



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERIA

**“Metodología para el diseño de un sistema de captación de agua pluvial en la Facultad de Ingeniería de la UNAM”**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTAN:**

**GARCIA GARCIA CARLOS**

**PÉREZ ÁVILA MARCO ANTONIO**

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE TESIS:**

**ING. MORENO MAVRIDIS ELIZABETH**



**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.

## INDICE GENERAL

	Página
INDICE DE FIGURAS	5
INDICE DE TABLAS	7
INTRODUCCION	8
Capítulo I. SITUACION ACTUAL DEL AGUA EN MEXICO	
1.1.-Agua en México	10
1.2.-Legislación acerca del agua en México	17
1.2.1.-Constitución Mexicana	18
1.2.2.-Ley de Aguas Nacionales	19
1.2.3.-Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)	19
Capítulo II. SITUACION ACTUAL DEL AGUA EN EL DISTRITO FEDERAL	
2.1.- Precipitación y clima en el Distrito Federal	22
2.2.- Agua en el Distrito Federal	24
2.3.- Componentes del ciclo hidrológico regional	28
2.4.- Infraestructura hidráulica	29
2.4.1.- Presas	30
2.4.2.-Agua Residual y pluvial recolectada	30
2.4.3.-Sistema Cutzamala	31
2.4.4.-Sistema Lerma	33
2.4.5- Sistema de pozos, Plan de Acción Inmediata (PAI)	34
2.5.- Instrumentos de gestión del agua	35
2.5.1.- Registro Público de Derechos de Agua (Repda)	35
2.5.2.- Organismos de agua potable, alcantarillado y saneamiento	35
2.5.3.- Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM)	35
2.5.4.- Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM)	36
Capítulo III SITUACION ACTUAL DE AGUA EN CIUDAD UNIVERSITARIA.	
3.1.- Agua en CU	38
3.1.2.-El Sistema Hidráulico de Ciudad Universitaria de la UNAM	39
3.1.3.- Situación actual del Sistema de Agua potable	39
3.1.4.- Subsistema de distribución. Red de agua Potable de Ciudad Universitaria	41
3.1.5.-La estrategia PUMAGUA	45
3.2.- Agua en la Facultad de Ingeniería	46
3.2.1- Programa piloto de uso eficiente del agua en el edificio 5	47

## Capítulo IV. CAPTACION DE AGUA PLUVIAL

4.1.- Sistemas de captación de agua pluvial	50
4.2.-Justificacion de los sistemas de captacion de agua pluvial	52
4.3.- Ventajas y desventajas de la captación de agua pluvial	52
4.3.1.-Factibilidad	52
4.3.2.-Factor técnico	53
4.3.3.-Factor económico	53
4.3.4.-Factor social	53
4.4.- Componentes de los sistemas de captación de agua pluvial	54
4.4.1-Área de captación del agua de lluvia	54
4.4.2.- Sistema de conducción	56
4.4.3.-Infraestructura para el almacenamiento del agua de lluvia	58
4.4.4.- Filtración del agua de lluvia	65

## Capítulo V. Metodología para el diseño de un sistema de captación de agua pluvial

5.1.- Elaboración de la metodología para el diseño de un sistema de captación de agua pluvial en la Facultad de Ingeniería	68
5.1.1.- Localización del sitio para establecer el sistema	70
5.1.2.- Definición del uso del agua pluvial captada	70
5.1.3.- Precipitación en la zona	70
5.1.4.- Tipo de material de la superficie de captación	70
5.1.5.- Determinación del área disponible para la captación de agua pluvial	72
5.1.6. -Determinación del abastecimiento de agua	73
5.1.7.- Determinación de la dotación de agua	74
5.1.8.-Determinación de la demanda	74
5.1.9.- Determinación del volumen del sistema de almacenamiento	76
5.1.10.- Determinación del sistema de conducción del agua captada	77
5.1.11.-Diseño del sistema de tratamiento de agua pluvial	80
5.1.12.-Diseño del sistema de bombeo del agua almacenada al tinaco o toma principal	83
5.2.- Diseño de un sistema de capitación de agua pluvial para la Facultad de Ingeniería	87
5.2.1.- Localización del sitio para establecer el sistema	87
5.2.2.- Definición del uso del agua pluvial captada	87
5.2.3.- Precipitación en la zona	87
5.2.4.- Tipo de material de la superficie de captación	88
5.2.5.- Determinación del área disponible para la captación de agua pluvial	88
5.2.6. Determinación del abastecimiento de agua	89
5.2.7. Determinación de la dotación de agua	90
5.2.8.- Determinación de la demanda	92
5.2.9. Determinación del volumen del sistema de almacenamiento	93
5.2.10.-Determinación del sistema de conducción del agua captada	93
5.2.11.-Diseño del sistema de tratamiento de agua pluvial	97

5.2.12.-Diseño del sistema de bombeo del agua almacenada al tinaco o toma principal	100
Conclusiones	101
Anexo I	
Anexo II	
Anexo III	
Bibliografía	108

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Ciclo hidrológico del agua	8
Figura 1.1 Regiones hidrológico-administrativas en el país	11
Figura 1.2 Valores medios anuales del ciclo hidrológico en México	12
Figura 1.3 Precipitación pluvial normal mensual en México	13
Figura 1.4 Precipitación pluvial anual, 2000-2008 (milímetros)	17
Figura 2.1 Ocurrencia de los distintos tipos de climas en el Distrito Federal	22
Figura 2.2 Distribución de los climas por delegación en el Distrito federal	23
Figura 2.3 Usos del agua en el Distrito Federal, 2007	24
Figura 2.4 Número de Plantas potabilizadoras en el Distrito Federal, 2007	26
Figura 2.5 Estadísticas del agua en el Distrito Federal	27
Figura 2.6. Componentes del ciclo hidrológico regional	29
Figura 2.7. Gasto suministrado mensualmente por el Sistema Cutzamala, en el año 2008	32
Figura 2.8. Caudal suministrado por el Sistema Lerma al Distrito Federal, 1999-2008	33
Figura 3.1. Superficie de Ciudad Universitaria de la UNAM	38
Figura 3.2 Comparación de extracciones de agua para los meses de Marzo, Junio y Julio para los años de 2006, 2007 y 2008	43
Figura 3.3 La red de agua potable de CU; en color rojo la tubería de acero y tramos en extrupack, en color rosa la tubería de fierro fundido, en color azul la tubería de PVC y en color verde la tubería de asbesto	44
Figura 3.4 Diagrama Causa- Efecto de la red de agua potable de Ciudad Universitaria	48
Figura 3.5 Consumo de agua en sanitarios del edificio 5 del Instituto de Ingeniería antes y después de la sustitución de muebles sanitarios	48
Figura 4.1. Captación de agua pluvial en techos de casas	51
Figura 4.2 Techos de escuelas utilizados como áreas de captación del agua de lluvia	55
Figura 4.3 Ejemplo de Techo cuenca en la Comunidad del Tecongo, Aguascalientes	56
Figura 4.4 Formas de canaletas de construcción sencilla	57
Figura 4.5 Forma de canaletas acordes a edificaciones	57
Figura 4.6 Canaletas con malla para evitar la contaminación por hojas	58
Figura 4.7 Canaleta con rejilla y válvula para el lavado para las primeras lluvias	58
Figura 4.8 (a) Colocación de malla electro soldada (b) aplanado con mezcla de arena y (c) tubería de PVC cortada a la mitad para conducir el agua de lluvia a la cisterna y (d) cisterna con tapa de lámina corrugada	59
Figura 4.9 Transporte de cisterna de concreto: (a) 5 m <sup>3</sup> y (b) 75,6 m <sup>3</sup>	60
Figura 4.10(a) Cisterna de cemento tabique: escuela primaria de Acapulco, (b) y tapa de protección, Estado de México	60
Figura 4.11Cisternas revestidas con geomembrana y polietileno: (a) cisterna para uso domestico, (b) transporte de geomembrana para recubrimiento, (c) cisterna sin tapa y (d) cisterna revestida y con cubierta flotante de geomembrana de PVC en San Felipe del Progreso	61

Figura 4.12 (a) Ensamblado de las hojas de lámina galvanizada con tornillos, (b) Estructura para el techo del tanque y (c) Colocación de material impermeable para evitar las pérdidas del agua por evaporación. (a) (b) (c)	62
Figura 4.13 Tanque de polietileno de 5 m <sup>3</sup>	62
Figura 4.14 Cisterna de madera de pino con tensores para almacenar 5 m <sup>3</sup>	63
Figura 4.15 Tanque de recepción de las primeras lluvias. El dispositivo más sencillo consiste en colocar una malla a la mitad de un bote de 19 litros y en la parte del fondo se adapta a la tubería de la línea de conducción	65
Figura 4.16 Trampa de basura para las primeras lluvias (izquierda) y válvula para drenaje (derecha)	66
Figura 5.1 Diagrama de la Metodología de Captación de Agua Pluvial	69
Figura 5.2 Diagrama de bombeo de agua almacenada	84
Figura 5.3 Dimensiones del área de captación en el Edificio J de la Facultad de Ingeniería	88
Figura 5.4 Mapa de isoyetas para D=30 cm y Tr= 5 años	95
Figura 5.5 Factor de ajuste en años	95
Figura 5.6 Factor de ajuste por minuto	96
Figura 5.7 Filtro SPEEDY	99
Figura 5.8 Filtro de Carbón Activado	100

## INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Usos del agua en México	10
Tabla 1.2 Disponibilidad natural media per cápita, por región hidrológico-administrativa, 2007 y 2030	12
Tabla 1.3. Precipitación pluvial normal mensual histórica por región hidrológico-administrativa, en el periodo de 1971 a 2000	14
Tabla 1.4 Precipitación pluvial normal mensual por Entidad Federativa, en el periodo 1971-2000 (milímetros)	15
Tabla 2.1. Valores anuales del ciclo hidrológico regional	28
Tabla 2.2. Presas en la región	30
Tabla 2.3. Agua residual y pluvial recolectada en la Zona Metropolitana del Valle de México	30
Tabla 2.4. Delegaciones y municipios que reciben agua procedente del Sistema Cutzamala	31
Tabla 2.5. Volúmenes y caudales suministrados por el Sistema Cutzamala a las entidades federativas, 1999-2008	32
Tabla 2.6. Delegaciones y municipios que reciben agua procedente del PAI	34
Tabla 3.1 Principales características de los tres pozos con que cuenta el Campus	40
Tabla 3.2 Dimensiones y capacidades de almacenaje de los Tanques de Regulación	41
Tabla 3.3 Materiales de la red de agua potable de Ciudad Universitaria	41
Tabla 3.4 Inventario de los muebles de baño del Instituto de Ingeniería y de la Facultad de Ingeniería	46
Tabla 4.1 Factores que se deben tomar en cuenta en un sistema de captación de aguas pluviales pluviales	50
Tabla 4.2 Tipos de Captadores de Agua Pluvial	63
Tabla 5.1 Coeficientes de escurrimiento (Ce) de los diferentes materiales en el area de captacion	71
Tabla 5.2 Altura, área hidráulica, perímetro mojado y radio hidráulico en secciones para colectar el agua de lluvia	79
Tabla 5.3 Velocidades máximas y mínimas permisibles en tuberías	80
Tabla 5.4 Límites permisibles de calidad del agua	80
Tabla 5.5 Tratamientos para la potabilización del agua	82
Tabla 5.6 Valores de Rugosidad ( $\epsilon$ ) para distintos materiales	86
Tabla 5.7 Precipitación pluvial mensual en el D.F., en el periodo 1971-2000(mm)	89
Tabla 5.8 Valores de abastecimiento mensual y abastecimiento acumulado mensual de agua pluvial	89
Tabla 5.9 Numero de alumnos que ingresan a los sanitarios por dia	91
Tabla 5.10 Valores de demanda mensual y demanda acumulada mensual del agua pluvial	92
Tabla 5.11 Valores calculados de diferencias entre el abastecimiento acumulado y demanda acumulada	93
Tabla 5.12 Periodos de retorno según el tipo de obraa disenar	94
Tabla 5.13 Características del agua pluvial captada en los meses lluviosos en el Municipio de Nezahualcóyotl y su comparación con la norma NOM-127-SSA1-1996 vigente	98



## INTRODUCCION

En la última década, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), 1 100 millones de personas en el mundo carecían de acceso a los servicios de agua potable, lo que supone el 17% de la población del planeta, siendo los más afectados los habitantes de los continentes asiático y africano.

La OMS también estima que la propagación de enfermedades de tipo diarreico, paludismo, hepatitis y tracoma se encuentra estrechamente vinculada con la provisión de los servicios de agua potable y alcantarillado, siendo los infantes los más perjudicados, por lo que la ampliación en la cobertura del servicio contribuiría a reducir la mortalidad por estos padecimientos. México se encuentra en el lugar 90 de 173 en términos de agua potable (CONAGUA 2009).

La destrucción de las cuencas naturales hidrográficas ha causado una crítica escasez del agua, afectando extensas áreas y poblaciones.

Sin embargo, a través de la tecnología conocida como captación<sup>1</sup> del agua, granjas y comunidades pueden asegurar el abastecimiento del agua para uso doméstico y agrícola.

En el ciclo hidrológico<sup>2</sup>, el agua se evapora de la superficie terrestre al ser calentada por el sol.

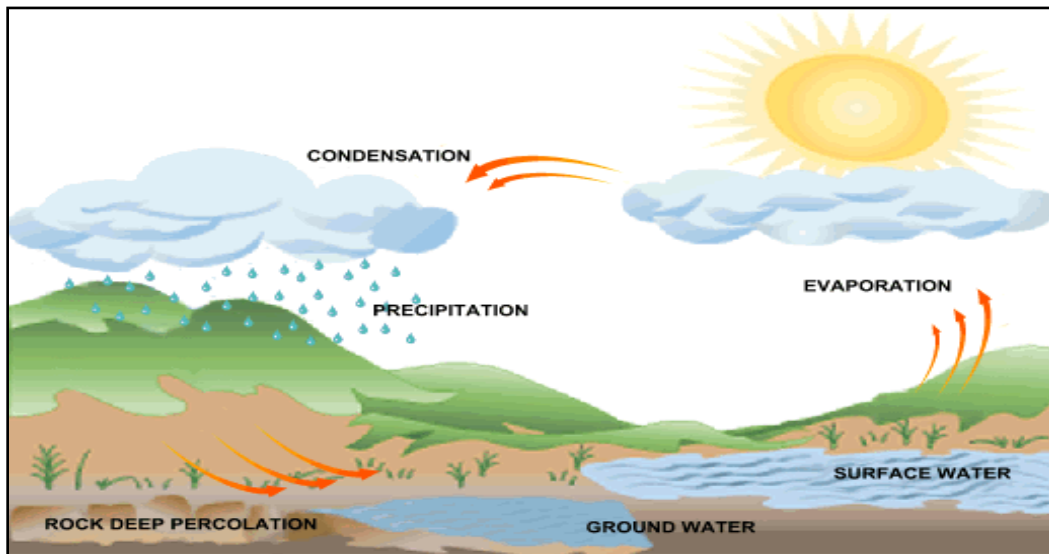


Figura 1. Ciclo hidrológico del agua (USAID, 2004).

<sup>1</sup> Captación: Consiste en recolectar y almacenar agua proveniente de diversas fuentes para su uso benéfico (USAID 2004).

<sup>2</sup> Ciclo Hidrológico: Ciclo Hidrológico - Proceso natural en el cual el agua pasa de la atmósfera a la tierra y luego regresa a la atmósfera (USAID 2004).

Posteriormente, regresa a la tierra en forma de lluvia, nieve, granizo, o neblina. Entre más alta sea la temperatura de la masa de aire, mayor será la cantidad de vapor que ésta puede acarrear.

En la medida en que la masa de aire se enfría, el vapor cambia a estado líquido y forma gotas que caen por su propio peso. Mientras el aire es elevado sobre las montañas, éste se enfría por expansión al chocar con masas de aire caliente y por el calor del aire húmedo cercano a la superficie de la tierra (enfriamiento por convección).

El agua que se evapora de los océanos es la fuente más importante de humedad atmosférica. Sin embargo, ésta también se puede evaporar de otros cuerpos de agua y de la superficie de la tierra (USAID 2004).

La escasez de agua es uno de los problemas principales que está surgiendo en muchas ciudades del mundo, incluyendo a la ciudad de México.

Nuestra ciudad por ejemplo, ha venido perdiendo el equilibrio entre la cantidad de aguas utilizables y la demanda; más allá del impacto del crecimiento mismo de la población, la demanda de agua ha estado aumentando en respuesta al desarrollo industrial, la urbanización masiva y los niveles de vida más altos.

La captación de agua de lluvia es un medio sencillo de obtener agua para consumo humano. En muchos lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria, se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento. Al ocurrir la precipitación, el agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso. En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación. Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua. Adicionalmente, los excedentes de agua pueden ser empleados en pequeñas áreas verdes (UNATSABAR 2001).

Es la razón por la cual existe la necesidad de generación y aplicación del conocimiento sobre captación de agua de lluvia para solucionar el problema de abasto de agua para uso y consumo humano. Por lo que el objetivo de este trabajo es el desarrollar la metodología para el diseño de un sistema que nos permita la captación de agua pluvial en cantidad y calidad para garantizar el suministro de agua a la comunidad; para lo cual se aplicará en la Ciudad Universitaria en la Facultad de Ingeniería. Con este trabajo de tesis se desarrolla la metodología para el diseño de un sistema que nos permita la captación de agua pluvial en cantidad y calidad para garantizar el suministro de agua a la comunidad. Además el estudio realizado en esta tesis permitirá aplicar estos conceptos a cualquier entidad, organización, facultad, concentración de edificios, etc.

# Capítulo I. SITUACION ACTUAL DEL AGUA EN MEXICO

## 1.1.-Agua en México

México tiene una precipitación media anual de 772 mm. Sin embargo, su distribución espacial y temporal es irregular ya que en 42% del territorio, principalmente en el norte, la precipitación media anual es menor a 500mm, y en algunos casos como en las zonas próximas al río Colorado, son menores a 50 mm.

En contraste, en 7% del territorio, existen zonas con precipitaciones medias anuales superiores a los 2,000 mm, con zonas donde la precipitación es mayor a 5000 mm. Del 67%-80% de la precipitación ocurre en el verano (Arreguim y col., 2004; Cantú y Garduño 2004).

El 67% de las lluvias en México cae en los meses de junio a septiembre. En promedio, el país recibe unos 711 mm de lluvia cada año (1 mm de lluvia = 1 litro por m<sup>2</sup>). No es mucho comparado con otros países. En el norte, México es muy ancho pero con poca lluvia (árida o semiárida); en el sur es angosto, pero llueve más. El 50% de la superficie la tienen los estados norteros, y ahí llueve tan sólo 25% del total. En la parte angosta del país, que ocupa 27.5% del territorio, cae la mayor parte del agua de lluvia (49.6%), esto es en los estados del sur-sureste (Chiapas, Oaxaca, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Veracruz y Tabasco). Entre los estados más secos está Baja California: tan sólo llueve un promedio de 199 mm por año. En contraste está Tabasco, que recibe 2588 mm de agua cada año. En México llueve cada vez menos. De 1994 a la fecha ha llovido menos del promedio histórico anterior (SEMARNAT 2009). La tabla 1.1 muestra los porcentajes de uso de agua en México.

Tabla 1.1 Usos del agua en México (SEMARNAT 2009).

Uso	Porcentaje (%)
<b>Agricultura y ganadería</b>	<b>77</b>
<b>Municipal y domestico</b>	<b>13</b>
<b>Industrial</b>	<b>10</b>

El país se ha dividido en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas debido a que las cuencas son las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, esto con el fin de organizar la administración y preservación de las aguas nacionales.

Las Regiones Hidrológico-Administrativas están formadas por agrupaciones de cuencas, respetando los límites municipales para facilitar la integración de la información socioeconómica.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, desempeña sus funciones a través de 13 Organismos de Cuenca (antes conocidos como Gerencias Regionales), cuyo ámbito de competencia son las Regiones Hidrológico-Administrativas.

De acuerdo con los trabajos realizados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Instituto Nacional de Ecología (INE), se han identificado 1471 cuencas hidrográficas en el país, las cuales, para fines de publicación de la disponibilidad de aguas superficiales, se han agrupado y/o subdividido en 728 cuencas hidrológicas.

Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas, y estas a su vez están agrupadas en las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (CONAGUA 2009).

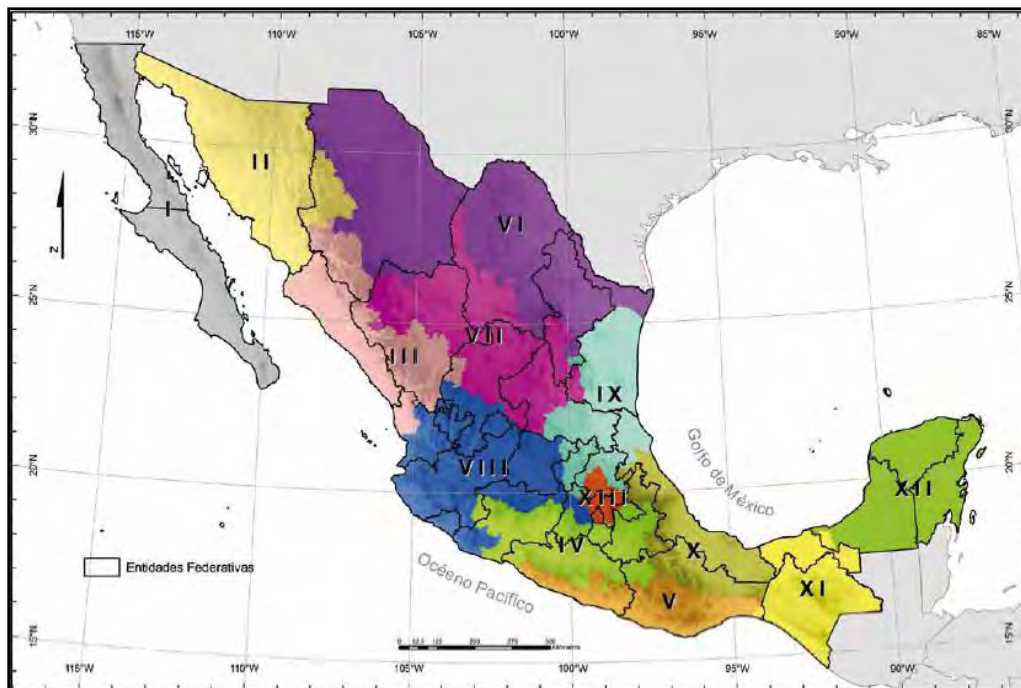


Figura 1.1. Regiones hidrológico – administrativas en el país (CONAGUA 2009).

Anualmente México recibe del orden de 1 489 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 73.2% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.1% escurre por los ríos o arroyos, y el 4.7% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Anualmente el país cuenta con 459 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable (CONAGUA 2010).

A continuación, en la figura 1.2 se muestran los componentes y valores medios anuales del ciclo hidrológico del agua en México:

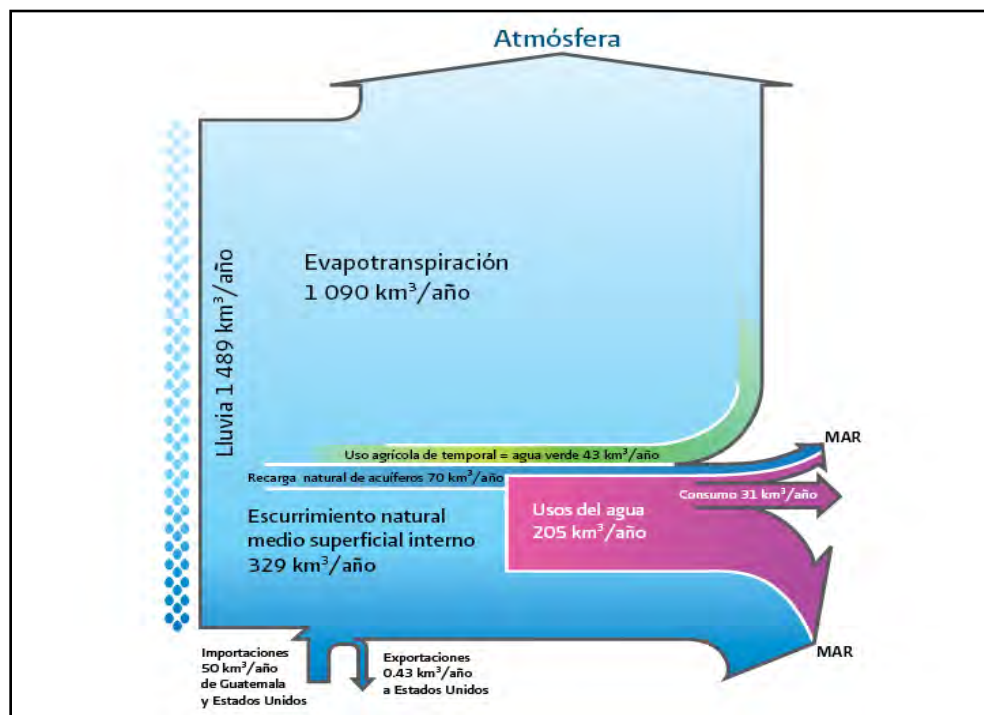


Figura 1.2 Valores medios anuales del ciclo hidrológico en México (CONAGUA 2010).

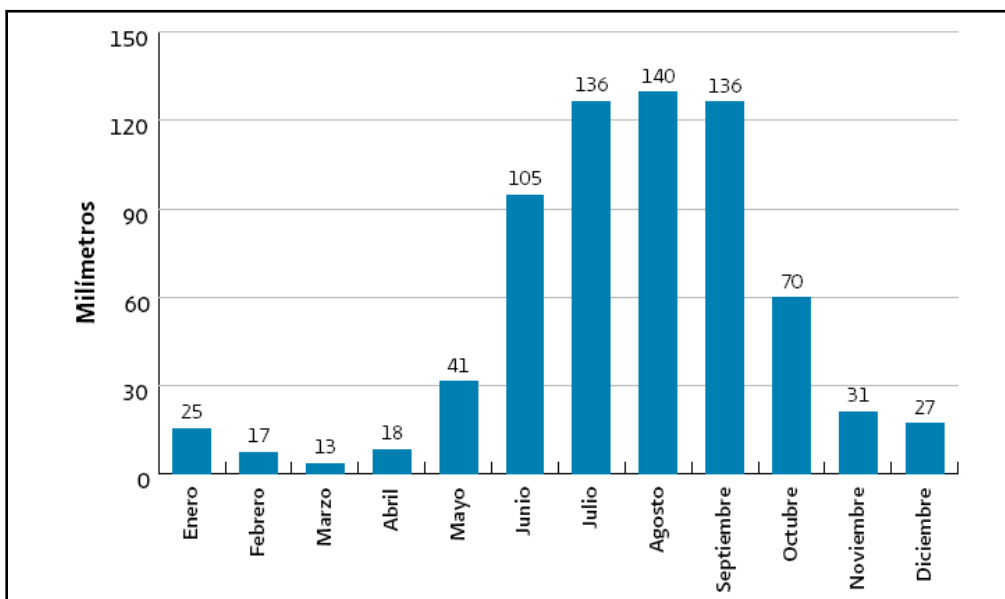
La disponibilidad natural media per cápita, que resulta de dividir el valor nacional entre el número de habitantes, ha disminuido de 18 035 m³/hab/año en 1950 a tan sólo 4,312 en el 2007 (CONAGUA 2009).

Tabla 1.2 Disponibilidad natural media per cápita, por región hidrológico-administrativa, 2007 y 2030 (CONAGUA 2009).

No.	Región Administrativa Hidrológica	Disponibilidad natural media (millones de m³/año)	Disponibilidad natural media per cápita al 2007(m³/hab/año)	Disponibilidad natural media per cápita al 2030 (m³/hab/año)
I	Península de Baja California	4 616	1 289	780
II	Noroeste	8 204	3 192	2 819
III	Pacífico Norte	25 627	6 471	6 753
IV	Balsas	21 658	2 055	1 946
V	Pacífico Sur	32 794	7 960	8 154
VI	Rio Bravo	12 024	1 124	907

<b>VII</b>	Cuencas Centrales del Norte	7 780	1 888	1 703
<b>VIII</b>	Lerma Santiago Pacifico	34 037	1 650	1 448
<b>IX</b>	Golfo Norte	25 500	5 162	5 001
<b>X</b>	Golfo Centro	95 455	9 964	9 618
<b>XI</b>	Frontera Sur	157 754	24 270	21 039
<b>XII</b>	Península de Yucatán	29 645	7 063	5 105
<b>XIII</b>	Aguas del Valle de México	3 008	143	127
<b>Total</b>		458 102	4 312	3 783

La precipitación normal del país en el periodo de 1971-2008 fue de 760 milímetros. Los valores “normales”, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial corresponden a los promedios calculados para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de datos, lo que se considera como un periodo climatológico mínimo representativo, y que inicie el 1° de enero de un año que termine en uno y finalice el 31 de diciembre de un año que termine en cero. La figura 1.3 muestra los valores de precipitación pluvial mensual en México.



Fuente: CONAGUA. Coordinación del Servicio Meteorológico Nacional  
 Figura 1.3 Precipitación pluvial normal mensual en México (CONAGUA 2010).

Cabe destacar que la distribución mensual de la precipitación en particular acentúa los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso, ya que el 68 % de la precipitación normal mensual

cae entre los meses de junio y septiembre. La tabla 1.3 muestra la precipitación normal mensual histórica.

Tabla 1.3. Precipitación pluvial normal mensual histórica por región hidrológico-administrativa, en el periodo de 1971 a 2000 (CONAGUA 2009).

No.	REGION ADMINISTRATIVA HIDROLOGICA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
I	Península de Baja California	23.4	21.6	16.9	4.2	1.2	0.7	9.1	23.3	23.6	11.8	11.6	21.3	168.6
II	Noroeste	24.9	22.9	13.2	5.4	4.9	17.6	111.2	107.4	56.3	28.5	19.6	33.2	445.2
III	Pacífico Norte	26.9	11.7	5.2	4.6	8.2	61.9	188.3	192.9	136.3	53.6	29.2	28.0	746.9
IV	Balsas	14.9	5.2	5.8	13.6	51.6	186.4	197.5	192.0	189.0	83.5	16.3	7.0	962.9
V	Pacífico Sur	9.1	8.0	7.5	20.4	78.5	243.6	204.7	225.2	249.2	111.1	20.9	8.9	1187.2
VI	Rio Bravo	16.2	12.0	9.6	16.1	30.6	49.6	75.1	80.6	80.5	36.2	14.8	16.9	438.3
VII	Cuencas Centrales del Norte	16.2	6.2	4.9	12.0	27.0	59.5	86.9	86.1	71.7	32.0	12.6	14.7	429.8
VIII	Lerma Santiago Pacífico	21.8	6.3	3.1	6.3	23.4	130.9	201.2	185.1	149.5	58.7	17.6	12.3	816.3
IX	Golfo Norte	26.5	17.2	20.6	40.1	76.3	142.0	145.0	129.5	175.7	82.4	29.5	28.8	913.6
X	Golfo Centro	44.9	34.1	29.9	40.6	84.7	225.6	254.7	252.7	281.0	161.5	88.1	60.5	1558.2
XI	Frontera Sur	60.3	52.1	38.0	52.0	135.3	278.1	219.1	266.1	332.0	222.2	114.3	79.6	1846.5
XII	Península de Yucatán	48.2	31.4	28.7	37.7	83.0	171.9	158.3	172.6	212.0	147.0	75.5	51.9	1218.4
XIII	Aguas del Valle de México	9.5	8.2	12.7	27.7	56.0	104.6	114.8	104.3	97.9	50.4	12.8	7.0	606.0
	Nacional	25.4	17.1	13.4	18.2	41.2	104.7	136.5	139.7	136.4	69.8	30.9	26.8	759.9

En mayo de 2008 la precipitación a nivel nacional fue de 39.5 mm (1.58 pulgadas) lo que representa solamente un 2% por debajo del promedio climatológico que es de 40.2 mm (1.60 pulgadas). El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ubicó al mes de mayo de 2008 como normal dentro del promedio histórico para el periodo 1941-2008.

La distribución de la lluvia en el mes de mayo se extendió principalmente sobre los estados de Veracruz, norte de Oaxaca así como a Chiapas, Tabasco y la Península de Yucatán, las cuales estuvieron asociadas al paso de dos frentes fríos, a sistemas de baja presión, así como a las tormentas tropicales Alma en el Pacífico y Arthur en el Atlántico que al final del mes dejaron importantes precipitaciones.

Los estados que recibieron las mayores precipitaciones fueron: Coahuila 93.9%, Campeche 89.1%, Chiapas 48.7% y Tabasco 20.7%. El resto de los estados del país presentaron precipitaciones por debajo de la media histórica destacando entre los más secos: Baja California Sur 100%, Sinaloa 99.3%, Nayarit 99.0%, Aguascalientes 83.8% y Colima 83.2%.

En la tabla 1.4 se muestra la precipitación pluvial mensual por entidad federativa.

Tabla 1.4 Precipitación pluvial normal mensual por Entidad Federativa, en el periodo 1971-2000 (milímetros) (CONAGUA 2010).

Entidad Federativa	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>Aguascalientes</b>	18	6	2	7	21	75	129	113	77	36	11	11	508
<b>Baja California</b>	31	34	30	8	2	1	3	8	9	11	14	25	177
<b>Baja California Sur</b>	16	9	4	1	1	1	15	38	38	12	9	18	160
<b>Campeche</b>	49	31	26	33	78	191	175	205	243	167	87	53	1337
<b>Chiapas</b>	41	37	31	52	146	291	175	205	243	167	87	53	1768
<b>Chihuahua</b>	17	13	7	7	12	39	112	108	75	31	16	21	459
<b>Coahuila de Zaragoza</b>	15	11	8	17	34	51	55	62	71	34	14	15	386
<b>Colima</b>	29	3	1	1	14	129	202	213	216	88	28	11	935
<b>Distrito Federal</b>	9	7	12	28	65	156	178	175	146	68	12	7	863
<b>Durango</b>	20	7	4	6	13	68	139	139	102	39	18	19	574
<b>Guanajuato</b>	13	6	6	14	36	101	142	121	97	41	10	9	595
<b>Guerrero</b>	14	4	3	7	45	237	234	246	264	119	17	7	1196
<b>Hidalgo</b>	20	17	22	39	67	125	131	119	154	82	32	20	829
<b>Jalisco</b>	23	6	2	5	20	150	222	200	163	65	21	12	889
<b>México</b>	13	8	10	22	61	155	176	165	144	67	16	9	847
<b>Michoacán de Ocampo</b>	22	4	4	7	30	156	208	197	176	78	18	6	910

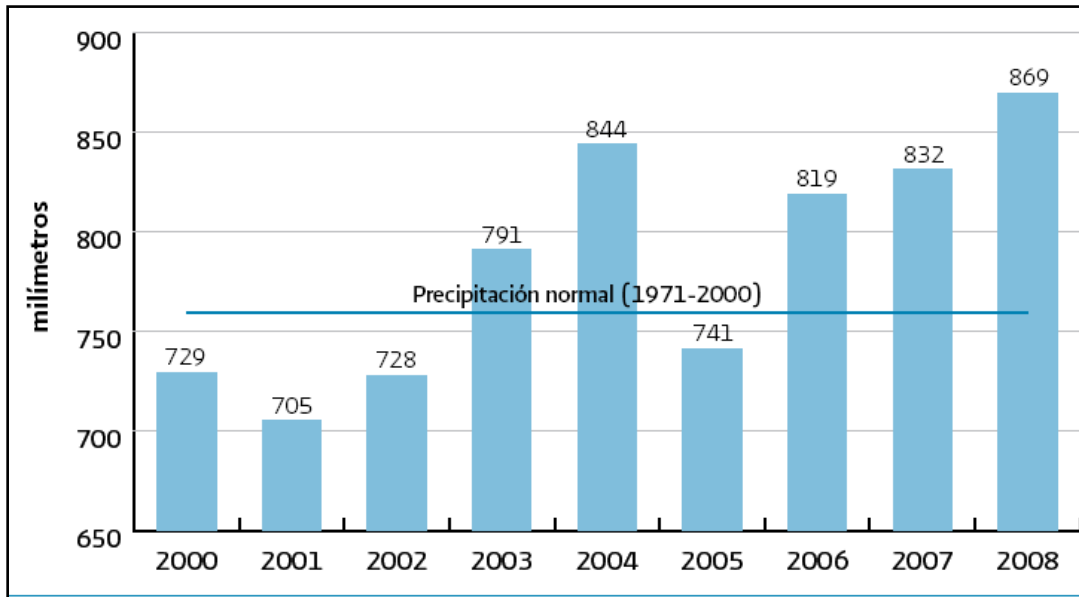


<b>Morelos</b>	11	4	5	14	61	209	192	199	185	74	14	6	976
<b>Nayarit</b>	29	9	2	2	10	139	309	317	256	77	24	20	1193
<b>Nuevo León</b>	24	16	18	35	66	79	57	80	118	55	20	20	589
<b>Oaxaca</b>	14	14	13	28	90	225	205	215	225	101	34	19	1183
<b>Puebla</b>	19	17	21	40	84	185	168	161	191	97	36	21	1040
<b>Querétaro</b>	16	10	13	28	54	123	138	120	138	63	20	13	736
<b>Quintana Roo</b>	58	37	33	45	94	172	148	152	203	152	84	61	1237
<b>San Luis Potosí</b>	21	11	13	30	60	112	130	99	127	57	20	20	699
<b>Sinaloa</b>	25	11	4	3	4	41	186	197	138	59	33	28	730
<b>Sonora</b>	24	22	13	5	4	14	104	101	52	27	19	33	419
<b>Tabasco</b>	116	97	58	55	106	243	190	241	331	314	196	148	2095
<b>Tamaulipas</b>	26	15	19	39	77	117	99	106	144	68	23	27	760
<b>Tlaxcala</b>	8	9	16	38	74	130	121	118	108	56	15	7	700
<b>Veracruz de Ignacio de la Llave</b>	54	40	34	43	84	220	254	246	295	176	99	72	1617
<b>Yucatán</b>	40	30	28	37	79	148	147	151	183	121	55	45	1062
<b>Zacatecas</b>	18	6	3	7	21	70	104	100	72	34	13	14	463

Nota: Las sumas pueden no coincidir por el redondeo en la cifras.

Fuente: CONAGUA. Coordinación del Servicio Meteorológico Nacional

Por otra parte, cabe destacar que la precipitación acumulada ocurrida en la República Mexicana del 1° de enero al 31 de diciembre del año 2008 alcanzó un valor de 869 mm, lo cual fue 14% superior a la normal del periodo de 1971 a 2000 (760 mm). La figura 1.4 muestra la serie anual 2000-2008 de precipitación acumulada.



Fuente: CONAGUA. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional  
 Figura 1.4 Precipitación pluvial anual, 2000-2008 (milímetros) (CONAGUA 2010).

A pesar de ello la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), reportó la disminución en los niveles de las presas, durante el mes de mayo, para la región noroeste fue de 47.0% a 45.0%, central norte de 61.2% a 59.7%, noreste de 46.6% a 45.9%, centro de 53.1% a 51.5% y sur de 28.1% a 26.7% (CONAGUA 2009).

## 1.2.- Legislación del agua en México

La Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos reconoce desde 1917 a la nación como propietaria del agua y autoriza al Ejecutivo Federal a administrar estos recursos y a otorgar concesiones para el uso del agua (Marín 2002).

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) establece que la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales se realizará mediante títulos de concesión o asignación otorgados por el Ejecutivo Federal a través de la CONAGUA por medio de los Organismos de Cuenca, o directamente por ésta cuando así le competa, de acuerdo con las reglas y condiciones que dispone la LAN y su reglamento. De manera similar, para las descargas de aguas residuales, es necesario contar con un permiso de descarga expedido por la CONAGUA.

A partir de la expedición de la LAN (1992), los títulos de concesión, asignación y permisos de descarga se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) (CONAGUA 2010).

El marco jurídico que regula la materia de agua en el país está representado fundamentalmente por:

- La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en los artículos 27, 28 y 115.

- La Ley de Aguas Nacionales (LAN), una ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en materia de aguas nacionales.
- El Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.
- La Ley Federal de Derechos.
- La Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica.
- La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
- El Reglamento interior de la Semarnat.
- La Ley Federal sobre Metrología y Normalización.
- La Ley General de Bienes Nacionales.
- Las leyes estatales en materia de agua promulgadas en las entidades federativas.

A continuación se señalan y explican brevemente las normas jurídicas de mayor relevancia para la regulación del recurso hídrico en el país: la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA).

### **1.2.1.- Constitución Mexicana**

El artículo 27 de la Constitución Mexicana señala claramente que las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional son propiedad de la nación. En el párrafo quinto enumera las aguas que deben entenderse como aguas nacionales (mares territoriales, lagunas, lagos, ríos y sus afluentes, etc.). Este artículo es relevante pues establece que, exceptuando algunos casos, el Estado es el propietario original de las aguas nacionales. Posteriormente, el mismo artículo hace referencia a la facultad que tiene el estado de transferir el dominio sobre este bien público a los particulares, constituyendo así la propiedad privada. El párrafo sexto especifica que el dominio de la Nación es inalienable e imprescriptible y la explotación, el uso o el aprovechamiento de los recursos de que se trata, por particulares o sociedades constituidas legalmente, sólo podrá realizarse mediante concesiones otorgadas por el Ejecutivo Federal. La constitución también señala el derecho del Estado para imponer las modalidades a la propiedad privada que dicte el interés público (párrafo tercero) y de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.

Otro artículo constitucional relevante es el artículo 4, que aunque no habla específicamente del agua, establece en el párrafo cuarto el derecho de toda persona a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar.

Finalmente, deben mencionarse los artículos 73, 115 y 122 de la constitución, los cuales establecen las facultades legislativas del Congreso de la Unión en materia de Aguas, las facultades de los Municipios en materia de aguas y las facultades de la Asamblea Legislativa del distrito federal en materia de agua, respectivamente (PRONATURA 2009).

### **1.2.2.- Ley de Aguas Nacionales**

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) fue creada en 1992, modificándose por última vez en el 2004. La LAN es una ley reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales. Tiene como finalidad regular el uso, aprovechamiento o explotación de dichas aguas así como su distribución, uso y la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable. Establece a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) como la autoridad administrativa en materia de aguas nacionales (LAN, Artículo 9). Entre sus principales atribuciones está la formulación de la política hídrica nacional y su seguimiento. También está encargada de vigilar el cumplimiento y aplicación de la Ley en la materia, de expedir títulos de concesión, asignación o permiso de descarga y llevar el Registro Público de Derechos de Agua. También tiene como mandato el apoyar y acreditar la participación y organización de los usuarios para mejorar la gestión del agua.

La LAN establece que el agua es un “bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental” y que la responsabilidad de su preservación en cantidad y calidad recae tanto en el Estado como en la Sociedad. Reconoce además que es un asunto de seguridad nacional. Señala que la gestión de los recursos hídricos debe realizarse de manera integrada y por cuenca hidrológica, y que los servicios ambientales que proporciona el agua deben cuantificarse y pagarse. Además de los usos agrícola, industrial y público del agua, reconoce el uso ambiental, es decir, reconoce que la naturaleza es un usuario más del agua.

En el ámbito de las cuencas y regiones hidrológicas e hidrológico-administrativas, la LAN establece la creación de los Organismos de Cuenca y los Consejos de Cuenca. Los primeros son organismos de índole gubernamental descritas como unidades técnicas, administrativas y jurídicas especializadas, con carácter autónomo, adscritos a la CONAGUA, a través de los cuales se lleva a cabo la gestión integrada de los recursos hídricos. Los Organismos de Cuenca deben apoyarse en los Consejos de Cuenca. Éstos últimos son “órganos colegiados de integración mixta, que serán instancia de coordinación y concertación, apoyo, consulta y asesoría, entre la Comisión Nacional del Agua, incluyendo el Organismo de Cuenca que corresponda, y las dependencias y entidades de las instancias federal, estatal o municipal, y los representantes de los usuarios de agua y de las organizaciones de la sociedad, de la respectiva cuenca hidrológica o región hidrológica” (Art. 3, fracción XV) (PRONATURA 2009).

### **1.2.3.- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)**

La LGEEPA se enfoca principalmente en ordenar la prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos. Establece varios criterios que vale la pena indicar a continuación. Señala por ejemplo, que la prevención y control de la contaminación del agua, es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país. También enfatiza la responsabilidad compartida entre el Estado y la sociedad para prevenir la

contaminación de las aguas superficiales y las del subsuelo. Enfatiza que la utilización de las aguas en las diferentes actividades productivas susceptibles de producir su contaminación, conlleva la responsabilidad de tratar las descargas que se generen, de tal forma que puedan ser utilizadas en otras actividades y se mantenga el equilibrio de los ecosistemas. Las aguas urbanas residuales también deben recibir tratamiento previo a su descarga a los diferentes cuerpos de agua receptores.

Estos criterios deben ser considerados al emitir normas oficiales mexicanas para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para el tratamiento del agua para el uso y consumo humano, así como para la infiltración y descarga de aguas residuales en cuerpos receptores considerados aguas nacionales. También deben ser tomados en cuenta en el establecimiento de zonas reglamentadas, de veda o de reserva en términos de la Ley de Aguas Nacionales (PRONATURA 2009).

## **Conclusión**

**Como se puede observar México en la clasificación mundial es un país con poca disponibilidad de agua, del agua de lluvia que recibe el país el 72% se evapora, lo cual nos indica que no se está aprovechando este recurso.**

**México tendría que aprovechar mejor este recurso ya que dos terceras partes de su territorio (específicamente la zona norte y centro del país) presentan un clima árido y semiárido lo cual nos lleva a pensar que no existe una alta disponibilidad del recurso en estas zonas, sin embargo la otra tercera parte (zona sur) tiene un clima tropical, por lo tanto las lluvias son más frecuentes (49.6% del total de lluvia en México).**

**Además, la disponibilidad media per cápita de este recurso ha disminuido considerablemente en los últimos años de 18 035 m<sup>3</sup>/hab/año en 1950 a tan sólo 4 312 en el 2007. Esto es, como una consecuencia del crecimiento de la población y la sobreexplotación de los recursos hídricos en el país. Lo anterior hace más complicado que se cumpla la legislación en materia de agua, donde se obliga a satisfacer de este recurso, necesario para el desarrollo y sobrevivencia, a toda la población del país con calidad y cantidad que se requiere.**

**Por otro lado la precipitación pluvial en el país muestra una tendencia que ha ido en aumento en los últimos años especialmente en 2008, por lo cual es importante aprovechar la captación.**

## Capítulo II. SITUACION ACTUAL DEL AGUA EN EL DISTRITO FEDERAL

### 2.1.- Precipitación y clima en el Distrito Federal

En el país hay 653 acuíferos reconocidos, 14 corresponden a la región hidrológica Administrativa Aguas del Valle de México donde se encuentra el Distrito Federal y 4 están sobreexplotados (CONAGUA 2009).

El Distrito Federal tiene una superficie de 1 477 km<sup>2</sup> equivalente al 0.1% de la superficie del país, mientras que al interior, las delegaciones que poseen mayor extensión territorial son Tlalpan y Milpa Alta con 20.7 y 19.2% respectivamente; en tanto que, Benito Juárez (1.8%) e Iztacalco (1.5%) son las de menor extensión y Coyoacán de manera similar.

El clima, definido como el estado medio de la atmósfera en un área determinada, se clasifica, de acuerdo a los parámetros de temperatura y precipitación, los cuales se registran en periodos largos de tiempo, dependiendo de la configuración orográfica, el periodo puede ser de 20 a más de 30 años. La figura 2.1 muestra la ocurrencia de los distintos tipos de clima en el Distrito Federal. El Distrito Federal posee los siguientes grupos:

Conforme a la temperatura, dos grupos son semifríos, es decir, que su temperatura media anual se encuentra entre los 5 °C y los 12 °C y la temperatura del mes más frío oscila entre los -3 °C y los 18 °C y cinco grupos más son templados, es decir, que la temperatura media anual fluctúa entre los 12 °C y los 18 °C y la temperatura del mes más frío entre los -3 °C y 18 °C (INEGI 2009).

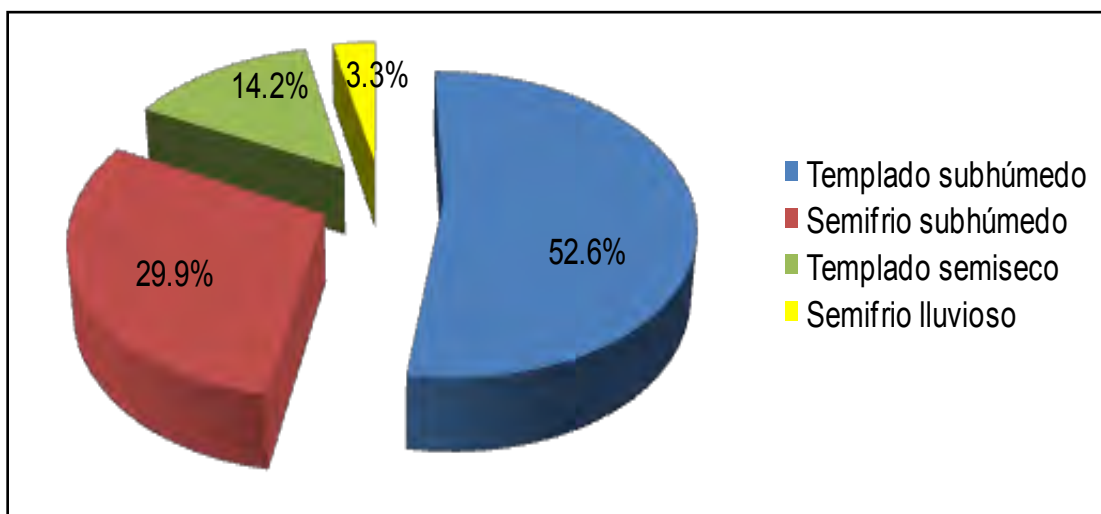


Figura 2.1 Ocurrencia de los distintos tipos de climas en el Distrito Federal (INEGI 2009).

Mientras que con el régimen de lluvias, se presentan tres subtipos: los semisecos, los subhúmedos y el lluvioso. Su distribución y la precipitación media anual se pueden apreciar en la figura 2.2.

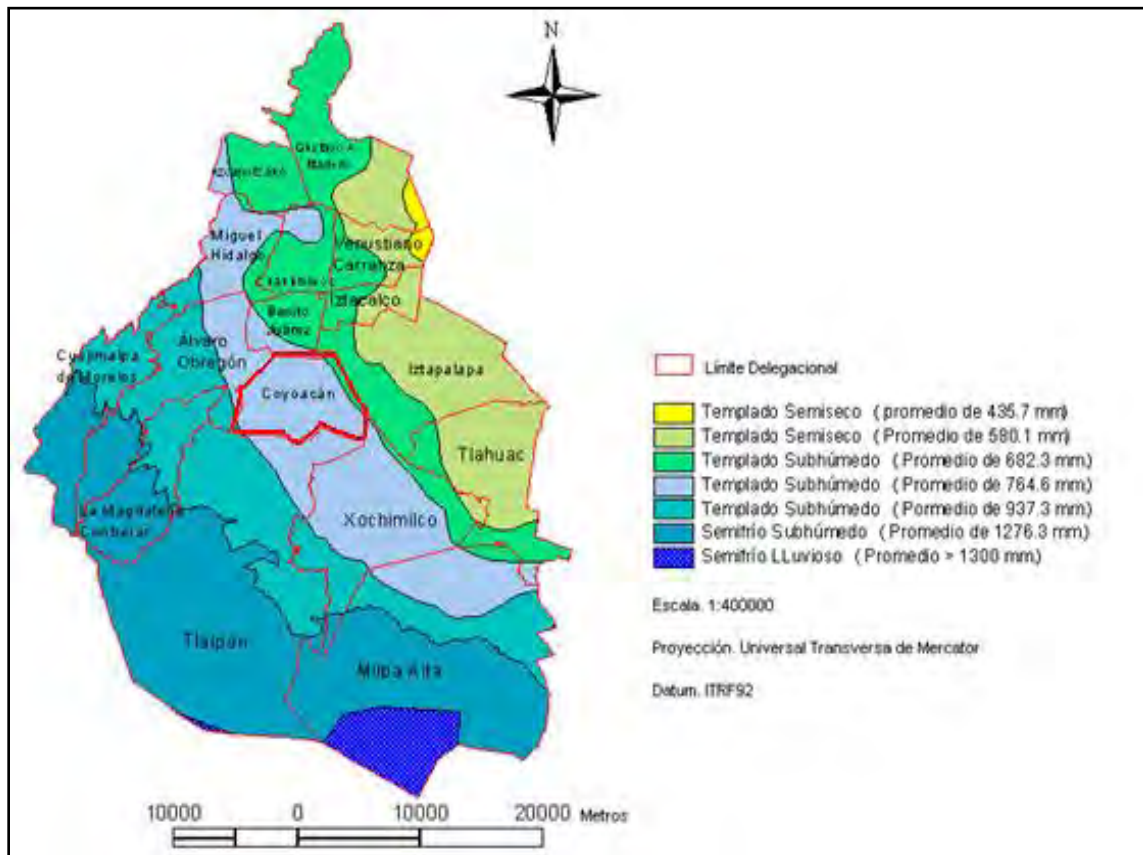


Figura 2.2. Distribución de los climas por delegación en el Distrito federal (INEGI 2009).

Como se observa en la figura, los climas más lluviosos, se concentran en la zona suroeste del Distrito Federal. Este patrón de lluvia se debe a la influencia de los vientos alisos, que originan las lluvias en verano y que presentan una dirección dominante noreste-suroeste. Lo anterior se combina con la configuración orográfica de tal manera que La Sierra del Ajusco y La Sierra de las Cruces, generan condiciones propicias para que allí ocurra una mayor precipitación (INEGI 2009).

El clima que mayor superficie abarca en el Distrito Federal es el templado subhúmedo (52.6%), con temperatura media anual de 16.2 °C y una precipitación promedio anual de 775 mm., con una oscilación promedio que va de los 637.5 mm. a los 1005.8 mm.

El clima semifrío subhúmedo cubre 22.9% de la superficie de la entidad. La temperatura media anual es de 10.8 °C y una precipitación promedio anual de 1276.26 mm., con una oscilación promedio que va de los 1131.5 mm. a los 1343.5 mm.



El clima templado semiseco se manifiesta en un 14.2% de la superficie. La temperatura media anual es de 16.6 °C con una precipitación promedio de 564.6 mm. La lluvia promedio fluctúa entre los 435.7 mm. y los 607 mm.

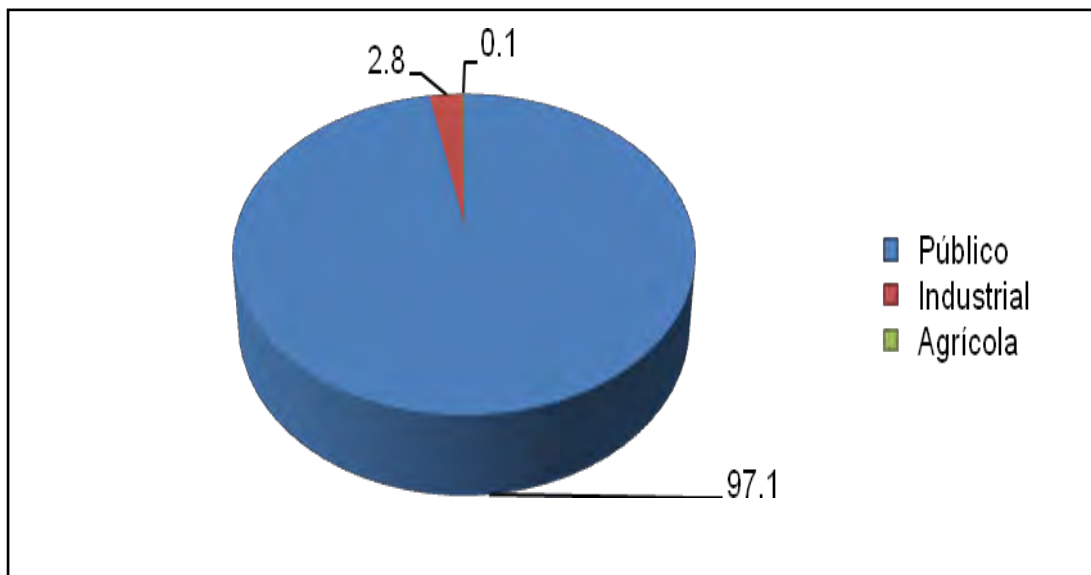
Un 3.3% de la superficie del Distrito Federal es semifrío lluvioso, con una temperatura media anual menor a 12 °C y su precipitación media anual es mayor a 1300 mm (INEGI 2009).

## 2.2.- Agua en el Distrito Federal

Como ya se menciono la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) tiene definidas en el país 37 regiones hidrológicas, administradas por 13 regiones hidrológico-administrativas. El Distrito federal, queda incluido en la región XIII Aguas del Valle de México.

En 2007, la extracción de agua a nivel nacional ascendió a 78 mil 950 hm<sup>3</sup>; de los cuales apenas el 1.4% correspondió al Distrito Federal, es decir 1 122.5 hm<sup>3</sup>; destinándose casi la totalidad al uso público 97.1%, 2.8% al industrial y apenas el 0.1% al uso agrícola.

El uso para abastecimiento público incluye la totalidad del agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos (domicilios), así como a las diversas industrias y servicios conectados a dichas redes. La figura 2.3 muestra los usos del agua en el Distrito Federal (INEGI 2009)



Fuente: SEMARNAT. Estadísticas del Agua en México, edición 2008  
Figura 2.3 Usos del agua en el Distrito Federal, 2007 (INEGI 2009).

Para el caso del Distrito Federal, las fuentes de abastecimiento de agua están conformadas por 502 pozos profundos, 18 manantiales y 276 pozos particulares registrados en las diferentes

delegaciones, además una gran parte del suministro proviene de los sistemas: Cutzamala, Lerma, Norte y Sur de los cuales se obtiene un caudal promedio aproximado de 4 metros cúbicos por segundo siendo el Cutzamala el más importante con un caudal de 9.6 metros cúbicos por segundo que abastece a 8 de las 16 delegaciones que conforman al Distrito Federal, dicho sistema es de los más grandes del mundo, no sólo por la cantidad de agua que suministra (aproximadamente 303.9 millones de metros cúbicos en el 2007, sólo en el Distrito Federal), sino por el desnivel que se vence (1,100 m).

El sistema está integrado por siete presas derivadoras y de almacenamiento, 6 estaciones de bombeo y una planta potabilizadora.

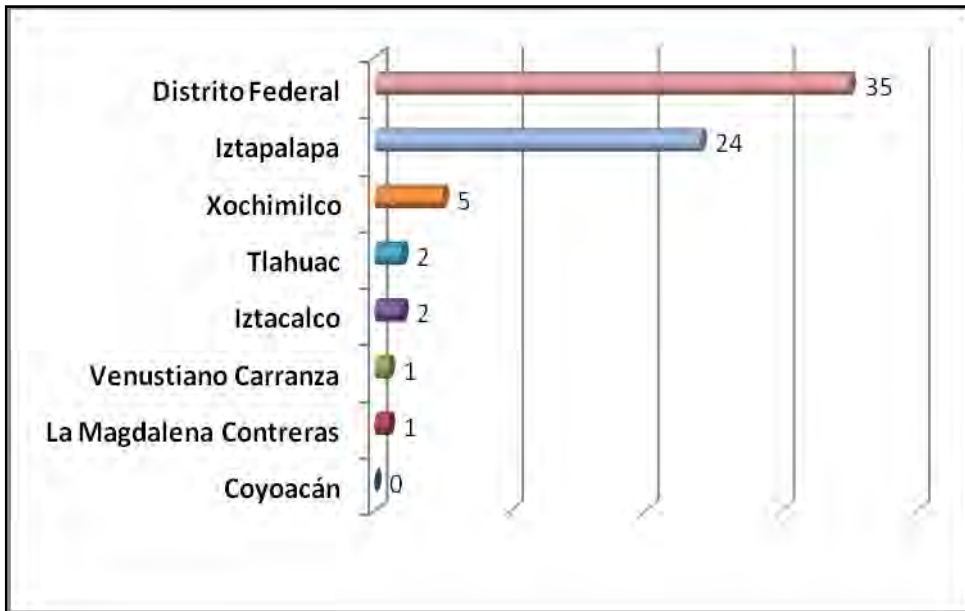
También se ha mencionado que para fines de administración de agua, el país se ha dividido en 653 acuíferos, de los cuales 14 se localizan en la región Hidrológica Administrativa Aguas del Valle de México que incluye al Distrito Federal, de los cuales 4 están sobreexplotados y presentan una descarga media anual de 1 834 millones de m<sup>3</sup>.

La cobertura de agua potable según la CONAGUA, incluye a las personas que tienen agua entubada dentro de la vivienda; fuera de la vivienda, pero dentro del terreno; de la llave pública o bien de otra vivienda. Los habitantes con cobertura, no necesariamente disponen de agua con calidad potable y éstos representan el 97.6% de la población en el Distrito Federal en el 2005, por otro lado, las personas que tienen conexión a la red de drenaje o una fosa séptica, o bien a un desagüe, a una barranca, grieta o lago representan el 98.6% de cobertura en la entidad en el año 2005.

La distribución de agua en el Distrito Federal se lleva a cabo mediante una red primaria que se conforma por casi 1 mil 77 kilómetros y por una red secundaria formada por más de 12 mil 495 kilómetros de longitud. En tanto el sistema de drenaje en su red primaria cuenta con más de 2 mil 107 kilómetros y la red secundaria se extiende por más de 10 mil 255 kilómetros.

El Distrito Federal cuenta con 35 plantas potabilizadoras en operación en el 2007, con una capacidad instalada de 2 919 litros por segundo (lps) y de operación 2 580 lps; con un volumen tratado de 2 099 lps, lo cual refleja una eficacia del 81.4% de la capacidad de operación (INEGI 2009).

Por su parte, la delegación que cuenta con más plantas potabilizadoras es Iztapalapa (24), con una capacidad instalada y de operación de 1,749 y 1,596 lps respectivamente. Mientras que las delegaciones Magdalena Contreras y Venustiano Carranza tienen una planta potabilizadora cada una (INEGI 2009) La figura 2.4 muestra el número de plantas potabilizadoras en el Distrito Federal.



Fuente: INEGI. Anuario Estadístico del Distrito Federal, edición 2008.  
 Figura 2.4. Número de Plantas potabilizadoras en el Distrito Federal, 2007 (INEGI 2009).

Asimismo, de acuerdo con el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, en el año de 2007 operaban 24 plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal, con una capacidad instalada de 6 377 litros por segundo (lps), y se trataban 1 658 lps, lo que significa 26.0% de su capacidad instalada.

Del total de agua residual captada por las plantas de tratamiento, 62.5% recibió saneamiento por medio de tratamiento de lodos convencionales y con aereación extendida; 29.2% mediante lodos convencionales, filtración con arena, grava, torres de carbón y antracita así como con lodos; con físico-químicos más filtración rápida y con lodos 8.3 por ciento.

La planta de tratamiento de mayor capacidad se localiza en la parte oriente de la entidad, en la delegación Iztapalapa que es la de mayor concentración poblacional, con la consecuente demanda de servicios, entre los que se encuentran precisamente el abastecimiento de agua potable y saneamiento, con una capacidad instalada que va desde 14 a 4 000 lps (INEGI 2009).

En la figura 2.5 se muestra las estadísticas de manera general del agua en el Distrito Federal.

## 9. Distrito Federal

### Datos generales

Número de municipios	16
Población total 2008	8 838 981 habitantes
Urbana	8 806 675 habitantes
Rural	32 306 habitantes
Población total 2030	8 587 531 habitantes
Precipitación normal anual 1971-2000	863 mm



### Usos consuntivos del agua 2008



Agrícola	1 hm <sup>3</sup> /año (0.1%)
Abastecimiento público	1 090 hm <sup>3</sup> /año (97.1%)
Industria autoabastecida	31 hm <sup>3</sup> /año (2.8%)
Termoeléctricas	0 hm <sup>3</sup> /año (0.0%)
<b>Total</b>	<b>1 122 hm<sup>3</sup>/año</b>

Agrícola	1 hm <sup>3</sup> /año (0.1%)
Abastecimiento público	1 090 hm <sup>3</sup> /año (97.1%)
Industria autoabastecida	31 hm <sup>3</sup> /año (2.8%)
Termoeléctricas	0 hm <sup>3</sup> /año (0.0%)
<b>Total</b>	<b>1 122 hm<sup>3</sup>/año</b>

### Agua potable y alcantarillado 2005

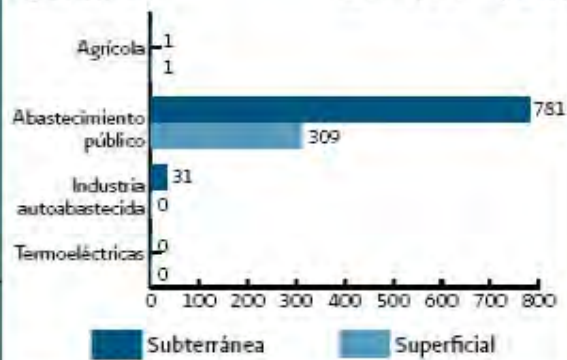
Cobertura de agua potable	
Estatal	97.6 %
Urbana	97.8 %
Rural	41.7 %
Cobertura de alcantarillado	
Estatal	98.6 %
Urbana	98.6 %
Rural	86.6 %

### Plantas de tratamiento (a diciembre de 2008)

Potabilizadoras municipales	
Número en operación	36
Capacidad instalada	4.617 m <sup>3</sup> /s
Caudal potabilizado	3.644 m <sup>3</sup> /s
Aguas residuales municipales	
Número en operación	27
Capacidad instalada	6.481 m <sup>3</sup> /s
Caudal tratado	3.123 m <sup>3</sup> /s
Aguas residuales industriales	
Número en operación	120
Capacidad instalada	0.397 m <sup>3</sup> /s
Caudal tratado	0.391 m <sup>3</sup> /s

### Origen del agua utilizada

Agua superficial	310 hm <sup>3</sup> /año (27.6%)
Agua subterránea	813 hm <sup>3</sup> /año (72.4%)

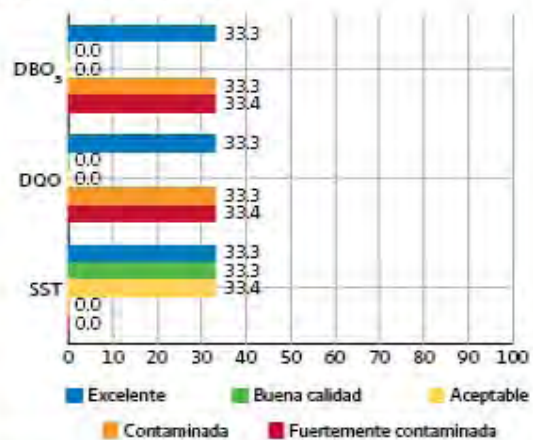


### Calidad del agua superficial 2008

Número de sitios de monitoreo según indicador de calidad del agua

DBO <sub>5</sub>	3
DOO	3
SST	3

Distribución en porcentaje de los sitios de monitoreo según indicador y escala de clasificación de calidad del agua



NOTA: La proyección considera la población interpolada al 31 de diciembre del año que se indica.

Figura 2.5 Estadísticas del agua en el Distrito Federal (CONAGUA 2010).

### 2.3.- Características del ciclo hidrológico regional.

Como se menciona anteriormente el Distrito Federal pertenece a la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México, la cual tiene una superficie total de 16 426 km<sup>2</sup>, y está conformada por 100 municipios de tres Entidades Federativas (México, Hidalgo y Tlaxcala) y las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal. Esta región es la más poblada de las 13 regiones hidrológico administrativas del país, la de menor extensión territorial y por lo tanto la de mayor densidad de población, a tal grado que este indicador equivale casi 24 veces la densidad de población media nacional.

La región XIII, para fines de planeación, se divide en dos subregiones, Valle de México y Tula. La subregión Valle de México está conformada por 69 municipios (50 del estado de México, 15 de Hidalgo y cuatro de Tlaxcala) y las 16 delegaciones políticas del DF. Por su parte, la subregión Tula está conformada por 31 municipios (siete del estado de México y 24 de Hidalgo).

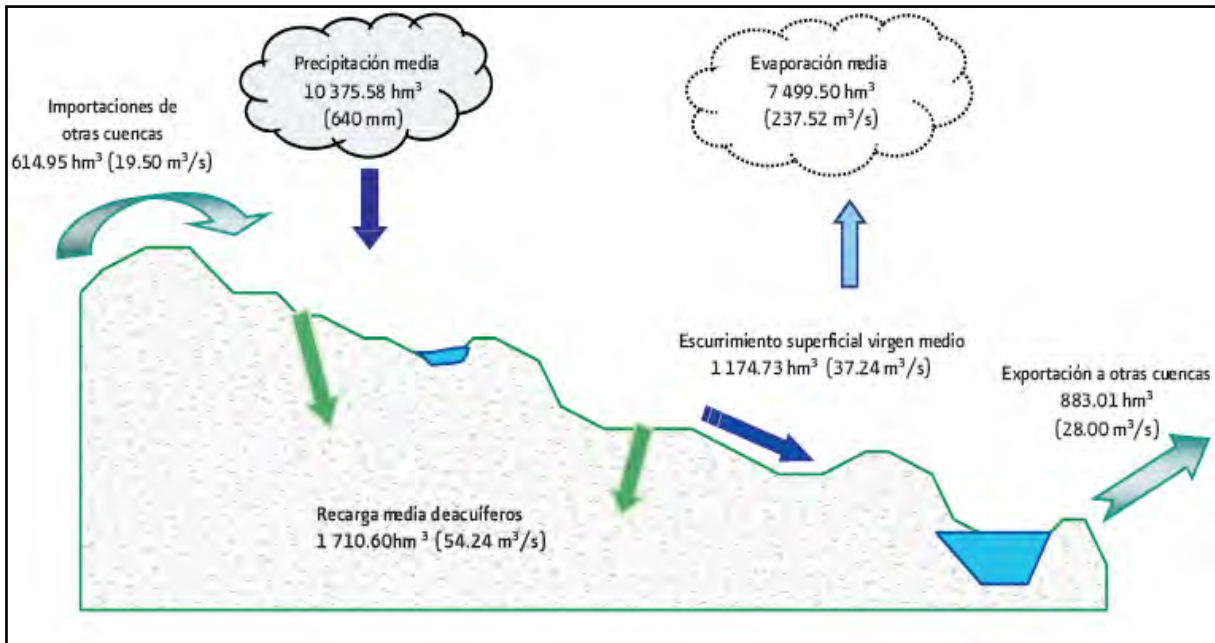
En esta región casi el 76% del agua que llueve se evapora y regresa a la atmósfera, el resto escurre por los ríos o arroyos o se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos. En la tabla 2.1 se muestran de manera simplificada los componentes del ciclo hidrológico (CONAGUA 2009).

Tabla 2.1. Valores anuales del ciclo hidrológico regional (CONAGUA 2009).

<b>Precipitación media histórica (1980-2004)</b>	<b>10 375.58 hm<sup>3</sup></b>
<b>Evaporación media</b>	<b>7 490.55 hm<sup>3</sup></b>
<b>Escorrentamiento superficial virgen medio</b>	<b>1 174.43 hm<sup>3</sup></b>
<b>Recarga media de acuíferos</b>	<b>1 710.60 hm<sup>3</sup></b>
<b>Disponibilidad natural media por habitante</b>	<b>135.71 m<sup>3</sup>/hab</b>

Fuente. Estudios para determinar la disponibilidad de agua superficial en las cuencas del Valle y Rio Tula, 2006 y 2007. Dirección Técnica.

La figura 2.6 muestra los componentes del ciclo hidrológico regional.



Fuente: Elaboración propia con base en la información de la dirección Técnica  
 Figura 2.6. Componentes del ciclo hidrológico regional (CONAGUA 2009).

Las importaciones de otras cuencas se refieren al volumen de agua que proviene del Sistema Cutzamala (agua superficial) y del Sistema Lerma (agua subterránea). Las exportaciones se refieren al volumen de agua que finalmente se va al río Pánuco; cabe comentar, que de la cuenca del Valle de México se exporta a la de Tula del orden de 50.4 metros cúbicos por segundo (1 589.4 hectómetros cúbicos al año) (CONAGUA 2009). La figura 2.6 muestra los componentes del ciclo hidrológico regional.

#### 2.4.- Infraestructura hidráulica en la región Aguas del Valle de México.

La infraestructura hidráulica regional se constituye por:

- 120 presas, bordos y abrevaderos;
- 130.7 mil hectáreas con riego;
- 40 plantas potabilizadoras en operación;
- 104 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación;
- 334 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales en operación; y
- 533 kilómetros de acueductos en los sistemas Cutzamala y PAI (CONAGUA 2009).

### 2.4.1.- Presas

En la tabla 2.2 se muestran el número de presas en la región, incluido el Distrito Federal.

Tabla 2.2. Presas en la región (CONAGUA 2009).

Entidad Federativa	No. Total de Presas	No. de presas operadas por CONAGUA	No. De presas operadas por otro organismo	Capacidad (hm <sup>3</sup> )
<b>DF</b>	23	2	21	<b>3.306</b>
<b>Hidalgo</b>	41	1	40	<b>464.890</b>
<b>México</b>	50	32	18	<b>945.061</b>
<b>Michoacán</b>	2	2	0	<b>244.000</b>
<b>Tlaxcala</b>	4	0	4	<b>3.245</b>
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>37</b>	<b>79</b>	<b>1660.502</b>

Fuente: Dirección Técnica, estudio "Actualización de presas de la región Valle de México y Sistema Cutzamala para el Registro Nacional de Presas, "Febrero de 1999 y Dictamen Técnico de Presas Región XIII DD México Noviembre de 2003. SACM, documento "Sistema de Drenaje de la Ciudad de México, Descripción General", febrero 2005.

### 2.4.2.- Agua residual y pluvial recolectada

En la tabla 2.3 se muestran datos sobre agua residual y pluvial recolectada en esta región de 2005 a 2008, según Comisión Nacional del Agua (CONAGUA 2009).

Tabla 2.3. Agua residual y pluvial recolectada en la Zona Metropolitana del Valle de México (CONAGUA 2009).

Ubicación	2005		2006		2007		2008	
	hm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /s	hm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /s
<b>ZMVM</b>	1501.67	47.62	1771.30	56.17	1759.40	55.79	1797.09	<b>56.99</b>
<b>Resto de la región</b>	56.16	1.78	58.51	1.86	61.43	1.95	64.51	<b>2.05</b>
<b>Total</b>	<b>1557.83</b>	<b>49.40</b>	<b>1829.81</b>	<b>58.02</b>	<b>1820.84</b>	<b>57.74</b>	<b>1861.59</b>	<b>59.03</b>

Fuente: Sistema de Planeación Estratégica (DAS-MX)( años 2005 y 2006) y Dirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.



### 2.4.3.- Sistema Cutzamala

El Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, atiende parte del suministro de agua potable en bloque dentro del Valle de México, a través del Sistema Cutzamala, el cual inició su operación en 1982.

Actualmente el sistema beneficia a la Ciudad de Toluca y a 24 delegaciones y municipios de la ZMVM (CONAGUA 2009). En la tabla 2.4 se muestra las delegaciones y municipios que reciben agua del sistema Cutzamala.

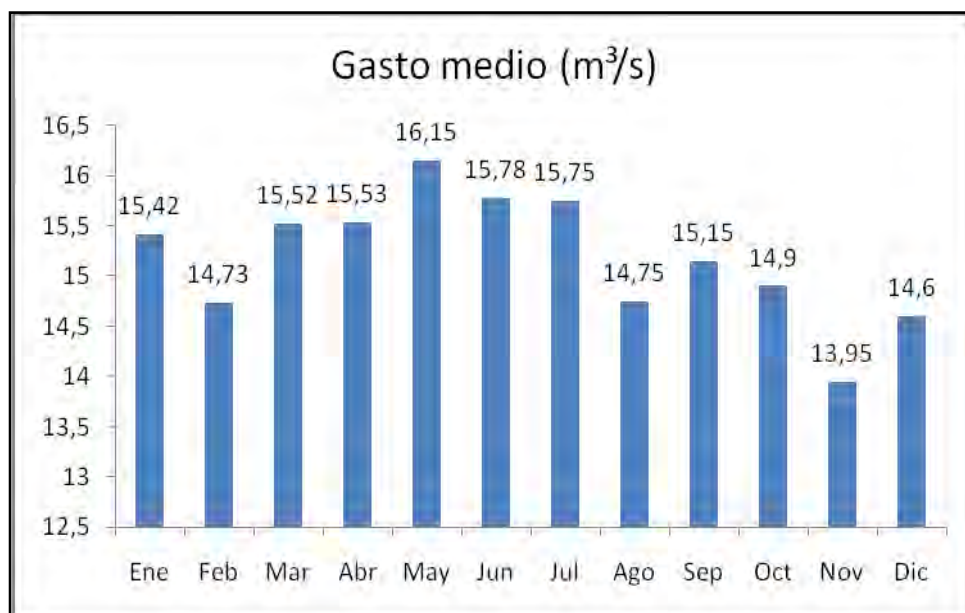
Tabla 2.4. Delegaciones y municipios que reciben agua procedente del Sistema Cutzamala (CONAGUA 2009).

No	Distrito Federal	No	Estado de México
1	Álvaro Obregón	1	Atizapán de Zaragoza
2	Azcapotzalco	2	Coacalco
3	Benito Juárez	3	Cuautitlán Izcalli
4	<b>Coyoacán</b>	4	Ecatepec
5	Cuajimalpa	5	Huixquilucan
6	Cuauhtémoc	6	Lerma
7	Iztacalco	7	Naucalpan
8	Iztapalapa	8	Nezahualcóyotl
9	Magdalena Contreras	9	Nicolás Romero
10	Miguel Hidalgo	10	Ocoyoacac
11	Tlalpan	11	Tlalnepantla
		12	Toluca
		13	Tultitlan

Fuente: Dirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento

En el año 2008, el caudal promedio suministrado por el Sistema Cutzamala fue de 15.19 metros cúbicos por segundo, en beneficio de 4.1 millones de habitantes de las Zonas Metropolitanas de los Valles de México y Toluca. La primera derivación del Sistema Cutzamala es hacia la Ciudad de Toluca, en la cual se entrega un promedio de 0.8 metros cúbicos por segundo (25 hectómetros cúbicos al año) y el resto se envía a la Zona Metropolitana del Valle de México (CONAGUA 2009). La figura 2.7 muestra el gasto de agua suministrado mensualmente por el sistema Cutzamala en el año 2008.





Fuente: Elaboracion propia con base en la informacion de la Direccion de Agua. Drenaje Saneamiento.  
 Figura 2.7. Gasto suministrado mensualmente por el Sistema Cutzamala, en el año 2008 (CONAGUA 2009).

Actualmente del volumen que suministra el Sistema Cutzamala, más del 60% es entregado al Distrito Federal (CONAGUA 2009). En la tabla 2.5 se observan los volúmenes y caudales suministrados por el sistema Cutzamala al Distrito Federal y Estado de México.

Tabla 2.5. Volúmenes y caudales suministrados por el Sistema Cutzamala a las entidades federativas, 1999-2008(CONAGUA 2009).

Año	Distrito Federal		Estado de México	
	Volumen (hm <sup>3</sup> /año)	Gasto medio (m <sup>3</sup> /s)	Volumen (hm <sup>3</sup> /año)	Gasto medio (m <sup>3</sup> /s)
<b>1999</b>	319.30	10.21	159.45	<b>5.10</b>
<b>2000</b>	306.70	9.68	176.55	<b>5.57</b>
<b>2001</b>	303.14	9.64	173.35	<b>5.51</b>
<b>2002</b>	303.66	9.65	175.99	<b>5.60</b>
<b>2003</b>	310.70	9.77	185.23	<b>5.83</b>
<b>2004</b>	310.67	9.84	177.73	<b>5.64</b>
<b>2005</b>	310.39	9.87	182.80	<b>5.81</b>
<b>2006</b>	103.53	9.61	177.26	<b>5.61</b>

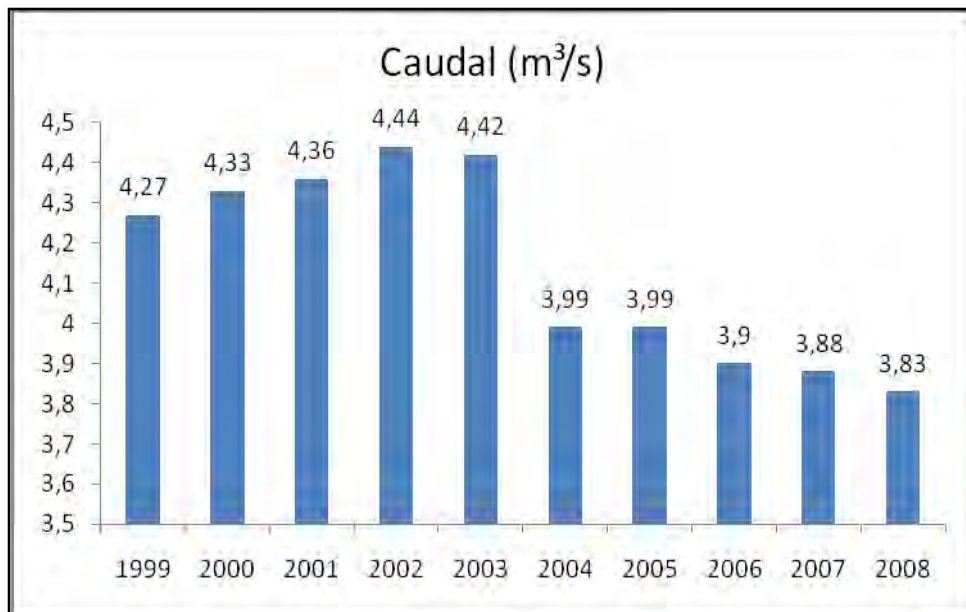
<b>2007</b>	<b>303.90</b>	<b>9.72</b>	<b>174.56</b>	<b>5.58</b>
<b>2008</b>	<b>306.25</b>	<b>9.57</b>	<b>179.97</b>	<b>5.61</b>

El agua suministrada por el Sistema Cutzamala se ha mantenido por encima de los 15 metros cúbicos por segundo en los últimos diez años. Sin embargo, en los últimos tres años se aprecia una tendencia a la baja en los caudales ofrecidos por el sistema (CONAGUA 2009).

#### 2.4.4- Sistema Lerma

El Sistema Lerma inició su operación en el año de 1951 y actualmente beneficia a municipios del Valle de Toluca y al Distrito Federal. El sistema es operado por el Gobierno del Distrito Federal y consiste en la extracción de agua subterránea del acuífero del río Lerma, la cual es conducida hacia la Ciudad de México a través del túnel Atarasquillo-Dos Ríos.

A partir del año 2003, debido al agotamiento del acuífero, el Sistema Lerma ha disminuido el caudal entregado al Distrito Federal, registrándose una reducción del 14% en el periodo 2003-2008 (CONAGUA 2009). La figura 2.8 muestra el caudal suministrado por el Sistema Lerma al Distrito Federal.



Fuente: Dirección de Administración del Agua

Figura 2.8. Caudal suministrado por el Sistema Lerma al Distrito Federal, 1999-2008 (CONAGUA 2009).

### 2.4.5- Sistema de pozos, Plan de Acción Inmediata (PAI)

El Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, también atiende el suministro de agua dentro del Valle de México, a través del Sistema de Pozos denominado Plan de Acción Inmediata (PAI), el cual inició su operación en el año 1974 con el Sistema de Pozos del Sur.

Actualmente este sistema se integra por siete baterías de pozos, que en conjunto suman un total de 218 pozos, ubicados en el Distrito Federal, Estado de México e Hidalgo; ocho acueductos con una longitud superior a los 200 kilómetros, seis plantas de rebombeo y la presa y la planta potabilizadora Madín, localizadas en el municipio de Naucalpan, estado de México.

Actualmente el Sistema PAI entrega agua a 26 delegaciones y municipios del Distrito Federal, Hidalgo y Estado de México, Coyoacán no recibe del PAI (CONAGUA 2009). La tabla 2.6 muestra las delegaciones y municipios que reciben agua procedente del Sistema PAI, Coyoacán no recibe agua del PAI.

Tabla 2.6. Delegaciones y municipios que reciben agua procedente del PAI (CONAGUA 2009).

No	Delegación / Municipio	No	Municipio	No	Municipio
<b>Distrito Federal</b>			<b>Estado de México</b>		
1	Azcapotzalco	1	Atizapán de Zaragoza	11	Nextlalpan
2	Gustavo A. Madero	2	Chicoloapan	12	Nezahualcóyotl
3	Iztapalapa	3	Coyotepec	13	Tecámac
4	Venustiano Carranza	4	Cuautitlán	14	Teoloyucan
	<b>Hidalgo</b>	5	Cuautitlán Izcalli	15	Tequixquiac
1	Tizayuca	6	Ecatepec	16	Tlalnepantla
2	Tolcayuca	7	Hueypoxtla	17	Tultepec
		8	Jaltenco	18	Tultitlan
		9	La Paz	19	Valle de Chalco Solidaridad
		10	Naucalpan	20	Zumpango

Fuente: Dirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.

## **2.5.- Instrumentos de gestión del agua en la región Aguas del Valle de México**

En este apartado, se proporciona la información acerca de la administración del agua en la región, los usuarios de aguas nacionales y los bienes públicos inherentes registrados en el Registro Público de Derechos de Agua; por otra parte, se mencionan los organismos que proporcionan los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en la región. Por último se menciona al Consejo de Cuenca del Valle de México como un organismo de participación social (CONAGUA 2009).

### **2.5.1.- Registro Público de Derechos de Agua (Repda)**

La Ley de Aguas Nacionales establece que para utilizar las aguas nacionales es necesaria una concesión o una asignación, y para descargar las aguas residuales se requiere un permiso de descarga, ambos expedidos por la Comisión Nacional del Agua, (CONAGUA). Los títulos de concesión y asignación, así como los permisos de descarga se inscriben en Registro Público de Derechos de Agua (Repda).

El Repda es la Institución Jurídica Unitaria, mediante la cual CONAGUA, proporciona el servicio de dar publicidad y autenticidad a los actos jurídicos, que conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento precisan de este requisito, para que surtan sus efectos ante terceros. El Repda tiene por objeto otorgar seguridad jurídica a los usuarios de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes (CONAGUA 2009).

### **2.5.2.- Organismos de agua potable, alcantarillado y saneamiento**

Para atender la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en la región hidrológico-administrativa XIII, se cuenta con el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México y 42 organismos operadores que operan a nivel municipal y estatal en el Distrito Federal y en los estados de Hidalgo y México.

Los organismos operadores se definen como los organismos descentralizados de la administración pública municipal o estatal, con personalidad jurídica y patrimonio propios y con funciones de autoridad administrativa, mediante el ejercicio de las atribuciones que le confiere la ley estatal en la materia (CONAGUA 2009).

### **2.5.3.- Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM)**

En 1951 el Ejecutivo Federal instituyó la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México. En 1972 se decretó la creación de la Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM), la cual absorbió a la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México.

El 16 de enero de 1989 se crea la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el 18 de mayo de 1998 se publica el acuerdo por el que se determina el número, lugar y circunscripción territorial de sus gerencias regionales. La CAVM se transforma en la Gerencia Regional de Aguas del Valle de

México, y para el año 2003 cambia su denominación a Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala (Gravamexsc).

El 29 de abril de 2004 se publicó la Ley de Aguas Nacionales, en la cual se menciona que el ejercicio de la Autoridad en la materia y la gestión integral de los recursos hídricos, incluyendo la administración de las aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes, en el ámbito de las regiones hidrológicas-administrativas, se realizarán a través de los Organismos de Cuenca; el 30 de noviembre de 2006 con la publicación del Reglamento Interior de la CONAGUA, la Gravamexsc se transformó en el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México(OCAVM).

El OCAVM tiene como objetivo administrar y custodiar la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad, además de fomentar y apoyar el desarrollo de los sistemas de agua potable, tratamiento, reúso de aguas, riego, drenaje, control de avenidas y protección civil, creando y manteniendo en óptimas condiciones la infraestructura hidráulica que permitan un desarrollo integral sustentable en el ámbito del Organismo de Cuenca (CONAGUA 2009).

#### **2.5.4.- Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM)**

A partir del 1 de enero de 2003 entró en funcionamiento el Organismo Público Descentralizado, Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), al fusionarse la entonces Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) y la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF).

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México está sectorizado en la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal y tiene por objetivos los siguientes:

- Prestar los servicios públicos de suministro de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y reutilización.
- Mantener y construir la infraestructura hidráulica.
- Explotar, usar, aprovechar las aguas, su distribución y control.
- Preservar la cantidad y calidad de las aguas para contribuir al desarrollo integral sustentable de la Ciudad.
- Fomentar una cultura moderna de utilización que garantice el abasto razonable del recurso (CONAGUA 2009).

## **Conclusión**

En este capítulo se concluye que la concentración de los climas más lluviosos en el Distrito Federal corresponde al suroeste, y es precisamente ahí donde se encuentra la delegación Coyoacán en la cual está ubicada Ciudad Universitaria. Además de que se sabe que el 97.1% del agua que se suministra al Distrito Federal es para uso público, por ello es importante empezar a generar otras fuentes de abastecimiento tales como la captación de agua pluvial.

Observamos, que el agotamiento de los acuíferos, tanto en los sistemas de pozos, cuencas, el Sistema Cutzamala y el Sistema Lerma que son los más importantes, en los últimos años tienen una tendencia a la baja en el suministro de agua potable al Distrito Federal.

Por otro lado en el ciclo hidrológico de esta región, observamos una precipitación del 10 375.58 hm<sup>3</sup> en promedio anualmente, de la cual se evapora 7490.55 hm<sup>3</sup>, lo que nos indica que es indispensable aprovechar este recurso debido al problema de abastecimiento que se tiene en la región ya que la infraestructura que se tiene comienza a ser insuficiente.

# Capítulo III SITUACION ACTUAL DE AGUA EN CIUDAD UNIVERSITARIA.

## 3.1.- Agua en CU

En la actualidad el Campus de Ciudad Universitaria cuenta con una población de poco más de 150,000 mil individuos, la cual está conformada básicamente por estudiantes, académicos, investigadores, trabajadores y administrativos, sin considerar a los de visitantes que diariamente ingresan al Campus.

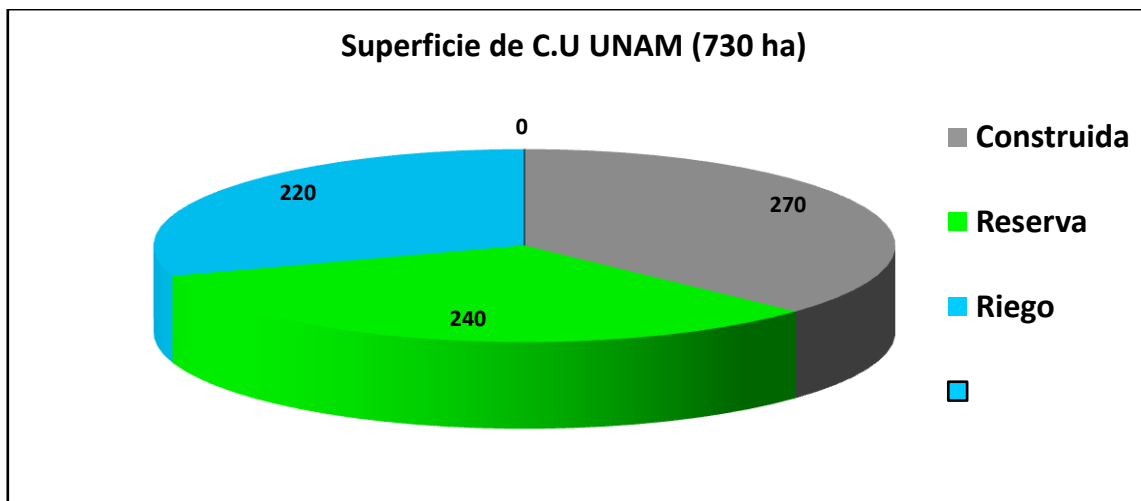


Figura 3.1. Superficie de Ciudad Universitaria de la UNAM (González y col., 2008)

Ciudad Universitaria cuenta aproximadamente con 240 hectáreas de reserva ecológica, 270 hectáreas de Planta física y estacionamientos además de 220 hectáreas para riego. Bajo este escenario, la demanda de servicios como agua potable, alcantarillado y energía eléctrica ha venido presentando un incremento en su nivel, ante lo cual, la UNAM a través de la Dirección General de Obras y Conservación se ha encargado de dar respuesta a estas demandas, aunque, como sucede en muchas otras partes del país, las condiciones de la infraestructura no son necesariamente las óptimas.

En el año 2006, la UNAM participó en el IV Foro Mundial del agua celebrado en la Ciudad de México, en donde se comenzó a gestar la idea de que la UNAM debiera contar con un programa de uso eficiente de agua que ayudara a disminuir el consumo del líquido en todos sus campus.

### **3.1.2.-El Sistema Hidráulico de Ciudad Universitaria de la UNAM**

Ciudad Universitaria cuenta con un Sistema Hidráulico conformado, a su vez, por 6 sistemas:

1. El sistema de distribución de agua potable
2. Sistemas de aguas residuales
3. Sistema de Aguas tratadas
4. Sistema de agua pluvial
5. Plantas de tratamiento
6. Pozos de absorción

El proceso actual para poner en funcionamiento el Sistema Hidráulico es: un operador pone en marcha a los pozos en las horas con mayor demanda de agua en el campus; por lo que al ser operadas manualmente los hace menos eficientes y con altos costos de energía eléctrica, por lo que el costo de operación es de más de 3.5 millones de pesos anuales. Se han cambiado las bombas originales, y en la actualidad se tienen bombas sumergibles que fueron compradas hace algunos años. El mantenimiento que se les da es una vez por año en época de vacaciones para facilitar el abasto de agua a las dependencias, además, cada mes se miden los niveles estático (NE)<sup>3</sup> y dinámico (ND)<sup>4</sup> de los pozos, los cuales no dan indicio de niveles de abatimiento, pues, al contrario de lo que pudiera pensarse, estos niveles se han mantenido constantes; tan sólo en los años 2006 y 2007 estos niveles mostraron una tendencia uniforme del orden de los 93.76 m para el caso del NE y de 93.88 m para el ND. (González y col., 2008).

### **3.1.3.-Situación del Sistema de Agua potable**

En materia de agua potable, la infraestructura integra a tres subsistemas:

- Subsistema de suministro,
- Subsistema de almacenamiento,
- Subsistema de distribución.

Estos subsistemas están integrados de la forma siguiente:

---

<sup>3</sup> (NE) Profundidad a la que se ve el espejo de agua en estado estacionario (cuando no hay extracción de agua) (Garduño y Martínez 2008)..

<sup>4</sup> (ND) Profundidad a la que se ve el espejo de agua en el proceso de bombeo (durante la extracción) (Garduño y Martínez 2008).



Subsistema de Suministro. Pozos.

Ciudad Universitaria se abastece de tres pozos que hay dentro del campus, los cuales son:

- Pozo I o Química,
- Pozo II o Multifamiliar, y
- Pozo III o Vivero Alto

Las características técnicas se mencionan en la tabla 3.1 que a continuación se muestra:

Tabla 3.1. Principales características de los tres pozos con que cuenta el Campus (González y col., 2008)

Pozo	Profundidad (m)	Gasto (lps)	Presión a la descarga (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Pozo I</b> <b>Química</b>	132	31	3.5
<b>Pozo II</b> <b>Multifamiliar</b>	193	91	3.2
<b>Pozo III</b> <b>Vivero Alto</b>	157	48	3.2

Se estima que en total se extraen aproximadamente 170 lps de los tres pozos con que cuenta Ciudad Universitaria funcionando al mismo tiempo, dando un aproximado de 8,568 m<sup>3</sup> de agua por día y un total de 3, 127,320.00 m<sup>3</sup> de agua al año.

Subsistema de almacenamiento. Tanques reguladores

En el subsistema de almacenamiento o regulación de agua potable de Ciudad Universitaria cuenta con tres tanques reguladores:

- Tanque alto,
- Tanque bajo, y
- Tanque del vivero alto

Los tres tanques de almacenamiento o regulación que existen en Ciudad Universitaria permiten enviar un gasto constante desde la fuente (pozos) de abastecimiento y permiten satisfacer

las demandas variables de la población. Los tres tanques son del tipo “superficiales y cuentan en conjunto con una capacidad de almacenaje de 12, 000 m<sup>3</sup>” (González y col., 2008).

Datos Técnicos sobre los Tanques de Regulación:

Tabla 3.2- Dimensiones y capacidades de almacenaje de los Tanques de Regulación (González y col., 2008)

Tanque	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Capacidad (m <sup>3</sup> )
<b>T. Alto</b>	40	25	4	4,000
<b>T. Bajo</b>	29	23	3	2,000
<b>T. Vivero Alto (4)</b>	25	20	3	6,000

### 3.1.4.- Subsistema de distribución. Red de agua Potable de Ciudad Universitaria

La red de distribución de agua potable de Ciudad Universitaria está integrada por cerca de 55 Km. de tubería de muy diversos diámetros y materiales, como lo son: Acero, Asbesto, Fierro fundido, PVC y Estrupack. (Ver tabla 3.3)

Tabla 3.3 Materiales de la red de agua potable de Ciudad Universitaria. (González y col., 2008)

Material	Longitud (m)	Porcentaje (%)
<b>Acero</b>	25,610.00	47.81
<b>Asbesto</b>	11,785.00	22.00
<b>Fierro Fundido</b>	9,623.00	17.96
<b>PVC</b>	6,552.00	12.23
<b>Total</b>	53,570.00	100

Como lo indica la tabla 3.3 cerca del 50% de la red está constituida por acero, el cual se ubica precisamente en la zona Norte de Ciudad Universitaria y que corresponde en su mayoría a la red con la que fue inaugurada el Campus el 22 de Marzo de 1950. Los cerca de 50 años de la operación de la red con este material ponen en evidencia algunos problemas derivados del tiempo. Por otra parte, la fluctuación de presiones en la red con magnitudes que van

desde 1.5 a 7.0 Kg/cm<sup>2</sup> incrementa el desgaste de la tubería y la aparición de fugas en las zonas más bajas, correspondientes estas a la zona en donde se ubica la Facultad de Medicina, Veterinaria, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, en consecuencia, existe una baja eficiencia en la red.

A lo largo de la red de distribución se encuentran poco más de 310 cruceros o registros; muchos de ellos en condiciones que los hacen inaccesibles, como lo es el hecho de que estén inundados, que existan líneas de energía eléctrica en los registros, que se encuentren dentro de oficinas, en medio de la carpeta asfáltica, o bien, que se encuentren sellados, lo que obviamente dificulta su apertura.

Otros de los problemas que más aquejan a la red son las fugas, de las cuales no se cuenta con un censo, se ha dejado ver que el mayor índice de estas se presenta en la zona cultural del campus, que coincide precisamente con las zonas en que el material de la tubería es PVC.

La detección de las fugas se identifica cuando los niveles de los tanques de regulación o almacenamiento tardan mucho en recuperarse, es entonces que, personal de la Dirección General de Obras y Conservación (DGOC) se da a la tarea de detectar y localizar las fugas. Ambas actividades se llevan a cabo mediante recorridos por las zonas en que se registran pérdidas de presión; pero esto sólo en los sitios en donde se hallan instalados manómetros, en otro caso, la localización se lleva a cabo mediante el ruido "característico" de una fuga, cuando esto último sucede, la detección es otro proceso todavía más tardado, porque se hacen en algunos puntos por donde debiera ir la tubería zanjas con el objeto de encontrar indicios de la fuga.

Se tiene contemplado adquirir equipos detectores de fugas, tales como correladores y geófonos, así como equipos detectores de tubería metálica y no metálica. Se ha comenzado a tratar con proveedores de este tipo de tecnología y se están realizando pruebas con los equipos en algunas partes de la red de agua con el objeto de localizar y detectar fugas. Se ha contado con el apoyo del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) para esta tarea. Tanto el SACM, como las empresas proveedoras de equipo detector de fugas, han contado con apoyo y trabajo conjunto de la DGOC de la UNAM.

Se tiene contemplado la colocación de medidores para la macro y micro medición. Actualmente se está trabajando con los preparativos para la colocación de medidores electromagnéticos en los pozos y tanques de regulación, además, se tienen identificados sitios en los que es posible la colocación de medidores a la entrada de los edificios sin la necesidad de hacer modificaciones para su colocación. Pues en los recorridos de campo que se han llevado a cabo, se han señalado sitios en los que para la colocación de un medidor a la entrada de un edificio, sea necesario hacer alguna modificación, consistente básicamente en ampliar un crucero, hacer seccionamientos, etc.

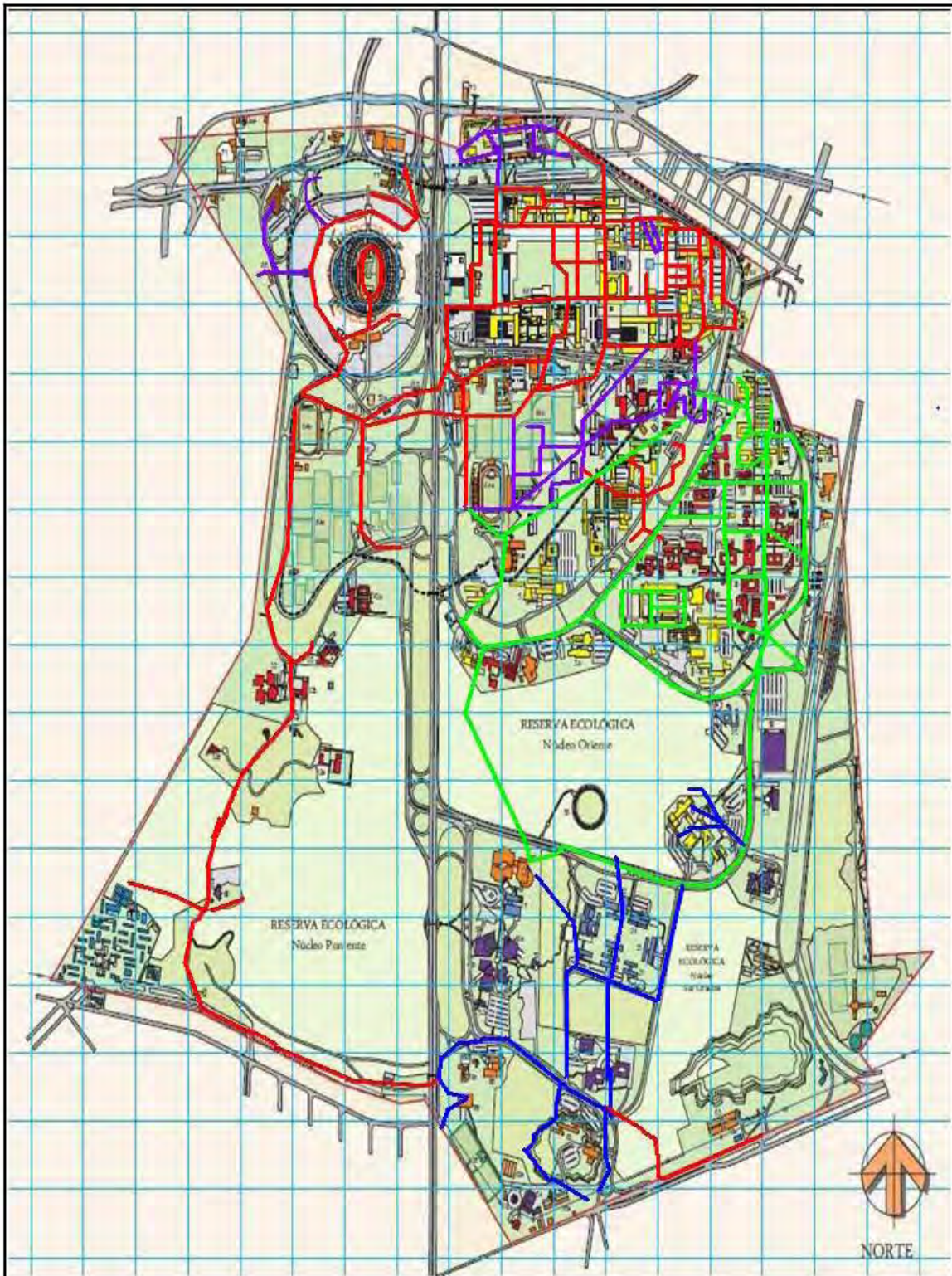


Figura 3.2 La red de Agua Potable de CU.; en color rojo la tubería de acero y tramos en extrupack, en color morado la tubería de fierro fundido, en color azul la tubería de PVC y en color verde la tubería de asbesto. (González y col., 2008)

Elaboración del diagrama causa – efecto para el sistema de agua potable de la UNAM.

Para llegar al corazón de un problema se requiere identificar todas las causas posibles de algún efecto, y para ello es necesario el empleo de algunas técnicas como la elaboración de un diagrama causa – efecto, cuyo objetivo fundamental es el identificar y verificar todas las causas posibles de un problema y llegar a la causa o raíz o principal del mismo para reducirlo o bien, eliminarlo, con la información recopilada se elaboro el siguiente diagrama causa – efecto, mostrado en la figura 3.3

### Diagrama Causa-Efecto

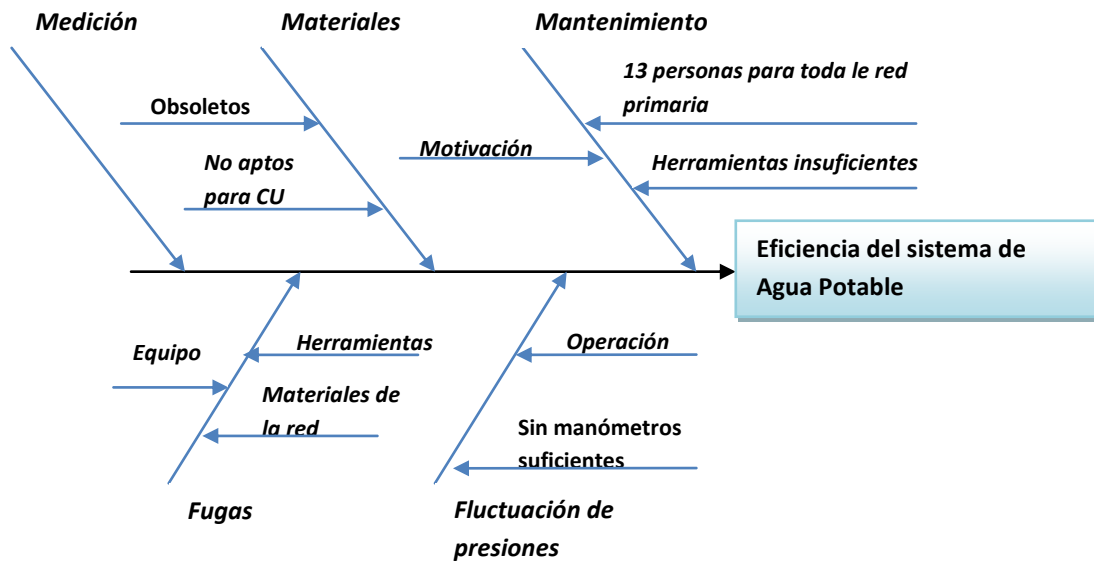


Figura 3.3 Diagrama Causa- Efecto de la red de agua potable de Ciudad Universitaria. (González y col., 2008)

La Figura 3.4 muestra el diagrama causa – efecto o diagrama de pescado elaborado con la información recabada en el taller, ubicando en la parte derecha a la eficiencia de la red de agua potable y a su izquierda una flecha que relaciona a la red con sus principales problemas, ubicados estos al inicio de las flechas inclinadas que convergen a la flecha principal, siendo estos los correspondientes al mantenimiento, a los materiales, a las conexiones para riego que existen a lo largo de la red, la fluctuación de presiones, las fugas y la medición en los edificios. A estos problemas principales convergen otros subproblemas o sub causas que de alguna manera contribuyen a incrementar el problema principal. Estas sub causas pueden a su vez complementarse o relacionarse con otras sub causas por nombrarlas de alguna manera.

Lo interesante de este diagrama es que ha dado un panorama de la situación que ocupa al sistema de agua potable de Ciudad Universitaria, ya que permite identificar algunos problemas aparentemente sin importancia o sin relación alguna con el problema. Bajo este enfoque sistémico se han comenzado a elaborar planes que permitan atacar de la mejor manera posible al problema. (González y col., 2008)

### **3.1.5.- Programa de Manejo, Uso y Reusó del agua en la UNAM (PUMAGUA)**

Uno de los objetivos que se ha propuesto PUMAGUA para los próximos cinco años es el de lograr reducir en un 50% el consumo de agua potable que se utiliza anualmente en el Campus de Ciudad Universitaria, el cual se estima en poco más de los tres millones de metros cúbicos por año.. El primer eje estratégico, que contempla la primera y segunda etapa de cinco planteadas, abarca toda la recopilación de información de gabinete y campo necesaria para la selección y colocación de medidores tanto para la macro medición como para la micro medición.

Esta es una etapa muy importante y al mismo tiempo muy delicada debido a que la medición de agua no es para nada una tarea fácil de lograr, se requiere tener condiciones de medición, las cuales en la gran mayoría de los casos no se presentan, teniéndose que hacer las modificaciones necesarias para lograr la medición y aun más, para la selección del tipo de medidor más conveniente para un edificio, se está realizando la tarea de auxiliarse de un medidor ultrasónico o auditor que permita registrar un consumo continuo y detectar los consumos máximos y mínimos para el edificio esto ayuda a elegir el medidor más conveniente.

El primer paso en cualquier proyecto de uso eficiente de agua es la medición, dado que permite inducir el consumo de agua en las distintas dependencias universitarias o usuarios. Esta etapa resulta de alto costo desde el momento de su instalación así como la de su mantenimiento. Actualmente se han identificado algunos puntos dentro del campus en los que resulta de menor costo la instalación de medidores dada la facilidad de acceso a los registros y la facilidad de maniobra dentro de ellos, una vez instalados estos medidores se involucran los sitios en los que hay que hacer algún arreglo para poder colocar los medidores restantes, que son la mayor parte; posteriormente, la tarea será habilitar los sitios en los que es conveniente la instalación de un medidor y así, de manera paulatina, se instalaran los más de 300 medidores que se tiene contemplado inicialmente en PUMAGUA.

También se trabaja en la instalación de los macro medidores en los pozos y tanques reguladores, los cuales, junto con los medidores colocados en los sitios de fácil acceso, nos comenzarán a dar información muy importante de la cantidad de agua que se extrae y una idea de la forma en cómo esta se consume; pero sobre todo, poder seguir calibrando el modelo que actualmente se tiene de la red de agua potable en EPANET (Epanet es un programa para computador para el análisis de sistemas de distribución de agua potable) y que este arroje mejores resultados, y en base en ellos poder decidir cuáles son los arreglos más convenientes que deben hacerse a la red para mejorar su eficiencia y continuar con las siguientes etapas que pudieran ser, a reserva de lo que arrojen los resultados de las simulaciones, una sectorización o bien un arreglo de las válvulas reguladoras de presión y finalmente, la rehabilitación de las tuberías que ya están obsoletas. (González y col., 2008)



### 3.2.-Avances del Programa en la Facultad de Ingeniería.

Actualmente en la Facultad de Ingeniería no se han realizado mediciones de cuanta agua se utiliza, sin embargo por parte de PUMAGUA, recientemente se busca implementar ciertos programas para el ahorro del recurso del agua, tales como es el Programa de Sustitución de Muebles Sanitarios, cuyo objetivo es ahorrar hasta 20% de agua dentro de los edificios del Instituto de Ingeniería y de la Facultad de Ingeniería.

Se realizaron levantamientos de las instalaciones, generando un banco de datos sobre el tipo de muebles sanitarios que se utilizan y en que estado se encuentran, con la finalidad de crear un programa de cambio de muebles sanitarios.

Tabla 3.4 Inventario de los muebles de baño del Instituto de Ingeniería y de la Facultad de Ingeniería. (PUMAGUA 2009)

<i>Tipo de mueble</i>	<i>Instituto de Ingeniería</i>		<i>Facultad de Ingeniería</i>	
<b>Inodoro de fluxómetro manual</b>	78		87	
<b>Inodoro de fluxómetro electrónico</b>	15		31	
<b>Inodoro de caja</b>	4		7	
<b>Mingitorio con fluxómetro manual</b>	27		31	
<b>Mingitorio con fluxómetro electronic</b>	3		6	
<b>Mingitorio seco</b>	16		7	
<b>Lavabos con llaves de sensor</b>	2		54	
<b>Lavabos con llaves de push</b>	2		0	
<b>Lavabos con llaves mezcladoras</b>	7		43	
<b>Lavabos con llaves de chicote</b>	95		9	
<b>Tarjas con llave mezcladora</b>	7		168	
<b>Tarjas con llaves de nariz</b>	19		0	
<b>Lavaderos con llaves de nariz</b>	0		3	
<b>Regaderas</b>	4		5	
<b>Total de muebles</b>	279		451	
<b>Condiciones de funcionamiento</b>	<i>Cantidad</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Porcentaje</i>

<b>Correcto</b>	226	81 %	325	72%
<b>Fugas</b>	43	15%	67	15%
<b>Mal funcionamiento</b>	7	2%	55	12%
<b>Mal funcionamiento en el sensor</b>	5	2%	4	1%

En el caso de la Facultad de Ingeniería, se tienen 24 edificios agrupados en 2 conjuntos: el Norte o Principal, con 7 inmuebles y el Sur o Anexo con 17.

Cuenta con 61 sanitarios y 9 unidades aisladas consideradas como otros, que son tarjetas para el personal de intendencia.

Se generaron 100 planos correspondientes a cada una de las unidades, con el dibujo de la planta de nivel, dibujo de la planta de la unidad y el dibujo de isométricos.

En el caso del Instituto de Ingeniería se inició el levantamiento de las instalaciones hidráulicas y sanitarias mediante múltiples visitas de reconocimiento a cada uno de los baños de los edificios.

Se instalaron medidores (micro) dentro de dos edificios 5 y 12, para verificar el consumo por baño.

Al realizar pruebas a sanitarios, mingitorios y llaves de lavabos, de las que surgieron las primeras recomendaciones para las sustituciones de muebles de baño en la UNAM:

- Los fluxómetros no podrán ser graduados para diferentes presiones, y deben venir graduados desde fábrica.
- Los mingitorios deben tener 0.5 litros por descarga. Los mingitorios secos sólo deberán colocarse si se garantiza el mantenimiento y las condiciones de higiene de los mismos.
- En inodoros no se debe sobrepasar de 6 litros por descarga de acuerdo a la norma oficial mexicana correspondiente.
- Las llaves deben cumplir con una descarga como máximo de 2 litros por minuto, con sensor para cortar el agua si la llave está abierta durante más de un minuto. (PUMAGUA 2009)

### **3.2.1- Programa piloto de uso eficiente del agua en el edificio 5**

En el edificio 5 se realizó un análisis detallado del consumo de agua en sanitarios y se sustituyeron aquellos que no funcionaban adecuadamente.



Se han cambiado 6 inodoros, 3 mingitorios, 12 fluxómetros y 4 llaves, teniéndose un registro constante y detallado de su operación y funcionamiento.

Se ha logrado un ahorro de 60% de ahorro por mueble sanitario, lo que ha significado un 30% de reducción en el suministro al edificio (de 8.62 m<sup>3</sup>/día a 4.77 m<sup>3</sup>/día). Se calcula que el tiempo requerido para recuperar el costo de la sustitución de estos muebles sanitarios es de 3.5 años.

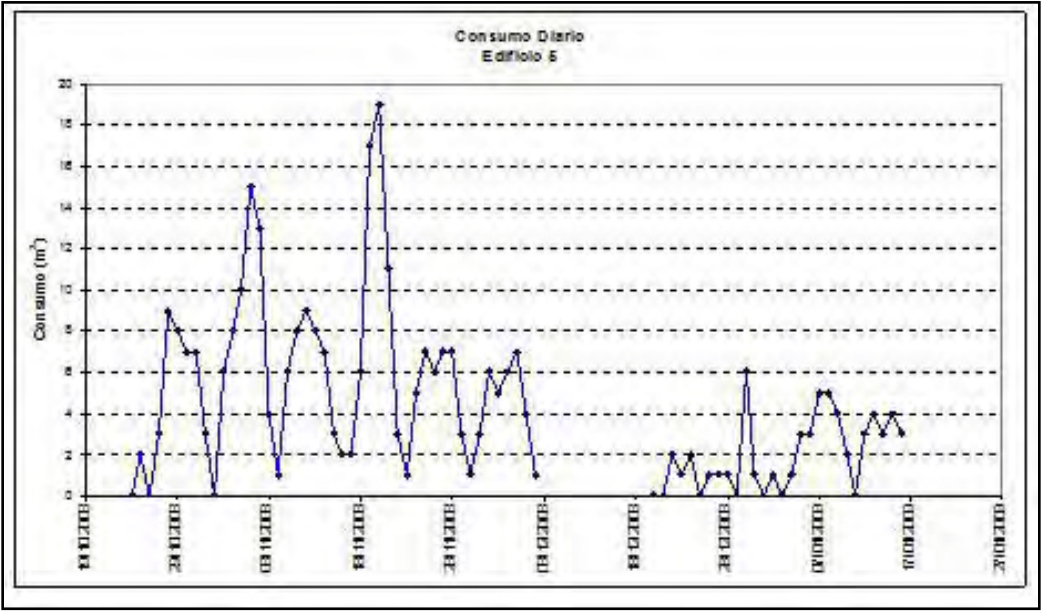


Figura 3.4 Consumo de agua en sanitarios del edificio 5 del Instituto de Ingeniería antes y después de la sustitución de muebles sanitarios. (PUMAGUA 2009)

## **Conclusión:**

**La situación actual de la red de agua potable de Ciudad Universitaria de la UNAM es en verdad preocupante, pues ha crecido sobremanera y con muy poca planeación, lo que ha derivado en que su eficiencia no sea muy alta, se cuenta con poca o nula medición en los edificios.**

**La fuerte fluctuación de presiones que presenta la red lleva a desgastarla y a incrementar el número de fugas en la misma, sobre todo en los tramos de tubería en donde el material no es adecuado para el tipo de terreno de Ciudad Universitaria, tal como el PVC.**

**La captación de agua pluvial en C.U puede contribuir a garantizar el suministro constante de agua en las instalaciones, esta representa un medio fácil para obtener agua y aprovecharla, en diferentes actividades dentro del campus y así disminuir el consumo de agua potable para actividades en las que no se requiera el suministro de agua potable que puede ser utilizada para otras actividades.**

## Capítulo IV. CAPTACION DE AGUA PLUVIAL

### 4.1.- Sistemas de captación de agua pluvial

La captación de agua de lluvia es un sistema ancestral que ha sido practicado en diferentes épocas y culturas. Este sistema es un medio sencillo para obtener agua para el consumo humano y para el uso agrícola. En aquellos lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se cuenta con la suficiente cantidad y calidad de agua para consumo humano, se puede recurrir al agua de lluvia como fuente de abastecimiento.

El agua de lluvia puede ser interceptada, colectada y almacenada en depósitos especiales para su uso posterior, para ellos es necesario tomar en cuenta algunos factores importantes para llevar a cabo la captación de agua pluvial, los cuales se mencionan en la tabla 4.1

Tabla 4.1 Factores que se deben tomar en cuenta en un sistema de captación de aguas pluviales. (D. Phillips y col., 2006)

<b>Precipitación media por año</b>
<b>Precipitación mínima por año</b>
<b>Precipitación máxima por día</b>
<b>Consumo diario</b>
<b>Superficies recolectoras</b>
<b>Superficies de riego disponibles</b>
<b>Consistencia del suelo</b>
<b>Existencia de drenaje pluvial</b>

En el contexto doméstico, para la captación de lluvia, se puede utilizar la superficie del techo como captación. A este sistema se le conoce como el modelo SCAPT (Sistema de captación pluvial en techos). La ventaja de este sistema es que además de su captación, minimiza la contaminación del agua.

- Características funcionales

La cosecha de agua se determina por la superficie captadora. Entre mayor se la superficie de mayor será la captación de agua pluvial. Por lo general se utiliza la azotea de una casa, como se muestra en la figura 4.1



Figura 4.1. Captación de agua pluvial en techos de casas (SITIOSOLAR)

Las tuberías utilizadas para el desalojo de agua pluvial pueden ser utilizadas para los sistemas de captación y almacenamiento de agua de agua pluvial

El filtro es el componente más importante en un sistema de captación pluvial. Dicho filtro debe de tener a capacidad de retener las partículas orgánicas y minerales encontradas en la superficie captadora y en la lluvia.

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

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

El tamaño de la cisterna se calcula basándose en datos estadísticos de precipitación pluvial, dimensión de superficie captadora y la cantidad requerida de agua para la vivienda o edificación.

Para el sistema de bombeo se puede aplicar un sistema hidroneumático y/o un tinaco. También es posible instalar bombas mecánicas y/o de tracción.

La tubería de distribución no difiere de un sistema tradicional y puede ser instalada por un plomero.

## **4.2.- Justificación de los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)**

Para afrontar la problemática del agua a nivel mundial y nacional, una de las alternativas es la captación de agua de lluvia, el cual se detalla a continuación.

Los Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia para uso doméstico y consumo humano a nivel de familia y comunitario representan una solución para abastecer en cantidad y calidad a las numerosas poblaciones rurales, periurbanas y urbanas que sufren la carencia de este vital líquido.

Considerando lo antes expuesto es urgente que cada ser viviente en este planeta disponga de agua en cantidad y en calidad con el objeto de lograr el verdadero Desarrollo Sustentable de la humanidad.

La precipitación pluvial representa un valioso recurso natural que se debe aprovechar, es una de las opciones más reales para proporcionar agua a aquellos que no cuentan con este recurso. Es posible establecer sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano a nivel de familia y a nivel de comunidad.

## **4.3.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

La captación de agua de lluvia para consumo humano presenta las siguientes ventajas:

- Alta calidad físico química del agua de lluvia.
- No requiere energía para la operación del sistema
- Fácil de mantener
- Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia

A su vez las desventajas de este método de abastecimiento de agua son las siguientes:

- Alto costo inicial que puede impedir su implementación
- La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.

### **4.3.1.-Factibilidad**

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

#### **4.3.2.-Factor Técnico**

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

- a. Producción u “oferta” de agua; está relacionada directamente con la precipitación durante el año y con las variaciones estacionales de la misma. Por ello, en el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia es altamente recomendable trabajar con datos suministrados por la autoridad competente y normalmente representada por la oficina meteorológica del país o de la región donde se pretende ejecutar el proyecto.
- b. Demanda de agua; A su vez, la demanda depende de las necesidades del interesado y que puede estar representada por solamente el agua para consumo humano, hasta llegar a disponer de agua para todas sus necesidades básicas como son preparación de alimentos, higiene de personal, lavado de vajillas y de ropa e inclusive riego de jardines.

#### **4.3.3.-Factor Económico**

Al existir una relación directa entre la oferta y la demanda de agua, las cuales inciden en el área de captación y el volumen de almacenamiento, se encuentra que ambas consideraciones están íntimamente ligadas con el aspecto económico, lo que habitualmente resulta una restricción para la mayor parte de los interesados, lo que imposibilita acceder a un sistema de abastecimiento de esta naturaleza. Los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua en la salud de las personas beneficiadas por el servicio de agua.

#### **4.3.4.-Factor Social**

En la evaluación de las obras de ingeniería a nivel comunitario, siempre se debe tener presente los factores sociales, representados por los hábitos y costumbres que puedan afectar la sostenibilidad de la intervención. Al efecto, el profesional responsable del estudio debe discutir con la comunidad las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta, buscando que la propia comunidad seleccione lo que más le conviene emplear. Este análisis debe considerar la conveniencia de adoptar soluciones individuales y colectivas, el tipo de material empleado en la fabricación de sus techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar o sus alrededores y el grado de participación de la comunidad en la implementación del proyecto. (D. Phillips y col., 2006).

#### **4.4.- COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA**

A continuación se describen y se ilustran los componentes para el aprovechamiento del agua de lluvia a nivel familiar y comunitario.

- Área de captación
- Sistema de conducción
- Infraestructura de almacenamiento
- Filtración y tratamiento

##### **4.4.1-Área de captación del agua de lluvia**

El área de captación es la superficie sobre la cual cae la lluvia. Las áreas que se utilizan para este fin son los techos y suelos revestidos o tratadas con materiales que la impermeabilizan. Es importante que los materiales con que están construidas estas superficies, no desprendan olores, colores y sustancias que puedan contaminar el agua pluvial o alterar la eficiencia de los sistemas de tratamiento. Además, la superficie debe ser de tamaño suficiente para cumplir la demanda y tener la pendiente requerida para facilitar el escurrimiento pluvial al sistema de conducción, básicamente en techos o suelos (D. Phillips y col., 2006)

- **Captación de agua en los techos.**

Se puede recolectar agua pluvial razonablemente pura de los techos hechos de tejas, esquistos, hierro galvanizado, aluminio o planchas de asbesto-cemento. Los techos de paja o de plomo no son adecuados debido a los riesgos para la salud. Si el agua pluvial es muy corrosiva se requiere cierta precaución con el uso de planchas de asbesto cemento en el techo para la captación de agua pluvial. Las fibras o partículas de asbesto pueden lixiviarse del material del techo e incorporarse al agua dando como resultado concentraciones relativamente altas de asbesto en el agua pluvial recolectada. La pintura del techo, con fines de impermeabilización puede inferir sabor o color al agua pluvial recolectada y se debe evitar.

La cantidad de agua pluvial que pueda recolectarse a través de la captación en los techos estará determinada en gran parte por el área efectiva del techo y por la lluvia anual local.

Un milímetro de agua de lluvia en un metro cuadrado de techo producirá aproximadamente 0.8 litros de agua, teniendo en cuenta la evaporación y otras pérdidas (CEPIS 1988).

A continuación se describen los tipos de techos utilizados para la captación del agua pluvial.

**A. Techos.** En las zonas urbanas los techos están contruidos de concreto, aleación de lámina galvanizada y antimonio; en las zonas periurbanas y rurales, de concreto, láminas de asbesto, lámina galvanizada, madera y paja; también se pueden utilizar las superficies impermeables (canchas, patios, estacionamientos), que no desprendan residuos o contaminantes al contacto con el agua e incrementen el costo del tratamiento para obtener un producto de calidad. En el caso de materiales de concreto se deben limpiar antes de impermeabilizar; si son de lámina galvanizada o asbesto se recomienda revisar si tienen algún deterioro y en su caso sustituirlas por otros antes de su impermeabilización. Además, se requiere asegurar y verificar que sus estructuras soporten el peso de las canaletas más el agua de lluvia (Figura 4.1).



Figura 4.2 Techos de escuelas utilizados como áreas de captación del agua de lluvia. (D. Phillips y col., 2006)

**B. Techos cuenca.** Son estructuras diseñadas para la recolección directa del agua de lluvia compuesta básicamente de dos secciones: el techo, que funciona como un área de contribución y retardador de evaporación, abajo de éste se encuentra el tanque o cisterna de almacenamiento. El techo está formado por dos superficies que convergen en un canal central lo cual permite que el agua de lluvia se conduzca directamente por gravedad a la cisterna. Para indicar el nivel de almacenamiento se instala un piezómetro en la pared externa del tanque. (D. Phillips y col., 2006)

El sistema de conducción del agua consiste de una válvula de salida, continuada por una tubería para terminar en una llave para el uso público (Figura 4.3)





Figura 4.3 Ejemplo de Techo cuenca en la Comunidad del Tecongo, Aguascalientes (D. Phillips y col., 2006).

- **Captación de agua en el suelo**

Las instalaciones de captación de agua pluvial en el suelo se usan para recolectar la escorrentía de agua pluvial. Parte de la precipitación servirá para humedecer el suelo, parte se almacenara en depresiones, parte se pierde a través de la evaporación o filtración en el suelo. Se puede obtener una reducción considerable de esas pérdidas de agua teniendo losetas, tejas o concreto, asfalto o planchas de plástico para formar en el suelo una superficie suave impermeable. Otro método incluye tratamiento químico de la superficie del suelo. Algunas veces compactar la superficie es lo adecuado.

La cantidad de agua pluvial que se pueda recolectarse en captaciones en el suelo dependerá de si los elementos de captación son planos o inclinado, y de la impermeabilidad de la capa superior. Mediante la preparación de la superficie del terreno se puede asegurar un flujo de agua lo suficientemente rápido hasta el punto de recolección y almacenamiento con el fin de reducir las pérdidas por evaporación y por filtración. La porción de agua de lluvia que se puede recolectar fluctúa aproximadamente entre 30% en captadores permeables tendidos en suelo plano, a casi el 90% en captadores colocados en hileras inclinadas con pendiente y cubiertos con material impermeable (CEPIS 1988).

#### **4.4.2.-Sistema de conducción**

El sistema de conducción se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento a través de bajadas con tubo de PVC. (Figuras 4.4 y 4.5)

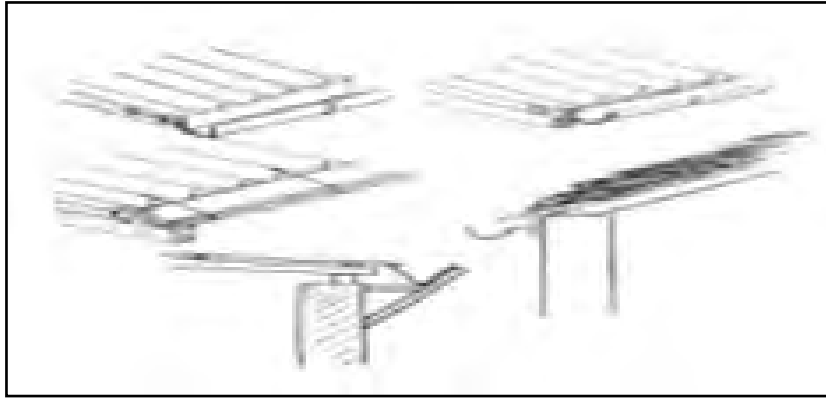


Figura 4.4 Formas de canaletas de construcción sencilla (D. Phillips y col., 2006).



Figura 4.5 Forma de canaletas acordes a edificaciones (D. Phillips y col., 2006).

Las canaletas se instalan en los bordes más bajos del techo, en donde el agua de lluvia tiende a acumularse antes de caer al suelo; el material debe ser liviano, resistente, fácil de unir entre sí, debe combinar con los acabados de las instalaciones (zonas urbanas), que no se contamine con compuestos orgánicos o inorgánicos; por lo que se recomienda se coloquen mallas (Figura 4.6) que detengan basura, sólidos y hojas, para evitar la obstrucción del flujo en la tubería de conducción; así mismo, realizar en los techos labores de limpieza a inicio de la época de lluvias.

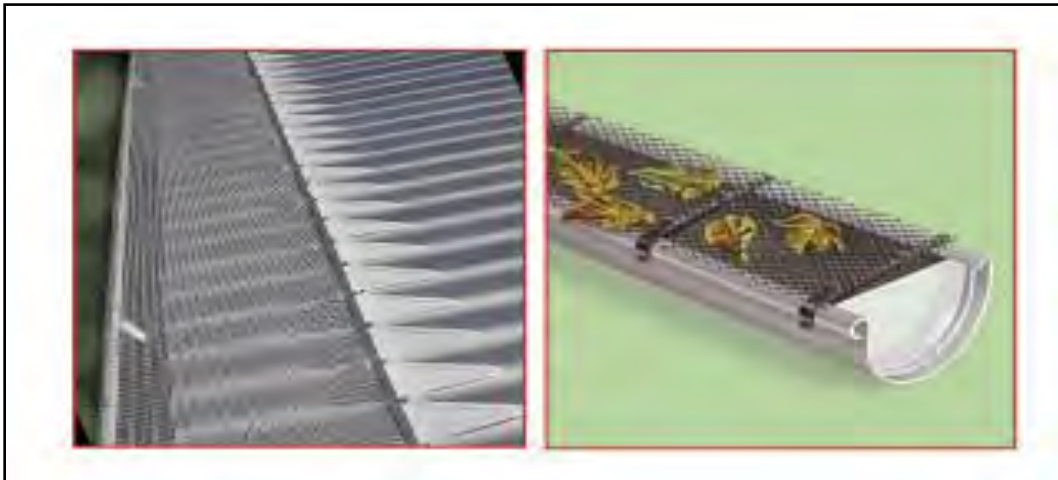


Figura 4.6 Canaletas con malla para evitar la contaminación por hojas. (D. Phillips y col., 2006)

Los materiales utilizados son: aluminio, lámina galvanizada, PVC y recursos maderables de cada región. Actualmente se ha visto que los arquitectos, ingenieros consideran estructuras diversas para la colección del agua de lluvia. (D. Phillips y col., 2006)

En la figura 4.6 se muestra el diagrama completo de un sistema de colección y trampa de sólidos.

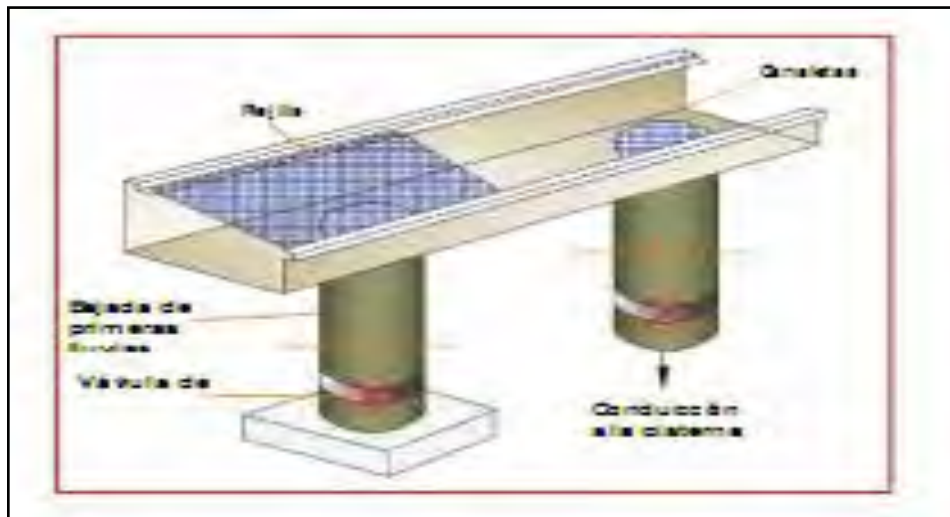


Figura 4.7 Canaleta con rejilla y válvula para el lavado para las primeras lluvias. (D. Phillips y col., 2006)

#### 4.4.3.-Infraestructura para el almacenamiento del agua de lluvia

Son cisternas o tanques donde se almacena el agua de lluvia captada, que puede utilizarse, previo al tratamiento para uso doméstico durante todo el año.

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

Plásticos: Fibra de vidrio, polietileno y PVC.

Metales: Barril de acero (se corroe y oxida), tanques de acero galvanizado (se corroe y oxida).

Concreto: Ferro cemento (se fractura), piedra (de difícil mantenimiento) y bloque de concreto (se agrieta).

Madera: Madera roja, abeto, ciprés (es eficiente pero cara).

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

#### A. Tanques o cisternas de ferro cemento

Estas cisternas son rápidas de construir, igualmente los materiales se consiguen fácilmente para que los mismos usuarios las construyan. En la figura 4.8 se presenta el proceso de construcción de una cisterna de ferro cemento.



Figura 4.8 (a) Colocación de malla electro soldada (b) aplanado con mezcla de arena y cemento (c) tubería de PVC cortada a la mitad para conducir el agua de lluvia a la cisterna y (d) cisterna con tapa de lámina corrugada. (D. Phillips y col., 2006)

## B. Cisternas de concreto



Figura 4.9 Transporte de cisterna de concreto: (a) 5 m<sup>3</sup> y (b) 75,6 m<sup>3</sup> (D. Phillips y col., 2006)

Las cisternas de concreto se fabrican bajo condiciones controladas, de ahí son trasladadas al sitio de instalación. La capacidad de almacenamiento es de 5 a 35 m<sup>3</sup>; cuando las dimensiones son mayores se construyen en el sitio seleccionado. La calidad del agua almacenada depende de los acabados realizados sobre sus paredes y el material utilizado para impermeabilizar. Las cisternas pueden estar sobre la superficie del suelo, enterradas o semienterradas; sin embargo, es una tecnología costosa para los países en desarrollo. (D. Phillips y col., 2006.)

## C. Cisternas de cemento-tabique



Figura 4.10 (a) Cisterna de cemento tabique: escuela primaria de Acapulco, (b) y tapa de protección, Estado de México. (D. Phillips y col., 2006)

## D. Cisternas revestidas con cubierta flotante de geomembrana de PVC, polietileno de alta densidad ó polipropileno reforzado

Dentro de las nuevas tecnologías de productos geosintéticos se encuentran las geomembranas, que son impermeables a fluidos y partículas, evitan filtraciones, fugas y contaminación del agua almacenada. La geomembrana de PVC, el polietileno de alta densidad y alto peso molecular y el polipropileno reforzado ofrecen muchas ventajas: facilidad de instalación, elasticidad, resistencia a punzonamiento, de fácil colocación por ser termofusionable (cisternas, canales y otros depósitos); algunas de sus propiedades son: tiene 25 años de vida, elongación del 200 % sin perder su estructura molecular. La impermeabilización obtenida con 1 mm de espesor de geomembrana de PVC equivale a la impermeabilidad de 1 m de arcilla compactada. Una cisterna de concreto resulta de cuatro a cinco veces más costosa que una recubierta con estos productos geosintéticos. (D. Phillips y col., 2006)

Para la instalación de las geomembranas se requieren las siguientes actividades:

- Eliminar raíces y otros objetos punzantes que puedan dañar la geomembrana
- Verificar que la tierra excavada sea apta para hacer terraplenes y compactación
- Verificar la superficie sobre la cual se colocara la geomembrana
- Definir que tipo de geomembrana se va a utilizar (PVC, polietileno, poliuretano) espesor depende la profundidad.
- Determinar el ancho y largo de las porciones de geomembrana
- Ensamblaje o soldadura térmica con equipo y personal especializado, calificado y certificado
- El perímetro superior de la geomembrana debe anclarse alrededor de la cisterna, construyendo una cepa perimetral de 50x50x40 cm para cubrirse con tierra.
- Proteger los taludes exteriores con vegetación o con algún geo-textil.
- Se debe instalar un vertedor de demasías para prevenir los desbordamientos.

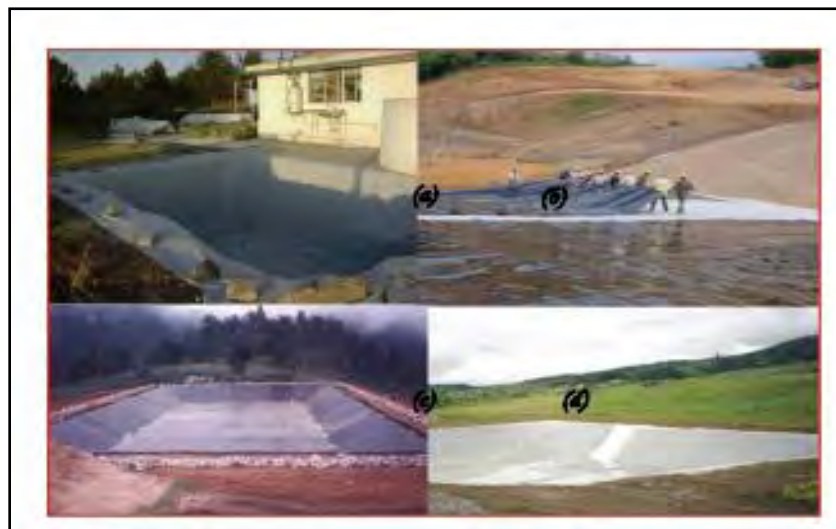


Figura 4.11 Cisternas revestidas con geomembrana y polietileno: (a) cisterna para uso doméstico, (b) transporte de geomembrana para recubrimiento, (c) cisterna sin tapa, (d) cisterna revestida y con cubierta flotante de geomembrana de PVC en San Felipe del Progreso, Edo de México (D. Phillips y col., 2006).



### E. Cisternas de metal

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



Figura 4.12 (a) Ensamblado de las hojas de lámina galvanizada con tornillos, (b) Estructura para el techo del tanque y (c) Colocación de material impermeable para evitar las pérdidas del agua por evaporación. (a) (b) (c). (D. Phillips y col., 2006)

### F. Tanque de polietileno

Son ampliamente utilizados para el almacenamiento de agua ya que estos varían en forma, tamaño y color, pueden ser usados superficialmente o enterrados, son fáciles de transportar e instalar, durables, flexibles, con acabados sanitarios para agua potable (Figura 13). Existen presentaciones de 0.5 a 25 m<sup>3</sup> de capacidad.



Figura 4.13 Tanque de polietileno de 5 m<sup>3</sup> (D. Phillips y col., 2006).

### G. Cisterna de madera

Las civilizaciones humanas han utilizado estas cisternas, construidas con Secoya para almacenar agua para los diversos usos y consumo humano. Actualmente este tipo de cisternas tienen una gran presentación estética, a veces resulta una opción deseable ya que son construidos de pino, cedro y ciprés, envuelto con cables de acero de alta tensión (Figura 4.13). (D. Phillips y col., 2006)



Figura 4.14 Cisterna de madera de pino con tensores para almacenar 5 m<sup>3</sup>. (D. Phillips y col., 2006).


Tabla 4.2 Tipos de Captadores de Agua Pluvial Figura (D. Phillips y col., 2006)

#### TIPOS DE CAPTADORES DE AGUA PLUVIAL

TIPOS DE CAPTADORES	VENTAJAS	DESVENTAJAS	CAPTADOR
Tanques o cisternas de ferro cemento	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bajo costo.</li> <li>-Uso reducido de materiales.</li> <li>-No se necesita molde para su fabricación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El agua se calienta con facilidad.</li> <li>-Pueden existir perdidas por filtración si no se construye bien.</li> <li>-No es recomendable en zonas sísmicas.</li> </ul>	
Cisterna de concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Grandes capacidades de almacenamiento de agua.</li> <li>-Excelente calidad del agua almacenada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alto costo</li> <li>-Dificultad para transportarse por el tamaño de la cisterna.</li> </ul>	



<p><b>Cisternas de Cemento-Tabique</b></p>	<p>-Gran capacidad de almacenamiento.</p>	<p>-Alto costo. -Se requiere mayor cantidad de material para construirla. -Son de baja flexibilidad.</p>	
<p><b>Cisternas revestidas con cubierta flotante de geomembrana de PVC, polietileno de alta densidad ó polipropileno reforzado</b></p>	<p>-Es más económica que una cisterna de ferro cementó. -Se necesita una compactación mínima. -No ocurren desplazamiento en zonas sísmicas. - La cisterna con cubierta flotante evita la contaminación del agua de lluvia por polvo y previene la proliferación de microbios</p>	<p>- En terrenos arenosos se dificulta la compactación de las paredes de la cisterna, por lo cual es necesario considerar los taludes lo que aumenta la superficie a revestir con geomembrana y por consiguiente los costos de las cisternas.</p>	
<p><b>Cisternas de Metal</b></p>	<p>-Es resistente a la oxidación.</p>	<p>-El acero galvanizado no es resistente a la corrosión. -Puede existir zinc lo que puede afectar la calidad del agua. -Se calienta fácilmente el agua</p>	
<p><b>Tanque de Polietileno</b></p>	<p>-Fáciles de transportar. -Fácil de instalar. -Durables. -Flexibles. -Variedad en capacidades de almacenamiento.</p>		

<p><b>Cisterna de madera</b></p>	<p><b>-Mantienen el agua a una temperatura agradable en verano.</b>  <b>-Son desmontables y móviles</b></p>	<p><b>-Deben instalarse a una altura determinada sobre el suelo para su mayor duración.</b>  <b>-deben ser construidas por técnicos expertos</b>  <b>-Alto costo</b></p>	
----------------------------------	---	--	---

**4.4.4.-Filtración del agua de lluvia**

La filtración es el proceso para separar un sólido del líquido en el que está suspendido, al hacerlos pasar, a través de un medio poroso (filtro) y por el cual el líquido puede pasar fácilmente. Cuando el agua de lluvia es captada de los techos, se debe instalar un tanque (Figuras 4.14 y 4.15) para almacenar temporalmente las primeras lluvias contaminadas por basura, hojas y polvo, para utilizarla en el riego que no requieran una alta calidad del agua. (D. Phillips y col., 2006)



Figura 4.15 Tanque de recepción de las primeras lluvias. (D. Phillips y col., 2006).

El dispositivo más sencillo consiste en colocar una malla a la mitad de un bote de 19 litros y en la parte del fondo se adapta a la tubería de la línea de conducción



Figura 4.16 Trampa de basura para las primeras lluvias (izquierda) y válvula para drenaje (derecha) (D. Phillips y col., 2006).

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

El material filtrante debe estar siempre limpio y sus capas deben ser removidas y lavadas durante la época de lluvias. (D. Phillips y col., 2006).

### **Conclusión:**

Los sistemas de captación de agua pluvial representan un medio fácil y seguro para obtener agua, la cual puede ser captada en los techos de las casas, edificios así como la captación en suelo. El sistema que se utiliza para su captación depende del uso que se le va a dar a la misma. Los sistemas están compuestos básicamente por los siguientes componentes: Área de captación, sistema de conducción, infraestructura de almacenamiento, filtración y tratamiento. Es importante tomar en cuenta factores que influyen directamente en la cantidad de agua pluvial que se puede captar para así realizar el correcto diseño del sistema de captación de agua pluvial que cumpla las necesidades y requerimientos.

Dentro de los sistemas de almacenamiento deben estar basados en cálculos que nos permitan diseñar la capacidad que estos deben tener, el material del que deben estar hechos, es importante tomar en cuenta los costos que representan cada uno de ellos para así poder elegir el adecuado.

## **Capítulo V. Metodología para el diseño de un sistema de captación de agua pluvial.**

### **5.1.- Elaboración de la metodología para el diseño de un sistema de captación de agua pluvial en la Facultad de Ingeniería**

La importancia de captar, almacenar y utilizar el agua de lluvia para su uso es de gran relevancia debido a la escases del vital líquido y a que el sistema de captación de agua pluvial representa un medio fácil y sencillo para obtener agua para consumo humano (UNATSABAR 2001).

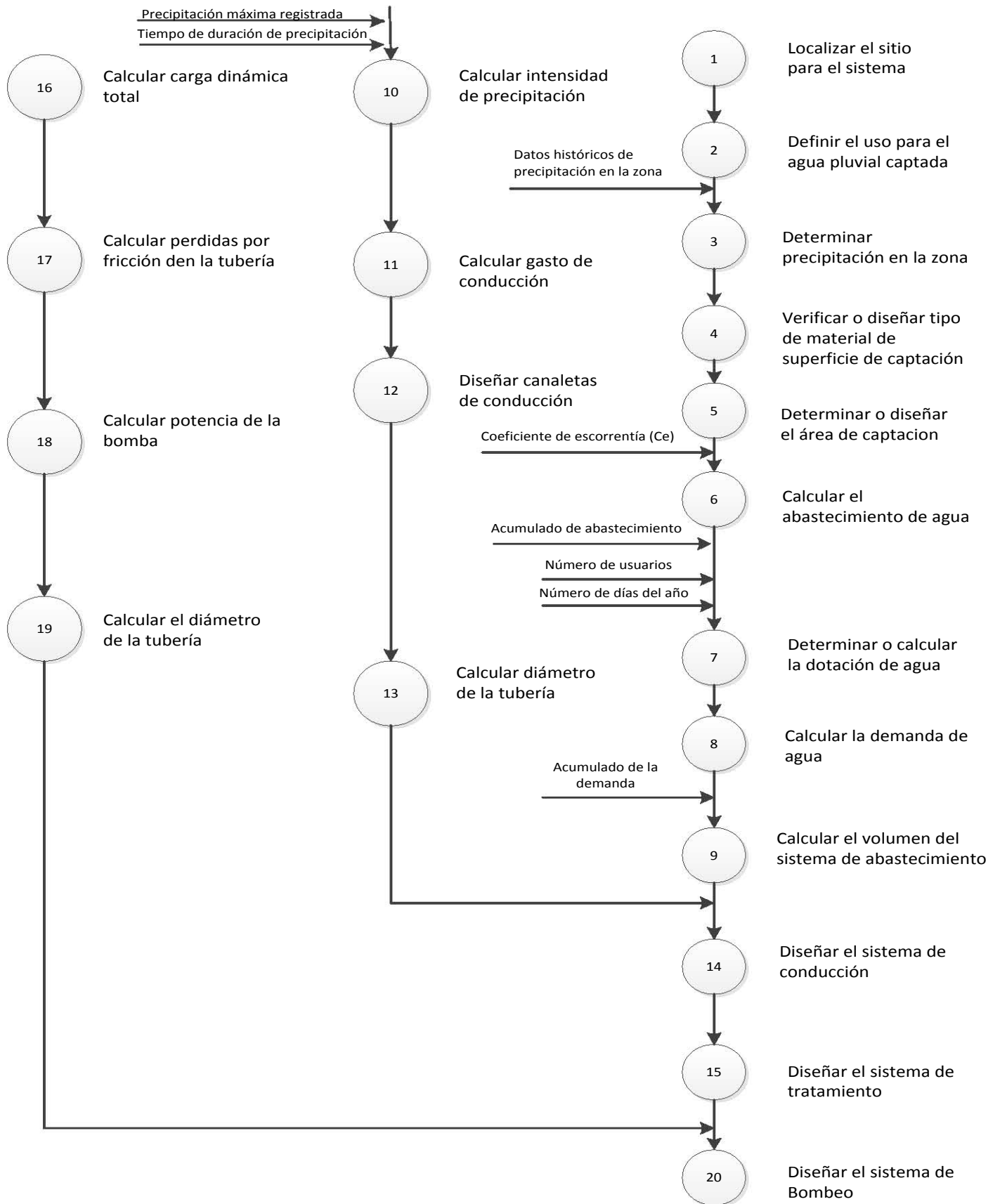
Es importante identificar los principales componentes de un Sistema de Captación del Agua de Lluvia (SCALL), su funcionamiento, los criterios de diseño más sobresalientes, las características de los materiales de construcción, la forma de construir estos sistemas, su operación, mantenimiento y muy importante saber el uso que se le va a dar al agua de lluvia captada por el sistema (Garduño y Martínez 2008).

Para llegar a la instalación del sistema de captación de agua pluvial se requiere conformar una metodología que se basará en el estudio hecho en esta tesis y que permitirá aplicar estos conceptos a cualquier entidad, organización, facultad, concentración de edificios, etc. La cual tendrá como meta el diseño de un sistema de captación de agua con los siguientes beneficios:

- Alta calidad físico química del agua de lluvia.
- Bajo consumo de energía para la operación del sistema.
- Se le puede dar mantenimiento fácilmente.
- Comodidad en la recolección del agua de lluvia.

Para emprender el diseño de un sistema de captación de agua pluvial, es necesario conocer y tomar en cuenta varios aspectos. Los pasos a seguir en nuestra metodología para el diseño del sistema de captación de agua pluvial se muestran en la figura 5.1, en un diagrama de proceso de la operación:

# Diagrama de la metodología de captación de agua pluvial



### 5.1.1.- Localización del sitio para establecer el sistema

Para iniciar el diseño del sistema de captación de agua pluvial se debe seleccionar el lugar donde se instalara, para el cual se requieren conocer las condiciones de infraestructura existentes, a fin de aprovecharlas, tales como: la superficie en donde se captara el agua y su disponibilidad.

### 5.1.2.- Definición del uso del agua pluvial captada

Es importante definir el uso que se le dará al agua captada, ya que de ello dependerá el tipo de tratamiento de agua que se seleccionara; dentro de los principales usos que se le puede dar al agua captada están los siguientes: riego, consumo humano, uso domestico o industrial.

### 5.1.3.- Precipitación en la zona

Se debe conocer los datos de precipitación de por lo menos los últimos 10 años, e idealmente de los últimos 15 años. A partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos 10 ó 15 años se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados. Este valor puede ser expresado en términos de milímetros de precipitación por mes, o litros por metro cuadrado y por mes (UNATSABAR 2001).

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad (5.1)$$

Donde:

$n$  = número de años evaluados

$p_i$  = valor de precipitación mensual del mes "i" [mm].

$Pp_i$  = precipitación promedio mensual del mes "i" de todos los años evaluados [mm].

### 5.1.4.- Tipo de material de la superficie de captación

La eficiencia de la captación del agua de lluvia depende del coeficiente de escurrimiento o escorrentía ( $C_e$ ) de los materiales de los cuales está construido el área de captación, el cual varía de 0.0 a 0.95 (Tabla 5.1) (Garduño y Martínez 2008).

Tabla 5.1 Coeficientes de escurrimiento (Ce) de los diferentes materiales en el área de captación (CEA 2010).

Tipo de material del área de captación	Coeficiente de escurrimiento (Ce)
<b>Residencial</b>	
Áreas unifamiliares	0.30-0.50
Unidades múltiples separadas	0.40-0.60
Unidades múltiples conectadas	0.60-0.75
Áreas departamentales	0.50-0.70
Techos	0.75-0.95
Casa habitación	0.50-0.70
<b>Comercial</b>	
Centro de la ciudad	0.70-0.95
Fuera del centro de la ciudad	0.50-0.70
Techos	0.75-0.95
<b>Calles</b>	
Asfalto	0.70-0.95
Concreto	0.80-0.95
Adoquín	0.70-0.85
Aceras y andadores	0.75-0.85
Terracerías	0.25-0.60
<b>Parques, jardines, prados</b>	
Suelo arenoso	0.05-0.10
Suelo arenoso pendiente de 2 a 7%	0.10-0.15
Suelo arenoso pendiente de 7% o mayor	0.15-0.20
Suelo arcilloso plano	0.13-0.22



Suelo arcilloso pendiente de 2 a 7%	0.18-0.22
Suelo arcilloso pendiente de 7% o mayor	0.25-0.35
Áreas no urbanizadas	0.10-0.30
Áreas de monte o bosque según su pendiente y características del suelo	0.01-0.20

### 5.1.5.- Determinación del área disponible para la captación de agua pluvial

El cálculo del área de captación dependerá de la geometría de la superficie con la que se cuenta. El área de captación del agua de lluvia para una superficie rectangular se obtiene con la ecuación (5.2) (Garduño y Martínez 2008):

$$A_c = a \times b \quad (5.2)$$

Donde:

$$A_c = \text{Área de captación, m}^2 \quad b = \text{Largo del edificio, m}$$

$a$  = Ancho del edificio, m

Si no se cuenta con un área de captación, esta se diseñara en función de la demanda anual de los habitantes a beneficiar y de la precipitación pluvial neta anual.

$$A_{ec} = \frac{D_{anual}}{\sum_{j=1}^{12} PN_j} \quad (5.3)$$

$$j = \text{No. del mes con lluvia, } j = 1, \dots, 12$$

Donde:

$A_{ec}$  = área de captación necesaria para abastecer la demanda de agua de la población beneficiada [m<sup>2</sup>].

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

$\sum_{j=1}^{12} PN_{anual}$  = Suma de las precipitaciones netas medias mensuales que originan escurrimiento [mm].

### 5.1.6.- Determinación del abastecimiento de agua

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para el área de captación por mes (UNATSABAR 2001).

$$Ai = \frac{P_{pi} \times Ce \times Ac}{1000} \quad (5.4)$$

Donde:

$P_{pi}$  = precipitación promedio mensual [lt/m<sup>2</sup>].

$Ce$  = coeficiente de escorrentía

$Ac$  = área de captación [m<sup>2</sup>].

$Ai$  = abastecimiento correspondiente al mes "i" [m<sup>3</sup>].

1000 = factor de conversión de litros a [m<sup>3</sup>].

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

A continuación se calcula la diferencia de los valores acumulados de cada uno de los meses por medio de la ecuación 5.5, así el acumulado de la oferta en el mes "i" podrá ser determinado.

$$A_{ai} = A_{a(j-1)} + \frac{P_{pi} \times Ce \times Ac}{1000} \quad (5.5)$$

Donde:

$A_{ai}$  = volumen acumulado del mes "i" [m<sup>3</sup>].

$A_{a(j-1)}$  = volumen de abastecimiento del mes anterior [m<sup>3</sup>].

### 5.1.7.- Determinación de la dotación de agua

La dotación de agua por persona es un valor que puede ser asumido en lt/persona-día de acuerdo a las necesidades que existan en el sitio donde se localizara el sistema de captación de agua pluvial.

Por otro lado, este valor también puede ser calculado con la expresión 5.6 si no se conoce exactamente la cantidad de agua que requiere cada persona (UNATSABAR 2001).

$$Dot = \frac{A_{an} \times 1000}{N_{dn} \times N_u} \quad (5.6)$$

Donde:

$Dot$  = dotación [lt/persona-día].

$A_{an}$  = Volumen de abastecimiento acumulado en el año "n" [m<sup>3</sup>].

$N_{dn}$  = Numero de días del año "n".

$N_u$  = número de usuarios que se benefician del sistema.

1000 = factor de conversión de m<sup>3</sup> a litros.

### 5.1.8.- Determinación de la demanda de agua

A partir de la dotación calculada o asumida por persona, se calcula la cantidad de agua que se necesita para atender a la población en cada uno de los meses (UNATSABAR 2001).

$$Di = \frac{N_u \times N_d \times Dot}{1000} \quad (5.7)$$

Donde:

$N_u$  = número de usuarios que se benefician del sistema.

$N_d$  = número de días del mes analizado.

$Dot$  = dotación [lt/persona-día].

$D_i$  = demanda en el mes "i" [ $m^3$ ].

1000 = factor de conversión de litros a  $m^3$ .

En caso de no contar con datos históricos de precipitación mensuales en determinada zona, otra forma de calcular la demanda de agua es mediante la fórmula 5.8 (Valdez 1994):

$$V_s = D \times 30 \times (12 - t) \times 1.3 \times h \quad (5.8)$$

Donde:

$V_s$  = Volumen necesario para el consumo en épocas de secas [litros].

$D$  = Dotación en [l/hab/día]

30 = Días del mes.

$(12 - t)$  = Numero de meses secos; t es el número de meses con lluvia.

1.3 = 30% más por seguridad

$h$  = Número de habitantes (usuarios)

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua de lluvia según la ecuación 5.7, se calcula el acumulado de cada uno de ellos, mes a mes encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua con la ecuación siguiente (UNATSABAR 2001):

$$D_{ai} = D_{a(j-1)} + Nu \times Nd \times Dot \quad (5.9)$$

Donde:

$D_{ai}$  = demanda acumulada al mes "i".

$D_{a(j-1)}$  = demanda del mes anterior.

### 5.1.9.- Determinación del volumen del sistema de almacenamiento

La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración.
- De no más de 2m de altura para minimizar las sobre presiones.
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar.
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias.
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje (UNATSABAR 2001).

El volumen del sistema de almacenamiento se calcula con la siguiente ecuación:

$$Vi(m^3) = Ai(m^3) - Di(m^3) \quad (5.10)$$

$Vi$  = volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes "i" [ $m^3$ ].

$Ai$  = volumen de agua que se capta en el mes "i" [ $m^3$ ].

$Di$  = volumen de agua demandada por los usuarios al mes "i" [ $m^3$ ].

El volumen del sistema de almacenamiento corresponderá al mayor valor de diferencia acumulativa entre el abastecimiento y la demanda.

Por otra parte en caso de no contar con datos históricos el volumen del tanque de almacenamiento se puede calcular de la siguiente forma (Valdez 1994):

$$Vc = \frac{P \times A}{1000} \quad (5.11)$$

Donde:

$Vc$  = Volumen anual captado [ $m^3$ ]

$P$  = Precipitación media anual [mm]

$1000$  = Factor de conversión de unidades

$$m = \frac{mm}{1000 \frac{mm}{m}}$$

$A$  = Área de captación en  $m^2$

Si  $V_s < V_c$  No existirán problemas de suministro, pero si  $V_s > V_c$  faltara agua. Entonces al menos debe tenerse que

$$V_s = V_c$$

#### 5.1.10.-Diseño del sistema de conducción del agua captada

El agua pluvial captada en techos y áreas de escurrimiento debe ser conducida al sistema de almacenamiento, mediante canaletas de lámina y tubería. Cuando la pendiente es mayor al 10% es necesario contar con un sedimentador para reducir la velocidad del agua y al mismo tiempo sedimentar los sólidos en suspensión contenidos en el escurrimiento del agua del área de captación (Garduño y Martínez 2008).

Para obtener el caudal de conducción, necesitamos calcular primero la intensidad de la precipitación.

La intensidad de la precipitación ( $I_p$ ) es la relación de la precipitación máxima registrada entre el tiempo de duración de la precipitación. La cual se calcula por medio de la siguiente ecuación (Garduño y Martínez 2008):

$$I_p = \frac{Pr}{t} \quad (5.12)$$

Donde:

$Pr$  = la precipitación máxima registrada [mm/hr]

$t$  = tiempo de duración de la precipitación [hr].

En un área de captación el tiempo de concentración es un parámetro fundamental en el estudio hidrológico de una cuenca y áreas de escurrimiento con pendiente, dicho tiempo de concentración se define como el tiempo que tarda una gota de agua en viajar desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida de esta. Dicho tiempo, se calcula mediante la fórmula (Aguilar 2009):

$$t_c = t_{CS} + t_t \quad (5.13)$$

Donde:

$t_c$  = tiempo de concentración [s]

$t_{cS}$  = tiempo de concentración sobre la superficie [s]

$t_t$  = tiempo de traslado a través de los colectores [s]

Para estimar el tiempo de concentración a través de la superficie, se utiliza la ecuación propuesta por Kirpich (Garduño y Martínez 2008):

$$t_c = 0.000325 \left( \frac{L^{0.77}}{S^{0.835}} \right) \quad (5.14)$$

Donde:

$S$  = pendiente media del colector principal.

$L$  = longitud del área de captación [m].

$t_c$  = tiempo de concentración sobre la superficie [hr].

Para el Método Racional Americano<sup>5</sup> se considera que la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración (CEA 2010):

$$d = tc \quad (5.15)$$

Donde:

$d$  = duración de la lluvia [min].

$tc$  = tiempo de concentración [min].

El caudal de conducción se obtiene con la siguiente expresión (NORMDF12):

$$Q_p = 2.778 \times Ce \times Ip \times Ac \quad (5.16)$$

Donde:

$Q_p$  = caudal de conducción [lt/s].

$Ce$  = coeficiente de escurrimiento.

$Ip$  = intensidad de la precipitación [mm/hr].

$Ac$  = Área de captación [ha].

---

<sup>5</sup> Método Racional Americano: Método para determinar el escurrimiento, este modelo toma en cuenta, además del área de estudio, la altura o intensidad de la precipitación de intensidad de lluvia (Aguilar 2009). (Véase anexo I)

Las canaletas para conducción y colección, son accesorios necesarios para coleccionar y conducir los escurrimientos pluviales a un sistema de almacenamiento, sus dimensiones están en función de la duración de la precipitación, tiempo de concentración del agua, la longitud del área de paso y de su pendiente (Garduño y Martínez 2008).

Para el diseño de canaletas de conducción se debe seleccionar la geometría que debe tener el área de la sección transversal, en el cuadro siguiente se muestran las expresiones para determinar las dimensiones según la forma de algunas secciones usadas como canaletas.

Tabla 5.2 Altura, Área hidráulica, Perímetro mojado y Radio hidráulico en secciones para coleccionar el agua de lluvia (Garduño y Martínez 2008).

Forma	Altura tirante	Área hidráulica	Perímetro mojado	Radio hidráulico	Observaciones
<b>Circular</b>	0.5d	$1.57r^2$	3.14r	0.500r	d= diámetro r=radio
<b>Rectangular</b>	h	bh	b+2h	$\frac{bh}{b+2h}$	b=base h=tirante
<b>Triángulo 90°</b>	h	$h^2$	2.83h	$\frac{h}{2.83}$	
<b>Trapezoidal talud <math>\alpha^\circ</math> con la horizontal</b>	$h = \sqrt{\frac{A \times \cos\alpha}{2 - \text{sen}\alpha}}$			$h \left( \frac{b + h/\sqrt{3}}{b + 4h/\sqrt{3}} \right)$	b=ancho h=tirante

El diámetro de la tubería se determina por medio de la siguiente expresión (Garduño y Martínez 2008):

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{Q_p}{\pi v}} \quad (5.17)$$

Donde:

$D$ =diámetro [m]

$Q_p$ = caudal de conducción [ $m^3/s$ ].

$v$ = velocidad media [m/s].

$\pi$ = 3.1416



Tabla 5.3 Velocidades máximas y mínimas permisibles en tuberías (CEA 2010).

Material de la tubería	Velocidad (m/s)	
	Máxima	Mínima
Concreto simple hasta 45 cm. De diámetro	3.00	0.30
Concreto reforzado a partir de 60 cm. De diámetro	3.50	0.30
Acero con revestimiento	5.00	0.30
Acero sin revestimiento	5.00	0.30
Acero galvanizado	5.00	0.30
Asbesto cemento	5.00	0.30
Hierro fundido	5.00	0.30
Hierro dúctil	5.00	0.30
PEAD (Polietileno de Alta Densidad)	5.00	0.30
PVC (Policloruro de Vinilo)	5.00	0.30

### 5.1.11.-Diseño del sistema de tratamiento de agua pluvial

El agua de lluvia, una vez captada, debe tratarse mediante algún sistema de potabilización o purificación para obtener una calidad de agua apta para el uso y consumo humano. El diseño está en función de un estudio físico y químico del agua de lluvia captada en la zona de estudio. En seguida se presentan los parámetros, sus unidades permisibles y el tipo de tratamiento para cumplir con la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, los parámetros se muestran en la tabla 5.4 Y 5.5 (Garduño y Martínez 2008).

Tabla 5.4 Límites permisibles de calidad del agua (NOM-127)

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
<b>Límites permisibles de características microbiológicas..</b>	
<b>Organismos Coliformes totales</b>	Ausencia
<b>E. coli</b>	Ausencia
<b>Límites permisibles de características físicas y organolépticas.</b>	
<b>Color</b>	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
<b>Olor y Sabor</b>	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
<b>Turbiedad</b>	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.
<b>Límites permisibles de características químicas.</b>	
<b>Aluminio</b>	0.20
<b>Arsénico</b>	0.01
<b>Bario</b>	0.70

<b>Cadmio</b>	0.005
<b>Cianuros (como CN-)</b>	0.07
<b>Cloro residual libre</b>	0.2-1.00
<b>Cloruros (como Cl-)</b>	250.00
<b>Cobre</b>	2.00
<b>Cromo total</b>	0.05
<b>Dureza total (como CaCO3)</b>	500.00
<b>Fenoles o compuestos fenólicos</b>	0.001
<b>Fierro</b>	0.30
<b>Fluoruros (como F-)</b>	1.50
<b>Manganeso</b>	0.15
<b>Mercurio</b>	0.001
<b>Nitratos (como N)</b>	10.00
<b>Nitritos (como N)</b>	0.05
<b>Nitrógeno amoniacal (como N)</b>	0.50
<b>pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH</b>	6.5-8.5
<b>Aldrín y dieldrín separados o combinados)</b>	0.03
<b>Clordano (total de isómeros)</b>	0.20
<b>DDT (total de isómeros)</b>	1.00
<b>Gamma-HCH (lindano)</b>	2.00
<b>Hexaclorobenceno</b>	1.00
<b>Heptacloro y epóxido de heptacloro</b>	0.03
<b>Metoxicloro</b>	20.00
<b>2,4-D</b>	30.00
<b>Plomo</b>	0.01
<b>Sodio</b>	200.00
<b>Sólidos disueltos totales</b>	1000.00
<b>sulfatos (como SO4=)</b>	400.00
<b>Substancias activas al azul del metileno (SAAM)</b>	0.50
<b>Trihalometanos totales</b>	0.20
<b>Zinc</b>	5.00

- **Tratamientos para la potabilización del agua**

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe fundamentarse en estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad. Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes a los que resulten de las pruebas de tratabilidad, cuando los contaminantes biológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua enlistados a continuación, excedan los límites permisibles establecidos en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-199

Tabla 5.5 Tratamientos para la potabilización del agua

CONTENIDO	TRATAMIENTO
<b>Contaminación biológica: Bacterias, helmintos, protozoarios y virus</b>	Desinfección con cloro, compuestos de cloro, yodo, ozono, luz ultravioleta o plata coloidal.
<b>Características físicas y organolépticas: color, olor, sabor y turbiedad.</b>	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos; adsorción en carbón activado
<b>Constituyentes químico: Arsénico</b>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, intercambio iónico u ósmosis inversa.
<b>Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo</b>	Coagulación-floculación, sedimentación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos. inter-cambio iónico u ósmosis inversa
<b>Cloruros</b>	Intercambio iónico, ósmosis inversa o destilación
<b>Dureza.</b>	Ablandamiento químico o intercambio iónico
<b>Fenoles o compuestos fenólicos</b>	Oxidación-coagulación-floculación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos; adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.
<b>Hierro y/o manganeso</b>	Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa
<b>Fluoruros</b>	Intercambio iónico u ósmosis inversa.
<b>Materia orgánica</b>	Filtración o adsorción en carbón activado.
<b>Mercurio</b>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado granular u ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l. Adsorción en carbón activado en polvo cuando la fuente contenga más de 10 microgramos/l.
<b>Nitratos y nitritos</b>	Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación, filtración cualquiera o la combinación de ellos
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desorción en columna.
<b>pH (potencial de hidrógeno)</b>	Neutralización.
<b>Plaguicidas</b>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos; adsorción en carbón activado granular.
<b>Sodio.</b>	Intercambio iónico
<b>Sólidos disueltos totales</b>	Coagulación-floculación-sedimentación-

	filtración y/o intercambio iónico.
<b>Sulfatos</b>	Intercambio iónico u ósmosis inversa.
<b>Substancias activas al azul de metileno</b>	Adsorción en carbón activado
<b>Trihalometano</b>	Oxidación con aireación u ozono y adsorción en carbón activado granular.
<b>Zinc</b>	Destilación o intercambio iónico.

### 5.1.12.-Diseño del sistema de bombeo del agua almacenada al tinaco o toma principal

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

A continuación se presentarán los términos hidráulicos para estimar la potencia hidráulica de la bomba y extraer el agua almacenada.

**Espejo de agua.** Superficie en reposo del agua dentro de la cisterna, pozo o noria.

**Nivel estático:** Profundidad a la que se ve el espejo de agua en estado estacionario (cuando no hay extracción de agua). Es la distancia que hay desde el nivel de la superficie al espejo del agua. Está representado por **B** y se mide en metros [m].

**Nivel dinámico.** Profundidad a la que se ve el espejo de agua en el proceso de bombeo (durante la extracción). Es la distancia que hay desde el nivel de superficie al espejo de agua durante el proceso de bombeo, se mide en metros [m].

**Nivel de descarga.** Altura a la que hay que llevar el agua. Distancia que hay desde la superficie hasta el borde superior del tanque de almacenamiento. Está representado por **A** y se mide en metros [m].

**Profundidad de abatimiento.** Diferencia de distancia entre el nivel estático y el dinámico. Está representado por **C**, se mide en metros [m]. (ver figura 5.1) (Garduño y Martínez 2008).

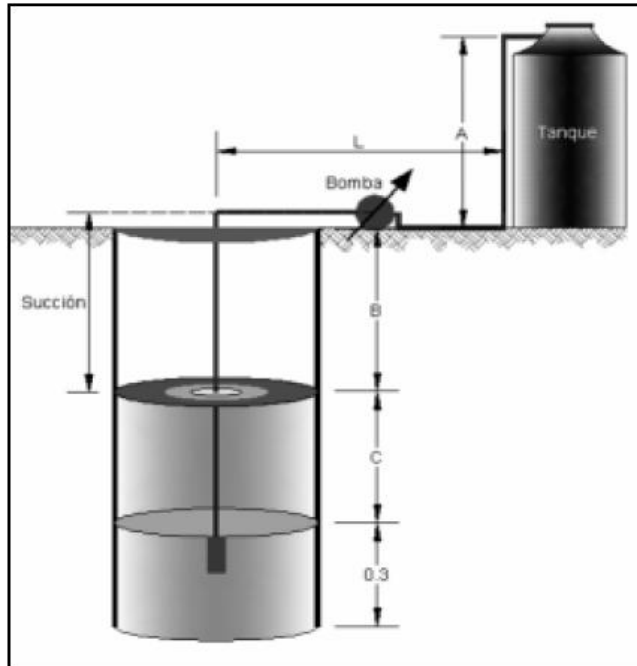


Figura 5.2 Diagrama de bombeo de agua almacenada (Garduño y Martínez 2008).

**Altura de fricción.** Distancia adicional que hay que agregar debido a la fuerza de fricción que oponen las paredes de la tubería, conexiones y válvulas, para el flujo de agua.

**Profundidad de succión.** Es la distancia que hay desde el centro de una bomba superficial al espejo de agua, se mide en metros [m].

Los parámetros hidráulicos referidos a los términos anteriores están basados en el concepto físico asociado al trabajo que se tiene que realizar, para un volumen de agua determinado a cierta altura, en contra de la fuerza de atracción gravitacional. En hidráulica, a la fuerza que hay que realizar para efectuar este trabajo, se le llama carga hidráulica.

**Carga estática.** Es la distancia a la que hay que llevar el agua desde el nivel estático hasta el nivel de descarga (A+B).

**Carga dinámica o de fricción.** Carga adicional que aparece cuando el agua se desplaza dentro de la tubería, en toda su longitud, a un gasto dado, se simboliza por CF, también se mide en metros [m]. Su cuantificación depende de factores físicos como el tipo de tubería, longitud y el gasto que circula por ella.

**Carga dinámica total.** Es la carga hidráulica total en el proceso de bombeo, se simboliza por CDT, la cual se calcula con la ecuación 5.19 (Garduño y Martínez 2008).

$$CDT = (A + B) + CF \quad (5.19)$$

$CDT = \text{Carga dinámica total [m]}$

$A$  = Nivel de descarga  
 $B$  = Nivel estatico  
 $C$  = Profundidad de abatimiento  
 $CF$  = Carga dinamica o de fricción

**Potencia hidráulica (PH).** Es la fuerza que debe tener la bomba para realizar dicho trabajo, en watts y está dada por la expresión 5.20 (Garduño y Martínez 2008):

$$PH = 9.8 \times Q \times CDT \quad (5.20)$$

Donde:

$9.8$  = aceleración de la gravedad [ $m/s^2$ ].

$Q$  = gasto o caudal [ $m^3/s$ ].

$CDT$  = carga dinámica total [m]

*Factor de conversion: 1 HP = 746 watts*

Para calcular la potencia de la bomba se pueden considerar pérdidas de carga debido a la fricción en las tuberías, las cuales se obtienen con la ecuación de Darcy – Weisbach (NORMDF12):

$$h_L = f \frac{LV^2}{D2g} \quad (5.21)$$

Donde:

$D$  = diámetro de tubería [m].

$L$  = longitud del tubo [m].

$h_L$  = pérdida por fricción [m].

$f$  = es el factor de fricción (adimensional).

$g$  = aceleración de la gravedad [ $m/s^2$ ].

$V$  = velocidad media [m/s].

Se puede determinar el diámetro considerando las pérdidas de carga con las deducciones de Swamee y Jain, para flujos en tuberías, como sigue (Cengel y Cimbba 2006):

$$D = 0.66 \left[ \varepsilon^{1.25} \left( \frac{LQ_c^2}{gh_L} \right) + vQ_c^{9.4} \left( \frac{L}{gh_L} \right)^{5.2} \right]^{0.04} \quad (5.22)$$

Donde:

$Q_c$  = caudal de conducción [lps].

$D$  = diámetro de tubería [m].

$L$  = longitud del tubo [m].

$h_L$  = pérdida por fricción [m].

$v$  = velocidad media [m/s].

$g$  = aceleración de la gravedad [ $m/s^2$ ].

$\mathcal{E}$  = rugosidad de la tubería [m].

En la siguiente tabla se muestran valores de rugosidad ( $\epsilon$ ) para diferentes tipos de tubería según el material del cual se fabrican.

Tabla 5.6.- Valores de rugosidad ( $\epsilon$ ) para distintos materiales (Cengel y Cimbala 2006 ).

Material	Rugosidad $\epsilon$ [mm]
Vidrio, plástico	0 (liso)
Concreto	0.9
Duela de madera	0.5
Hule alisado	0.01
Tubería de cobre o latón	0.0015
Hierro fundido	0.26
Hierro galvanizado	0.15
Hierro forjado	0.046
Acero inoxidable	0.002
Acero comercial	0.045

## 5.2.- Diseño de un sistema de captación de agua pluvial para la Facultad de Ingeniería.

Basados en la metodología propuesta en el punto anterior, se realizara el diseño de un sistema de captación de agua pluvial para la Facultad de Ingeniería. Este sistema captara el agua de lluvia para usos posteriores tales como riego y sanitarios del edificio, permitiendo así un ahorro en el consumo de agua potable para la Facultad de Ingeniería.

### 5.2.1.- Localización del sitio para establecer el sistema

El edificio que se eligió para la localización del sistema de captación de agua pluvial es el Edificio J del conjunto sur de la Facultad Ingeniería (Anexo). Se eligió este edificio por que cuenta con una mayor área de captación en comparación con los demás, así como la disponibilidad que existe alrededor del edificio para la colocación del sistema de almacenamiento de agua pluvial.

### 5.2.2.- Definición del uso del agua pluvial captada

Se propone que el agua captada sea usada exclusivamente para sanitarios, ya que para consumo humano se requieren tratamientos de purificación, los cuales requieren de un análisis más detallado de las condiciones físico-químicas y toxicológicas del agua pluvial captada.

### 5.2.3.- Precipitación en la zona

Como se mencionó en el punto 5.1.3 se deben conocer los datos de precipitación en la zona de los últimos 10 o 15 años. En este caso, no se tienen datos históricos de precipitación mensual en la delegación Coyoacán, que es donde se encuentra ubicada Ciudad Universitaria. Por ello se utilizaran los datos de precipitación promedio mensual del Distrito Federal del periodo comprendido de 1971-2000, que son los datos más actuales proporcionados por CONAGUA.

En la tabla 5.7 se muestran los datos de Precipitación pluvial normal mensual en el Distrito Federal, en el periodo 1971-2000 (milímetros) tomados de la tabla 1.4.

Tabla 5.7 Precipitación pluvial mensual en el Distrito Federal, en el periodo 1971-2000 (milímetros)

Entidad Federativa	Ene	Feb	Mar	Abr	Ma y	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<b>Distrito Federal</b>	9	7	12	28	65	156	178	175	146	68	12	7	863



### 5.2.4.- Tipo de material de la superficie de captación

El edificio J de la Facultad de Ingeniería cuenta con una superficie de captación hecha de concreto, de acuerdo con la tabla 5.1 el coeficiente de escurrimiento o escorrentía debe tener un valor entre 0.75 – 0.95.

### 5.2.5.- Determinación del área disponible para la captación de agua pluvial.

Las dimensiones para el área de captación con las que cuenta el edificio J se muestran en la figura 5.3, la zona de captación está dividida en dos áreas: A1 y A2.

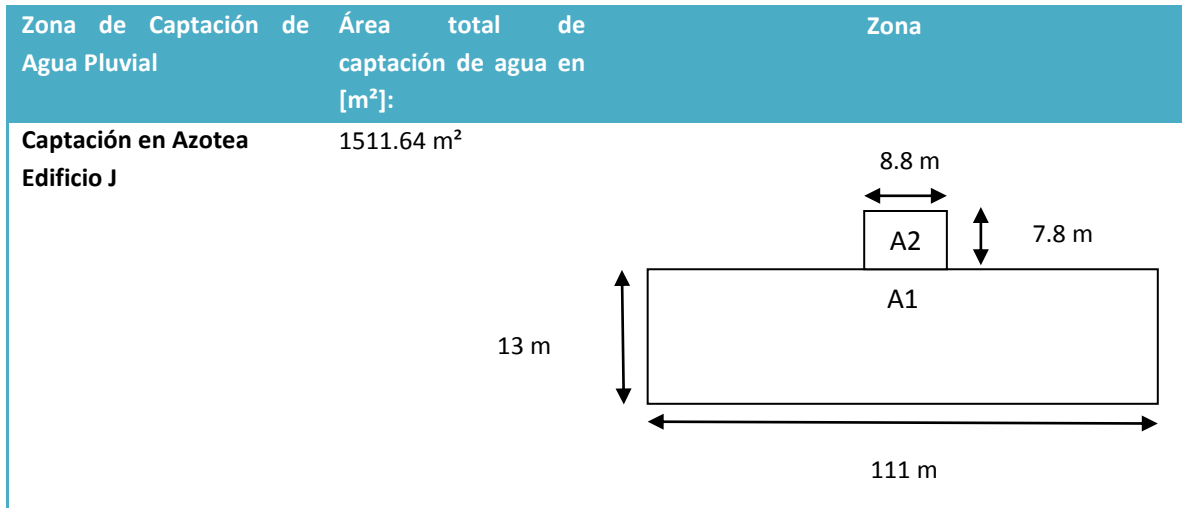


Figura 5.3.- Dimensiones del área de captación en el edificio J de la Facultad de Ingeniería.

En la figura 5.3 se observan las áreas que conforman el techo del edificio J, a partir de la ecuación 5.3 se pueden calcular las áreas de la siguiente forma:

Para el Área 1 se tiene que:

$$a = 13 \text{ [m]}$$

$$b = 111 \text{ [m]}$$

$$A_1 = 13(m) \times 111(m) = 1443m^2$$

Por lo tanto:

$$A_1 = 1443 \text{ [m}^2\text{]}$$

Para el Área 2 se tiene que:

$$a = 7.8 \text{ [m]}$$

$$b = 8.8 \text{ [m]}$$

$$A_2 = 7.8(m) \times 8.8(m) = 68.64m^2$$

Por lo tanto:

$$A_2 = 68.64 [m^2]$$

Por lo tanto el área total de captación en el edificio J es:

$$A_T = A_1 + A_2 = 1511.64 m^2$$

### 5.2.6.- Determinación del abastecimiento de agua

Con el área de captación calculada de  $1511.64 m^2$ , el coeficiente de escorrentía y tomando en cuenta los datos de Precipitación pluvial normal mensual en el Distrito Federal, se procede a determinar el abastecimiento de agua correspondiente a cada mes y su acumulado comenzando por el mes de mayor precipitación pluvial.

Utilizando las fórmulas 5.4 y 5.5 se obtiene la tabla 5.8:

Tabla5.8.- Valores de abastecimiento mensual y abastecimiento acumulado mensual de agua pluvial.

# de días*	MES	PRECIPITACION [mm]	ABASTECIMIENTO PARCIAL [m <sup>3</sup> ]	ABASTECIMIENTO ACUMULADO [m <sup>3</sup> ]
0	Julio	178	255.618324	255.618324
17	Agosto	175	251.31015	506.928474
20	Septiembre	146	209.664468	716.592942
21	Octubre	68	97.651944	814.244886
18	Noviembre	12	17.232696	831.477582
13	Diciembre	7	10.052406	841.529988
1	Enero	9	12.924522	854.45451
19	Febrero	7	10.052406	864.506916
19	Marzo	12	17.232696	881.739612
20	Abril	28	40.209624	921.949236
20	Mayo	65	93.34377	1015.293006

\*Nota: el número de días que se consideraron para cada mes del año, incluyen solo los días hábiles en los cuales el edificio se encuentra disponible para los alumnos, según el calendario escolar de los semestres 2010-2 y 2011-1 de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

De la tabla anterior se puede observar que la oferta de agua que brinda el área del techo del edificio J a lo largo año es de 1,239.318 [m<sup>3</sup>].

### 5.2.7.-Determinación de la dotación de agua

Ahora bien, para obtener la dotación de agua diaria para cada uno de los alumnos se necesita saber el número de alumnos que en promedio hacen uso de los sanitarios del Edificio J, para ello se realizó un muestreo<sup>6</sup>.

Para dicho muestreo se considero el comportamiento como una distribución normal<sup>7</sup>. Se obtuvo el número de muestras que se requieren tomar por medio de la ecuación 5.23 (Cuesta y Herrero 2006).

$$n = \frac{z^2 \times P \times Q \times N}{[(N-1) \times E^2] + z^2 \times P \times Q} \quad (5.23)$$

Donde:

$n$ = número de muestras de la población.

$Z$ = intervalo de confianza (se obtiene de las tabla de distribución normal estandar).

$P$ =probabilidad de que ocurra un evento.

$Q$ = probabilidad de que no ocurra el evento.

$E$ = error muestral.

$N$ = población.

Donde:

---

<sup>6</sup> Muestreo: Es un procedimiento por medio del cual se estudia una parte de la población llamada muestra, con el objetivo de inferir con respecto a toda la población (Aceituno 2006).

<sup>7</sup> Distribución normal: Distribución normal: Es una distribución continua (no discreta). Se utiliza para reflejar la distribución de variables tales como pesos, estaturas, pesos, distancias, etc. (Véase Anexo II)

$Z = 1.04$  (véase tabla de distribución normal para una probabilidad de 0.8508 en Anexo III)

$$P = 0.5$$

$$Q = 0.5$$

$$N = 178$$

$$E = 0.15 = 15\%$$

Aplicando la ecuación anterior se tiene que:

$$n = \frac{1.04^2 \times 0.5 \times 0.5 \times 178}{[(178 - 1) \times 0.15^2] + 1.04^2 \times 0.5 \times 0.5} = 11.31 \text{ muestras}$$

Con el número de muestras anteriormente obtenido, se realizó el muestreo durante 12 días en los sanitarios del Edificio J para contabilizar el número de alumnos que ingresaron a los sanitarios, incluidos mujeres y hombres.

Tabla 5.9 Numero de alumnos que ingresaron a los sanitarios por día.

Día	Número de alumnos que ingresaron a los sanitarios
Lunes	1,459
Martes	1,460
Miércoles	1,443
Jueves	1,458
Viernes	1,312
Lunes	1,453
Martes	1,463
Miércoles	1,465
Jueves	1,467
Viernes	1,292

<b>Lunes</b>	<b>1,445</b>
<b>Martes</b>	<b>1,464</b>
<b>Suma</b>	<b>17,181</b>
<b>Promedio</b>	<b>1,431.75</b>

De la tabla anterior se puede observar que el número de alumnos promedio que ingresan a los sanitarios diariamente es de 1,432 alum/día.

Por lo tanto, se tiene que la dotación diaria de agua para cada uno de los alumnos que ingresan en promedio a los sanitarios del edificio J es:

$$Dot = \frac{(1239.318 m^3) \times \left(\frac{1000 lt}{m^3}\right)}{178días \times 1432alumnos} = 4.86 \text{ litros/alum} - \text{día}$$

### 5.2.8.- Determinación de la demanda de agua

A partir de la dotación calculada por persona, con la ecuación 5.6 se calcula la cantidad de agua que se necesita para atender a los alumnos en cada uno de los meses. Además, teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual; con la ecuación 5.9, se calcula el acumulado de cada uno de ellos, mes a mes encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.10.- Valores de demanda mensual y demandad acumulada mensual de agua pluvial.

# de días	MES	PRECIPITACION [mm]	ABASTECIMIENTO PARCIAL [m3]	ABASTECIMIENTO ACUMULADO [m3]	DEMANDA PARCIAL[m3]	DEMANDA ACUMULADA[m3]
0	Julio	178	255.618324	255.618324	0	0
17	Agosto	175	251.31015	506.928474	118.3618366	118.3618366
20	Septiembre	146	209.664468	716.592942	139.2492196	257.6110562
21	Octubre	68	97.651944	814.244886	146.2116805	403.8227367
18	Noviembre	12	17.232696	831.477582	125.3242976	529.1470343
13	Diciembre	7	10.052406	841.529988	90.51199271	619.659027
1	Enero	9	12.924522	854.45451	6.962460978	626.621488
19	Febrero	7	10.052406	864.506916	132.2867586	758.9082466
19	Marzo	12	17.232696	881.739612	132.2867586	891.1950051
20	Abril	28	40.209624	921.949236	139.2492196	1030.444225
20	Mayo	65	93.34377	1015.293006	139.2492196	1169.693444

10	Junio	156	224.025048	1239.318054	69.62460978	1239.318054
----	-------	-----	------------	-------------	-------------	-------------

### 5.2.9.- Determinación del volumen del sistema de almacenamiento

Para calcular el volumen del sistema de almacenamiento se calculan las diferencias acumulativas del abastecimiento y la demanda según la ecuación 5.10. El volumen del sistema de almacenamiento corresponderá al mayor valor de diferencia acumulativa entre el abastecimiento y la demanda como se muestra en la tabla 5.11.

Tabla 5.11.- Valores calculados de diferencia entre el abastecimiento acumulado y demanda acumulada.

# de días	MES	PRECIPITACION [mm]	ABASTECIMIENTO PARCIAL [m3]	ABASTECIMIENTO ACUMULADO [m3]	DEMANDA PARCIAL[m3]	DEMANDA ACUMULADA[m3]	DIFERENCIA [m3]
0	Julio	178	255.618324	255.618324	0	0	255.618324
17	Agosto	175	251.31015	506.928474	118.3618366	118.3618366	388.5666374
20	Septiembre	146	209.664468	716.592942	139.2492196	257.6110562	<b>458.9818858</b>
21	Octubre	68	97.651944	814.244886	146.2116805	403.8227367	410.4221493
18	Noviembre	12	17.232696	831.477582	125.3242976	529.1470343	302.3305477
13	Diciembre	7	10.052406	841.529988	90.51199271	619.659027	221.870961
1	Enero	9	12.924522	854.45451	6.962460978	626.621488	227.833022
19	Febrero	7	10.052406	864.506916	132.2867586	758.9082466	105.5986694
19	Marzo	12	17.232696	881.739612	132.2867586	891.1950051	-9.455393124
20	Abril	28	40.209624	921.949236	139.2492196	1030.444225	-108.4949887
20	Mayo	65	93.34377	1015.293006	139.2492196	1169.693444	-154.4004382
10	Junio	156	224.025048	1239.318054	69.62460978	1239.318054	0

De la tabla anterior se observa que el mayor valor de diferencia acumulativa entre el abastecimiento y la demanda corresponde a 458.98 m<sup>3</sup>, por lo tanto el volumen del sistema de almacenamiento debe ser de 459 m<sup>3</sup>. Los valores de diferencias negativas obtenidos en los meses de marzo a mayo nos indican que no habría agua para abastecer la demanda de los alumnos. En dichos meses se podría dar mantenimiento al sistema.

### 5.2.10.-Diseño del sistema de conducción del agua captada

Como se menciona anteriormente, para obtener el caudal de conducción, necesitamos calcular primero la intensidad de la precipitación.

El sitio donde se ubicará el (SCALL) es la delegación Coyoacán ubicada en el Distrito Federal el cual, cuenta con su propia fórmula para calcular las intensidades de lluvia. Abarca no solo el D.F. sino parte del estado de México (Aguilar 2009).

En este caso, la intensidad de lluvia se podrá calcular a partir de la ecuación 5.24 (NOMDF12).

$$I_p = \frac{60 \times hp}{tc} \quad (5.24)$$

Donde:

$I_p$  = Intensidad de precipitación [mm/hr]

$hp$  = Altura de precipitación media para un periodo de retorno ( $Tr$ ) y una duración ( $d$ ).

$tc$  = tiempo de concentración [min].

El periodo de retorno<sup>8</sup> y la duración de la tormenta se determinan de acuerdo al sitio de localización del SCALL. Para determinar la intensidad se debe obtener el valor de la altura de la precipitación ( $hp$ ), por medio de la ecuación 5.25 (Aguilar 2009).

$$hp(Tr, d) = HpBase \times Frt \times FD \times FA \quad (5.25)$$

Donde:

$Hp(Base)$  = Lluvia media base, asociada a un periodo de retorno y duración de la precipitación y se obtiene de la figura 5.4.

$Frt$  = Factor de ajuste por periodo de retorno, se obtiene de la figura 5.5

$FD$  = Factor de ajuste por duración, se obtiene de la figura 5.6 en minutos.

$FA$  = Factor de ajuste por área, igual a 1 para áreas menores a 10 km<sup>2</sup>.

Los periodos de retorno se determinan de manera que cubran las necesidades de diseño de las estructuras hidráulicas, en la tabla 5.12 se muestran los años estimados, las cuales utilizan las lluvias máximas en 24 horas (Aguilar 2009).

Tabla 5.12.- Periodos de retorno según el tipo de obra a diseñar (Aguilar 2009).

Tipo de obra	Tr (años)
Alcantarillas en caminos secundarios, drenaje de lluvia o contra-cunetas	5 a 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde pueden tolerarse encharcamientos causados por lluvias de corta duración.	1 a 2
Drenaje de aeropuerto	5
Drenaje urbano	2 a 10

El periodo de retorno y la duración de la tormenta se determinan de acuerdo a la zona donde se ubicara el sistema de captación de agua de lluvia. En la figura 5.4 se muestra el mapa de isoyetas<sup>9</sup> correspondiente a la ubicación de Ciudad Universitaria.

<sup>8</sup> Periodo de retorno: Termino que se refiere al reciproco de la probabilidad de que un evento sea igualado o superado en un año cualquiera (NOMDF 12).

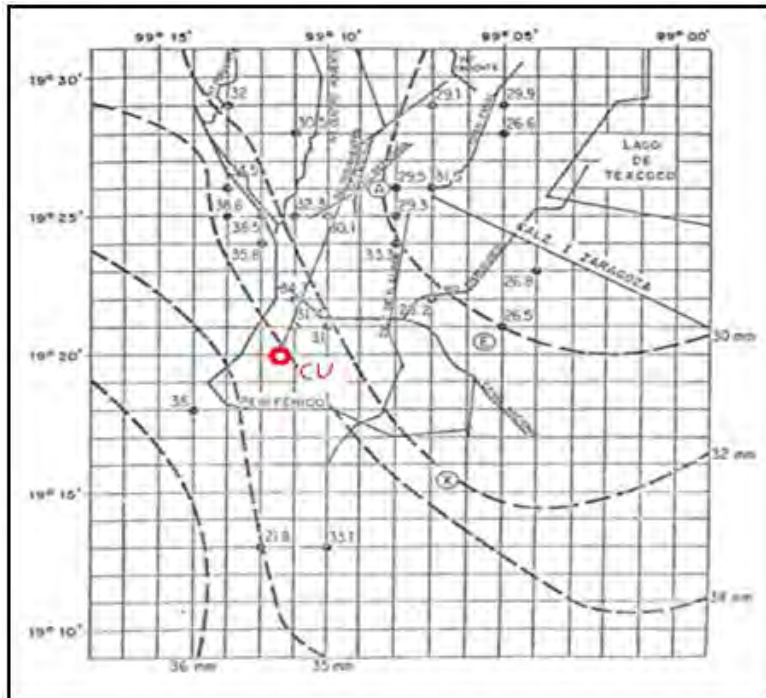


Figura 5.4.- Mapa de Isoyetas para d=30min y Tr=5 años (Aguilar 2009).

A continuación, se presentan las figuras de las cuales se pueden obtener los factores de ajuste por periodo de retorno y por duración de la precipitación.

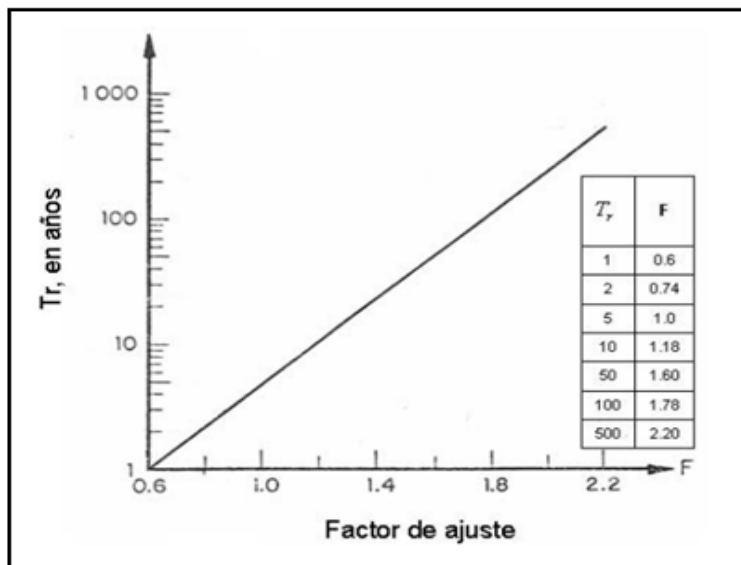


Figura 5.5.- Factor de ajuste en años (Aguilar 2009).

<sup>9</sup> Isoyetas: Es una línea trazada sobre un mapa sinóptico con la que se unen puntos (representación de una estación meteorológica), donde se registra igual cantidad de precipitación (CONAGUA 2010).



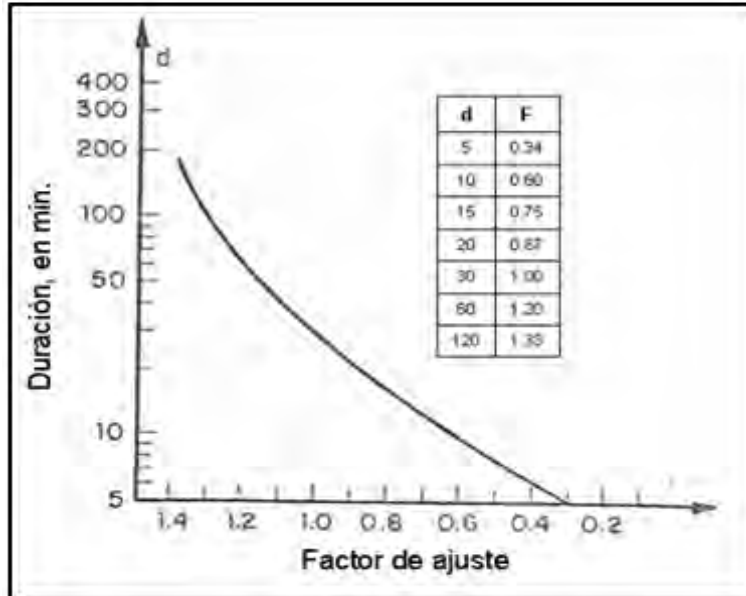


Figura 5.6.- Factor de ajuste por minuto (Aguilar 2009).

Como se mencionó anteriormente, con la fórmula del Distrito Federal se calcula la intensidad de lluvia. Por el tipo de obra el tiempo de retorno es de 5 años como se indica en la tabla 5.11 y con la ubicación del sistema en el plano de isoyetas (duración 30 min), se inicia el cálculo de intensidad de lluvia.

Por otro lado, para la variable ( $h_p$ ) que se obtiene con la ecuación 5.25.  $h_p(\text{Base})$  se obtiene al localizar en el plano de isoyetas el lugar del sistema figura 5.4, el factor de tiempo de retorno y el de duración se obtienen de las figuras 5.5 y 5.6, respectivamente obteniéndose un valor de 1 en ambos casos, mientras que el factor de área es igual a 1 por ser el área del proyecto menor a  $10 \text{ km}^2$ .

Al sustituir dichos valores en la ecuación 5.25 se tiene lo siguiente:

$$h_p(5,30) = 34\text{mm} \times 1 \times 1 \times 1 = 34\text{mm}$$

Al sustituir  $h_p$  en la ecuación 5.24 se obtiene que:

$$I_p = \frac{60 \times 34}{30} = 68 \text{ mm/hr}$$

Del cálculo anterior se puede observar que el valor de la intensidad de lluvia es de  $68 \text{ mm/hr}$ .

Para calcular el gasto o caudal de escurrimiento en la azotea del edificio J, se emplea la formula 5.16 del método racional americano, sustituyendo el coeficiente de escurrimiento, la intensidad de la lluvia calculada anteriormente y el área de captación tenemos que:

$$Q_p = 2.778 \times 0.95 \times 68 \text{ (mm/hr)} \times 0.15 \text{ (ha)} = 26.92 \text{ lt/s}$$

Al cambiar las unidades de dicho gasto a m<sup>3</sup>/s. El resultado es:

$$26.92 \text{ (tl/s)} \times (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ lt}) = 0.02692 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Para el caso del edificio J no será necesario diseñar canaletas de conducción para el agua pluvial captada, ya que el techo del edificio J cuenta con pendientes, las cuales llevan el agua a orificios conectados con tubos de 11 cm de diámetro para desalojar el agua de la superficie del techo.

El diámetro de la tubería del sistema de conducción al sistema de almacenamiento, se calcula con la ecuación (5-17), teniendo en cuenta el gasto calculado y la velocidad para tubería de PVC tomada de la tabla 5.3 se tiene que:

$$Q_p = 0.02692 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$v = 5 \text{ m/s}$$

$$\pi = 3.1416$$

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{0.02692 \text{ m}^3 / \text{s}}{3.1416 \times 5 \text{ m/s}}} \quad (5.17)$$

$$D = 0.083 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 8.3 \text{ cm}$$

Por lo tanto, se observa que la tubería instalada en el edificio J es adecuada para conducir el agua al sistema de almacenamiento.

### 5.2.11.-Diseño del sistema de tratamiento de agua pluvial.

Como se menciono anteriormente para diseñar el sistema de tratamiento de agua pluvial se necesitan conocer las características Físicas, Químicas y Microbiológicas. Pocos son los estudios que se han realizado de los contaminantes que existen en el agua. Uno de los estudios que se han realizado acerca de las características del agua pluvial, además de su comparación con la norma se

muestra en la tabla 5.13 el cual se realizó en los meses de mayor precipitación pluvial en el Municipio de Nezahualcóyotl:

Tabla 5.13.- Características del agua pluvial captada en los meses lluviosos en el Municipio de Nezahualcóyotl y su comparación con la norma NOM-127-SSA1-1996 vigente (Aguilar 2009)

PARAMETRO	AGUA PLUVIAL				NOM-127-SSA1-1996		
	MESES						
	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE			
Turbiedad (UTN)	2	1	0	1	5 (UTN)		
Temperatura (°C)	23	23	23	23			
Conductividad (mS/cm)	87.7	99	35	113			
F I S I C A S	Sólidos totales (ST) en mg/L	328	242	234	184		
	Sólidos totales volátiles (SVT) en mg/L	80	72	68	40		
	Sólidos fijos totales (SFT) (mg/L)	248	170	166	144		
	Sólidos suspendidos totales (SST) en mg/L	156	216	190	166		
	Sales disueltas totales (SDT) en mg/L	172	26	44	18		
	Sólidos sedimentables (ml/L)	2.5	0.8	1	2		
	Demanda Química de oxígeno (DQB) en mgO <sub>2</sub> /L	41.14	28.22	27.42	14.11		
	Q U I M I C A S	Aluminio (Al) mg/L	0.002	0.176	0	0.14	0.20
		Cobre (Cu) mg/L	0.06	0.115	0.03	0.03	2.00
		Zinc (Zn) mg/L	0.06	0.07	0.015	0.00	5.00
Hierro (Fe) mg/L		0.03	0.08	0.04	0.07	0.30	
Nitrógeno amoniacal (como N) mg/L		0	0	0	0	0.50	
Dureza (CaCO <sub>3</sub> ) mg/L		3	14	0	22	500.00	
Sulfato (SO <sub>4</sub> ) mg/L		5	15	3	5	400.00	
Fosfato (PO <sub>4</sub> ) mg/L		5.2	7	14	8.7		
ph	7.25	6.45	6.55	6.50			
<b>Microbiológicos</b>							
Coliformes totales (NMP100m/L)	Presencia				2 NMP/100 ml 2 UFC/100 ml		
Coliformes fecales (NMP100m/L)	Presencia				No detectable		

Tomando en cuenta los resultados de la tabla 5.12 y la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, proponemos el siguiente tratamiento de agua pluvial, para el agua captada en la

superficie del Edificio J de la Facultad de ingeniería, la cual como ya se definió en el punto 5.2.2 se propone que sea utilizada en los sanitarios del edificio.

- Filtración

Se propone colocar rejillas en los orificios conectados a los tubos, con el fin de evitar el paso de basura, sólidos y hojas, además de la obstrucción del flujo en la tubería de conducción; así mismo, realizar en los techos labores de limpieza a inicio de la época de lluvias.

Posteriormente al agua será conducida al filtro Speedy o tamiz de 100  $\mu$  (micras)(Figura 5.7), el cual cuenta siguientes funciones y ventajas:

- Filtración real de sólidos, sedimentos, tierra, lodo y arcilla
- Su tamaño es de 25cm x 10 cm
- No tiene gastos de mantenimiento
- El suministro de agua es ininterrumpido
- Canal de aspiración con escobillas de limpieza
- Sin cambio de cartucho
- No desperdicia agua en los retro lavados

Una vez eliminados los sólidos disueltos en el agua por medio del filtro Speedy o tamiz, el agua será conducirá al tanque de almacenamiento para su cloración.

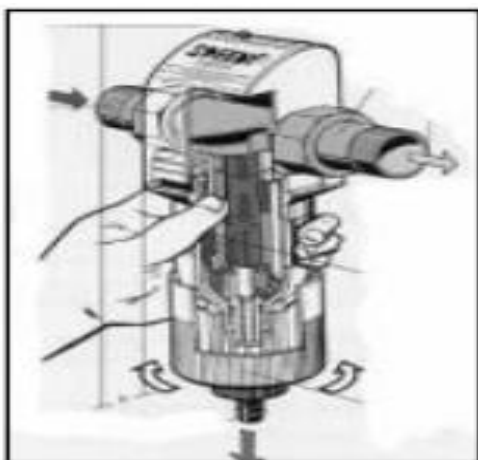


Figura 5.7 Filtro SPEEDY ((Garduño y Martínez 2008)

- Cloración

El agua almacenada en el tanque es clorada con Hipoclorito de Calcio o de Sodio al 13%. El cloro elimina la mayor parte de las bacterias, hongos, virus, esporas y algas presentes en el agua.

Una concentración de 3-5 ppm es suficiente para destruir bacterias e inactivar virus, después de un tiempo de reacción mínimo de 30 minutos.

- Filtro de carbón activado

La etapa final del tratamiento consiste en utilizar un filtro de carbón activado (Figura 5.8) debidamente seleccionado para llegar a la adsorción del cloro residual, eliminación de sabores y olores característicos del agua almacenada y una gran variedad de contaminantes químicos.



Figura 5.8 Filtro de carbón activado

#### 5.2.12.-Diseño del sistema de bombeo del agua almacenada al tinaco o toma principal

La azotea del edificio J de la Facultad de ingeniería no cuenta con un tanque de almacenamiento, ya que el agua es distribuida directamente de la red de agua potable de CU, por lo que se propone que el agua después de su tratamiento sea incorporada a la red de distribución de agua del edificio.

Por ello no será necesario diseñar el sistema de bombeo ni la adquisición de un tanque de almacenamiento para la azotea, ya que al agua se distribuirá mediante la red por gravedad tal y como se realiza actualmente.

## CONCLUSIONES

Con la investigación y realización de este trabajo, se puede comprobar que México es un país que cuenta con poca disponibilidad de agua por lo cual la captación de agua pluvial representa una buena alternativa para ahorrar y evitar la escases de agua potable.

El agua pluvial no ha sido aprovechada en zonas urbanas, como en el Distrito Federal en donde en las últimas décadas los sistemas más importantes que suministran el agua, muestran un desabasto en el recurso, por ello en delegaciones como Coyoacán que además no cuentan con plantas de tratamiento de agua el suministro de agua potable se hace cada vez más difícil. Como consecuencia ha afectado directamente a C.U en donde el nivel de los pozos de agua también ha ido disminuyendo y aunado a los problemas que existen en la red de agua potable pone en riesgo el suministro de este vital líquido a las instalaciones, de ahí la importancia de buscar alternativas que nos permitan afrontar esta problemática.

El diseño de esta metodología pretende ayudar a solucionar el problema y que esta pueda ser utilizada en cualquier lugar con el fin de contribuir al ahorro y escases de este vital líquido, asegurando el seguimiento a grandes rasgos de los siguientes pasos:

- Definir y verificar el uso del agua pluvial captada además de la población beneficiada por el sistema.
- Establecer y verificar las condiciones de diseño donde se establecerá el sistema de captación de agua pluvial.
- Determinar y verificar los parámetros que se requieren para el diseño del sistema de captación de agua pluvial.
- Realizar los cálculos respectivos para el diseño del sistema de captación de agua pluvial.

Esta metodología permitió diseñar un sistema de captación de agua pluvial para el edificio J de la Facultad de Ingeniería, el resultado obtenido fue que se puede satisfacer aproximadamente el 70% de la demanda anual de agua en el edificio, lo cual representa 864,507 Litros de agua por año, con una dotación aproximada diaria de 4.86 Litros por alumno promedio que ingresa a los sanitarios al día, con lo que se contribuye al ahorro de agua.

El desarrollo de esta metodología permitirá su aplicación en los edificios de la Universidad al igual que en casas, departamentos y otros edificios que cuenten con las características para captar el agua de lluvia, con lo cual se contribuirá en gran medida para afrontar la escases de agua potable.

Cualquier esfuerzo que se realice para ahorrar agua contribuirá a que este vital recurso esté disponible por más tiempo. Se requiere conjuntar esfuerzos multidisciplinarios para afrontar con mejores resultados el problema de agua, el cual involucra a toda la sociedad en conjunto.

## Anexo I

### Método Racional Americano

La fórmula racional es posiblemente el modelo más antiguo de la relación lluvia-escorrentamiento. Su origen se remonta a 1851 o 1889, de acuerdo con diversos autores (Aguilar 2009).

El Método Racional Americano se basa en considerar en toda el área estudiada una lluvia uniforme de intensidad, constante y durante un tiempo tal que el flujo en la cuenca llegue a establecerse para que pueda escurrir el máximo gasto ( $Q$ ) en la descarga.

El método consiste en aplicar la fórmula expresada en la ecuación (5.16):

$$Q_p = 2.778 \times C_e \times I_p \times A_c \quad (5.16)$$

Donde:

$Q_p$  = Gasto o caudal de conducción [lt/s].

$C_e$  = coeficiente de escurrimiento, dependiendo de las características de la cuenca y expresa a relación del caudal llovido entre el caudal escurrido.

$I_p$  = intensidad de la precipitación [mm/hr].

$A_c$  = Área de captación [ha].

Si se observan las unidades de gastos quedan expresadas en mm/ha/hr., para convertirlo lt/s se le aplica el factor de transformación de unidad cuyo valor es (2.778) resultando la expresión 5.16.

El valor de la intensidad de la lluvia es el asociado a una duración tal, que toda cuenca este atribuyendo al flujo de la descarga, esto se logra cuando la duración es igual al tiempo de concentración de la cuenca, para que el producto sea máximo.

Consecuentemente, el tiempo de duración de la lluvia se hace igual al tiempo de concentración el cual esta asociado a la distancia del punto más alejado que contribuye al escurrimiento, con lo cual resulta la ecuación 5.15 (Vega 2006).

$$d = t_c \quad (5.15)$$

Donde:

$d$  = duración de la lluvia [min].

$t_c$  = tiempo de concentración [min].

## Anexo II

### Distribución Normal

La distribución normal fue reconocida por primera vez por el francés Abraham de Moivre (1667-1754). Posteriormente, Carl Friedrich Gauss (1777-1855) elaboró desarrollos más profundos y formuló la ecuación de la curva; de ahí que también se la conozca, más comúnmente, como la "campana de Gauss". La distribución de una variable normal está completamente determinada por dos parámetros, su media y su desviación estándar, denotadas generalmente por  $\mu$  y  $\sigma$ . Con esta notación, la densidad de la normal viene dada por la ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\}, \quad -\infty < x < \infty$$

que determina la curva en forma de campana que tan bien conocemos (Figura 2). Así, se dice que una característica  $X$  sigue una distribución normal de media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ , y se denota como  $X \approx N(\mu, \sigma)$ , si su función de densidad viene dada por la Ecuación 1.

Al igual que ocurría con un histograma, en el que el área de cada rectángulo es proporcional al número de datos en el rango de valores correspondiente si, tal y como se muestra en la Figura 2, en el eje horizontal se levantan perpendiculares en dos puntos  $a$  y  $b$ , el área bajo la curva delimitada por esas líneas indica la probabilidad de que la variable de interés,  $X$ , tome un valor cualquiera en ese intervalo. Puesto que la curva alcanza su mayor altura en torno a la media, mientras que sus "ramas" se extienden asintóticamente hacia los ejes, cuando una variable siga una distribución normal, será mucho más probable observar un dato cercano al valor medio que uno que se encuentre muy alejado de éste.

#### Propiedades de la distribución normal:

La distribución normal posee ciertas propiedades importantes que conviene destacar:

- I. Tiene una única moda, que coincide con su media y su mediana.
- II. La curva normal es asintótica al eje de abscisas. Por ello, cualquier valor entre  $-\infty$  y  $+\infty$  es teóricamente posible. El área total bajo la curva es, por tanto, igual a 1.
- III. Es simétrica con respecto a su media  $\mu$ . Según esto, para este tipo de variables existe una probabilidad de un 50% de observar un dato mayor que la media, y un 50% de observar un dato menor.



IV. La distancia entre la línea trazada en la media y el punto de inflexión de la curva es igual a una desviación típica ( $\sigma$ ). Cuanto mayor sea  $\sigma$ , más aplanada será la curva de la densidad.

V. El área bajo la curva comprendido entre los valores situados aproximadamente a dos desviaciones estándar de la media es igual a 0.95. En concreto, existe un 95% de posibilidades de observar un valor comprendido en el intervalo  $(\mu - 1.96\sigma, \mu + 1.96\sigma)$ .

VI. La forma de la campana de Gauss depende de los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$  (Figura 3). La media indica la posición de la campana, de modo que para diferentes valores de la gráfica es desplazada a lo largo del eje horizontal. Por otra parte, la desviación estándar determina el grado de apuntamiento de la curva. Cuanto mayor sea el valor de  $\sigma$ , más se dispersarán los datos en torno a la media y la curva será más plana. Un valor pequeño de este parámetro indica, por tanto, una gran probabilidad de obtener datos cercanos al valor medio de la distribución.

Como se deduce de este último apartado, no existe una única distribución normal, sino una familia de distribuciones con una forma común, diferenciadas por los valores de su media y su varianza. De entre todas ellas, la más utilizada es la **distribución normal estándar**, que corresponde a una distribución de media 0 y varianza 1. Así, la expresión que define su densidad se puede obtener de la Ecuación 1, resultando:

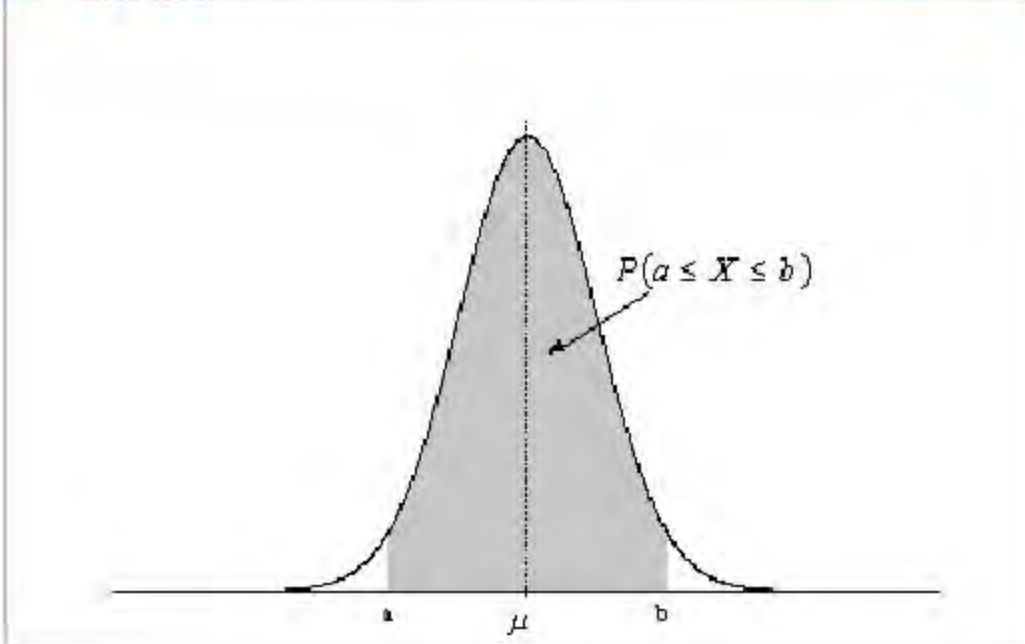
$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-z^2}{2}\right); \quad -\infty < z < \infty$$

Es importante conocer que, a partir de cualquier variable  $X$  que siga una distribución  $N(\mu, \sigma)$ , se puede obtener otra característica  $Z$  con una distribución normal estándar, sin más que efectuar la transformación: Ecuación 2:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

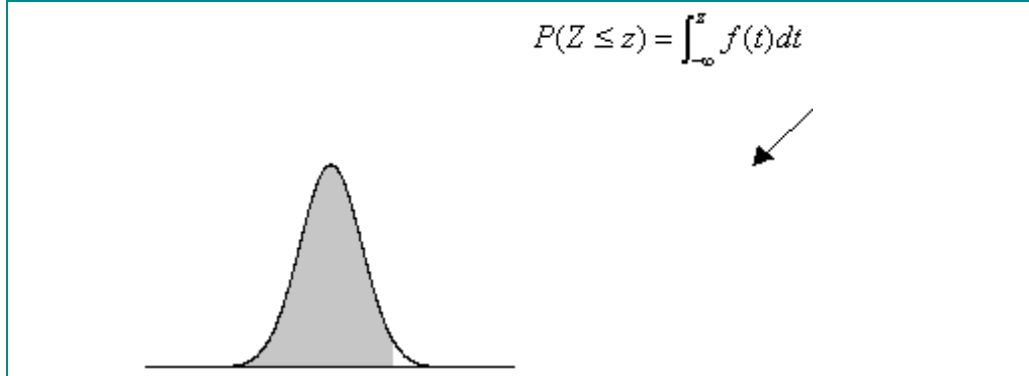
Esta propiedad resulta especialmente interesante en la práctica, ya que para una distribución  $N(0,1)$  existen tablas publicadas (Anexo III) a partir de las que se puede obtener de modo sencillo la probabilidad de observar un dato menor o igual a un cierto valor  $z$ , y que permitirán resolver preguntas de probabilidad acerca del comportamiento de variables de las que se sabe o se asume que siguen una distribución aproximadamente normal.

Figura 2. Gráfica de una distribución normal y significado del área bajo la curva.



### Anexo III

**Tabla 1. Áreas bajo la curva normal estándar. Los valores de la tabla que no se muestran en negrita representan la probabilidad de observar un valor menor o igual a z. La cifra entera y el primer decimal de z se buscan en la primera columna, y el segundo decimal en la cabecera de la tabla.**



Segunda cifra decimal del valor de z										
z	0.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
<b>0.0</b>	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
<b>0.1</b>	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
<b>0.2</b>	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
<b>0.3</b>	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
<b>0.4</b>	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
<b>0.5</b>	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
<b>0.6</b>	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
<b>0.7</b>	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
<b>0.8</b>	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
<b>0.9</b>	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
<b>1.0</b>	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
<b>1.1</b>	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
<b>1.2</b>	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
<b>1.3</b>	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
<b>1.4</b>	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
<b>1.5</b>	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
<b>1.6</b>	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
<b>1.7</b>	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
<b>1.8</b>	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
<b>1.9</b>	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
<b>2.0</b>	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
<b>2.1</b>	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
<b>2.2</b>	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
<b>2.3</b>	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
<b>2.4</b>	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
<b>2.5</b>	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952

<b>2.6</b>	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
<b>2.7</b>	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
<b>2.8</b>	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
<b>2.9</b>	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
<b>3.0</b>	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
<b>3.1</b>	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
<b>3.2</b>	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
<b>3.3</b>	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
<b>3.4</b>	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

## BIBLIOGRAFIA

Aceituno Juárez Marco. 2006. Teoría del muestreo. Estadística III.

<http://sitios.ingenieriausac.edu.gt/estadistica/estadistica3/teoria.html>.

Aguilar Reyes Eva. 2009. Captación de agua pluvial y su aprovechamiento en zonas rurales y urbanas. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Aragón. UNAM. Estado de México., México.

Arreguim Cortés, F.I., P. Martínez Austria, V. Trueba, 2004. El Agua en México y su Perspectiva Científica y Tecnológica, en *El Agua en México: una vista desde la academia*, B. Jiménez Cisneros, L.E. Marín, O. Escolero Fuentes, y J. Alcocer. Editado por Academia Mexicana de Ciencias. Pág.403. México, D.F., México.

Cantú, M. y H. Garduño. 2004. Administración de Derechos del Agua: de regularización a eje de la gestión de los recursos hidráulicos, en *El Agua en México: una vista desde la academia*, B. Jiménez Cisneros, L.E. Marín, O. Escolero Fuentes, y J. Alcocer. Editado por Academia Mexicana de Ciencias. Pág. 403. México, D.F., México.

CEA. 2010. Normas y Lineamientos Técnicos para las instalaciones de Agua Potable, Agua tratada. Drenaje Sanitario y Drenaje Pluvial de los Fraccionamientos y Condominios de las Zonas Urbanas del Estado de Querétaro. Querétaro. México.

Cengel Yunus y Cimbala John. 2006. Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones. Mc Graw Hill. Págs. 341-343. México D.F., México.

CEPIS. 1988. Sistemas de abastecimiento de agua para pequeñas comunidades; tecnología de pequeños sistemas de abastecimiento de agua en países en desarrollo. Pág. 49-58. Lima. Perú. <http://www.cepis.org.pe/bvsacd/scan/020867/020867-06.pdf>.

Comisión Nacional del Agua. 2009. Atlas del agua en México 2009. Editado por: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Tlalpan, México, D.F. [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx).

Comisión Nacional del Agua. 2009. Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico-Administrativa XIII, Aguas del Valle de México. Primera Edición. Editado por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Tlalpan, México, D.F., México. [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx).

Comisión Nacional del Agua. 2010. Estadísticas del Agua en México. Editado por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Coyoacán, México, D.F. [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx).

Cuesta Marcelino y Herrero Fco. 2006. Introducción al muestreo. Depto. Psicología. Universidad de Oviedo. España.

D. Phillips Víctor, Ron Tschida, Marco Hernández, Floriana Hernández Martínez. 2006. Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. [www.uwsp.edu/cnr/gem/Manual%20Captacion%20de%20agua%20de%20lluvia.pdf](http://www.uwsp.edu/cnr/gem/Manual%20Captacion%20de%20agua%20de%20lluvia.pdf).

Garduño A. Manuel y Martínez J. J. 2008. Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia. [www.pnuma.org/reclnat/esp/documentos/cap4.pdf](http://www.pnuma.org/reclnat/esp/documentos/cap4.pdf).

González Villarreal, Fernando Jorge Val Segura, Rafael Rocha Guzmán, José Daniel. 2008. Diagnostico del sistema de agua potable de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería, UNAM. Ciudad Universitaria. Delegación Coyoacán. México, D.F., México.

INEGI. 2009. Anuario Estadístico del Distrito Federal. México, D.F., México.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2009. Estadísticas a propósito del día mundial del medio ambiente. Datos del Distrito Federal. México D.F., México.

Marín, L.E. 2002. Perspectives on Mexican Ground Water Resources, *Ground Water*. Vol. 40 No.6. Pág.570-571.

Norma Oficial Mexicana 12. Normas técnicas complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas. México D.F., México.

PRONATURA.2009.Legislación del agua en México. México D.F., México. [www.pronatura.org.mx](http://www.pronatura.org.mx).

PUMAGUA. 2009. <http://www.pumagua.unam.mx/>.

SEMARNAT. 2008. Estadísticas del Agua en México. México D.F., México.

UNATSABAR. 2001. Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente División de Salud y Ambiente Organización Panamericana de la Salud Oficina Sanitaria Panamericana - Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Lima. Perú.

USAID. 2004. Introducción a la captación de agua. International Center for aquaculture. Editado por Alex Bocek. Auburn University, Alabama. USA.

Valdez César Enrique. 1994. Abastecimiento de agua potable. Vol I. Facultad de Ingeniería. UNAM. México D.F., México.

Vega Arteaga Luis Alberto. 2006. Metodología de los Trabajos en la Modernización de la Carretera que Comunica a San Felipe del Progreso con San José del Rincón tramo Dios Padre-Pueblo Nuevo. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ingeniería y Ciencias Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Puebla. México.

Pértegas Díaz S., Pita Fernández S. 2001. La distribución normal. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Juan Canalejo. A Coruña. [www.fisterra.com](http://www.fisterra.com)