agua purificada, basándose en los análisis de la fuente de abastecimiento.

De acuerdo a los análisis realizados al agua de lluvia, se tiene un líquido, que reúne las características para ser consumida como agua potable, además que su calidad está dentro de los estándares que establece la NOM-041 para purificarla. Por lo que se requiere un mínimo tratamiento para obtener un líquido de excelentes condiciones.

Como la fuente de abastecimiento son aguas pluviales, el valor reportado de turbidez tiene valores inferiores a 1 ppm con una transparencia de hasta 5 metros de profundidad; sin embargo tal valor puede ser superior si los tanques de almacenamiento no reciben una limpieza periódicamente. Lo que nos conlleva a utilizar un filtro de lecho profundo y de esa manera garantizar que en el sistema, no pasaran sustancias o sólidos mayores que puedan ocasionar un taponamiento o acumulación de estos en los procesos posteriores lo que reduciría la eficiencia del sistema y calidad del producto.

El olor y sabor no son detectables ya que los cloruros y sulfatos que son los responsables de transmitir un sabor salado y amargo respectivamente hacen su presencia en concentraciones de 300 ppm de  $\text{Cl}^-$  y 500 ppm de  $\text{SO}_4^-$ . El agua de lluvia en cuanto olor y sabor es agradable al consumidor.

Es claro que no solo estos parámetros son los causantes de los olores y sabores por lo que pueden existir una infinidad, y al no saber cuáles pudieran surgir es necesario prevenir este

problema con la instalación de un filtro de carbón activado y así el agua conserve su propiedad inodora e insípida.

La concentración analizada de STD es de 120 mg/L en el caso de las muestras tomadas en cisternas de captación de sistemas de captación de agua de lluvia, mientras que las muestras tomadas directamente el valor obtenido para STD es de 10 mg/L, el valor que establece la NOM-041 es de 500 mg/L por lo cual el agua solo necesita unos retoques, aunque se considera que la dureza del agua de lluvia es mínima esta se incrementa por todo el material que esta pudiera arrastrar al escurrir desde el lugar de captación hasta los tanques de almacenamiento, es por eso que se opta por usar un intercambiador que remueva los iones que causan la dureza y que a la vez ayudaría a no saturar las membranas de ósmosis inversa y aumentara su eficiencia.

El proceso que cumple con ambas funciones de reducir los iones que causan la dureza y los STD es la ósmosis inversa con una eficiencia de rechazo arriba del 90 %.

Según González (2001), indica que un agua que tiene un total de sólidos disueltos de 200 o más, la ósmosis inversa es menos costosa que el intercambio de iones y que los sólidos disueltos son menores que 200 mg/L, es preferible el intercambio de iones para remover los microorganismos. Es importante la reducción de los sólidos disueltos pues pueden afectar adversamente la calidad, además que para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general no es agradable para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor.

Respecto a los parámetros de dureza el agua no se considera dura, sin embargo debido al arrastre de material al momento de su captación, sería necesario un tratamiento como intercambio iónico y ósmosis inversa para disminuir los iones que causan este problema. Ha de considerarse que la dureza no afecta al organismo humano y solo es importante cuando el agua se usará junto con un detergente y en la preparación de alimentos.

Es sabido que el agua es la principal fuente de vida de los seres vivos, pero en esta cuestión debemos eliminar toda vida que pudiera ocasionar y transmitir enfermedades para ello es indispensable utilizar un germicida que anule la proliferación de bacterias, gérmenes, virus, algas y esporas que en algún momento se llegaran a presentar.

Finalmente como el ozono actúa sobre el agua eliminando por oxidación todos los elementos nocivos para la salud como son virus, bacterias, hongos, además de eliminar metales, los cuales pueden ser filtrados y eliminados del agua (AQUASYSTEM, 2000). Se optará por inyectar una concentración de 2 a 3 mg/L de ozono en el agua que ya pasó por la UV y que está lista para ser consumida sin algún riesgo de salud. La razón de aplicar ozono, es su capacidad para conservar y desodorizar.

## **9.2 Descripción del proceso para purificación del agua de lluvia**

El proceso inicia con la recolección del agua de lluvia en un tanque de almacenamiento, con una capacidad de 5000 litros, este almacenamiento puede ser de la marca Rotoplas o Rotomex. El suministro de agua está regulado por un flotador. En la figura 53 se muestra un tanque de almacenamiento común donde puede ser almacenada el agua de lluvia.



Figura 53. Tanque de almacenamiento de agua cruda.

<http://www.donosti.com.mx/custom/Plorotoplas2.jpg>

El suministro de agua está conformado por una bomba centrífuga multipaso de 1 HP la cual alimenta la presión y caudal necesario al sistema de filtros de lecho profundo y carbón activado para así llegar a un nuevo tanque de almacenamiento con una capacidad de 5000 litros.

### 9.2.1 Filtro Multicapa o de lecho profundo.

Generalmente los filtros multicapa, llevan de cuatro a cinco capas de material filtrante de diferente densidad y granulometría que van reteniendo las partículas selectivamente de acuerdo a su tamaño (mayores de 15 micras), logrando así quitar la turbidez del agua.

Su operación consiste, mediante la presión suministrada de la bomba el agua sin filtrar entra a la válvula y fluye en dirección de arriba hacia abajo por el interior del tanque a través del material filtrante para después subir, ya filtrada, por el tubo central y salir del equipo.

En la figura 54 se muestra un filtro de lecho multicapa con 4 diferentes materiales filtrantes de diferente densidad y granulometría.



Figura 54. Filtros de lecho profundo.

Fuente: <http://www.solostocks.com.mx/img/filtro-lecho-profundo-multimedia-2-ft3-contrltiempo-o-flujo-4442z0.jpg>

El retrolavado se realiza con agua cruda la cual entra de arriba hacia abajo y fluye por el tubo central para ir al fondo del tanque, pasar a través del distribuidor y fluir hacia arriba para aflojar y lavar la cama del material filtrante enviándose al drenaje la suciedad retenida por el filtro.

El retrolavado se debe realizar dependiendo de la calidad del agua a tratar, lo ideal es realizarlo cuando menos cada 4 a 7 días o bien al finalizar el día de trabajo.



En la figura 55 se ejemplifica el sistema de retrolavado convencional para filtros de lecho profundo y carbón activado.

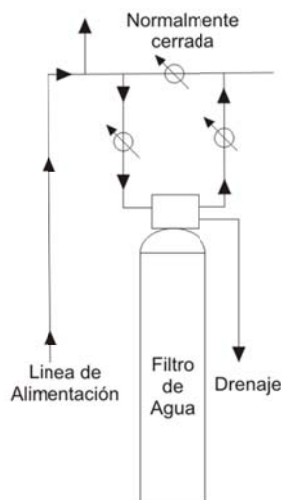


Figura 55. Instalación filtro de lecho profundo y carbón activado

En el momento de la Instalación se recomienda, poner una válvula check para evitar retorno de agua o contrapresión. Así como una válvula para derivación o “by-pass”.

### **9.2.2 Filtro de carbón activado**

Se utiliza un filtro. Estos están diseñados para la filtración de líquidos, adsorbiendo la materia orgánica que es la causante del olor, color o sabor en el agua. También ayudan a retener: acidez, alcalinidad e hidrocarburos. Además se utilizan para reducir efectivamente el sabor u olor que produce el cloro en el agua.

El carbón tiene una vida de dos a tres meses pero por seguridad se recomienda que se cambie cada dos meses y medio. En la figura 56 se muestra un filtro de carbón activado.

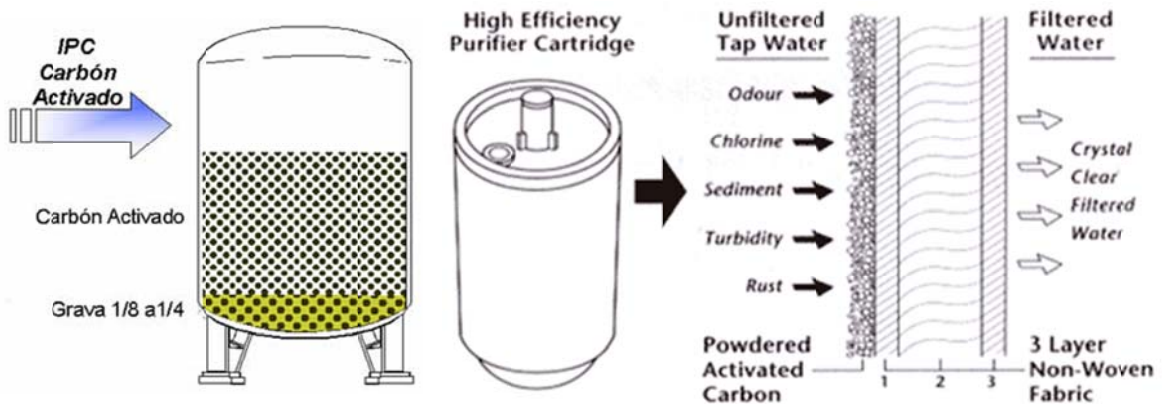


Figura 56. Filtro de carbón activado

Fuente: [www.joolonghardware.com/Products/Welcome%20to...](http://www.joolonghardware.com/Products/Welcome%20to...)

### 9.2.3 Intercambio Iónico



Figura 57. Suavizadores de agua comercial

Fuente: <http://www.rowen.com.ar/ampliaciones/f-equipos1.html>

Se utiliza un filtro y están diseñados para el cambio de las sales de calcio y magnesio por sales de sodio que son solubles. El suavizador, además de bajar la dureza del agua, reduce otras impurezas como son el hierro, magnesio, sílice y otros metales. Normalmente se emplea una resina catiónica base fuerte ciclo sodio y se regenera con sal industrial (NaCl).

Los suavizadores disminuyen hasta un 30% la dureza del agua a ser tratada, en algunos casos se usan para obtener una agua dentro de la dureza que establece la NOM-041 y/o cuando la dureza es muy alta como un proceso previo y dar una mayor vida a las membranas del equipo de ósmosis inversa. (Instapura, 2002)

Las válvulas de estos sistemas son automáticas para la regeneración en nuestro caso será necesario regenerarla cada tercer día. Con lo que respecta a la instalación se recomienda poner válvulas como las indicadas en los filtros de lecho profundo.

#### **9.2.4 Ósmosis inversa**

Esta tiene como función la reducción de SDT y eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos. Que pueden estar acumulados en el tanque de almacenamiento. En la figura 58 se muestra un sistema convencional de ósmosis inversa.

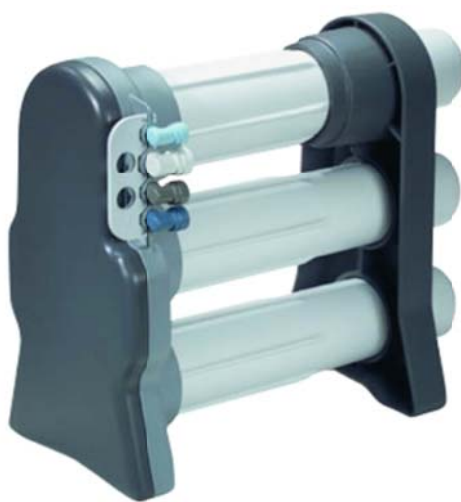


Figura 58. Unidad de ósmosis inversa.

Fuente: [www.aqua-medic.de/.../23/merlin%20II%20\(smal\)/](http://www.aqua-medic.de/.../23/merlin%20II%20(smal)/)

Su operación consiste en:

- El agua almacenado en el tanque es dirigida a la unidad mediante la presión que genera la bomba de 1 HP, entonces el agua pasa al prefiltro de 5 micras, para eliminar los sedimentos que pudieron desprenderse del carbón activado, posteriormente se dirige al

medidor de STD (1 a 999 ppm) donde la producción está basada en agua de alimentación a 25°C a 500 mg/L de STD.

- Una vez entrada el agua en la membrana se produce un agua permeada con una concentración de alrededor del 10 % de STD. El resto se rechaza con altas concentraciones de sales, enviándose al drenaje.

### 9.2.5 Lámpara de rayos ultravioleta

Tienen como función la destrucción del 99.9 % de las bacterias, virus y gérmenes que se pudieran presentar en el agua. La dosis promedio de operación que la mayoría de los fabricantes venden es de 30,000  $\mu\text{ws}/\text{cm}^2$ . La vida media de las lámparas es de 8000 horas de operación, por lo que se recomienda cambiarlas cada 10 meses. En la figura 59 se observa los principales componentes de una lámpara de luz UV.

Generalmente deben permanecer encendidas las 24 horas, de lo contrario cada apagada reduce su vida 8 horas.

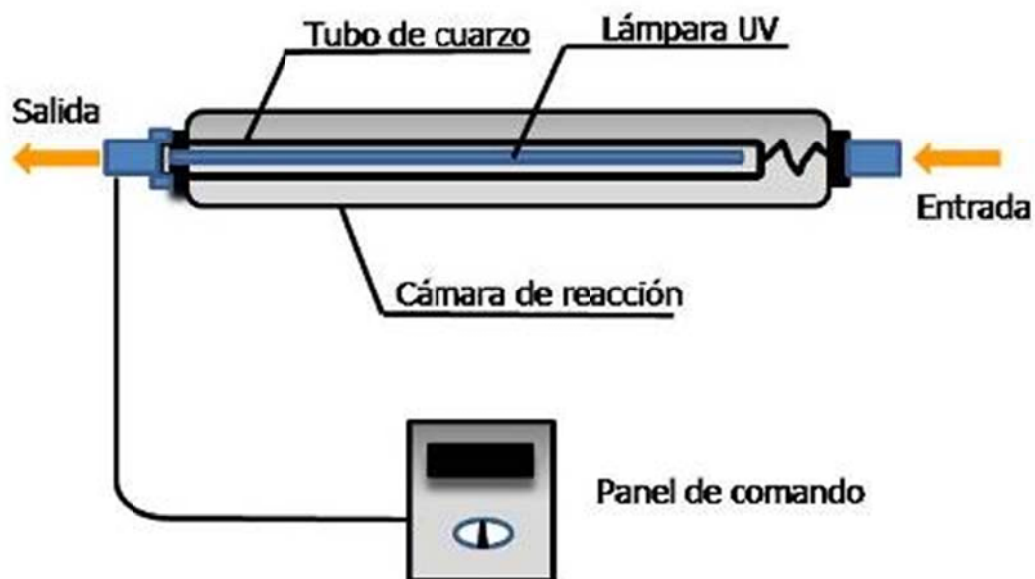


Figura 59. Lámpara de UV

Fuente: [http://www.purificacionymas.net76.net/desinfeccion\\_de\\_luz\\_por\\_agua\\_ultravioleta.html](http://www.purificacionymas.net76.net/desinfeccion_de_luz_por_agua_ultravioleta.html)

Para que el sistema opere eficientemente se requiere que el agua esté libre de sustancias en suspensión o disolución. En otras palabras el equipo purificador UV no debe operar solo a menos de que la calidad del agua lo permita, por estar dentro de los siguientes niveles, en la tabla 22 se muestran los niveles ideales para operación de la lámpara UV.

Tabla 22. Calidad del agua antes de operar el sistema de UV.

Parámetro	Unidad	Parámetro	Unidad
<b>Turbidez</b>	< 5 NTU	<b>pH</b>	6.5-9.5
<b>Hierro</b>	< 0.3 ppm	<b>Manganeso</b>	< 0.05 ppm
<b>Ácido Sulfhídrico</b>	< 0.05 ppm	<b>Dureza</b>	<120 ppm
<b>Sólidos Suspendidos</b>	<10 ppm	<b>Color</b>	ninguno

Fuente: Instapura

Con los niveles que se piden para este sistema se justifica el uso de la ósmosis inversa y de la filtración, este último con un grado nominal de por lo menos de 10 micras.

Con lo referente a las operaciones de mantenimiento se sugiere inspeccionar visualmente el tubo de cuarzo a los 30 y 90 días después de la instalación para determinar la frecuencia de limpieza. Generalmente todos los equipos constan de una vara que desde el exterior se jala para limpiar la camisa de cuarzo y desprenderle las láminas que los minerales generan en su paso. En el caso que se requiera remover la camisa para su limpieza se deberá remojar en agua jabonosa o en una solución conteniendo vinagre o amoníaco.

Algo importante de protección del sistema es la Instalación de válvulas de cierre antes y después del equipo de purificación que impidan el paso del agua al equipo purificador a fin de poder efectuar el cambio de lámpara o del tubo de cuarzo. También puede instalarse una válvula de paso “bypass”.

### 9.2.6 Tanque o cisterna de almacenamiento.

Aquí se almacena el agua tratada además de tener las reservas necesarias para alimentar el equipo, el almacenaje puede ser de tipo Rotoplas, con una capacidad de 5000 litros. En la figura 60 se ejemplifica un tanque de almacenamiento o cisterna común, estos deben de contar con tapa y de preferencia ser opacos para eliminar su contacto con la luz solar.



Figura 60. Tanque de almacenamiento de agua purificada.

Fuente: [www.rotoplas.com/index.php?id=251](http://www.rotoplas.com/index.php?id=251)

### 9.2.7 Equipo generador de ozono

La función es burbujear ozono al tanque de almacenamiento de agua tratada y preservar la calidad bacteriológica del agua y mayor vida de anaquel. En la figura 61 se muestra una unidad generadora de ozono.

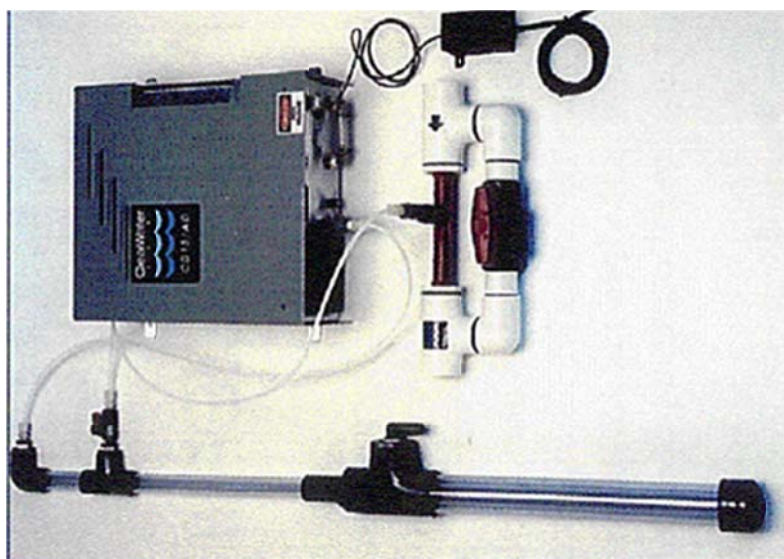


Figura 61. Sistema generador de ozono.

<http://aquapura03.com/ComoFunciona.aspx>

La aplicación del ozono en un proceso dado, debe tener un tiempo de contacto, debido a que su acción está en función del tiempo de vida media del ozono. Para la generación de ozono se puede usar aire seco u oxígeno.

Según la aplicación se enlistan las dosis de ozono y tiempos de contacto en la tabla 23.

Tabla 23. Dosis de ozono aplicadas según sus distintas aplicaciones.

Aplicación	mg/L de O <sub>3</sub>	Tiempo de contacto
<b>Condensadores evaporadores y torres de enfriamiento</b>	0.2-0.6	Continuo
<b>Tratamiento de agua potable:</b>		
<b>Desinfección</b>	<b>1.5-3.0</b>	<b>5-10 min</b>
<b>Precusores de trihalometanos</b>	1.5-3.0	5-10 min
<b>Olor y sabor</b>	1.0-5.0	5-10 min
<b>Color y COD</b>	3.0-10.0	
<b>Turbidez y microfloculación</b>	1.0-3.0	5-10 min
<b>Fierro y manganeso</b>	1.0-8.0	5-10 min
<b>Agua embotellada</b>	2.0-3.0	5-10 min
<b>Agua residual</b>	5.0-20.0	15-30 min

Fuente: Econex, 2001

### 9.3 Etapas de sistema para purificación del agua de lluvia

En base a las etapas descritas anteriormente es posible plantear un sistema adecuado para la potabilización de agua de lluvia, este tren de tratamiento se presenta en la Tabla 24 y cada etapa se describe brevemente en la Tabla 25.

Tabla 24. Propuesta de tren de tratamiento

#	Tratamiento	#	Tratamiento
<b>1</b>	Deposito agua de lluvia	<b>8</b>	Deposito agua purificada
<b>2</b>	Bomba 1 Hp	<b>9</b>	Bomba 1 Hp
<b>3</b>	Filtro de lecho profundo	<b>10</b>	Purificador UV
<b>4</b>	Filtro de carbón activado	<b>11</b>	Pulidor, abrillantador
<b>5</b>	Intercambio Iónico	<b>12</b>	Lavadora
<b>6</b>	Ósmosis Inversa	<b>13</b>	Llenadora
<b>7</b>	Ozono		

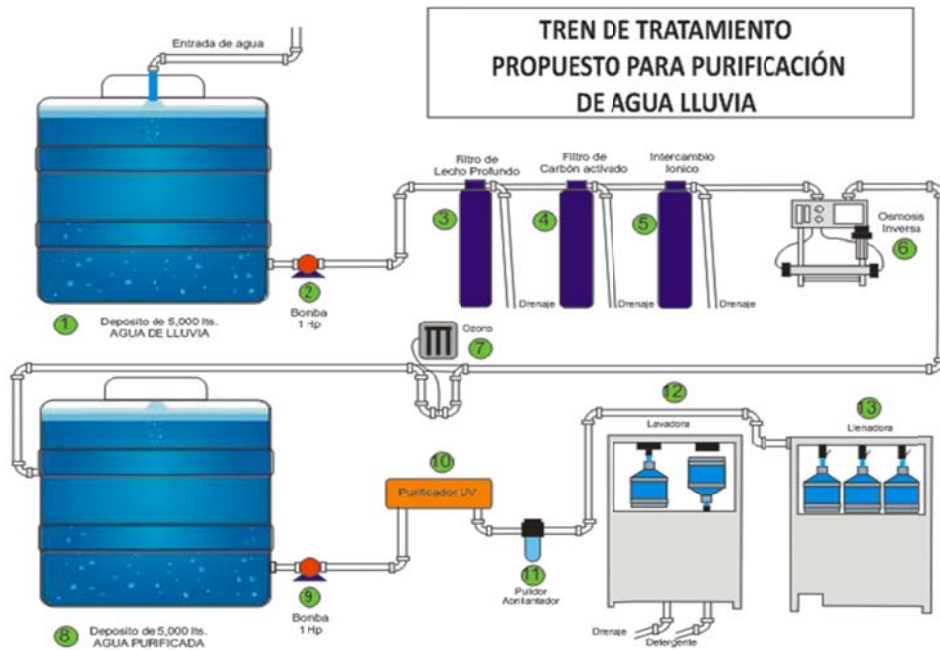
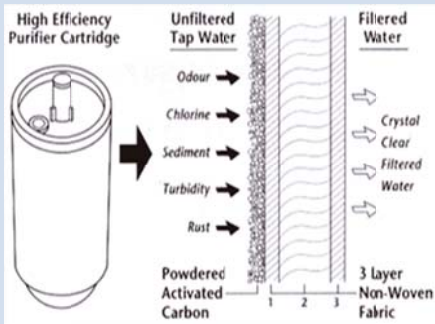


Figura 62. Propuesta tren de tratamiento para purificación de agua de lluvia

Tabla 25. Diferentes etapas en el proceso de purificación de agua de lluvia.

PROCESO	DESCRIPCIÓN
 <p><b>1.- TANQUE RECOLECTOR DE AGUA DE LLUVIA</b></p>	<p>El proceso inicia con la recolección del agua de lluvia en un tanque de almacenamiento, con una capacidad de 5000 litros, este almacenamiento puede ser de la marca RotoPLAS o Rotomex. El suministro de agua está regulado por un flotador.</p>
 <p><b>2.- FILTRO MULTICAMA O DE LECHO PROFUNDO</b></p>	<p>Generalmente los filtros multicapa, llevan de cuatro a cinco capas de material filtrante de diferente densidad y granulometría que van reteniendo las partículas selectivamente de acuerdo a su tamaño (mayores de 15 micras), logrando así quitar la turbidez del agua.</p> <p>Su operación consiste, mediante la presión suministrada de la bomba el agua sin filtrar entra a la válvula y fluye en dirección de arriba hacia abajo por el interior del tanque a través del material filtrante para después subir, ya filtrada, por el tubo central y salir del equipo.</p>





### 3.- FILTRO CARBÓN ACTIVADO

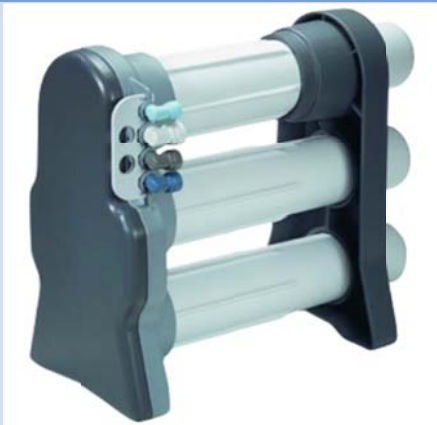
Estos están diseñados para la filtración de líquidos, adsorbiendo la materia orgánica que es la causante del olor, color o sabor en el agua. También ayudan a retener: acidez, alcalinidad e hidrocarburos. Además se utilizan para reducir efectivamente el sabor u olor que produce el cloro en el agua.



### 3.- INTERCAMBIO IÓNICO

Se utiliza un filtro y están diseñados para el cambio de las sales de calcio y magnesio por sales de sodio que son solubles. El suavizador, además de bajar la dureza del agua, reduce otras impurezas como son el hierro, magnesio, sílice y otros metales. Normalmente se emplea una resina catiónica base fuerte ciclo sodio y se regenera con sal industrial (NaCl).

Los suavizadores disminuyen hasta un 30% la dureza del agua a ser tratada, en algunos casos se usan para obtener una agua dentro de la dureza que establece la NOM-041 y/o cuando la dureza es muy alta como un proceso previo y dar una mayor vida a las membranas del equipo de ósmosis inversa. (Instapura, 2002)

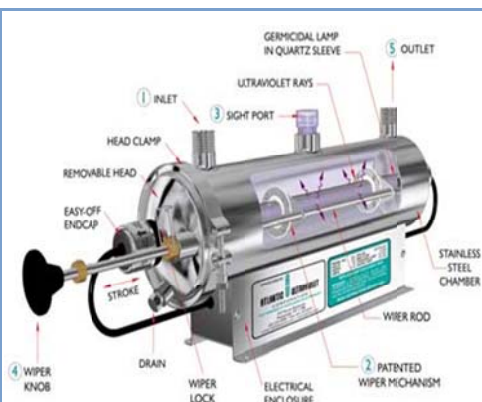


### 4.- ÓSMOSIS INVERSA

Esta tiene como función la reducción de SDT y eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos. Que pueden estar acumulados en el tanque de almacenamiento.

Su operación consiste en:

- Una vez entrada el agua en la membrana se produce un agua permeada con una concentración de alrededor del 10 % de SDT. El resto se rechazara con altas concentraciones de sales, enviándose al drenaje.



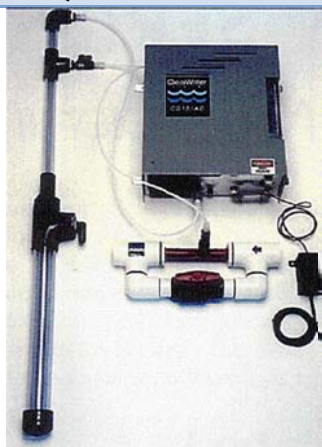
### 5.- LÁMPARA DE RAYOS UV

Tienen como función la destrucción del 99.9 % de las bacterias, virus y gérmenes que se pudieran presentar en el agua. La dosis promedio de operación que la mayoría de los fabricantes venden es de 30,000  $\mu\text{ws}/\text{cm}^2$ . La vida media de las lámparas es de 8000 horas de operación, por lo que se recomienda cambiarlas cada 10 meses.



### 6.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Aquí se almacena el agua tratada además de tener las reservas necesarias para alimentar el equipo de llenado de garrafrones, el almacenaje puede ser de tipo Rotoplas, con una capacidad de 5000 litros.



### 7.- EQUIPO GENERADOR DE OZONO

La función es burbujear ozono al tanque de almacenamiento de agua tratada y preservar la calidad bacteriológica del agua y mayor vida de anaquel.

La aplicación del ozono en un proceso dado, debe tener un tiempo de contacto, debido a que su acción está en función del tiempo de vida media del ozono. Para la generación de ozono se puede usar aire seco u oxígeno.



**8.- FILTRO DE CARTUCHO**

Se usa como pulidor y abrillantador, ya viene integrado a la llenadora y lavadora. Estos filtros tienen la función de eliminar partículas de tamaño específico, con su retención el agua se abrillanta, en el proceso de purificación esto es muy importante porque permite que el equipo de luz UV trabaje mejor al incrementar la transmitancia del agua.

Existen en diferentes materiales: Hilo de Polipropileno, Celulosa Poliéster, Mólamina y Polipropileno spun. Así como, los llamados especiales o combinados.



**9.- LAVADORA Y LLENADORA DE GARRAFONES**

El proceso inicia con la selección de los garrafones más sucios, el cual el proceso es manual y posteriormente se lleva a la lavadora con detergentes especiales y soluciones especiales, además que el agua utilizada es la que ha sido purificada y ozonizada.

Respecto a los garrafones que estén fuertemente sucios recibirán otro proceso más especial para retirar las impurezas.

Una vez realizada la desinfección del garrafón, este es enviado a la máquina de llenado. Realizado de manera manual.

#### 9.4 Análisis de tren de tratamiento

La revisión de literatura coincidió con el estudio del equipo que se ofrece en el mercado para formar el tren de tratamiento para agua de lluvia, resultando:

- **Filtración.** El agua presenta una turbiedad menor a 1 ppm de sílice, haciéndola transparente a cuatro metros de profundidad y como el material del sistema es de 10 micras se logra tener un agua que aumentara la eficiencia del carbón activado y del intercambiador.
- **Carbón Activado.** Si bien el agua no tiene sabor y olor que sea detectable al consumir, con este sistema se garantizara la eliminación de estos.
- **Intercambio iónico.** Ayudará a reducir la concentración de SDT presente en al agua de lluvia, además de ser una etapa de prevención a los sólidos que el agua de lluvia pueda arrastrar desde su lugar de captación hasta su lugar de almacenamiento. Además este proceso ayuda a que la membrana de ósmosis no se sature con facilidad.

- **Ósmosis inversa.** El agua tiene una concentración máxima de SDT de 120 mg/L. Como el sistema tiene una eficiencia del 90 % en la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos los SDT quedarán en 12 mg/L, esto garantiza que en cualquier condición extraordinaria el agua de lluvia conserve el valor de este importante parámetro.
- **Radiación ultravioleta.** De acuerdo al análisis microbiológico del agua no se detectaron Coliformes Fecales y Totales. Como el sistema funciona con una dosis de 30,000  $\mu\text{ws} / \text{cm}^3$  y una eficiencia del 99 %, evita la proliferación o la transmisión de alguna enfermedad por la vía líquida.
- **Ozono.** Este sistema de tratamiento tiene la misma función que el anterior y se propone utilizarlo para darle un sabor agradable al producto, así como preservar la calidad bacteriológica y mayor vida. El sistema funciona con una dosis de 1 gr/h de  $\text{O}_3$ , ahora tomando en cuenta que con un gramo de ozono se puede tratar 25 metros cúbicos de agua la dosis será más que suficiente para tratar la totalidad del agua captada.

El agua de lluvia como tal (sin tratamiento) por su naturaleza está dentro de los parámetros que la NOM-041 establece, sin embargo es necesario garantizar una calidad de agua óptima, lo que hace necesario su tratamiento con el sistema seleccionado y de esa manera se obtendrá un agua purificada con calidad cumpliendo con las normas tanto nacionales e internacionales.

La conformación del sistema de tratamientos de agua de lluvia reúne los equipos que actualmente se presentan como uno de los más avanzados en este ramo.

Los resultados obtenidos después de analizar varios parámetros del agua de lluvia, se puede decir que los sistemas de captación de agua de lluvia, pueden ser una fuente de agua relativamente inocua. Las principales fuentes de contaminación son las aves, pequeños animales y restos acumulados en los tejados del área de captación. El efecto de estas fuentes se puede reducir al mínimo mediante medidas sencillas como: limpiar periódicamente las canaletas, eliminarse en lo posible ramas (porque pueden ser fuente de restos vegetales y porque favorecen el acceso a las zonas de captación del tejado de pájaros y pequeños animales); también es importante poner en las tuberías de entrada al sistema dispositivos que eviten la entrada de hojas. Es recomendable utilizar interceptor de aguas, a manera de separar la purga inicial impidiendo la entrada a los depósitos de la primera fracción de agua (20 a 25 litros, según el área de captación) que lava el tejado. Si no se dispone de este tipo de dispositivos, puede obtenerse el mismo resultado con una bajante desmontable que se conecte a desconecte manualmente.

En general para garantizar la inocuidad microbiana, las aguas superficiales deberán al menos desinfectarse y habitualmente también filtrarse. La primera barrera se basa en reducir al

mínimo la contaminación en la fuente de abastecimiento derivada de los residuos humanos y otros factores de peligro.

Cuanto más protegida este la fuente de abastecimiento de agua, menor será la necesidad recurrir a su tratamiento o desinfección. El agua debe protegerse de la contaminación durante su almacenamiento y suministro a los consumidores, de esta manera es de vital importancia asegurarse que los sistemas de distribución y almacenamiento estén siempre protegidos.

Las principales fuentes de contaminantes en el agua de lluvia son:

- Presencia de excrementos de aves o de otros animales en el tejado o en las canaletas de conducción
- Posible entrada en el depósito de almacenamiento de agua en la purga inicial.

Es por eso muy importante garantizar que las áreas de captación y conducción estén lo más limpias posibles, además de contar con un mecanismo que asegure que la purga inicial no termine dentro del contenedor de agua de lluvia.

Según la revisión mundial que se realizó sobre los sistemas de captación de agua de lluvia que existen alrededor del mundo, en la mayoría de los países hay personas que obtiene agua de fuentes domésticas, como pozos privados o agua de lluvia. En hogares que utilizan sistemas de abastecimiento de agua sin tuberías, es preciso aplicar medidas adecuadas para garantizar que la captación, el almacenamiento y en su caso el tratamiento de agua sean realizados en condiciones seguras. Las autoridades de salud pública, de vigilancia u otras autoridades locales pueden proporcionar orientación a hogares y a consumidores individuales para garantizar la inocuidad del agua que consumen, la mejor forma de garantizar este tipo de orientación es por medio de un programa comunitario de educación y capacitación.

## **10. Conclusiones**

Se ha encontrado que los sistemas de captación de agua de lluvia son métodos utilizados en México y en el mundo, las técnicas y métodos desarrollados han tomado importancia a través del tiempo siendo sistemas que han demostrado ser de bajo costo, fáciles de construir, mantenimiento sencillo y de fácil operación; además de no dañar el medio ambiente, son opciones viables para dotar a la población de agua de buena calidad.

Los sistemas de captación de agua de lluvia se implementan principalmente cuando no existe una red de acueductos o el suministro es deficiente, cuando no se dispone de los recursos es decir no exista el dinero para invertir o los materiales sean muy costosos, cuando la calidad del agua es muy baja provocada por su contaminación y en los países desarrollados se utilizan según la normatividad y legislación vigente. En todos los casos los sistemas de captación de agua de lluvia han demostrado ser sistemas que representan una buena fuente del agua, sin embargo es necesaria su adaptación en más lugares y en algunos casos con mejores condiciones, mejores tecnologías que vayan de acuerdo a los factores ambientales y las características demográficas.

Se identificaron y analizaron los principales presentes en el agua de lluvia, los resultados obtenidos se compararon con los límites permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, se encontró que la calidad de agua de lluvia no suele presentar un alto contenido de contaminantes, si no que por el arrastre y el contenido de materia orgánica e inorgánica del área de recolección que esta se contamina, por lo cual es de suma importancia mantener las zonas de captación lo más limpias posibles, lo cual garantizara una mejor calidad de agua recolectada permitiendo que el proceso de purificación sea más eficiente y económico.

Los parámetros analizados en su mayoría se encuentran dentro de los parámetros que la NOM-041 establece, sin embargo es necesario garantizar una calidad de agua optima, lo que hace necesario su tratamiento con el sistema seleccionado y de esta manera con seguridad se obtendrá agua purificada potable cumpliendo con las normas tanto nacionales e internacionales.

Se identificaron los diferentes componentes de un sistema de captación de agua pluvial, encontrando que son sistemas sencillos y de fácil aplicación. El muestreo realizado para analizar la calidad de agua de lluvia en la Ciudad de México demuestra que con una buena operación del sistema se puede obtener agua de buena calidad, mejorando la calidad microbiológica del agua de lluvia captada en el lugar de uso, con ayuda de un almacenamiento seguro en contenedores adecuados, es posible evitar la incidencia de contaminantes que pueden provocar

enfermedades transmitidas por el agua, tanto en comunidades apartadas sin servicio de red hidráulica, como en comunidades urbanas con escasas de agua.

Se analizaron los diferentes métodos de potabilización y purificación de agua de lluvia para uso y consumo humano, a partir del análisis químico, físico y biológico de las muestras, es posible decir que existen varios sistemas viables para purificar el agua de lluvia. Las tecnologías más prometedoras y accesibles para el tratamiento domiciliario del agua son la filtración con filtros de cerámica, la cloración y posterior almacenamiento en contenedores, desinfección solar en botellas claras a través de la acción combinada de la radiación ultravioleta y calor, la desinfección térmica (pasteurización) en recipientes opacos con luz solar y sistemas combinados que combinen la coagulación floculación química, sedimentación, filtración, ozonificación y cloración. Se ha demostrado que estos sistemas permiten mejorar significativamente la calidad microbiológica del agua, reducir los riesgos de enfermedades infecciosas transmitidas por el agua, se puede afirmar que estos sistemas de tratamiento y almacenamiento domiciliario son los más prometedores y efectivos.

Históricamente, y con un reciente interés, la tecnología y práctica del tratamiento del agua se ha centrado en el uso de una o más tecnologías, esto conlleva grandes ventajas potenciales ya que se pueden lograr tratamientos mejorados, lo que daría lugar a una importante reducción en los contaminantes del agua, además de una protección continua con un desinfectante residual y un almacenamiento menos propenso a la contaminación después del tratamiento.

Es factible proyectar un tren de tratamiento y obtener agua potable, cuya fuente sea agua de lluvia de la Ciudad de México. Se espera que la calidad de agua de lluvia tratada con el tren de tratamiento propuesto supere al promedio de aguas purificadas presentes en el mercado.

En cuanto al tren de tratamiento se encuentra que la mejor alternativa para la purificación de agua de lluvia es la secuencia: filtración- carbono activado- intercambio iónico- radiación UV y ozonización. En cuanto a la normatividad vigente para agua para consumo humano (NOM-041) como ya se ha señalado el agua de lluvia cruda presenta una baja cantidad de contaminantes, sin embargo es en el arrastre y escurrimiento donde esta adquiere la mayor parte de contaminantes, es por eso que se plantea este tren de tratamiento que garantiza una agua de buena calidad para consumo humano.

Una de la etapas más importantes en el proceso de tratamiento del agua de lluvia es la ósmosis inversa con esta etapa se reducen los compuestos orgánicos e inorgánicos con una efectividad del 90%, la lámpara de UV elimina el 99% de los patógenos presentes en el agua y como última

etapa se recomienda la aplicación de ozono que garantiza preservar la calidad bacteriológica y da mayor vida de anaquel.

Es importante señalar que el tratamiento propuesto para la purificación de agua de lluvia en la Ciudad de México es temporal, debido a que el periodo de lluvia solo se presenta ciertos meses del año, por lo tanto este sistema quedara en función del agua acumulada en los meses de sequía, sin embargo el tren de tratamiento propuesto también está diseñado y pensado para su funcionamiento con agua de la red pública, que en base al tren de tratamiento planteado también podrá ser purificada y tratada.

La captación de agua de lluvia y las tecnologías desarrolladas son un medio de obtención de agua de alta calidad que se ha olvidado, no dañan el medio ambiente y son una opción muy viable para dotar de agua de buena calidad a la población de la Ciudad de México. Es por eso que existen muchas buenas razones para seguir desarrollando, mejorando, implementando, evaluando y comparando las tecnologías de tratamiento y almacenamiento seguro de agua de lluvia para consumo humano.

Por lo tanto este trabajo muestra a la captación de aguas pluviales como alternativa para ser apoyada y también practicada por las autoridades, ya que es un método económico y más fácil de instalar que los costosos sistemas tradicionales, que con seguridad ayudara a mitigar los problemas de escases del vital recurso.



## **11. Recomendaciones**

- Los métodos de captación de agua de lluvia son métodos utilizados en México y en varias partes del mundo, estos han demostrado ser confiables y prácticos para dotar de agua principalmente a poblaciones sin servicio de la red hidráulica, además de que contribuyen a desarrollar conciencia y una correcta cultura del agua.
- El agua de lluvia captada y analizada en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, presenta una baja concentración de contaminantes tanto químicos y bacteriológicos, por lo tanto a base un tratamiento sencillo podrá ser habilitada para consumo humano cumpliendo con las principales normas mexicanas e internacionales.
- Estos enfoques de tratamiento y almacenamiento, merecen una mayor investigación y se recomiendan como pasos a desarrollar para evaluar e implementar sistemas de captación de agua de lluvia a nivel domiciliario, lo que contribuirá a la prevención y control de la calidad de agua y una mejor salud. Esta concientización del papel que cumple el agua potable segura en la promoción de la salud y en la prevención de las enfermedades fomenta y facilita el objetivo de proveer agua accesible y segura a través de sistemas de captación de agua de lluvia.
- La mejor manera de controlar la calidad de agua de lluvia captada es desde su origen, es decir el área de captación cuidar efluentes o contaminantes atmosféricos además de contar con un sistema limpio y efectivo que garantice una buena calidad de agua de lluvia. Es importante en cada zona hacer un estudio detallado de los posibles contaminantes presentes en el agua, ya que existen diferentes riesgos de contaminación según la zona y las condiciones de captación.
- Estos tipos de sistemas son solo recomendables para zonas donde la precipitación pluvial sea suficiente para proveer de agua de buena calidad mínimo 4 meses por año, dependiendo de la precipitación pluvial de la localidad.
- El estudio que se ha realizado en cuanto proponer un tren de tratamiento que mejore la calidad microbiológica del agua de lluvia captada en el lugar de uso y del almacenamiento seguro en contenedores adecuados permite reducir la incidencia de contaminantes que pueden provocar enfermedades transmitidas por el agua, tanto en comunidades y viviendas de países desarrollados como en desarrollo. El nivel en el que mejora la calidad

del agua de lluvia, depende de varios factores ambientales específicos del lugar y de características demográficas que requieren de mayor investigación, caracterización y análisis, en función de esto y de la tecnología aplicada, la población expuesta y las condiciones locales.

- Es necesario transmitir la información sobre las diferentes tecnologías y almacenamiento de agua de lluvia, sus beneficios y ventajas para que un mayor número de gente pueda aprovechar las diferentes opciones en cuanto a captación de agua de lluvia existen en el mercado.

## **Bibliografía**

- Anaya Garduño Manuel “Sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia”. Innovaciones tecnológicas ante el cambio climático. Centro Internacional De Demostración Y Capacitación En Aprovechamiento Del Agua De Lluvia (CIDECALLI), Mayo, 2008: 95,115, 122
- Aquamarket Agua- Tecnología y Tratamiento – Saneamiento Ambiental. Año 25 N° 135, Santiago de Chile, 2000. ([http://www.aguamarket.com/temas\\_interes/003asp](http://www.aguamarket.com/temas_interes/003asp)). 5 de marzo del 2011
- Archundia Mónica, El Universal, Escasez de agua en el DF empeorara en 2010, Ciudad de México, Lunes 03 de Agosto de 2009.
- Arana Muñoz Omar E. Tratamiento de Aguas residuales para reuso Agrícola industrial y urbano. Tesis de Doctorado. Pacific Western University. 1996: 15, 35 y 119
- Ballén Juárez José Alejandro, Miguel Ángel Galarza García, Rafael Orlando Ortiz Mosquera. “Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia”. 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: 10-25
- Cajina Canelo, Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua, CATIE, Costa Rica 2006: 58
- 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 rio grande en la sierra norte, Oaxaca 2005: 235-236
- Carrillo Eduardo, “Guadalajara desperdicia agua de lluvia”. Ed. Periódico gaceta Universitaria. Ecología 30 de Enero 2006
- CEAS, Comisión estatal de Agua y Saneamiento. El suministro de agua. México, D.F, 1993. (<http://lanic.utexas.edu/la/Mexico/water/libro.html>). Consulta: 28/Abril/2011

- CEPISCA, Especificaciones técnicas, Captación de agua de lluvia para consumo humano, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2003: 38-42
- CIDECALLI, Centro Internacional de Demostración y Captación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia [www.cidecall.org.mx](http://www.cidecall.org.mx), 2 de mayo del 2011
- Cirigo Víctor Hugo, Jefe Delegacional de Iztapalapa, entrevista para el diario *Reforma* del 4 de noviembre del 2003.
- Comisión Nacional del Agua CNA, Estadísticas del agua en México 2008, 1era edición 2008: 35, 38, 55, 98
- Delta Tecnología, S.A. de C.V. Agua purificada. *ACS Medio Ambiente. México.* ( 2001-2002).
- Econext, Dosis de ozono en agua. México, 2001. (E-mail: [ventas@econext.com.mx](mailto:ventas@econext.com.mx)). 25 de mayo del 2011.
- Guía para la persona educada de cómo cosechar agua de lluvia, 2006: 8-10
- Gloria Soto, Perverso subsidio del agua en el DF, opina académica, Universidad Iberoamericana, México DF 18 de Febrero del 2009.
- Herrera Monroy Luis Alberto, “Estudio de alternativas para el uso sustentable del agua de lluvia”, Instituto Politécnico Nacional, México DF, 2010: 15-17
- ICAA, “Conceptos básicos de: aguas para consumo humano y disposición de aguas residuales”. Instituto costarricense de acueductos y alcantarillados, 2007:18-22
- IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Director General Dr. Polioptro F. Martínez Austria, entrevista 20 Agosto 2009.
- Instapura, Cuernavaca Morelos. Subida a Chalma No. 2044. Col. Lomas Tetela. 2000. E-mail: [info@instapura.com.mx](mailto:info@instapura.com.mx). (<http://www.instapura.com.mx>). 5 de junio del 2011
- IRRI MEXICO, Instituto Internacional de Recursos Renovables, Isla Urbana, “Componentes de un sistema de captación de agua de lluvia” <http://www.irrimexico.com/agua/> 20 de junio del 2011
- M. López De Asiain Alberich, A. Ehrenfried y P. Pérez Del Real “El ciclo urbano del agua. Un nuevo modelo de sistema integral de gestión”. Eddea arquitectura y urbanismo s.l., Sevilla, España. Noviembre 2007:25

- Martínez Pérez Alejandro, Subdirector de Aguas del Distrito Federal, artículo publicado en el periódico *El Metro*, 25 de marzo del 2002.
- NOM-MX, “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.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-041-SSA1-1994, Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias
- OMS, Guías para la calidad del agua potable, PRIMER APÉNDICE A LA TERCERA EDICIÓN, Volumen 1, Recomendaciones Organización Mundial de la Salud, 2010: 2-10
- P.G. Collins y J. W. Ridway , “VALORES REPRESENTATIVOS DE CONTAMINANTES EN AGUA PLUVIAL (DESAGÜÉ ANUAL)”, Adaptado en parte de Journal of the environmental Division, America society of civil engineers, 1980: 256
- Recolección, almacenamiento y tratamiento de agua de lluvia para uso interno, 2007: 15-16
- Romero Rojas Jairo Alberto. Calidad del Agua. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2da Edición. Alfaomega. Colombia, 1999:123
- Secretaria de Ecología del Distrito Federal, Estudio denominado *Santuarios de Agua*, en 2003.
- SEMARNAT, Informe de la situación del medio ambiente en México, compendio de estadísticas ambientales, edición 2008:25, 56-72
- SEMARNAT Y CONAGUA “Estadísticas del agua en México”. Gobierno Federal a través de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Ed. 2008: 7, 29-35
- Sobsey D. Mark, Manejo del agua en la vivienda: beneficios acelerados para la salud derivados del abastecimiento de agua mejorado, School of Public Health, University of California, Chapel Hill,USA, 2009: 42-43
- Solorio, E. N y Juan M. J. Tren de Tratamiento terciario para obtener agua embotellada. Departamento de Irrigación. Chapingo México, 2002: 135-145
- Sotelo Avilla Gilberto. Hidráulica General. Ed. LIMUSA, Vol. 1, México, 1980.

- UNATSABAR, Captación de agua de lluvia para consumo humano: especificaciones técnicas, Perú 2003: 5-8
- Webber W.J. El control de la calidad del Agua. Procesos fisicoquímicos. Editorial Reverte. Barcelona, España, 1979:138-145
- Wolfe R.L. Ultraviolet disinfection of potable water, current technical and research needs. *Envir. Sci. Technol.*, 1990; vol. 24(6):768-773.
- Zeta corporation. Ósmosis Inversa. 2045 N. Forbes Blvd., Suite 102, Tucson, AZ 85745 USA.1999-2000: 3

## **Glosario**

**Absorción:** la atracción de una sustancia sólida sobre un fluido con el que está en contacto, para que las moléculas del fluido penetren en la sustancia.

**Acuífero:** Un acuífero es aquel estrato o formación geológica permeable que permite la circulación y el almacenamiento del agua subterránea por sus poros o grietas. Dentro de estas formaciones podemos encontrarnos con materiales muy variados.

**Agua blanda:** puede definirse como agua con menos de 0,5 partes por mil de sal disuelta.

**Carbón Orgánico Total (COT):** es la cantidad de carbono unido a un compuesto orgánico y se usa frecuentemente como un indicador no específico de calidad del agua. Se mide por la cantidad de dióxido de carbono que se genera al oxidar la materia orgánica en condiciones especiales.

Un análisis típico del COT mide tanto el carbono total (CT) presente como el carbono inorgánico total (CIT). Restando el Carbono inorgánico total del Carbono total obtenemos el Carbono orgánico total.

**Carbonato de calcio (CaCo<sub>3</sub>):** Es una sustancia muy abundante en la naturaleza, formando rocas, como componente principal en todas las partes del mundo, y es el principal componente de conchas y esqueletos de muchos organismos, es la causa principal del agua dura.

**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 de cigarrillo y la sal industrial que se utiliza para derretir el hielo de los caminos.

**Ciclón:** En meteorología ciclón usualmente suele aludir a vientos intensos acompañados de tormenta.

**Coagulación:** Si el agua contiene sólidos en suspensión, la coagulación y la floculación pueden utilizarse para eliminar gran parte del material. En la coagulación, se agrega una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión. Hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o el proceso de agitación que inmediatamente sigue a la adición del coagulante.

**Coefficiente 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).  
 $Cr = Es/Pr$  ; donde Es=Lámina escurrida (en mm) y Pr=Precipitación (en mm).

El valor del parámetro de Cr varía mucho en función del tipo de material del área de captación.

**Coliformes totales:** Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura.

**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.

**Condensación:** cambio de estado de la materia que se encuentra en forma gaseosa a forma líquida. Es el proceso inverso a la vaporización.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** Cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Mide la capacidad de consumo de un oxidante químico, Ej. dicromato, permanganato etc., por el total de materia oxidante orgánica e inorgánica.

**Dureza total:** se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. Son éstas las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales alcalinas.

**Electrodiálisis:** La electrodiálisis es una tecnología que permite, bajo la influencia de un campo eléctrico continuo, extraer sustancias ionizadas disueltas en una disolución acuosa a través de membranas selectivas de intercambio iónico.

**Equipo generador de ozono:** su función es burbujear ozono al tanque de almacenamiento de agua tratada y preservar la calidad bacteriológica del agua y mayor vida de anaquel.

**Eutrofización:** En ecología el término eutrofización designa el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo



de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Eutrofizado es aquel ecosistema o ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes.

**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.

**Filtro de carbón activado:** Los filtros con carbón activado se utilizan generalmente en la purificación de aire, agua y gases, para quitar vapores de aceite, sabores, olores y otros hidrocarburos del aire y de gases comprimidos. Los diseños más comunes utilizan filtros de una o de dos etapas, donde el carbón activado se introduce como medio filtrante. También tiene uso para purificación del agua de lluvias en zonas donde esta es usada para usos domésticos.

**Filtro de lecho profundo:** Los filtros de Lecho profundo se utilizan para remover sedimentos y sólidos presentes en el agua como tierra, arcilla, arena y otros contaminantes. Este filtro consta de varios materiales filtrantes acomodados de acuerdo a su tamaño de partícula, para la retención de los sedimentos hasta de 5 micras.

**Floculación:** El proceso de floculación que sigue a la coagulación, consiste de ordinario en una agitación suave y lenta. Durante la floculación, las partículas entran más en contacto recíproco, se unen unas a otras para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o filtración.

**Grado de presión hídrico GPR:** representa la proporción de agua disponible que se extrae en una zona, ya sea para fines agrícolas, públicos, industriales o de otros tipos, es una forma de evaluar la disponibilidad de agua.

**Infiltración:** es la penetración del agua en el suelo.

**Intercambio iónico:** En el contexto de purificación, intercambio de ion es un proceso rápido y reversible en el cual los iones impuros presentes en el agua son reemplazados por iones que despiden una resina de intercambio de iones. Los iones impuros son tomados por la resina que debe ser regenerada periódicamente para restaurarla a su forma iónica original.

**Lago:** es una gran extensión de agua, de forma irregular, rodeada de tierra. El agua que los conforma siempre es dulce.

**Luz ultravioleta:** Se denomina radiación ultravioleta o radiación UV a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm ( $4 \times 10^{-7}$  m) y los 15 nm ( $1,5 \times 10^{-8}$  m).

**Lluvia ácida:** se forma cuando la humedad en el aire se combina con los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre emitidos por fábricas, centrales eléctricas y vehículos que queman carbón o

productos derivados del petróleo. En interacción con el vapor de agua, estos gases forman ácido sulfúrico y ácidos nítricos. Finalmente, estas sustancias químicas caen a la tierra acompañando a las precipitaciones, constituyendo la lluvia ácida.

**Nitratos:** Los nitratos son sales o ésteres del ácido nítrico  $\text{HNO}_3$ . En los nitratos está presente el anión  $\text{NO}_3^-$ . El nitrógeno en estado de oxidación +V se encuentra en el centro de un triángulo formado por los tres oxígenos.

**Nitrógeno Total:** Refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas (proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc.) y el ion amonio  $\text{NH}_4^+$ .

Es un parámetro importante en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) ya que mide el nitrógeno total capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos y, posteriormente y en su caso, desnitrificado a nitrógeno gaseoso.

**NOM-127-SSA1-1994:** Norma Oficial Mexicana "Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

**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.

**OMM:** Organización Meteorológica Mundial

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**Organolépticas:** Las propiedades organolépticas son el conjunto de descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, según las pueden percibir nuestros sentidos, como por ejemplo su sabor, textura, olor, color.

**Ósmosis inversa:** Para la eliminación de contaminantes en disolución principalmente encaminado al ahorro de agua. Si se tiene agua con contaminante "X" cuyas moléculas tienen un tamaño de "Y" micras, siendo "Y" mayor que el tamaño de la molécula de agua. Si se busca una membrana semipermeable que deje pasar moléculas de tamaño de las del agua pero no de "Y", al aplicar presión (ósmosis inversa) se obtendrá agua sin contaminante.

La utilización de la ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes persigue alguno de los tres objetivos siguientes:

- Concentrar la contaminación en un reducido volumen.
- Recuperar productos de alto valor económico.

- Recircular el agua.

La ósmosis inversa no destruye la contaminación sino que, como mucho, permite concentrarla en un pequeño volumen.

**Óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>):** 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; 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/m<sup>3</sup>) 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:  $15 \text{ g} \times 1000 \text{ mg/g} = 15000 \text{ mg/m}^3$  y  $1000 \text{ L/m}^3 = 3000 \text{ L}$  Concentración:  $15000 / 3000 = 5 \text{ mg/L} = 5 \text{ ppm}$ .

**Potencial de hidrogeno pH:** El pH (potencial de hidrógeno) es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. El pH indica la concentración de iones hidronio [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] presentes en determinadas sustancias.

**Precipitación:** (en meteorología), caída de agua sólida o líquida por la condensación del vapor sobre la superficie terrestre.

**Río:** se trata de una corriente de agua bastante considerable que desemboca en otra o bien en el mar.

**SCAPT:** Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techos.

**SODIS:** Método Solar de Desinfección de Agua SODIS (Solar Water Disinfection), una tecnología ya bien establecida y aceptada para proveer agua bacteriológicamente segura. Se basa en la exposición al sol por unas 6 horas de la botella conteniendo el agua contaminada. Los rayos solares actúan por combinación de la radiación UV-A y la radiación infrarroja destruyendo bacterias y virus (incluyendo al *Vibrio cholerae*).

**Sólidos totales:** Son los materiales suspendidos y disueltos en un agua. Se obtienen después de someter al agua a un proceso de evaporación a temperaturas comprendidas entre 103 y 105 °C. La porción filtrable representa a los Sólidos Coloidales Totales Disueltos y la no - filtrable son los Sólidos Totales en Suspensión.

**SORAS:** Remoción de Arsénico por Oxidación Solar modificada (SORAS modificada), en la que el agua se coloca con algunos gramos de alambre (por ejemplo, de enfardar) y gotas de jugo de limón, que se irradia por algunas horas. Este tratamiento elimina el arsénico por oxidación y

coprecipitación con óxidos de hierro formados en el proceso. Por la noche, la botella se deja en posición vertical para promover la precipitación y por la mañana se filtra por un paño de tela.

**Surfactantes:** Los tensoactivos (también llamados surfactantes) son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases (p.ej., dos líquidos insolubles uno en otro). Cuando se utilizan en la tecnología doméstica se denominan como emulgentes o emulsionantes; esto es, sustancias que permiten conseguir o mantener una emulsión.

**Turbiedad:** Se entiende por turbidez o turbiedad la falta de transparencia de un líquido debida a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido (generalmente se hace referencia al agua), más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad. Según la OMS, la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU.

**Unidades Formadoras de Colonias (UFC/ml):** es un valor que indica el grado de contaminación biológica de un ambiente. Expresa el numero relativo de microorganismos de un taxón determinado en un volumen de un metro cubico de agua. Las “Unidades Formadoras de Colonias” (UFC) se miden en UFC por mL.

**Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU):** son las unidades para medir la turbidez. El instrumento 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 unidades siemens (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 una corriente eléctrica entre dos puntos. Se define como la inversa de la resistencia.