



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

---

---

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE  
AGUA DE LLUVIA EN LAS INSTALACIONES  
DE LA FES-CUAUTITLÁN**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**P R E S E N T A :**

**ROBERTO EMMANUEL OLMEDO GARCÍA**

**ASESORA: M.I. MARTHA ELENA DOMÍNGUEZ HERNÁNDEZ**

**COASESOR: ING. GUSTAVO MENDOZA RIVERA**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2018**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DEPARTAMENTO DE  
EXÁMENES PROFESIONALES  
de la FES Cuautitlán.

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Diseño de un sistema para aprovechamiento de agua de lluvia en las instalaciones de la FES Cuautitlán

Que presenta el pasante: ROBERTO EMMANUEL OLMEDO GARCÍA

Con número de cuenta: 30810438-3 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 09 de noviembre de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Aurelio Valdez López	
VOCAL	Dr. Carlos Gómez García	
SECRETARIO	M.I. Martha Elena Domínguez Hernández	
1er. SUPLENTE	Ing. Francisco Javier Vega Martínez	
2do. SUPLENTE	Dra. Gloria Herrera Vázquez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

## **Agradecimientos**

Sabiendo que las palabras nunca serán suficientes

A Dios

A mis padres Roberto y Cruz

A mis hermanos Isra, Nicole y Vero

A mi familia

A mis amigos

Por ser lo más importante y querido en mi vida.

Gracias por todo el esfuerzo que realizan cada día, por formar parte de mi vida, por cada situación en que me brindan su amistad y confianza; ustedes son mi mayor motivación para esforzarme y ser mejor cada día.

A la Universidad y a sus profesores, en especial a la Dra. Martha Elena Domínguez, al Dr. Arturo Aguirre y al Ing. Gustavo Mendoza Rivera por su apoyo, conocimiento y amistad; le han dado forma a este trabajo y en buena parte también es de ustedes.

Al proyecto PIAPI1848 Análisis multidimensional de sistemas de producción agrícola para el desarrollo de propuestas de manejo sustentable con enfoque transdisciplinario.

A todos gracias por su paciencia.

Con serenidad y constancia se recorre la montaña más alta.



## **Contenido**

<b>I. Introducción</b>	<b>9</b>
<b>Justificación</b>	<b>10</b>
<b>Objetivos</b>	<b>11</b>
<b>General</b>	<b>11</b>
<b>Específicos</b>	<b>11</b>
<b>II. Marco teórico</b>	<b>12</b>
<b>Distribución global</b>	<b>13</b>
Intercambio de agua en el planeta	15
<b>Problemática del agua a nivel mundial.</b>	<b>16</b>
Impactos	18
Alternativas	21
<b>Situación actual del agua en México</b>	<b>22</b>
Estimaciones	26
Situación de la RHA XIII. Aguas del Valle de México	28
<b>Captación de agua</b>	<b>30</b>
Situación actual de los sistemas de captación de agua	33
Captación de agua de lluvia con base en techos de edificios	38
<b>Conducción</b>	<b>40</b>
Agua de lluvia	46
Métodos de tratamiento de agua	49
Desinfección	56
<b>Factibilidad técnica, económica y social</b>	<b>59</b>
Criterios técnicos de diseño	59
Factor económico	61
Factor social	62
Normativa del agua potable en México	63
Tarifas por servicio de agua en el municipio de Cuautitlán, Edo. de México.	67
<b>III. Metodología</b>	<b>68</b>

Ubicación geográfica	68
Obtención de información previa	68
Muestreo de agua	69
Determinación del área de captación.	70
Cálculos previos	71
<b>Cálculo y diseño del sistema de captación</b>	<b>72</b>
Gastos	72
Red de drenaje pluvial	73
<b>IV. Resultados</b>	<b>75</b>
<b>Infraestructura</b>	<b>75</b>
Suministro de agua potable	75
Evaluación económica del uso de agua en FES Cuautitlán	76
Datos meteorológicos	78
Área de captación y volumen captado	79
Calidad del agua	79
<b>Propuesta de uso</b>	<b>81</b>
Descripción del proceso de captación de agua	81
Diseño del sistema de captación	82
Conexiones del sistema.	86
<b>Costos del sistema</b>	<b>94</b>
<b>Beneficios del sistema</b>	<b>95</b>
<b>Tiempo de vida y mantenimiento</b>	<b>97</b>
<b>V. Conclusiones</b>	<b>99</b>
Recomendaciones	101
<b>VI. Referencias.</b>	<b>102</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Volumen y distribución de agua en el planeta.	13
<b>Tabla 2.</b> Tiempo de renovación de los depósitos de agua.	16
<b>Tabla 3.</b> Características de la masa nubosa para la captación de niebla.	37
<b>Tabla 4.</b> Patógenos que pueden ser encontrados en la lluvia captada.	49
<b>Tabla 5.</b> Coeficientes de escurrimiento	60
<b>Tabla 6.</b> Parámetros físicos y organolépticos	63
<b>Tabla 7.</b> Coliformes límites permisibles.	64
<b>Tabla 8.</b> Parámetros químicos, límites permisibles.	64
<b>Tabla 9.</b> Radioactividad, límites permisibles.	66
<b>Tabla 10.</b> Métodos de tratamiento recomendados.	66
<b>Tabla 11.</b> Tarifas para el suministro de agua potable en el municipio de Cuautitlán.	67
<b>Tabla 12.</b> Velocidades permisibles en diferentes tuberías a superficie libre.	73
<b>Tabla 13.</b> Cálculos para dimensión de canaletas.	73
<b>Tabla 14.</b> Cálculos para dimensión de tuberías.	74
<b>Tabla 15.</b> Cisternas instaladas en FES Cuautitlán C4.	75
<b>Tabla 16.</b> Equipo de bombeo para cisternas instaladas en FES Cuautitlán C4.	75
<b>Tabla 17.</b> Demanda de agua al día en las instalaciones de la FES-C.	76
<b>Tabla 18.</b> Días hábiles de consumo de agua en FES C.	77
<b>Tabla 19.</b> Demanda mensual en litros.	77
<b>Tabla 20.</b> Costo de consumo bimestral de agua.	78
<b>Tabla 21.</b> Datos meteorológicos	78
<b>Tabla 22.</b> Resultados de análisis físico de agua.	79
<b>Tabla 23.</b> Resultados de análisis microbiológicos.	80
<b>Tabla 24.</b> Resultados de ensayo microbiológico al agua tratada.	81
<b>Tabla 25.</b> Resultados de ensayo fisicoquímico al agua tratada.	81
<b>Tabla 26.</b> Canaletas requeridas para el sistema.	84
<b>Tabla 27.</b> Diámetro y longitud de tubería requerida para el sistema.	85
<b>Tabla 28.</b> Características de cisternas.	85
<b>Tabla 29.</b> Pérdidas en tubería principal	90
<b>Tabla 30.</b> Características sistema de bombeo.	91

<b>Tabla 31.</b> Características de los tanques de filtrado MEDIA.	92
<b>Tabla 32.</b> Características de lámpara UV	93
<b>Tabla 33.</b> Costos del sistema de captación.	94
<b>Tabla 34.</b> Costos de la planta de tratamiento	95
<b>Tabla 35.</b> Beneficios económicos.	95
<b>Tabla 36.</b> Vida útil y recomendaciones de mantenimiento 1.	97
<b>Tabla 37.</b> Vida útil y recomendaciones de mantenimiento de la planta de tratamiento.	98

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Molécula de agua y puentes de hidrógeno. Fuente: Carbajal & González (2013).	12
<b>Figura 2.</b> Reservas de agua por región. Fuente: SEMARNAT, 2013.	14
<b>Figura 3.</b> Balance del ciclo hidrológico. Fuente: Vera & Camilloni (2007).	15
<b>Figura 4.</b> Mapa físico de escasez del agua en 2010. Fuente: (WWAP, 2018)	16
<b>Figura 5.</b> Contaminación por basura. Fuente: (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2016)	18
<b>Figura 6.</b> Playa cubierta de basura. Fuente: National Geographic (2017).	19
<b>Figura 7.</b> Agua en México. Fuente: (SEMARNAT, 2013)	22
<b>Figura 8.</b> Distribución de agua, población y su proporción con el PIB en México. Fuente: (CONAGUA, 2015)	23
<b>Figura 9.</b> México, división por Regiones Hidrológico Administrativas (RHA). Fuentes: (CONAGUA, 2004)	24
<b>Figura 10.</b> Brecha entre oferta sustentable y la demanda para 2013 y 2030. Fuente: (Gobierno de la República, 2013)	26
<b>Figura 11.</b> RHA XIII, división y condición hidrológica de los acuíferos. Fuente: (CONAGUA, 2013).	28
<b>Figura 12.</b> Precipitación mensual promedio 2006-2016. Fuente: Elaboración propia	29
<b>Figura 13.</b> Cisterna "Yerebatan" en Turquía. Fuente: (iBB Culture Inc, 2014)	30
<b>Figura 14.</b> Terrazas de arroz en Filipinas. Fuente: (Banaue Terraces, 2019)	31

<b>Figura 15.</b> Vestigios de tres antiguos chultunes y tres pozos ocultos en una aguada en Yucatán, 1844. Fuente: (CONAGUA, 2009c)	32
<b>Figura 16.</b> Ductos de piedra con tapa procedentes de San Lorenzo Tenochtitlan. Fuente: (CONAGUA, 2009c)	32
<b>Figura 17.</b> SCALL en la Ciudad de México. Fuente: (Isla Urbana, 2017)	34
<b>Figura 18.</b> Olla de captación (izquierda). Fuente: Vásquez, Vásquez, & Vásquez, 2014; Represa de captación para el consumo animal (derecha). Fuente: Sotomayor, 2013.	35
<b>Figura 19.</b> Pozos de infiltración en una ciudad. Fuente: (Soluciones Hidropluviales, sin fecha)	36
<b>Figura 20.</b> Malla de polipropileno para captación de niebla. Fuente: (PNUD y INIA, 2015)	37
<b>Figura 21.</b> Componentes de un sistema de captación en techos de edificios. Fuente: (Rotoplas, 2016).	38
<b>Figura 22.</b> Superficie de captación. Fuente: Elaboración propia.	39
<b>Figura 23.</b> Tipos de tubería. Polietileno, PVC, Acero Inoxidable.	40
<b>Figura 24.</b> Presa La Concepción, Tepetzotlán, Edo. de México. Fuente: Bici Verde, 2010.	42
<b>Figura 25.</b> Depósito de ferrocemento. Fuente: Caballero, 2006.	43
<b>Figura 26.</b> Depósito de concreto. Fuente: Wolf System Austria, 2017.	43
<b>Figura 27.</b> Construcción de cisterna de ladrillo. Fuente: Gobierno del Estado de Aguascalientes., 2012	44
<b>Figura 28.</b> Depósito de fierro galvanizado. Fuente: Innovative Water Solutions, 2010.	44
<b>Figura 29.</b> Depósito de alambre revestido con geomembrana. Fuente: ATL, 2010.	45
<b>Figura 30.</b> Depósito de polietileno de 10 metros cúbicos. Fuente: (Rotoplas, 2016)	45
<b>Figura 31.</b> Formación de lluvia ácida. Fuente: (EPA, 2016)	47
<b>Figura 32.</b> Separador de primeras lluvias. Fuente: (Lomnitz, 2012).	50
<b>Figura 33.</b> Tipos de filtros de hojas. Fuente: (Macomber, 2010)	51
<b>Figura 34.</b> Filtros pulidores y cartuchos. Fuente: (Hidrofiltec SAC, 2015b)	52
<b>Figura 35.</b> Filtro de arena. Fuente: (Caballero, 2006)	53
<b>Figura 36.</b> Filtro de multimedio. Fuente: Filken, 2014.	54

<b>Figura 37.</b> Adsorción de contaminantes en CA. Fuente: (Hidrofiltec SAC, 2015a)	54
<b>Figura 38.</b> Disposición de elementos de Filtro de CA. Fuente: (Hidrofiltec SAC, 2015a)	55
<b>Figura 39.</b> Membranas de ósmosis inversa. Fuente: (Carbotecnia, 2017a)	56
<b>Figura 40.</b> Generador de ozono. Fuente: (Carbotecnia, 2017b)	57
<b>Figura 41.</b> Diagrama de una lámpara de luz UV. Fuente: (Ratnayaka, et al., 2009a)	58
<b>Figura 42.</b> Localización de la FES Cuautitlán C4. Fuente: (Google, 2017)	68
<b>Figura 43.</b> Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Fuente: (Google, 2017)	70
<b>Figura 44.</b> Captación y consumo anual de agua en FES C. Fuente: Elaboración propia.	79
<b>Figura 45.</b> Coordinación de Ing. Agrícola con sistema de captación instalado. Fuente: Elaboración propia.	82
<b>Figura 46.</b> Plano vista superior FES Cuautitlán C4.	83
<b>Figura 47.</b> Plano superior de Zona Cisterna Oriente.	86
<b>Figura 48.</b> Plano vista superior de Zona Cisterna Norte.	87
<b>Figura 49.</b> Plano vista aérea de Cisterna Sur.	88
<b>Figura 50.</b> Detalle cisterna, ubicación planta de tratamiento. Fuente: Elaboración propia	89
<b>Figura 51.</b> Esquema lateral de diferencial de presión en línea de conducción. Fuente: Elaboración Propia	90
<b>Figura 52.</b> Esquema de la planta de tratamiento con los elementos seleccionados.	91
<b>Figura 53.</b> Isométrico de planta de tratamiento. Fuente: Elaboración propia	93

## **I. Introducción**

En la actualidad, la población mundial supera la cifra de 7,200 millones, alrededor de 50 países ya sufren de estrés hídrico con una disponibilidad de 1,700 metros cúbicos por persona al año; más de 1,200 millones de personas padecen serias restricciones de agua, esta situación tiende a agravarse, para el año 2050, la población mundial llegará a los 9,100 millones de personas y es probable que al menos una de cada cuatro personas viva en países afectados por la escasez crónica o recurrente de agua dulce (Vásquez et al., 2014).

Las actividades que realiza el hombre para asegurar su modo de vida y comodidad, provocan serias alteraciones en los ciclos y procesos del medio ambiente; es en el estado del tiempo donde se evidencian los efectos de dichas alteraciones de manera más notoria, por ello, los fenómenos meteorológicos como sequías o inundaciones severas se presentan cada vez con más frecuencia; aunado a esto el crecimiento poblacional y el desarrollo industrial con su respectiva demanda de recursos y generación de contaminantes; ocasionan grandes problemas al disminuir la disponibilidad de alimentos, agua y energéticos (Magaña, 2006).

En México dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitación anual menor a 500 mm, este volumen generalmente se concentra en el periodo entre mayo y octubre. El 50% de la población vive en localidades de más de 50,000 habitantes, situación que implica una alta demanda de servicios y bienes provocando fuertes presiones sobre el ambiente (CONAGUA, 2015).

Por ello es necesaria una acción urgente para revertir las tendencias negativas, un cambio generalizado en contra de los patrones insostenibles de producción y consumo por parte de los diferentes sectores de la sociedad, lo que contribuiría a reducir la contaminación, conservar los recursos, favorecer la integridad ambiental de los bienes y servicios y estimular el uso sostenible de la biodiversidad y los ecosistemas contribuyendo a la mejora de la calidad de vida (Arroyave *et al.*, 2012).

Esta situación demanda el desarrollo y adaptación de tecnologías que disminuyan la vulnerabilidad ante la falta de recursos cobrando gran importancia en la planeación urbana y en la forma que se desarrollan las actividades productivas. Este tipo de tecnologías aprovechan los recursos y servicios que el ambiente provee en un lugar, como la energía solar, eólica o geotérmica y recursos hídricos como la lluvia, niebla o nieve; sin comprometer la disponibilidad de sus fuentes (Durán, et al., 2010).

La captación de agua de lluvia es una técnica ancestral utilizada en zonas con baja disponibilidad o de difícil acceso a otras fuentes de agua, ya que hay interés por el aprovechamiento de un recurso gratuito y de fácil acceso, además de, evitar que provoque escurrimientos, encharcamientos o incluso disminuir la posibilidad de inundaciones (UNESCO, 2015).

Para la instalación de sistemas de captación el principal costo de inversión lo constituyen el acondicionamiento de la zona de captación y el tratamiento del agua captada, pero la amortización se realiza en un corto tiempo; con este método se disminuyen los costos por el servicio de agua (Adler, et al., 2008).

El agua de lluvia es apreciada por su pureza y bajo contenido de sales; además, de manera natural tiene un pH neutro y está libre de productos usados para su desinfección como el cloro (Krishna, 2005).

## **Justificación**

Con base en la problemática antes señalada y como una opción sostenible de aprovechamiento de agua; se propone la captación de agua de lluvia, como fuente de abastecimiento para las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (Campo Cuatro) con lo cual se podría asegurar el abastecimiento de agua para el consumo humano, disminuir la extracción de agua del pozo ubicado dentro de la Facultad. Además, este diseño será importante para crear conciencia sobre la disponibilidad limitada del agua y el aprovechamiento de un recurso natural que sin la infraestructura de captación está condenado a contaminarse o perderse.

## **Objetivos**

### **General**

Diseñar un sistema para captación de lluvia en las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo Cuatro, con el fin de generar una propuesta de utilización del agua captada para servicios y consumo humano.

### **Específicos**

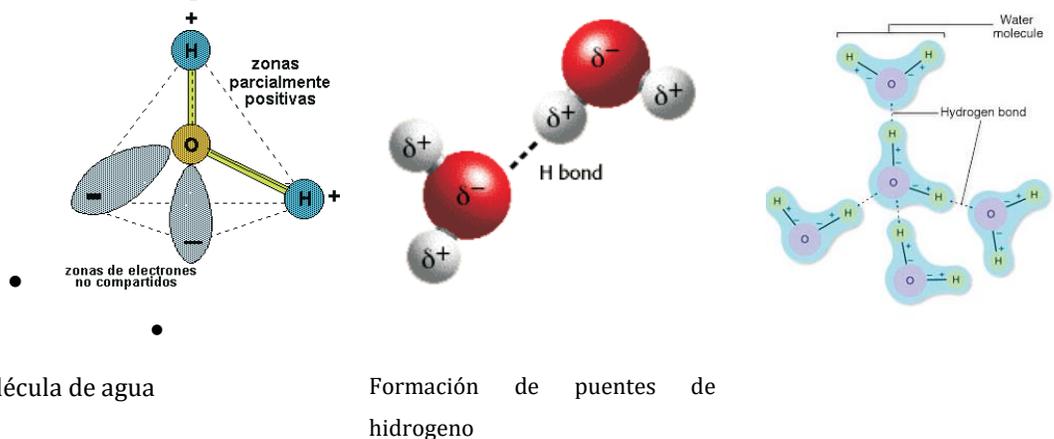
- Definir y calcular las áreas de captación potenciales con el fin de determinar los materiales y equipos necesarios para generar el diseño del sistema de captación.
- Calcular la demanda hídrica para riego y servicios en las instalaciones de la Facultad con el fin de determinar el volumen total necesario y determinar el volumen que puede obtenerse a través del sistema de captación.
- Evaluar técnica, económica y ambientalmente al diseño del sistema de captación para determinar la factibilidad del proyecto.

## II. Marco teórico

El agua es un elemento imprescindible en el planeta; es constituyente esencial de la naturaleza y de todos los seres vivos; es un factor que regula el clima, favorece la estabilidad, el funcionamiento, el desarrollo de los ecosistemas y de la humanidad (FEA y CEMDA, 2006)

Una molécula de agua está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, con fuertes enlaces polares que le dan gran estabilidad y permiten la formación de puentes de hidrógeno entre moléculas adyacentes, (Figura 1); estos puentes generan diferentes características que se enlistan a continuación (Korenfeld, 2009):

- Capacidad y conductividad caloríficas que la hacen un buen termorregulador
- Expansión cerca del punto de congelación
- Reducción de la densidad cuando es hielo
- Bajo calor de fusión y elevado calor de vaporización
- Tensión de vapor y punto de congelación
- Propiedades solventes
- Constantes dieléctricas
- Poder de ionización
- Tensión superficial



**Figura 1.** Molécula de agua y puentes de hidrógeno. Fuente: Carbajal & González (2013).

Estas propiedades hacen del agua el elemento idóneo para asegurar las condiciones de temperatura, la riqueza de constituyentes de los organismos, la variedad de procesos químicos y bioquímicos, los fenómenos eléctricos y las funciones de los coloides; que requieren todas las formas de vida. (Cannon, 1943)

## Distribución global

El agua es la sustancia más ampliamente distribuida en La Tierra y la única conocida que se presenta en estado sólido, líquido y gaseoso de manera natural; se afirma que el planeta es un sistema cerrado, gracias a esto la cantidad de agua en él, es siempre la misma (Moreno *et al.*, 2005); se estima que hay cerca de 1,386 millones de km<sup>3</sup> de agua en el planeta, esta cantidad se localiza principalmente en la hidrósfera (98% del total) formando parte de océanos, lagos y ríos. El segundo reservorio de agua lo constituye la criósfera (1.7%), agua en estado sólido contenida en los casquetes polares, glaciares y mantos de hielo. En la corteza terrestre se encuentra agua infiltrada y depósitos subterráneos; en la atmósfera como vapor, en pequeñas gotas de agua y en cristales de hielo (Buckley, et al., 2004). En la Tabla 1 se enlistan los depósitos de agua de manera general, cantidad y porcentaje de agua que estos contienen.

**Tabla 1.** Volumen y distribución de agua en el planeta.

Distribución global del agua	Volumen x (1000 km <sup>3</sup> )	Porcentaje del Total	Porcentaje de agua dulce
Agua salada	1,351,334.4	97.5	
Agua dulce	34,649.6	2.5	100
Océanos, mares	1,338,000	96.5	-
Acuíferos salinos	12,870	0.94	-
Lagos salinos	85.4	0.006	-
Glaciares, capas de hielo permanentes	24,064	1.74	68.7
Acuíferos de agua dulce	10,530	0.76	30.1
Humedad del suelo	16.5	0.001	0.05
Permafrost, suelo congelado	300	0.022	0.86
Lagos de agua dulce	91.0	0.007	.26
Atmósfera	12.9	0.001	0.04
Pantanos	11.47	0.0008	0.03
Ríos	2.12	0.0002	0.006
Agua contenida en la biota	1.12	0.0001	0.003
<b>Total</b>	<b>1,385,984</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

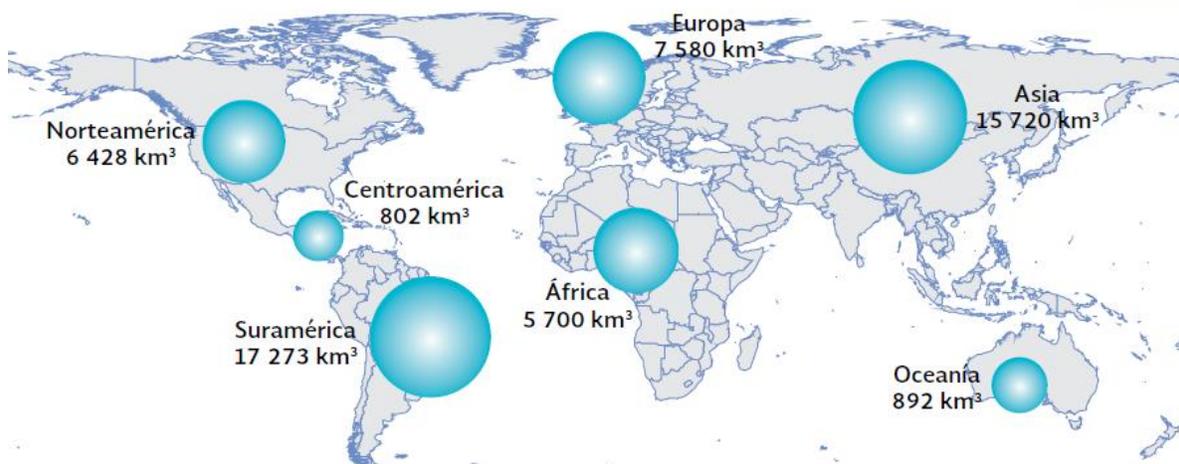
Fuente: Gleick (1996).

El agua contenida en océanos, mares, ríos, lagos; es el hábitat de una gran cantidad de especies; estos mismos cuerpos de agua favorecen la estabilidad climática en el planeta. Por ello, las sociedades humanas ven el acceso y disponibilidad de agua como un criterio determinante para el establecimiento y desarrollo de centros urbanos;

aprovechando el agua para consumo, como vía de transporte y como elemento de producción para la obtención de alimento y energía. (Sancho, 2007)

Considerando la ubicación, la cantidad y las características del agua en el planeta; se tiene que menos del 1 % es fácilmente aprovechable, este porcentaje se refiere al agua dulce contenida en acuíferos y cuerpos de agua superficiales, los cuales no se encuentran distribuidos de manera uniforme en las diferentes regiones, debido a las diferencias en cuanto a precipitación y evaporación; esta diferencia tiene lugar por factores como clima, ubicación geográfica, el relieve y el tipo de vegetación. (SEMARNAT, 2013)

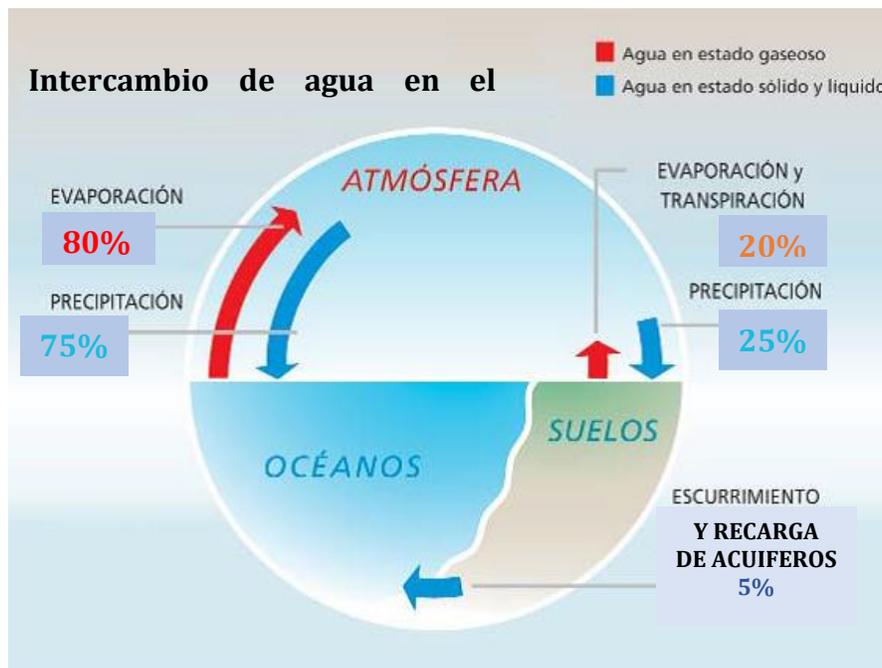
La estimación del agua disponible por región, o agua que se puede aprovechar anualmente, resulta del balance de agua que se recibe de manera natural por la precipitación del lugar más el agua obtenida por importación (el agua que se cede desde otras regiones) menos el agua que se evapora de los cuerpos de agua y suelo, la transpiración vegetal y el agua que se cede a otras regiones por exportación (CONAGUA, 2015). El continente americano concentra el 45% de las reservas mundiales de agua dulce, Asia tiene el 28.9%, Europa (13.9%), África (10.5%) y Oceanía (1.6%). En la Figura 2 se muestran los volúmenes de reservas de agua dulce en el mundo, considerando el agua contenida en ríos, lagos y acuíferos de cada región.



**Figura 2.** Reservas de agua por región. Fuente: SEMARNAT, 2013.

Anualmente circulan alrededor de 500,000 km<sup>3</sup> de agua; el 80% se evapora de los océanos (400,000 Km<sup>3</sup>) y el 20 % restante se evapora de las fuentes de agua de la parte

continental y la transpiración vegetal (100,000 Km<sup>3</sup>). Por efecto de los fenómenos que ocurren en la atmósfera, el vapor de agua se moviliza y precipita, llevando a la parte continental un 25% de la humedad total (125,000 Km<sup>3</sup>), el otro 75% precipita en los océanos (Thompson y O'Brien, 1976). Así la parte continental recibe un 5% más de agua (25,000 Km<sup>3</sup>) de la que cede a la atmósfera, gracias a esto se generan escurrimientos que recargan acuíferos y cuerpos de agua continentales. En la Figura 3 se ilustra el balance hídrico que se obtiene gracias a los fenómenos que ocurren dentro del ciclo del agua.



**Figura 3.** Balance del ciclo hidrológico. Fuente: Vera & Camilloni (2007).

La renovación de humedad ocurre mediante la evaporación constante de los cuerpos de agua; con esto, la atmósfera que contiene precipita al año de 30 a 40 veces más agua de la que contiene normalmente. Esta dinámica favorece la acumulación de agua que en su mayoría se mantiene en océanos, hielos perpetuos y depósitos subterráneos los cuales de manera natural tienen un flujo de alimentación y descarga relativamente bajo, en comparación con la atmósfera y ríos; en la Tabla 2 se muestra el tiempo y proceso de renovación de los cuerpos de agua, en donde se encuentra que los acuíferos necesitarían de 1,500 años para una renovación completa.

**Tabla 2.** Tiempo de renovación de los depósitos de agua.

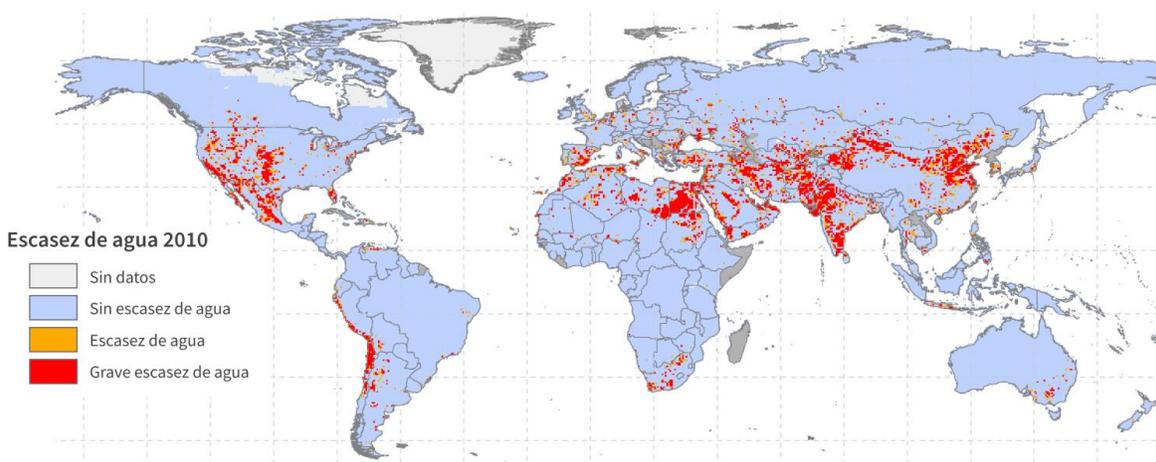
<b>Depósito</b>	<b>Proceso de renovación</b>	<b>Tiempo de renovación</b>
<b>Atmósfera</b>	Evaporación	7 a 11 días
<b>Ríos</b>	Precipitación y escorrentía	16 días
<b>Lagos de agua dulce</b>	Precipitación y escorrentía	17 años
<b>Aguas interiores saladas</b>	Precipitación y escorrentía	1 a 4 años
<b>Acuíferos</b>	Infiltración y escurrimiento subterráneo	1,500 años
<b>Glaciares y nieves permanentes</b>	Congelación	10,000 años
<b>Océanos</b>	Precipitación, escurrimiento y fusión	2,500 años

Fuente: Shiklomanov, 1998.

### **Problemática del agua a nivel mundial.**

La problemática con relación al agua a nivel mundial tiene tres ejes principales: el crecimiento de la población, la contaminación de cuerpos de agua y deficiente gestión y distribución (WWAP, 2015).

El crecimiento de la población significa un aumento en el consumo de agua, viéndose afectado por el nivel de desarrollo de las comunidades, a mayor nivel socioeconómico mayor demanda de agua; los países ricos consumen 12 veces más agua que los países pobres (Anaya, 2011). En solo 100 años, el consumo de agua se ha multiplicado por seis, mientras que la población se ha triplicado, en 1950, la población mundial ascendía a 2,529 millones de personas; en 2015, había aumentado a 7,300 millones (OMS, 2015).



**Figura 4.** Mapa físico de escasez del agua en 2010. Fuente: (WWAP, 2018)

A la fecha, dos terceras partes de la población mundial vive en regiones donde se presenta escasez de agua por lo menos un mes al año, dentro de esta fracción unos 500

millones de personas viven en zonas en donde el consumo de agua supera por dos el agua renovable de su región (WWAP, 2017).

Estimaciones afirman que de 2011 a 2050 la población mundial aumente un 33%, pasando de 7,000 millones a 9,300 millones de habitantes; la demanda de alimentos y el consumo de agua aumentarán de 50 a 60 % para el mismo periodo. De manera global los recursos hídricos podrían ser suficientes para producir los alimentos que requerirá la población en 2050, pero muchas regiones enfrentarán escasez de agua, que aumentará la competencia por este recurso, disminuyendo la producción, afectando los ingresos y las oportunidades de desarrollo de la población (WWAP, 2015).

Como ya se mencionó el aumento de la población también demanda un aumento en la producción agrícola (70% del consumo actual), actividad industrial (20%); y de consumo (10%) los cuales tienen un consumo de agua significativo y que en el mismo periodo aumentará, para riego se estima de un 5 a un 42%; en la actividad industrial se estima un aumento de un 20 a 80%. (Burek *et al.*, 2016; WWAP, 2018)

La contaminación de cuerpos de agua se refiere a la incorporación de agentes extraños al agua, capaces de modificar su composición física, química y por tanto sus parámetros de calidad (SEMARNAT, 2013). Los cuerpos de agua subterráneos y superficiales se contaminan principalmente por las descargas sin tratamiento previo de aguas municipales e industriales, así como por los escurrimientos que provienen de las zonas en donde se practican actividades agrícolas y pecuarias. (OMS y UNICEF, 2015)

En la agricultura se utilizan diversos productos químicos (fertilizantes, herbicidas y plaguicidas); estos constituyen la fuente principal de contaminación de agua y suelo; es importante mencionar que por cada litro de agua residual que es vertido a los cuerpos de agua se contaminan 8 litros de agua dulce (WWAP, 2003). En WWAP (2017) se habla de una generación de 2,212 kilómetros cúbicos de aguas residuales de los diferentes efluentes, de los cuales sólo el 20 % a nivel mundial reciben un tratamiento adecuado, resultando en 14,160 kilómetros cúbicos contaminados.

Por otra parte, Greenpeace (2016) estima que cada año 8 millones de toneladas de basura llegan a mares y océanos (Figura 5).



**Figura 5.** Contaminación por basura. Fuente: (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2016)

A pesar de la problemática ya mencionada, los recursos hídricos disponibles son suficientes para atender las necesidades de todos los seres humanos, pero la distribución de este recurso en las diversas regiones es muy desigual e ineficiente. (Almirón, 2012)

Se estima que 663 millones de personas alrededor del mundo no tienen acceso a agua potable, mientras que 1,800 millones no tienen un acceso fiable a agua de calidad que resulte segura para el consumo humano; 2,400 millones de personas no tienen acceso a instalaciones de saneamiento (OMS y UNICEF, 2015). Según datos de la OMS (2015) cada año 1,500 millones de personas alrededor del mundo sufren de enfermedades relacionadas con la carencia de agua potable, saneamiento y condiciones de higiene que estos servicios suponen, de ese número mueren 842,000 personas por los mismos motivos.

### **Impactos**

La reducción de agua disponible ya sea por escasez o por problemas en cuanto a la calidad, provoca efectos negativos graves sobre los ecosistemas. El medio cuenta con una capacidad natural de absorción y auto limpieza, pero si ésta es sobrepasada, ocurre el deterioro de los hábitats, seguida de la pérdida de biodiversidad y disminución en

cuanto a los medios de subsistencia tanto para los seres en ecosistemas naturales como para los asentamientos humanos. (WWAP, 2003)



**Figura 6.** Playa cubierta de basura. Fuente: National Geographic (2017).

Actualmente todas estas situaciones ya se han conjugado; y se tiene reporte de ciudades que están en riesgo inminente de quedarse sin agua, a continuación, se presentan ejemplos de ellas publicados en BBC, Forbes, El Universal.

1. Ciudad del Cabo, Sudáfrica. Se esperaba que esta ciudad se quedara sin agua para mayo del 2018, gracias a que se restringió el consumo a solo 50 litros día por habitante, se proyecta que el día cero llegue en 2019.
2. Ciudad de México, México. Aproximadamente el 40% del suministro proviene de otras regiones y gran parte de este porcentaje se pierde por fugas y robos. Se calcula que 20% de los habitantes no tiene acceso al agua todos los días, otros obtienen agua una vez a la semana o una vez al mes, y algunos otros reciben agua a través de camiones.

3. Yakarta, Indonesia. Casi la mitad de esta ciudad se encuentra debajo del nivel del mar. El concreto de las calles, provoca que el agua de lluvia no llegue a infiltrarse; además el costo del agua entubada provoca la construcción de pozos de extracción, estos factores resultan en el hundimiento de la ciudad.
4. El Cairo, Egipto. Egipto recibe un 90% del agua potable del Rio Nilo, pero la construcción de una represa río arriba genera incertidumbre en esta fuente de agua.
5. Sao Paulo, Brasil. En 2014 y 2015 municipalidades aledañas a esta ciudad declararon que sus reservas de agua estaban al 5% de su capacidad, suficiente para abastecer un mes a la ciudad. Efecto de la deforestación de la selva amazónica y la mala planeación urbana.
6. Beijing, China. La ciudad sólo puede abastecer el 30% de sus necesidades hídricas de fuentes cercanas, el 70% restante se obtiene de otras regiones lo que puede provocar escasez en regiones rurales.
7. India. Las sequías intensas secaron seis lagos en Chennai. Por lo que el suministro a la población es errático e insuficiente. En Bangalore, aproximadamente la mitad de la población de la ciudad depende de tanques de agua ya que no hay agua suficiente para el servicio por tubería.
8. Los Ángeles, EUA. La planificación urbana, provoca que el 80% del agua de lluvia termine en el océano.
9. Dhaka, Bangladesh. Los niveles de agua subterránea han descendido 60 metros, con relación a hace 50 años, y se espera que el nivel siga bajando a razón de tres metros por año. Se presenta intrusión salina en las fuentes subterráneas de agua.

Entre otras, también se encuentran Pekín, China; Melbourne, Australia; Miami, EUA, Moscú, Rusia; Estambul, Turquía (BBC Mundo, 2018; El Universal, 2018; Forbes, 2018).

## **Alternativas**

La innovación y mejora en la administración, la inversión en tecnologías e infraestructura de distribución y el manejo hídrico serán necesarias para mitigar el impacto de la escasez de agua, asegurando la distribución efectiva de calidad y el uso eficiente del recurso, además de la protección de las principales fuentes de este recurso, dando como resultado la disponibilidad de agua para abasto público universal y demás actividades productivas (FAO, 2015).

Estas inversiones tienen altas tasas de rentabilidad: por cada dólar invertido, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima un retorno de entre 3 y 34, dependiendo de la región y la tecnología (WWAP, 2016). Como ejemplo, las actividades agrícolas y pecuarias que representan el 70 % del consumo de agua a nivel mundial, tienen un importante potencial de ahorro, que se puede alcanzar con un aumento en la eficiencia de la productividad del agua, pues menos del 20 % del total de agua aplicada es aprovechada por la planta; por lo que elevar la eficiencia en este sector supondría un ahorro de 115,000 millones de dólares. (WWAP, 2016)

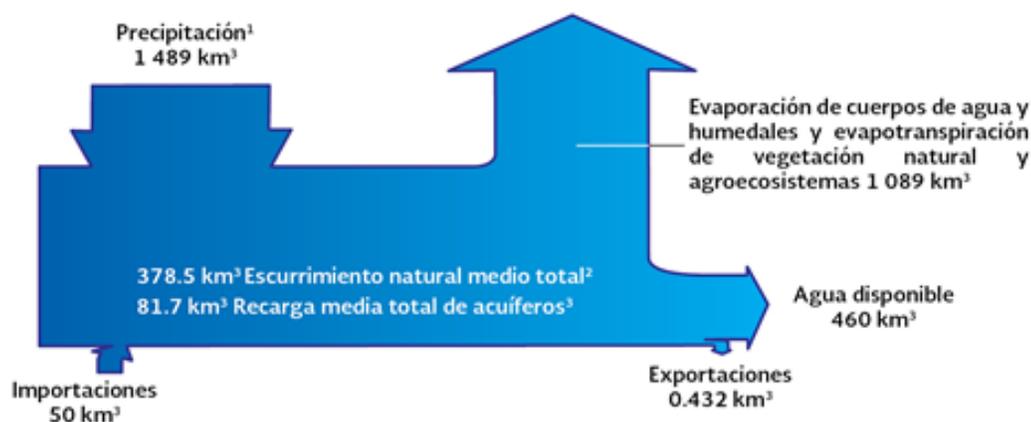
Otro ahorro potencial de los recursos hídricos se puede generar con la mejora y renovación de los sistemas actuales de distribución de agua, ya que se estima que en las metrópolis se presentan pérdidas por fugas del orden del 80 %. (WWAP, 2016)

El punto más importante que se debe considerar, si la demanda de agua es superior a los suministros disponibles y esta situación se repite de manera constante, en algún momento la sobreexplotación provocará una situación de escasez crónica de este recurso (WWAP, 2017).

## Situación actual del agua en México

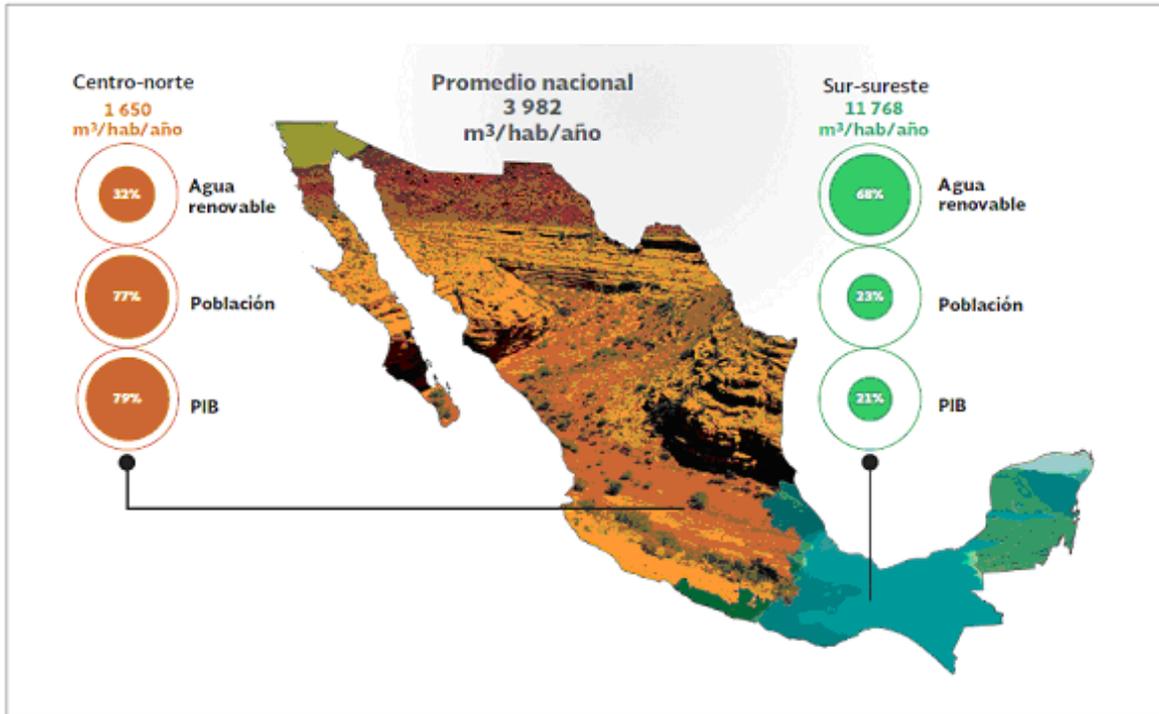
México tiene una superficie de 1,964,380 Km<sup>2</sup> en la cual recibe aproximadamente 1,489 kilómetros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.2% escurre por ríos y arroyos, y el 6.4% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos (Gobierno de la República, 2013). Además del agua que ingresa por precipitación, México recibe alrededor de 50 kilómetros cúbicos por importaciones de los ríos de las fronteras norte y sur, y exporta 0.432 kilómetros cúbicos del Río Bravo a los Estados Unidos de acuerdo con el Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales firmado en 1944. (SEMARNAT, 2013)

El país cuenta con alrededor de 460 kilómetros cúbicos de agua dulce renovable (CONAGUA, 2015). Los datos mencionados se ilustran en la Figura 7.



**Figura 7.** Agua en México. Fuente: (SEMARNAT, 2013)

La precipitación es la principal fuente de abastecimiento de agua para el territorio nacional, sin embargo, su distribución no es homogénea en cuanto a tiempo y lugar. La precipitación ocurre predominantemente entre los meses de junio y septiembre; es escasa en la zona centro-norte del país contando con sólo el 32% del agua renovable; en cambio, en la zona sur es abundante con un 68% del agua renovable (CONAGUA, 2015). En la Figura 8 se observa la división de estas zonas, el % de agua, población y PIB.

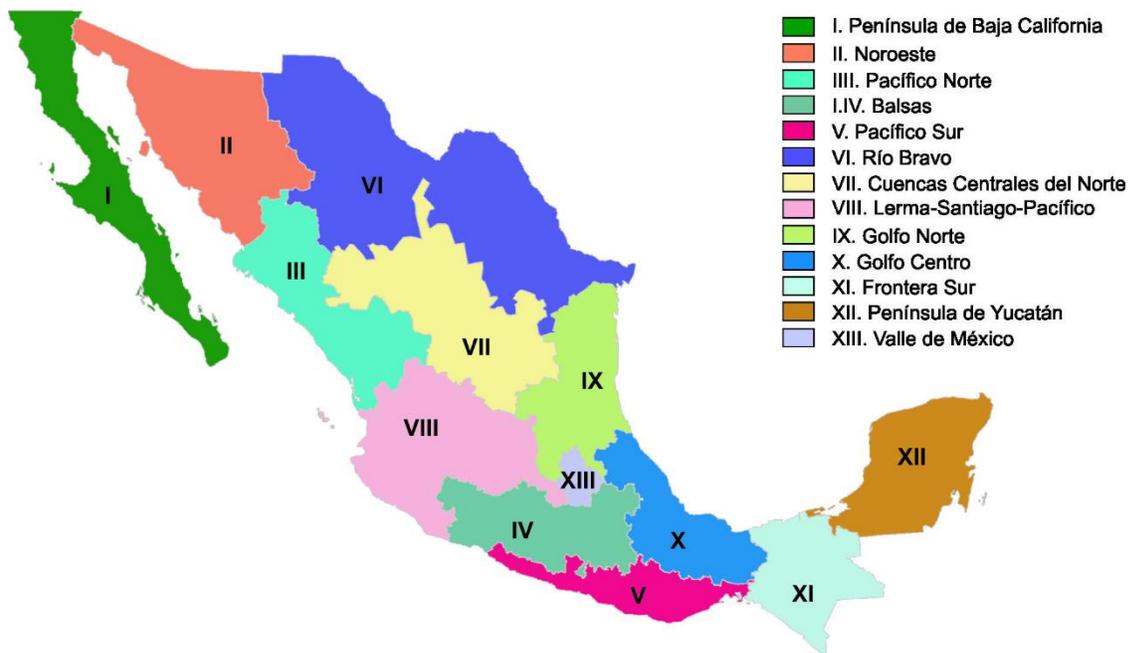


**Figura 8.** Distribución de agua, población y su proporción con el PIB en México. Fuente: (CONAGUA, 2015)

Las características geográficas del país y su ubicación explican esta situación ya que favorecen la predominancia de climas árido y semiárido, con un 52 y 31 % del territorio nacional respectivamente (CONAGUA, 2015). Por la misma razón el país está expuesto a la presencia de fenómenos meteorológicos severos como huracanes, precipitaciones intensas y sequías, con las posibles afectaciones que estos fenómenos conllevan, como inundaciones, hambre, enfermedades, pérdidas materiales, económicas y humanas (CONABIO, 2009).

Para la administración y preservación de las aguas nacionales, se ha designado a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) como órgano administrativo, normativo y técnico de los recursos hídricos. Esta institución ha definido trece Regiones Hidrológico Administrativas (RHA) en las que divide al país, a su vez estas RHA están formadas por consejos de cuencas hidrológicas, las que considera unidades básicas de gestión de los recursos hídricos (Figura 9). A la fecha la CONAGUA ha definido 731 cuencas hidrológicas, y en lo que se refiere a las aguas subterráneas, el país está dividido en 653 acuíferos (SEMARNAT, 2013).

Actualmente el volumen concesionado para usos consuntivos es de alrededor de 82 millones de metros cúbicos, de los cuales 61 % se obtiene de fuentes superficiales y el 39 % restante de los acuíferos. La distribución de este volumen se da de la siguiente manera: 77 % es destinado para actividades agrícolas y ganaderas, 14 % para el abasto público y 9 % para la industria y termoeléctricas (SEMARNAT, 2013).



**Figura 9.** México, división por Regiones Hidrológico Administrativas (RHA). Fuentes: (CONAGUA, 2004)

Para el caso del abasto público, en 2013 la disponibilidad media per cápita fue de 3,982 m<sup>3</sup> por habitante al año, esta cifra es calificada como baja por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo; además, para el mismo año se tiene que treinta y cinco millones de mexicanos se encuentran en situación de poca disponibilidad de agua y casi nueve millones de personas no tienen servicio de agua potable. (Gobierno de la República, 2013)

En algunos casos el aprovechamiento de agua se da sin haber una concesión o asignación por parte de la CONAGUA, además, hay deficiencias en cuanto a la medición de la extracción y verificación de los aprovechamientos. En estos casos se evidencia la falta de capacidad para inspeccionar y verificar que el aprovechamiento de agua sea acorde a la disponibilidad del recurso. (CONAGUA, 2015)

La mayoría de las cuencas en nuestro país se encuentran en una situación no sustentable, para el año 2012 la demanda total de agua a nivel país era de 78,400 kilómetros cúbicos, misma que se cubría con un volumen sustentable de 66,900 kilómetros cúbicos de fuentes superficiales y subterráneas y con un volumen no sustentable de 11,500 kilómetros cúbicos, de los cuales 6,500 provinieron de acuíferos sobreexplotados. (Gobierno de la República, 2013)

La sobreexplotación y la sobre concesión traen consigo el deterioro de los ecosistemas, debido a que los escurrimientos y cuerpos de agua disminuyen su volumen y su capacidad de mantenimiento. La eficiencia en la conducción y en la distribución de agua es un factor que acentúa estas situaciones, ya que se presentan pérdidas del orden del 25 al 50 %, de mejorarse, podría cubrirse toda la demanda de manera sustentable. (Magaña, 2006; Rojas, et al., 2012)

En cuanto a la descarga de aguas residuales, durante el año 2014, las 2,337 plantas en operación a lo largo del país, trataron alrededor de 3,500 kilómetros cúbicos, es decir el 53 % de las aguas recolectadas a través de los sistemas de alcantarillado de las zonas urbanas, de este porcentaje solo se reutiliza el 35 %; además, se emplearon 1,892 kilómetros cúbicos de agua residual sin tratamiento para riego agrícola (CONAGUA, 2015). A pesar del tratamiento y reutilización mencionados, del total de agua residual producida se trata menos del 5 %, ya que la mayor producción de aguas residuales se debe a actividades agrícolas y pecuarias, en las cuales el agua se descarga sin ningún tratamiento. (FEA y CEMDA, 2006)

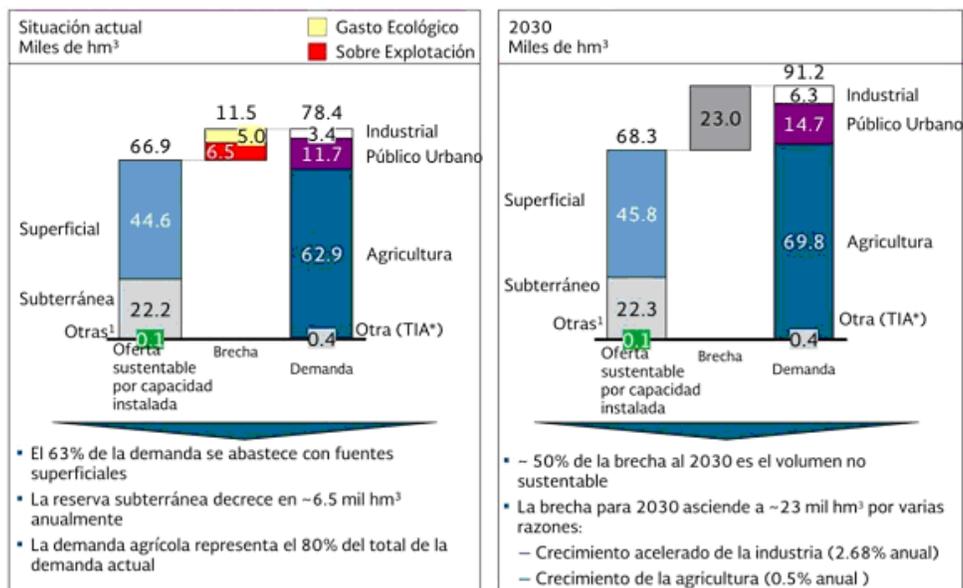
De las 731 cuencas hidrológicas definidas en México, 104 presentan problemas de disponibilidad; también, se tiene que 106 acuíferos presentan sobreexplotación. (CONAGUA, 2015)

En cuanto a calidad, se estima que el 80 % de los acuíferos contienen agua de buena calidad, aunque 40 de ellos presentan cierta degradación producto de actividades humanas y por causas naturales; 17 tienen intrusión salina y 32 presentan aguas subterráneas salobres. (SEMARNAT, 2013)

Adicional a esto, problemas como la deforestación de bosques, el cambio de uso de suelo, crecimiento de zonas urbanas, impiden la infiltración natural del agua, disminuyendo así la recarga de acuíferos y propiciando escurrimientos torrenciales que derivan en la ocurrencia de inundaciones. (FEA y CEMDA, 2006)

### Estimaciones

Para el 2030, la población nacional será de aproximadamente 150.9 millones de personas lo que representa un aumento en el consumo público y de actividades productivas llegando a 91,200 kilómetros cúbicos, además de, aumentar la producción de contaminantes que pueden afectar los depósitos de agua (CONAPO, 2010). La oferta máxima a la que se puede llegar para el mismo año, considerando los proyectos registrados en cartera es de 68,300 kilómetros cúbicos, lo que supone un déficit entre la oferta y demanda de 23,000 kilómetros cúbicos. Esta diferencia se ilustra en la figura 10, e incluye el volumen de agua utilizado para cubrir los aumentos de la demanda agrícola, de abastecimiento público e industrial y el volumen no sustentable que se dejará de extraer por la disminución de la sobreexplotación de los acuíferos. (Figura 10)



**Figura 10.** Brecha entre oferta sustentable y la demanda para 2013 y 2030. Fuente: (Gobierno de la República, 2013)

Las cuencas en las que los efectos serán más severos significando un reto para la administración y abastecimiento de este recurso en el futuro son la cuenca del Valle de México y de los ríos Lerma, Bravo, Fuerte, Mocerito, Presidio-San Pedro, Tula y Balsas. (Gobierno de la República, 2013)

En cuanto a las proyecciones climáticas se estima que en el 2030 las variaciones térmicas y de precipitación se intensificarán. En estados del noreste la precipitación tiene una tendencia negativa, disminuyendo hasta en un 30 % en la temporada invernal, mientras que en los estados del sureste habrá una disminución similar en el verano. Con relación a la temperatura se proyecta una elevación de la temperatura de hasta 5° C (Magaña, 2006). Estas condiciones traerán como resultado una disminución de hasta un 7% en el escurrimiento natural. (Bates, *et al.*, 2008)

Tal situación no permitirá atender el reto del suministro de agua, además, la escasez de agua crecerá para el año 2025 y más de la mitad de la población mundial estará en condiciones de severa escasez. En términos de consumo de agua se proyecta un incremento aproximado de 55 % debido al aumento en la demanda industrial, en la generación de energía eléctrica y el uso doméstico. (Greenpeace, 2010)

### **Previsiones gubernamentales**

Debido a lo anterior, en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, en el apartado del Programa Nacional Hídrico entre otros puntos se planeaba lo siguiente:

- ✓ Incrementar la recarga de acuíferos, fomentar la construcción de estructuras de captación, infiltración y drenaje pluvial.
- ✓ Fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, tomando el reto para que los municipios provean a las poblaciones más pequeñas y alejadas de estos servicios, para lo cual se impulsará el desarrollo de sistemas alternativos para acercar el agua creando infraestructura para aprovechamiento de fuentes alternativas como hidrantes públicos, captaciones de agua pluvial y desalinización, entre otros.

### Situación de la RHA XIII. Aguas del Valle de México

La RHA XIII, esta tiene una superficie de 18,229 kilómetros cuadrados y está conformada por 105 municipios de tres entidades federativas, México, Hidalgo y Tlaxcala; y las 16 alcaldías de la Ciudad de México. Esta región es la más poblada y al mismo tiempo es la de menor extensión territorial. Esta región se divide a su vez en dos subregiones, Valle de México y Tula. La subregión del valle de México está conformada por las 16 alcaldías y 69 municipios (50 del Estado de México, 15 de Hidalgo y 4 de Tlaxcala), entre los que se encuentra el municipio de Cuautitlán; la subregión Tula está conformada por 36 municipios, 12 del Estado de México y 24 de Hidalgo (CONAGUA, 2013). En la figura 11 se puede observar la división política y por subregiones y la condición geohidrológica de la cuenca.



**Figura 11.** RHA XIII, división y condición hidrológica de los acuíferos. Fuente: (CONAGUA, 2013).

Como se mencionó anteriormente esta cuenca será de las principales cuencas en la que los efectos que se pronostican serán más severos y por la cantidad de habitantes y su

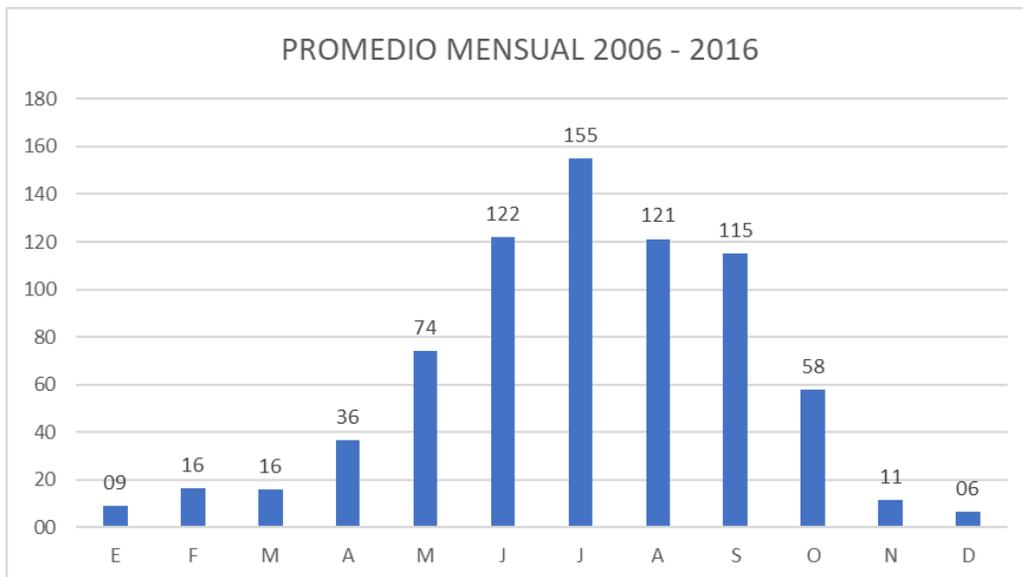
demanda de agua será un enorme reto el adaptarla a las condiciones ambientales para abastecer y asegurar las condiciones básicas de desarrollo para sus habitantes. (Gobierno de la República, 2013)

### **Situación general del Municipio de Cuautitlán México, Edo. De México.**

En cuanto a la cobertura de agua potable de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010, la región XIII tenía una cobertura de 96.79 % y de alcantarillado de 97.82 %, son las cifras más altas que la media nacional.

Para el 2013 el municipio de Cuautitlán, el cual se encuentra dentro de la subregión del Valle de México, tuvo una población de 159,220 habitantes y una tasa de crecimiento de 4.56, cifra elevada dentro de la región (CONAGUA, 2013). A este municipio se le da una concesión de agua para riego, del distrito 073 La Concepción, con una superficie de 750 hectáreas y 507 usuarios.

En lo que respecta a precipitación, los registros de lluvias indican que el 68% se concentra entre los meses de junio - septiembre, registrándose principalmente tormentas de gran intensidad y corta duración. En la Figura 12 se muestra la precipitación promedio mensual de los años 2006 a 2016 de la estación meteorológica Rancho Almaraz ubicada en el municipio de Cuautitlán.



**Figura 12.** Precipitación mensual promedio 2006-2016. Fuente: Elaboración propia

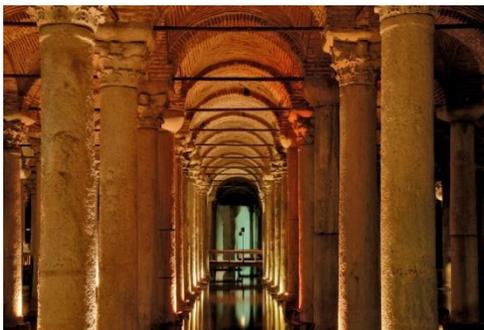
## Captación de agua

La lluvia fue durante milenios la principal fuente de agua para muchos pueblos y sus cultivos; incluso se han encontrado asentamientos los cuales únicamente contaban con este recurso para su abastecimiento. (CONAGUA, 2009c)

Los mecanismos de captación de lluvia son una tecnología que data de hace más de 5,000 años, estos son asociados con el conocimiento del medio natural y el uso de las condiciones locales; además de la cosmovisión sobre los recursos y su importancia económica y social. (Anaya, 2011; UNESCO, 2015)

En los vestigios de las culturas antiguas se pueden encontrar evidencias del aprovechamiento de agua de lluvia, egipcios, palestinos, iraníes, yemenís, griegos y romanos desde el año 4,000 A.C. aprovechaban el agua que escurría por sus techos y patios. (Abbasi y Abbasi, 2011)

En Europa y Medio Oriente, se encuentran las piscinas y cisternas subterráneas “herencia” de la cultura Romana a los territorios conquistados como son: Yerebatan Sarayi (Figura 13.) o Binbirdik en Turquía cisternas con capacidad de almacenamiento de 80,000 y 50,000 metros cúbicos respectivamente.



**Figura 13.** Cisterna "Yerebatan" en Turquía. Fuente: (iBB Culture Inc, 2014)

Los antiguos romanos fueron maestros en el uso de sistemas de captación de lluvia, adaptándolos a la vivienda, haciendo uso de techos y acumulación de lluvia en piscinas de jardín y cisternas bajo las casas. La implementación de estas tecnologías cumplía con varios propósitos: mejorar el microclima a través de su efecto de aire acondicionado, utilizar el agua para fines domésticos, de las cisternas disminuir la evaporación y proteger contra la contaminación del agua almacenada. (Ballen, 2006)

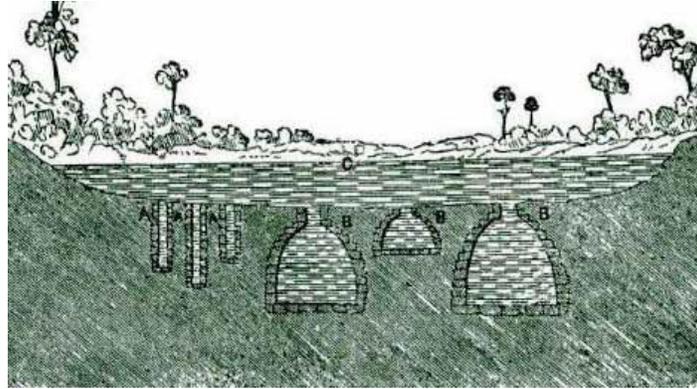
Existe evidencia del desarrollo de estas tecnologías en ambientes donde la lluvia era la única fuente de obtención de agua, como en el desierto de Negrev o en islas del Mediterráneo, en donde se utilizaban laderas, lomeríos y cisternas para el abastecimiento de agua. (Anaya, 2011)

En China, existen pozos y jarras para la captación de lluvia que datan de hace más de 2,000 años. También algunas infraestructuras que permanecen hasta hoy día como las terrazas de arroz en Filipinas, que se utilizan desde hace varios miles de años. (Figura 14) (UNESCO, 2015)



**Figura 14.** Terrazas de arroz en Filipinas. Fuente: (Banaue Terraces, 2019)

En las diferentes culturas mesoamericanas, se usaron algunas de estas estructuras; para el aprovechamiento, control de drenaje e irrigación: como canoas o “canjilones” los cuales conducían el agua desde los techos de los edificios a los depósitos, acueductos, canales, zanjas, chultunes (depósitos subterráneos mayas), jagüeyes (depósitos superficiales) y piletas de barro (CONAGUA, 2009c; Chan, 2012) (Figura 15).



**Figura 15.** Vestigios de tres antiguos chultunes y tres pozos ocultos en una aguada en Yucatán, 1844. Fuente: (CONAGUA, 2009c)

En regiones alrededor del mundo se procuró el aprovechamiento del agua de lluvia por un tiempo y a cierto nivel de demanda. Con el paso del tiempo esta práctica se dejó de lado debido al crecimiento poblacional y al aumento en la demanda de agua que esto supone, además de que se potenció el desarrollo de sistemas de abastecimiento centralizado para abasto público, utilizando las fuentes de agua superficiales y subterráneas cercanas. Por otro lado, en las diferentes regiones que sufrieron el proceso de colonización, se dejaron prácticas locales como el aprovechamiento del agua lluvia. Como ejemplo la región mesoamericana colonizada por españoles o la India con la colonización inglesa, que obligó a los nativos a adoptar las metodologías europeas (Chan, 2012). En cualquiera de los casos se eliminó la posibilidad de uso de sistemas de aprovechamiento del agua de lluvia u otros sistemas alternativos (Figura 16).



**Figura 16.** Ductos de piedra con tapa procedentes de San Lorenzo Tenochtitlan. Fuente: (CONAGUA, 2009c)

## **Situación actual de los sistemas de captación de agua**

En tiempos recientes, el desarrollo de los sistemas de captación de agua de lluvia ha ganado importancia, mayormente en zonas rurales y especialmente en países desarrollados; aunque la situación de los países en vías de desarrollo urge en la necesidad de utilizar todas las fuentes posibles para el suministro de agua. (Caballero, 2006)

La investigación ha permitido el desarrollo de diferentes mecanismos de captación dependiendo de la problemática, condiciones del entorno y la finalidad para captar la lluvia, se puede hacer la clasificación siguiente:

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

**Sistemas para uso humano.** Este tipo de sistemas por ser para uso humano, deben ofrecer la mejor calidad de agua; para esto involucran mecanismos de filtración y/o purificación, que eliminan los contaminantes. Debido a lo anterior constan de un mayor número de elementos que pueden ser incluso tan sofisticados para funcionar de manera automática (PUMA y Isla Urbana, 2013). Cuentan con superficie de captación comúnmente techos y patios de concreto, sistema de recolección y conducción (canaletas y tuberías), sistema de filtración (eliminación de hojas, filtros de malla, filtros de arena, etc.), y depósitos de almacenamiento que evitan la contaminación del agua. (Herrera, 2010)

Dentro de sus beneficios se destacan:

- Alta calidad fisicoquímica del agua de lluvia, baja en sales y de químicos utilizados en la potabilización del agua.
- Sistema independiente al suministro gubernamental de agua potable.
- Reduce el uso de agua potable, minimiza el costo del servicio, en el sitio se reduce el riesgo de inundación y erosión, ya que se evita el escurrimiento.

- El agua de lluvia no tiene un costo, el único costo es la implementación del sistema y mantenimiento.
- Fácil mantenimiento; y
- Las limitaciones de los sistemas de captación de agua son pocas y pueden ser fácilmente arregladas con una buena planeación y diseño.

#### Desventajas

- La lluvia no es controlable, no se pueden evitar los periodos de sequía.
- Los costos iniciales pueden impedir la implementación de estos sistemas.
- El agua captada puede contaminarse fácilmente, en el transcurso del agua al sistema de almacenamiento.
- Las cisternas y otros depósitos elevan los costos del sistema, pudiendo ser limitantes para instalación de estos. (Figura 17)



**Figura 17.** SCALL en la Ciudad de México. Fuente: (Isla Urbana, 2017)

**Sistemas para uso agrícola y ganadero.** Por su finalidad este tipo de sistemas requieren más agua y superficie de captación, pero involucran menos elementos y menor tecnología para su funcionamiento. Dado que no es prioridad una alta calidad de agua, estos sistemas pueden hacer uso de la conformación del relieve y modificarlo con materiales que se puedan encontrar en el lugar (Carrasco, 2016). Algunos ejemplos son:

- Lagunas revestidas de arcilla o polietileno.
- Diques con gaviones de piedra o sacos de arena.
- Zanjas revestidas.

La captación agrícola en el lugar se centra en la aplicación de prácticas culturales enfocadas a la mejor distribución y aprovechamiento del agua por parte del cultivo; mediante el uso de terrazas, la formación de camellones, siembra en surcos, formación de cajetes, marcos de plantación, etc. (Reij, et al., 1988; FAO, 2013). En la Figura 18 se ilustran dos tipos de captación en cuanto a sus usos.



**Figura 18.** Olla de captación (izquierda). Fuente: Vásquez, Vásquez, & Vásquez, 2014; Represa de captación para el consumo animal (derecha). Fuente: Sotomayor, 2013.

**Recarga de mantos acuíferos.** Este tipo de sistemas está planeado principalmente para zonas con problemas de infiltración y mínima recarga de acuíferos, como zonas con deterioro de suelos y zonas urbanas. La recarga involucra la utilización de un sistema de captación, pero el agua captada por este medio es dirigida a zonas de infiltración o pozos de recarga de cuerpos de agua subterráneos. En la actualidad esta práctica ha cobrado gran importancia, ya que actividades como la urbanización y la deforestación son las principales causas de disminución en la recarga de mantos acuíferos. (Herrera, 2010)

La implementación de este tipo de sistemas trae consigo las siguientes ventajas:

- ✓ Protegen los ecosistemas, haciendo un uso más eficiente del agua que se obtiene por precipitación.
- ✓ Reducen la cantidad de escurrimientos, disminuyendo la posibilidad de inundaciones, además, ayuda en el funcionamiento en plantas tratadoras de agua, al reducir el volumen de aguas negras.

Existen diferentes técnicas que se pueden utilizar como: drenes con materiales porosos, uso de áreas con vegetación, pavimentos permeables, depósitos y estanques de detención e infiltración y fabricación de pozos de recarga. Con esto se reducen los escurrimientos y se favorece la recarga de mantos acuíferos, evitando su agotamiento, además se previene el hundimiento de zonas urbanas. (Perales y Doménech, 2007). (Figura 19)



**Figura 19.** Pozos de infiltración en una ciudad. Fuente: (Soluciones Hidropluviales, sin fecha)

**Captación de agua de niebla.** Esta técnica de captación hace uso de estructuras llamadas atrapa nieblas, sobre las que se condensa la humedad existente en niebla, rocío o brisa, para hacerla disponible a las diferentes actividades humanas (Figura 20).

Para la captación de agua de niebla se requieren condiciones climáticas y orográficas muy particulares. 1. Debe existir niebla densa, constante. 2. Desplazamiento de la masa de aire al ras de la superficie del terreno. 3. Presencia de niebla durante una buena parte del año; esta última condición se requiere para que la captación de agua sea factible. En la Tabla 3 se enlistan otras características necesarias de la masa nubosa (FAO, 2013).

**Tabla 3.** Características de la masa nubosa para la captación de niebla.

Variable	Característica
Estabilidad	Se presenta en la mayor parte del año
Espesor vertical	Entre 200 y 400 m
Altitud	Entre 600 y 1,000 msnm.
Contenido de agua	0.22 g m <sup>-3</sup> a 0.73 g m <sup>-3</sup>
Tamaño de las gotas	10.8 a 15.3 micrones
Concentración del agua	400 gotas cm <sup>-3</sup>

Fuente: FAO, 2013.

A pesar de obtener cantidades considerables de agua, no puede verse como una opción de suministro a gran escala; pero puede ser efectiva para complementar el suministro de poblaciones pequeñas y aisladas. (Soriano, 2015)

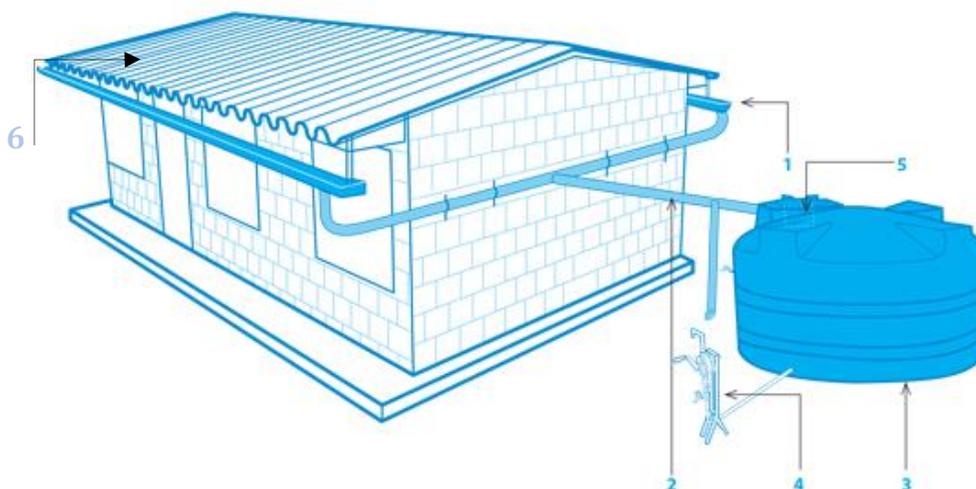


**Figura 20.** Malla de polipropileno para captación de niebla. Fuente: (PNUD y INIA, 2015)

### Captación de agua de lluvia con base en techos de edificios

Los sistemas de captación, independientemente de su complejidad tienen tres componentes. Superficie de captación, medio de conducción y depósito (Figura 21). En la actualidad, gracias a la investigación e innovación de estos sistemas se han adaptado otros componentes, necesarios para mantener y mejorar la calidad del agua colectada como mecanismos de filtración y purificación. (Krishna, 2005)

Debido a que los techos son impermeables y que cuentan con cierta pendiente para el desalojo de agua, pueden producir un volumen de escurrimiento cercano al volumen total del agua de lluvia y la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia resultan fácilmente adaptables. (FAO, 2013)



(1) Canaletas. (2) Conducción y bajantes. (3) Depósito. (4) Separado de primera lluvia. (5) Filtro. (6) Superficie de captación.

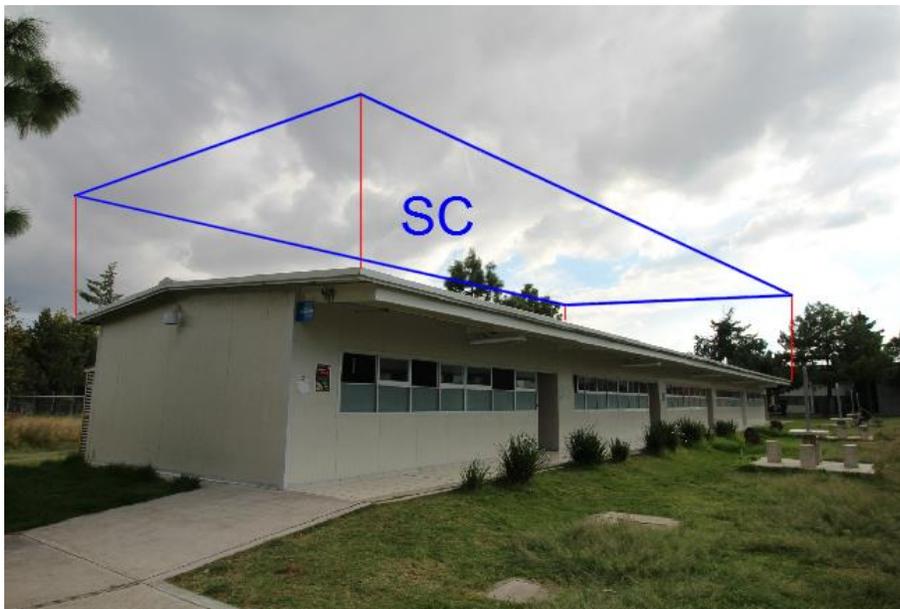
**Figura 21.** Componentes de un sistema de captación en techos de edificios. Fuente: (Rotoplas, 2016).

## Superficie de captación

Es la superficie que recibe directamente el agua de lluvia y la conduce hacia el siguiente componente. Los techos pueden ser de materiales como fierro galvanizado, láminas de acero corrugado, plástico o loseta son buenas opciones para la superficie de captación, se debe considerar que habrá una mayor captación, entre más liso sea el material. (Figura 22) (Adler, Carmona y Bojalil, 2008)

En el caso de techos de cemento impermeabilizados con fieltro y pinturas plásticas se debe cuidar que estos materiales sean libres de plomo y no liberen sustancias por la exposición al sol y lluvia. Se debe evitar el uso de láminas de asbesto-cemento si el agua captada es para consumo humano, ya que este material libera sustancias dañinas para la salud. (Worm y Hattum, 2006)

Para afectar lo menos posible la calidad del agua de lluvia la superficie de captación debe mantenerse limpia y libre de cualquier tipo de contaminante, hojas de árboles, tierra, polvo, excrementos; para esto se recomienda limpiar esta área antes de la temporada de lluvias. La calidad del agua de lluvia se da en función del tipo de material utilizado, condiciones climáticas y los demás elementos del entorno. (Texas Commission on Environmental Quality, 2007)



**Figura 22.** Superficie de captación. Fuente: Elaboración propia.

## Conducción

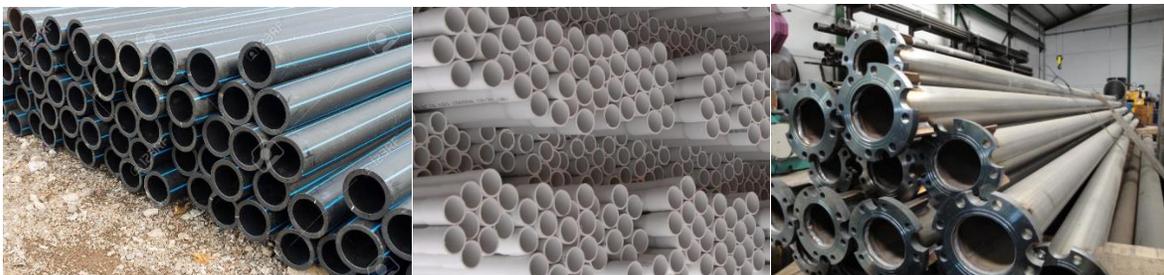
El sistema de conducción a menudo está constituido por canaletas y tubos, cuya función es la recolección y transporte del agua captada, que se lleva al depósito del sistema, o al lugar en donde se vaya a aprovechar en caso de ser un sistema de captación para uso directo. (FAO, 2000)

Los materiales más comunes para las canaletas y tubos de conducción son Polietileno, PVC y metal (Figura 23), en este último caso son más durables, requieren menos mantenimiento, pero son más costosas, además se debe evitar el uso de soldaduras con contenido de plomo. Las canaletas de PVC son fáciles de conseguir, durables y no son tan costosas, además de que son resistentes a la corrosión por lluvia ácida. (Herrera, 2010)

Para la instalación de canaletas se debe considerar una pendiente efectiva del 2 al 4%, desde el tubo de bajada a la caída de agua más alejada. En estas estructuras se incorporan los primeros elementos para el tratamiento del agua, colocando rejillas y coladeras en canaletas y bajantes, para evitar el paso de contaminantes sólidos de tamaño considerable, de esta manera también se evita el taponamiento y falla en el funcionamiento del sistema. (Worm y Hattum, 2006)

El sistema de conducción debe tener las siguientes características:

- Las dimensiones de canaletas y tubos deben estar adecuadas al volumen de escorrentía.
- Deben tener una pendiente uniforme hacia los tubos bajantes.
- Tener suficiente estructura de apoyo para soportar el peso del agua.
- Deben ser de materiales que faciliten su limpieza.
- Conducto de bajada suficiente para el caudal máximo.



**Figura 23.** Tipos de tubería. Polietileno, PVC, Acero Inoxidable. Fuente: (SC Fluids, 2019)

## **Almacenamiento**

Sin importar el material, los depósitos de agua deben mantener las siguientes características:

- Debe ser opaca de manera que la luz del sol no esté en contacto con el agua, evitando así el crecimiento de algas.
- Debe tener una tapa, para evitar la contaminación del agua y el desarrollo de mosquitos y otros vectores de enfermedades.
- Para depósitos de agua potable es necesario que los materiales que entren en contacto con el agua no contengan sustancias tóxicas.
- Su limpieza y mantenimiento debe ser sencillo.

Tanques, depósitos sobre el suelo. Los depósitos de agua deben ser colocados en una estructura estable y nivelada, lo más cercano a la demanda (Krishna, 2005). Este tipo de depósitos a diferencia de las cisternas, presentan una mayor facilidad de instalación, mantenimiento y operación; pero al construirse se debe tomar en cuenta que el terreno en donde se instale, pueda soportar la carga del depósito.

**Tanques subterráneos, cisternas.** Necesario excavar un hoyo en el suelo de las dimensiones adecuadas, se opta por este tipo de depósitos para evitar el uso de un sistema de bombeo en la tubería de alimentación de este, encontrar estratos de suelo más resistentes y para evitar la modificación del paisaje. (Durán, et al., 2010)

Es importante considerar los diferentes materiales de construcción, dependiendo los costos, el mantenimiento, efecto en la calidad del agua de los materiales utilizados y la finalidad del uso del agua captada, algunos de los materiales son: ladrillo, mampostería, hormigón armado, polietileno y láminas metálicas.

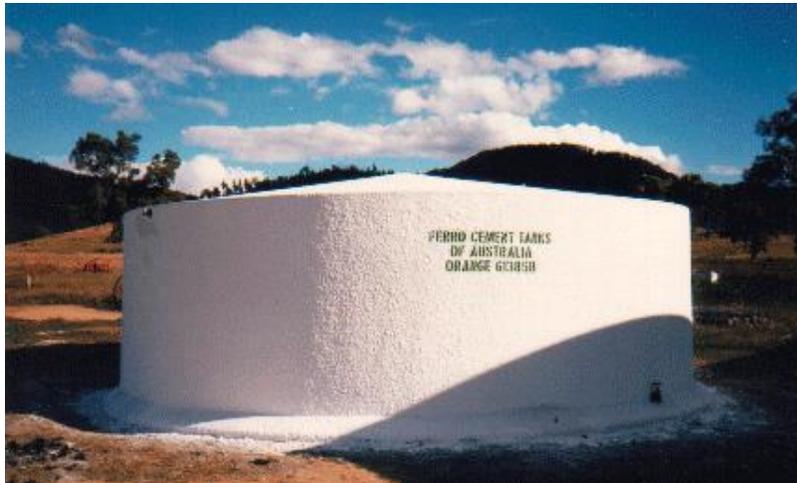
**Embalses y represas.** Estos elementos de almacenamiento de agua se diferencian de la siguiente manera: el primero no intercepta ningún curso natural de agua, éste se crea mediante el reacomodo de tierra, la impermeabilización del sitio y la alimentación de agua de manera artificial. En el segundo se aprovecha la conformación natural del terreno, junto con estructuras de contención construidas por el hombre y puede interceptar uno o varios escurrimientos de agua. (Figura 24) (Chan, 2012)



**Figura 24.** Presa La Concepción, Tepotzotlán, Edo. de México. Fuente: Bici Verde, 2010.

Los estudios que deben realizarse previo a la construcción de embalses y represas deben ser: de carácter hidrológico (régimen de lluvias y fenómenos atmosféricos extraordinarios), geológicos (geología presente, permeabilidad, tectónica y sismicidad) orientados a determinar la necesidad de impermeabilización y tipos más adecuados de impermeabilización, materiales disponibles y su influencia en la estabilidad de la estructura. Finalmente, los estudios geotécnicos son orientados a conocer el comportamiento del terreno de cimentación y las características de los materiales a utilizar en la construcción de los diques. (FAO, 2000)

**Tanques de ferrocemento.** Estos son fabricados de mortero y cemento sobre una estructura soldada de malla de alambre de pequeño diámetro; tienen una capacidad de que va desde 5 m<sup>3</sup> hasta 100 m<sup>3</sup> (Figura 25). Algunas ventajas de este material son: bajo costo, facilidad de construcción, fácil de reparar.



**Figura 25.** Depósito de ferrocemento. Fuente: Caballero, 2006.

**Depósitos de concreto prefabricado.** Estos son fabricados bajo condiciones controladas, dando como resultado depósitos ideales. Tienen una capacidad de almacenamiento que va de 5 a 35 m<sup>3</sup> (Figura 26).



**Figura 26.** Depósito de concreto. Fuente: Wolf System Austria, 2017.

**Cisternas de tabique cemento.** Éstas son las más comunes en México, sus materiales son fáciles de encontrar. Ambas tienen desventajas similares: poseen baja flexibilidad, no resisten desplazamientos o movimientos sísmicos. Para dimensiones mayores de almacenamiento, la construcción o instalación resultan en altos costos en comparación con otras opciones (Figura 27).



**Figura 27.** Construcción de cisterna de ladrillo. Fuente: Gobierno del Estado de Aguascalientes., 2012

**Depósitos de metal.** Estos son de lámina de acero galvanizado, el cual no es resistente a la corrosión, razón por la cual no es recomendable para la recolección de agua de lluvia (Figura 28).



**Figura 28.** Depósito de fierro galvanizado. Fuente: Innovative Water Solutions, 2010.

**Depósitos revestidos de geomembrana de PVC, polietileno de alta densidad o polipropileno reforzado.** Estos recubrimientos son impermeables y de gran resistencia, lo que evita filtraciones y fugas, se pueden adaptar a todos los depósitos anteriores y embalses (Figura 29). La utilización de estos materiales ofrece ventajas como: fácil instalación, resistencia al desplazamiento y punzonamiento, se puede

adaptar a la forma de cualquier depósito, tiene una larga vida útil y bajo costo comparativo.



**Figura 29.** Depósito de alambre revestido con geomembrana. Fuente: ATL, 2010.

**Depósitos de polietileno.** Se utilizan comúnmente para el almacenamiento de agua potable que proviene del servicio municipal (Figura 30). Estos son fáciles de instalar y transportar, son durables y flexibles, además poseen recubrimientos especiales para mantener la calidad del agua. Tienen una capacidad de almacenamiento que va de 0.5 a 25 m<sup>3</sup>.



**Figura 30.** Depósito de polietileno de 10 metros cúbicos. Fuente: (Rotoplas, 2016)

## **Agua de lluvia**

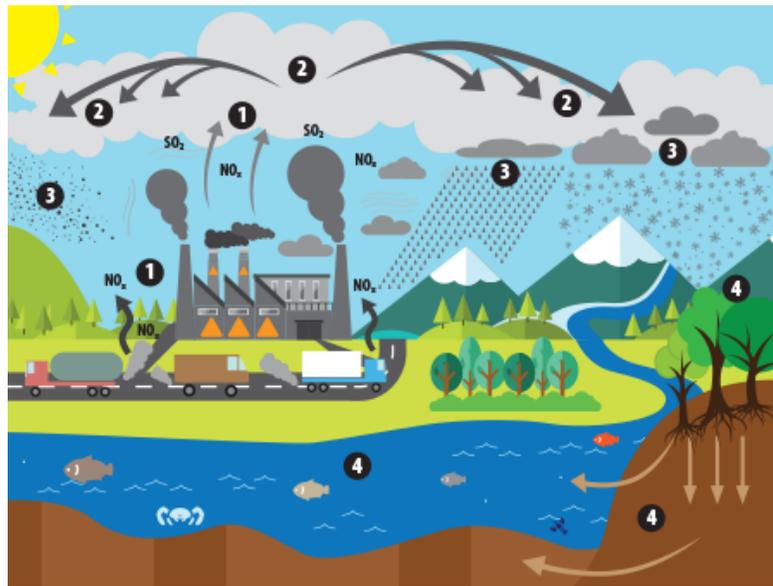
El agua de lluvia se considera una de las fuentes más puras, tiene un bajo contenido de sales y alto potencial químico, lo que eleva su capacidad como solvente; esto provoca que al entrar en contacto con gases presentes en la atmósfera y con las superficies del sistema de captación, disuelva y arrastre consigo otras sustancias, esto genera un pH ligeramente ácido y un deterioro en la calidad del agua. (Martinson y Thomas, 2003; Abbasi y Abbasi, 2011)

La calidad del agua colectada está en función del ambiente y de la condición de los componentes del sistema. El tipo de tratamiento que se debe aplicar depende del uso que se le dará, ya sea como agua potable para consumo humano y limpieza o no potable para la descarga de baños y el lavado de ropa. (Krishna, 2005)

El agua no potable como para riego de áreas verdes o limpieza de patios y áreas que se encuentren a la intemperie requiere la colocación de un filtro para hojas y partículas grandes, además de la separación de los primeros milímetros captados. Para sistemas de agua potable destinada a consumo humano, el tratamiento requiere la combinación de uno o varios métodos de filtración y desinfección para asegurar la calidad del líquido (Texas Commission on Environmental Quality, 2007). Entre los contaminantes que se pueden encontrar en el agua de lluvia están:

- **Basura.** Todo contaminante que se aprecia a simple vista; incluyendo hojas y ramas, polvo, excrementos de animales, insectos y otro material visible. Estos residuos reducen la calidad visual del agua y pueden contener contaminantes químicos y/o biológicos invisibles que pueden ser perjudiciales para la salud. (Texas Commission on Environmental Quality, 2007)
- **Contaminantes químicos.** El agua de lluvia puede absorber químicos en el aire, sin embargo, la mayoría de los que se presentan en el agua captada se introducen durante la recolección, el tratamiento y la distribución. Con un diseño y operación adecuados se puede minimizar la exposición a contaminantes químicos, incluyendo los químicos orgánicos e inorgánicos. (Texas Commission on Environmental Quality, 2007)

- **Químicos orgánicos volátiles.** Pueden ser plásticos, pegamentos, solventes, gasolinas, grasas y aceites. La contaminación con estas sustancias ocurre porque los materiales utilizados en el sistema no cumplen con los estándares requeridos para mantener la calidad del agua. Aunque la contaminación por este tipo de químicos ocurre por una incorrecta elección de los materiales, también puede suceder que, al caer las gotas de lluvia atraviesen nubes de vapor que contengan solventes, gasolina o residuos de la combustión (SEDEMA, 1994). Un ejemplo de este tipo de contaminación es la lluvia ácida (Figura 31).



**Figura 31.** Formación de lluvia ácida. Fuente: (EPA, 2016)

- **Químicos orgánicos sintéticos.** Son sustancias que se encuentran comúnmente en insecticidas y herbicidas y otros productos similares. Estos químicos al no ser muy volátiles se introducen junto con otros contaminantes como hojas y polvo. Este tipo de contaminación es resultado de la exposición al ambiente de un sistema deficiente, sin embargo, también se pueden introducir si la instalación del sistema de captación y almacenamiento en un lugar cercano a donde se realizan aplicaciones de agroquímicos. (Texas Commission on Environmental Quality, 2007)

- **Minerales.** Materiales inorgánicos encontrados de manera natural en el ambiente, por ejemplo, carbonato de calcio, bicarbonato de sodio, sulfato de magnesio y cloruro de sodio; estos afectan el sabor del agua, pero no son una amenaza real para la salud. Un contaminante peligroso para la salud es el asbesto que es una sal de silicio usada para la fabricación de diferentes productos. (Texas Commission on Environmental Quality, 2007)
- **Metales.** Plomo, arsénico, cobre, hierro y manganeso; los primeros dos suponen una amenaza a largo plazo para la salud si se encuentran en grandes concentraciones. El manganeso y hierro pueden afectar la apariencia y el sabor del agua, pero no son un riesgo a la salud. Este tipo de contaminantes se presenta sólo después de que metales como la soldadura de plomo, tuberías de cobre o hierro y guarniciones de cobre están en contacto con el agua por un periodo prolongado. (Texas Commission on Environmental Quality, 2007)
- **Contaminantes microbiológicos.** Estos se desarrollan en la basura y sobre los materiales orgánicos que se puedan depositar en la superficie de captación. La contaminación del agua se da al momento de la precipitación, cuando estos contaminantes son arrastrados al interior del sistema. De los microorganismos que pueden estar presentes en el agua captada se identifican dos grupos, no patógenos y patógenos. Los no patógenos incluyen varios tipos de protozoarios, algas, bacteria y virus; reducen la calidad del agua y, por ejemplo, altas concentraciones de algas pueden hacer el agua más viscosa, tapando los filtros; mientras que, hongos y bacterias pueden colonizar las líneas de tubería. Los organismos patógenos no se encuentran normalmente en el agua de lluvia, sin embargo, se pueden presentar si en la captación o en el depósito hay contacto con material fecal. Estos organismos suponen un riesgo mayor a la salud de los usuarios que cualquier otro contaminante porque pueden causar enfermedades, no son visibles y proliferan rápidamente (Tabla 4) (Krishna, 2005; Abbasi y Abbasi, 2011).

**Tabla 4.** Patógenos que pueden ser encontrados en la lluvia captada.

<b>Tipo de patógeno</b>	<b>Organismo</b>	<b>Fuente de contaminación</b>
<b>Parásitos</b>	<i>Giardia lamblia</i>	Gatos y animales silvestres
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Gatos, aves, roedores y reptiles
	<i>Toxoplasma gondii</i>	Gatos, aves y ratas
<b>Bacterias</b>	<i>Campylobacter spp.</i>	Aves y ratas
	<i>Salmonella spp.</i>	Gatos, aves, roedores y reptiles.
	<i>Leptospira spp.</i>	Mamíferos
	<i>Escherichia coli</i>	Aves y mamíferos
<b>Virus</b>	<i>Hantavirus spp.</i>	Roedores

Fuente: (Texas Commission on Environmental Quality, 2007)

### **Métodos de tratamiento de agua**

Los métodos de tratamiento más utilizados se describen a continuación.

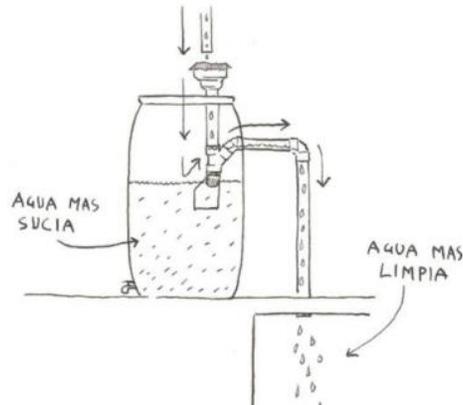
#### **Vertedero de primeras lluvias**

En este mecanismo, los primeros milímetros de lluvia son los que arrastran la mayor cantidad de partículas contaminantes y funciona separando las primeras lluvias del agua que se piensa almacenar (Martinson & Thomas, 2005); es uno de los mecanismos más utilizados para mejorar la calidad del agua captada.

Existen diferentes recomendaciones sobre la proporción de agua que debe ser separada, Krishna (2005), recomienda como regla, separar al menos 40 litros de agua por cada 1,000 metros cuadrados. Sin embargo, el volumen a separar varía con la cantidad y tipo de impurezas que se deponen sobre el techo, la pendiente de este último, el número de días sin lluvia y la estación climática. (Krishna, 2005)

- La pendiente del techo, a mayor inclinación, mayor velocidad de escurrimiento y con ello una mayor velocidad de arrastre de impurezas.
- Porosidad del material del techo. Materiales no porosos se limpian más rápidamente que los materiales porosos.
- Cantidad y tipo de contaminantes presentes.
- Intensidad de lluvia; precipitaciones de baja intensidad eliminarán menos contaminantes que las lluvias torrenciales. (Texas Commission on Environmental Quality, 2007)

El separador de primeras lluvias consiste en un tubo o recipiente, generalmente de PVC, el cual se llena con la primera lluvia o el agua más contaminada, después de llenarse permite que el flujo de agua sea dirigido hacia el depósito principal (Figura 32) (Lomnitz, 2012).



**Figura 32.** Separador de primeras lluvias. Fuente: (Lomnitz, 2012).

### **Filtración**

Consiste en la separación de partículas sólidas del agua captada, para este proceso se utiliza un medio filtrante por el cual se hace pasar el agua pero no las partículas sólidas (Romero, 2008). En el mercado existe una gran gama de productos que sirven para el tratamiento del agua y que pueden ser incluidos en el sistema de captación, o funcionar como un sistema complementario.

Filtros en canaletas y bajantes: este tipo de filtros se utilizan para remover las partículas grandes (hojas y animales o sus restos) que se puedan depositar en el área de captación y puedan ser arrastrados al sistema; además de asegurar la calidad del agua captada se evita que el sistema sufra posibles taponamientos. (Worm y Hattum, 2006)

La instalación de estos filtros depende de la cantidad y tipo de basura que pueda acumularse sobre la superficie de captación y las canaletas; su instalación puede ser a lo largo de las canaletas en caso de que se presenten cantidades considerables de hojas e impurezas o instalarse en las conexiones entre canaletas y tuberías bajantes en el caso contrario. (Krishna, 2005)

Filtros de hoja: tienen una malla con aberturas de un cuarto de pulgada y estos pueden ser colocados a lo largo de la canaleta, en el punto de conexión con el tubo bajante o sobre este último. Estos filtros son necesarios sólo si hay ramas de árboles que sobrepasan el techo o canaletas. Existen filtros que dirigen las hojas fuera de las canaletas mediante el flujo de agua para lograr una auto limpieza (Figura 33) (Worm y Hattum, 2006).



**Figura 33.** Tipos de filtros de hojas. Fuente: (Macomber, 2010)

### **Filtros en sistema de conducción**

Estos filtros se colocan en el sistema de conducción, que conecta a los tubos bajantes de los edificios a los depósitos o se instalan como componentes de una planta de tratamiento o purificación.

1ª Opción, el filtro o sistema de filtración se coloca antes del depósito de agua, así el depósito se llena sólo con agua filtrada. Esta opción previene atascos en las tuberías y dependiendo del filtro utilizado, la entrada de contaminantes al depósito.

2ª Opción, el filtro o sistema de filtración es colocado a la salida del depósito para obtener agua que va a ser utilizada inmediatamente; en caso contrario es necesario contar con otro depósito en el cual se pueda almacenar el agua filtrada. (Worm y Hattum, 2006)

Algunos filtros que se utilizan comúnmente en el tratamiento de agua son descritos a continuación:

Filtros de cartucho, pulidores. Este tipo de filtros es común que se utilicen en serie con filtros de carbón activado, o con filtración por ósmosis inversa. Dependiendo de los elementos a utilizar será la colocación de este tipo de filtros. (Carbotecnia, 2017b)

1. Es utilizado como prefiltración cuando se combina con filtros de ósmosis inversa.
2. Se utiliza como filtración posterior cuando se utiliza junto con un filtro de carbono activado.

Este filtro retiene partículas mayores a 5 micras, tales como óxidos y partículas más pequeñas que hayan pasado otros filtros. (Krishna, 2005)

Estos filtros pueden ser:

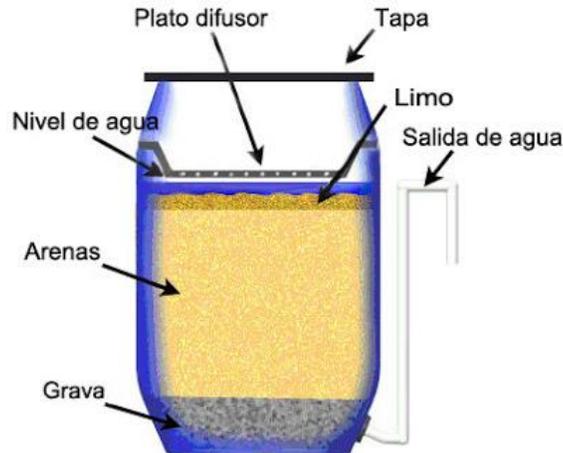
- a) Filtros Cartuchos con porta filtro de Polipropileno.
- b) Filtro de cartuchos múltiples de porta filtro de acero inoxidable (Figura 34).
- c) Filtros de Bolsa con porta filtro de acero inoxidable.



**Figura 34.** Filtros pulidores y cartuchos. Fuente: (Hidrofiltec SAC, 2015b)

Filtros de arena: existen de manera general dos tipos, el filtro lento de arena y los filtros de lecho profundo (Figura 35). Los primeros filtros actúan gracias al arreglo de varias capas de diferentes grosores de arena y de la actividad microbológica que en ellas se genera, estos agentes son los responsables de la degradación orgánica, eliminación de patógenos y la disolución de oxígeno en el agua. La actividad microbológica requiere inicialmente la entrada de rayos solares y evitar el uso de químicos; además de, un buen

diseño, de operación y mantenimiento adecuados, ya que los dos mecanismos mencionados se complementan y favorecen un funcionamiento adecuado. (Pérez, 2008)



**Figura 35.** Filtro de arena. Fuente: (Caballero, 2006)

Filtros de lecho profundo (Figura 36). El uso de arenas y gravas, como lecho filtrante deriva de sus propiedades, dureza, resistencia química, alto punto de fusión, transparencia e insolubilidad. (Carbotecnia, 2017b)

Estos filtros son depósitos cerrados herméticamente y pueden utilizar arenas sílices de diferente tamaño, grava, antracita y/o zeolita como medio de filtración; estos materiales se agrupan en diferentes camas gracias a la densidad de cada material. En la cama superior se encuentra material filtrante de mayor tamaño y debajo las camas con partículas de menor tamaño. Este acomodo le da la capacidad de remover sólidos suspendidos (polen, tierra, basuras pequeñas) con un tamaño de 5 a 20 micras, por esto son adecuados cuando el agua a filtrar presenta poca turbidez, menor a 10 unidades nefelométricas de turbidez (UNT estas se miden con un nefelómetro, el cual mide la intensidad de luz dispersada de una muestra y la compara con la dispersión de luz de una muestra de referencia (Secretaría de Economía, 2001) y de bajo conteo; además, son de fácil mantenimiento y se limpian mediante retro lavado el cual consiste en hacer circular agua en sentido contrario al flujo normal, expulsando las impurezas que quedan de la filtración, además posee una larga vida útil. El uso de estos filtros funciona como un método barato y sencillo de filtrar el agua. (Adler, et al., 2008)



**Figura 36.** Filtro de multimedio. Fuente: Filken, 2014.

Carbón activado (CA). Su funcionamiento se basa en la gran área superficial de este elemento y su capacidad de adsorción de compuestos, separando el agua y los compuestos ajenos a ella por adsorción en su superficie (Figura 37). La aplicación de carbón activado es el método más efectivo para remover sabor, olor, compuestos orgánicos (amoníaco) y químicos (cloro). Existe en presentaciones como polvo, granular y en bloques, por lo que se puede aplicar directamente o incluirse dentro de un filtro prefabricado. (Organización Panamericana de la Salud, 2011)



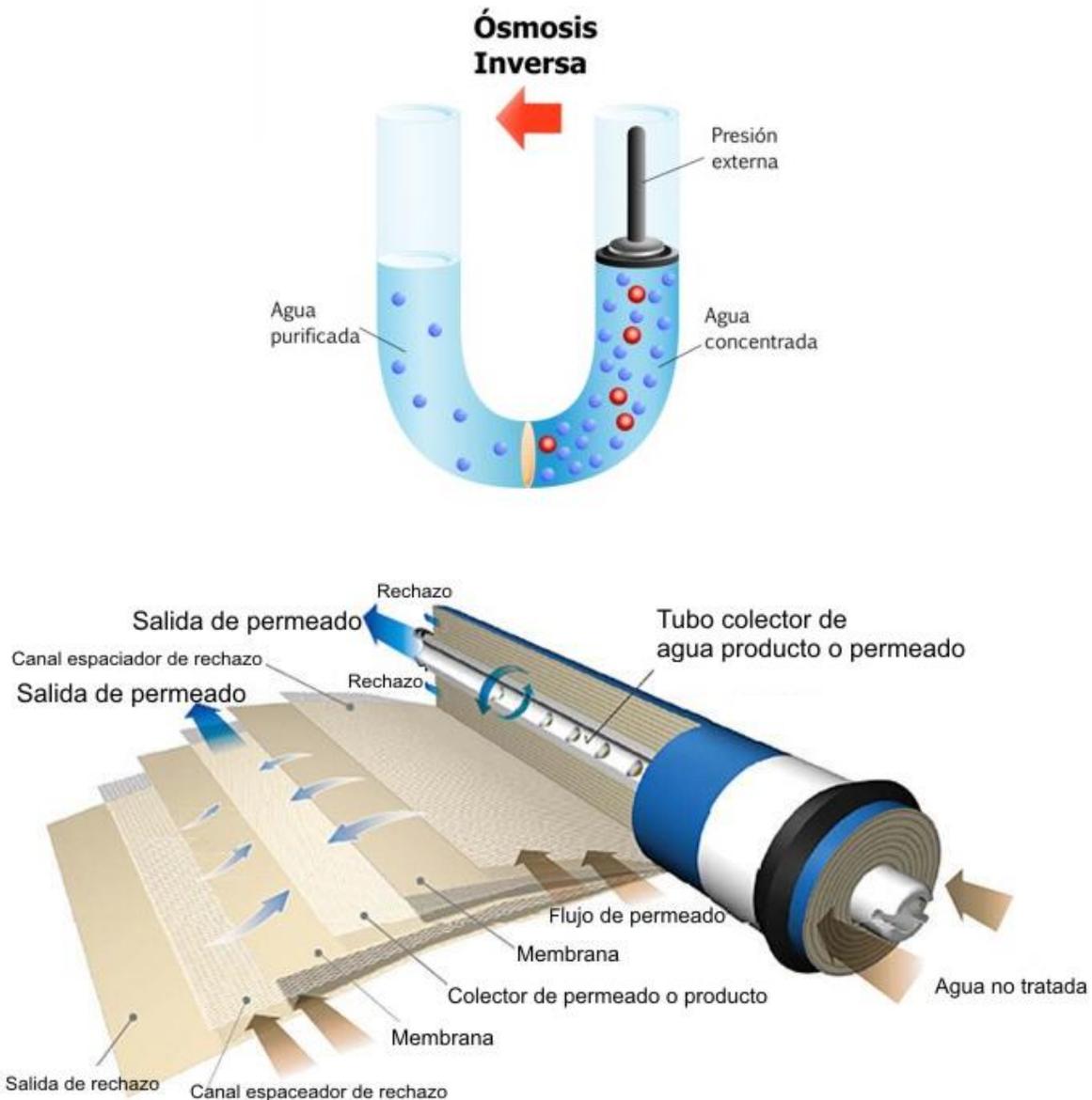
**Figura 37.** Adsorción de contaminantes en CA. Fuente: (Hidrofiltec SAC, 2015a)

Filtro de carbón activado: depósito que contiene una columna CA de tipo granular, el mecanismo de acción es similar al de los demás filtros, haciendo pasar el agua contaminada por la columna de CA (Figura 38). Este tipo de filtros contiene en la parte de salida de agua algún otro elemento filtrante, como arenas sílices, las cuales evitan el arrastre de CA al flujo de agua tratada. La limpieza de estos filtros es mediante retro lavado. Se debe reemplazar el medio filtrante una vez que este se haya saturado, ya que de no ser así este tipo de filtro puede fungir como medio de cultivo. (Romero, 2008)



**Figura 38.** Disposición de elementos de Filtro de CA. Fuente: (Hidrofiltec SAC, 2015a)

Ósmosis inversa: es la separación del agua de los componentes orgánicos e inorgánicos que ésta contenga, por efecto de la presión sobre una membrana semipermeable que es mayor que la presión osmótica de la solución (Figura 39). La presión posibilita el paso del agua a través de una membrana, separando los sólidos disueltos. Después de este proceso se obtiene un flujo de agua pura, libre de minerales, coloides, partículas orgánicas, microorganismos y virus. Este método de tratamiento se conoce de tres diferentes formas y depende del tamaño de partículas que filtran las membranas: microfiltración, ultrafiltración y nano filtración. (Ratnayaka, et al., 2009b)



**Figura 39.** Membranas de ósmosis inversa. Fuente: (Carbotecnia, 2017a)

## Desinfección

A pesar que se considera a la lluvia como una de las fuentes de agua más limpias, al entrar en contacto con el ambiente y con materiales en los cuales se pueden encontrar microorganismos e impurezas; la calidad del líquido disminuye; es por esto que a pesar de que sea mínima la cantidad de organismos patógenos se recomienda desinfectar el agua previo a su consumo (Krishna, 2005). La desinfección puede prevenir el desarrollo de microorganismos dentro del sistema y la contaminación del depósito. (Texas Commission on Environmental Quality, 2007)

A continuación, se describen los métodos de desinfección más usados para el tratamiento de agua potable.

### Métodos químicos

- **Cloración.** El cloro es un agente oxidante, permite controlar el crecimiento de microorganismos dentro del depósito utilizando cantidades pequeñas; este elemento se utiliza para la desinfección de agua por su bajo precio, su fácil disponibilidad, fácil aplicación y su efectividad para la mayoría de microorganismos (Tebbutt y Yolland, 1990). Para la desinfección se hace uso de compuestos con contenido de cloro como hipoclorito de sodio (NaOCl), hipoclorito de calcio  $\text{Ca(OCl)}_2$ , ácido hipocloroso (HOCl), entre otros. La cantidad de cloro a utilizar depende de la concentración de la fuente de cloro a utilizar, el tamaño del depósito y si se añade para prevenir o para eliminar algún problema microbiológico. (Texas Commission on Environmental Quality, 2007)
- **Ozonificación.** El gas de ozono ( $\text{O}_3$ ) es un poderoso agente oxidante, usado para la desinfección y oxidación, este compuesto oxida muchas sustancias orgánicas a compuestos menos complejos, reduce metales como hierro y manganeso, formando precipitados (Figura 40). El efecto bactericida del ozono es rápido, entre 4 y 10 minutos con dosis entre 1 – 3 mg/L, este método es más efectivo que el cloro para eliminar virus, cysts y oocysts, mientras se mantenga un tiempo de contacto entre los parámetros ya mencionados. (Ratnayaka, et al, 2009a)



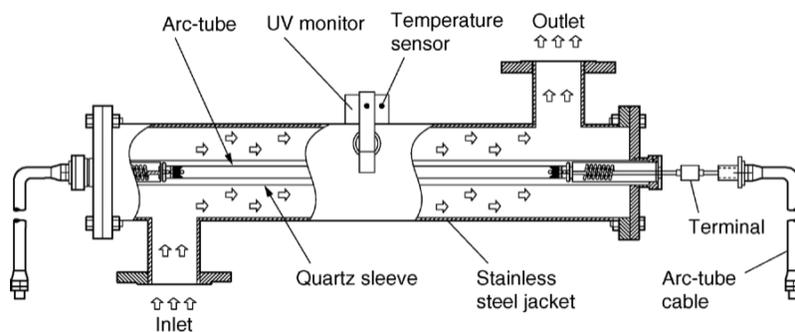
Figura 40. Generador de ozono. Fuente: (Carbotecnia, 2017b)

## Métodos físicos

**Radiación ultravioleta.** Es una forma de radiación electromagnética que va desde 100 a 400 nanómetros (nm) en el espectro electromagnético entre la luz visible y rayos X. Se identifican cuatro clases de radiación ultravioleta: UV-A (315 a 400 nm), UV-B (280 a 315 nm), UV-C (200 a 280 nm) y vacío UV (100 a 200 nm). La desinfección con luz ultravioleta ocurre a longitudes de onda entre 200 y 300 nm, con un pico de desinfección en 260 nm, en el rango de radiación entre UV-B y UV-C. El mecanismo principal de desinfección con luz UV es la absorción de la radiación en el rango ya mencionado, por parte de los organismos celulares y la consiguiente descomposición fotoquímica de su ADN y ARN. (Ratnayaka, et al., 2009a)

Para garantizar una desinfección efectiva se debe asegurar que el agua a tratar no contenga partículas que puedan evitar la exposición de los microorganismos a la radiación UV, para lo cual se recomienda filtrar el agua previamente. Entre los patógenos asociados con las fuentes de agua potable, las más resistentes a la inactivación por radiación UV son virus y bacterias. Contrario a lo anterior, *Cryptosporidium oocysts* y *Giardia cysts* son los más susceptibles a la desinfección con radiación UV. (Ratnayaka, et al., 2009c)

La radiación UV es generada por el paso de un arco eléctrico a través de un tubo (de cuarzo de alta pureza) sellado herméticamente con vapor de mercurio en el interior (Figura 41). El vapor de mercurio se excita por la descarga, después del cual vuelve a un estado bajo de energía, resultando en la emisión de radiación UV. (Koutchma, 2014)



**Figura 41.** Diagrama de una lámpara de luz UV. Fuente: (Ratnayaka, et al., 2009a)

## **Factibilidad técnica, económica y social**

Para llevar a cabo un proyecto para la implementación de un sistema de captación de agua es necesario considerar los siguientes factores:

### **Criterios técnicos de diseño**

**Demanda de agua.** Cantidad de agua que se necesita diariamente para cumplir con las funciones físicas, biológicas, económicas que se realizan en el lugar; es el agua que se requiere para satisfacer estas necesidades establecidas como objetivo del sistema de captación.

**Oferta de agua.** Esta cantidad de agua se determina con base en registros meteorológicos del lugar donde se planea establecer el sistema de captación, es preciso contar con un registro de datos mínimo de 10 años para obtener el promedio de los datos de precipitación media mensual, precipitación media anual, precipitación máxima en 24 horas y la intensidad de lluvia en una hora. (Anaya, 2011)

**Calidad de agua de lluvia.** Generalmente el agua de lluvia es baja en minerales y sodio, el pH que presenta es ligeramente ácido y, en teoría, no posee contaminantes antes de ponerse en contacto con el ambiente y los componentes del sistema de captación. Este criterio es importante para considerar si la calidad del agua colectada cumple con la normativa para los usos que serán cubiertos; en el caso contrario se debe analizar el método más eficiente para dar al agua la calidad deseada. (Krishna, 2005)

**Cálculo de la precipitación neta.** La precipitación neta (PN) se define como la cantidad de agua que está a disposición del sistema de captación o la cantidad total de agua que llega al depósito o al sitio en el que se realizará el aprovechamiento. Este cálculo se estima a partir de la precipitación medida del lugar, y se le descuentan las pérdidas por factores de salpicamiento, velocidad del viento, evaporación, fricción, tamaño de gota que se consideran en un coeficiente de captación de 0.85. (Anaya, 2011)

La eficiencia de la captación del agua de lluvia depende de los materiales utilizados como área de captación.

**Coefficiente de escurrimiento.** Debido a que no toda el agua que precipita sobre el área de captación forma un escurrimiento, se estima este coeficiente como la proporción de lluvia que fluye sobre esta área. Este coeficiente depende de la pendiente, del tipo de material del que se componga el área de captación, así como la intensidad y duración de la lluvia (Adler, et al., 2008). Los coeficientes de escurrimiento de acuerdo con el material utilizado se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Coeficientes de escurrimiento

Tipo de captación	Ce
<b>Cubierta superficial</b>	
Concreto	0.6 – 0.8
Pavimento	0.5 – 0.6
Geomembrana de PVC	0.85 – 0.9
<b>Azoteas</b>	
Azulejos, tejas	0.8 – 0.9
Hoja de lámina metálica	0.7 – 0.9
<b>Captación en tierra</b>	
Suelo con pendientes menores a 10%	0.1 – 0.4
Adoquines	0.5 – 0.7
Superficie de grava	0.15 – 0.3
Tierra sin vegetación	0.2 – 0.8
Tierra con vegetación densa	0.05 – 0.035
Zonas arboladas y de bosque	0.1 – 0.2
Zonas cultivadas	0.2 – 0.4

Fuente: (Anaya, 2011; UNESCO, 2015)

**Determinación del área de captación.** En la práctica se presentan dos situaciones para la determinación del área de captación; cuando ya se dispone una superficie que fungirá como área de captación y solo se debe complementar en caso de presentarse un déficit con el área original o cuando el diseño del sistema parte de cero y se debe determinar el área de captación necesaria para satisfacer la demanda de agua del proyecto. (Anaya *et al.*, 1998)

### **Red de drenaje pluvial**

En este punto se debe determinar el método de conducción a utilizar, entre los más usados están los canales abiertos, las tuberías presurizadas y las tuberías con superficie libre (conducción por gravedad). Para la mayoría de los sistemas de drenaje se

considera la conducción en tuberías bajo un sistema a superficie libre y siguiendo en lo posible la pendiente del terreno. (CONAGUA, 2009b)

En caso de que existan en la localidad zonas sin drenaje natural, se emplearán las pendientes de diseño mínimas, que cumplan con las condiciones de tirante mínimo y máximo dentro de una tubería, así como las de velocidades máximas y mínimas en la conducción del flujo. (CONAGUA, 2009a)

### **Pendientes**

Con el fin de tener volúmenes menores de excavación se debe procurar que la pendiente de la tubería siga, en lo posible, la pendiente del terreno. La pendiente mínima permisible se considera aquella necesaria para tener una velocidad de 0.30 m/s con un gasto de 1 L/s y un tirante mínimo de 1.5 cm.

### **Coefficiente de rugosidad**

El coeficiente de fricción ( $n$ ), representa las características internas de la superficie de la tubería, su valor depende del tipo de material, de la calidad del acabado y del estado de conservación de la tubería. Los tres elementos se conjugan para calcular velocidades, gastos y para determinar diámetros idóneos de tubería y canaletas. (DURMAN, sin fecha)

### **Factor económico**

En este factor se consideran los costos de todos los componentes del sistema, así como la cantidad de agua que se puede ofertar con el mismo y el volumen de agua que se demanda. Los costos del sistema propuesto se deben comparar con el costo de otras alternativas para la mejora del abastecimiento de agua; también, con el costo por el consumo de agua del lugar. (Arroyave *et al.*, 2012)

En este factor también se debe considerar el tiempo de vida de los materiales del sistema de captación, canaletas y conductos, la necesidad de personal en la operación diaria y la necesidad de mantenimiento periódico.

**Factor social**

Este factor es representado por los hábitos y costumbres que se tienen en el lugar, y que pueden verse afectados con la implementación del sistema de captación. El análisis debe considerar la participación colectiva o individual de la población, los materiales empleados y materiales alternativos presentes en el lugar. (CEPIS, 2001)

La evaluación de este factor debe considerar los beneficios y costos que este proyecto pueda generar a la comunidad universitaria. (Sapag y Sapag, 1991)

## Normatividad del agua potable en México

La norma que se aplica en México para vigilar el abastecimiento de agua para uso y consumo humano es la Norma Oficial Mexicana de Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización (NOM-127-SSA-1994) en ella se establecen los parámetros que deben ser cumplidos y se determina el tratamiento a que debe someterse el agua con el fin de asegurar y preservar su calidad hasta su entrega al consumidor.

Esta norma establece los límites máximos permisibles para 47 parámetros físicos, químicos y organolépticos, además de la presencia de microorganismos, que en caso de ser cumplidos asegura que el agua es apta para consumo humano.

**Características físicas y organolépticas.** Son aquellas que se detectan sensorialmente; para su evaluación, el color y la turbiedad se determinan por métodos analíticos de laboratorio, el sabor y olor mediante ponderación de los sentidos. Las características físicas y organolépticas se deberán ajustar a lo establecido en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Parámetros físicos y organolépticos

<b>Característica</b>	<b>Limite permisible</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)

Fuente: Gobierno de la República (2007)

**Características microbiológicas.** Se atribuyen a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y *Escherichia coli* o coliformes fecales. Los límites permisibles se presentan en la Tabla 7 (Gobierno de la República, 2007).

**Tabla 7.** Coliformes límites permisibles.

<b>Característica</b>	<b>Límite permisible</b>		
Organismos coliformes totales	Ausencia detectables	o	no
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termo-tolerantes	Ausencia detectables	o	no

Fuente: Gobierno de la República (2007)

El agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener *E. coli* o coliformes fecales u organismos termotolerantes en ninguna muestra de 100 ml; los organismos coliformes totales no deben ser detectables en ninguna muestra del mismo volumen. En sistemas de abastecimiento de localidades con una población mayor de 50,000 habitantes; estos organismos deberán estar ausentes en el 95% de las muestras tomadas en un mismo sitio de la red de distribución, durante un periodo de doce meses. (Gobierno de la República, 2007)

**Características químicas.** Son aquellas que resultan de elementos o compuestos químicos contenidos en el agua, las cuales se ha comprobado científicamente que pueden causar efectos nocivos a la salud humana. El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 8, los límites se expresan en mg/L (Gobierno de la República, 2007).

**Tabla 8.** Parámetros químicos, límites permisibles.

<b>Característica</b>	<b>Limite permisible</b>
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (CN-)	0.07
Cloro residual libre	0.2 – 1.50
Cloruros	250.00
Cromo total	0.05
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> )	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.30
Fierro	0.30
Fluoruros (F-)	1.50
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l	
Benceno	10.00

Etilbenceno	300.00
Tolueno	700.00
Xileno (tres isómeros)	500.00
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	1.00
pH (unidades pH)	6.5 – 8.5
Plaguicidas en microgramos/l	
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.20
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	1.00
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 – D	30.00
Plomo	0.01
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1,000.00
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> )	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Yodo residual libre	0.2 – 0.5
Zinc	5.00

Fuente: (Gobierno de la República, 2007)

En caso de que en el sistema de abastecimiento se utilicen métodos que no incluyan el cloro o sus derivados para la desinfección del agua, la autoridad sanitaria determinará los casos en que adicionalmente deberá dosificarse cloro al agua distribuida, para mantener la concentración de cloro residual libre dentro del límite permisible establecido. (Gobierno de la República, 2007)

**Características radioactivas.** Son aquellas resultantes de la presencia de elementos radioactivos. El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 9, los límites se expresan en Bq/L (Becquerel por litro). (Gobierno de la República, 2007)

**Tabla 9.** Radioactividad, límites permisibles.

<b>Característica</b>	<b>Limite permisible (Bq/l)</b>
<b>Radioactividad alfa global</b>	0.56
<b>Radioactividad beta global</b>	1.85

Fuente: Gobierno de la República (2007)

### **Tratamientos de agua recomendados**

La NOM-127-SSA-1994 establece que se deben aplicar los tratamientos específicos, cuando los contaminantes microbiológicos, las características físicas y constituyentes químicos, excedan los límites permisibles establecidos anteriormente. Los tratamientos de acuerdo con el tipo de contaminante se ordenan en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Métodos de tratamiento recomendados.

<b>Tipo/Elemento de contaminación.</b>	<b>Método de tratamiento</b>
<b>Contaminación microbiológica</b>	
<b>Bacterias, helmintos, protozoarios y virus.</b>	Desinfección con cloro, compuestos de cloro, yodo, ozono, luz ultravioleta; plata iónica o coloidal; coagulación-sedimentación-filtración; filtración en múltiples etapas.
<b>Características físicas y organolépticas.</b>	
<b>Color, olor, sabor y turbiedad.</b>	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado.
<b>Constituyentes químicos</b>	
<b>Arsénico.</b>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.
<b>Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo.</b>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.
<b>Cloruros.</b>	Intercambio iónico, ósmosis inversa o evaporación.
<b>Dureza.</b>	Ablandamiento químico o intercambio iónico.
<b>Fenoles o compuestos fenólicos.</b>	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.
<b>Fierro y/o manganeso.</b>	Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.
<b>Fluoruros.</b>	Alúmina activada, carbón de hueso u ósmosis inversa
<b>Hidrocarburos aromáticos.</b>	Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado.
<b>Mercurio.</b>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado granular u osmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/l. Adsorción en carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/l.

<b>Nitratos y nitritos.</b>	Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración.
<b>Nitrógeno amoniacal.</b>	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna.
<b>pH</b>	Neutralización
<b>Plaguicidas</b>	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>Trihalometanos</b>	Oxidación con aireación u ozono y adsorción en carbón activado granular
<b>Zinc</b>	Evaporación o intercambio iónico

Fuente: Gobierno de la República (2007)

### **Tarifas por servicio de agua en el municipio de Cuautitlán, Edo. de México.**

En la Tabla 11 se presentan las tarifas de suministro de agua en el municipio de Cuautitlán.

**Tabla 11.** Tarifas para el suministro de agua potable en el municipio de Cuautitlán.

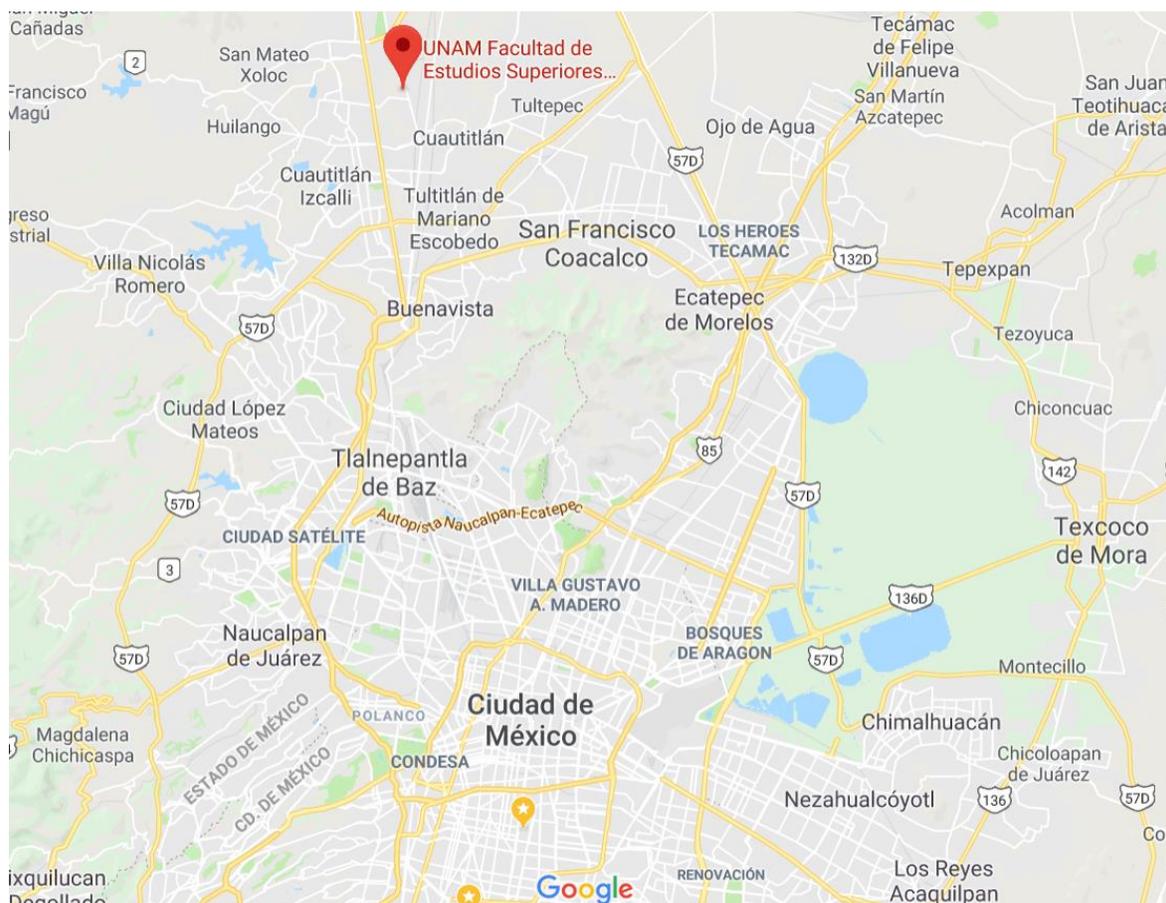
<b>Rango de consumo bimestral (m3)</b>	<b>Cuota mínima para el rango inferior (\$)</b>	<b>Cuota adicional por m3 al rango inferior (\$/m3)</b>
<b>De 0 hasta 15.00</b>	162.75	0.00
<b>De 15.01 hasta 30.00</b>	196.11	5.50
<b>De 30.01 hasta 45.00</b>	278.68	7.03
<b>De 45.01 hasta 60.00</b>	384.71	13.05
<b>De 60.01 hasta 75.00</b>	628.84	10.30
<b>De 75.01 hasta 100.00</b>	783.55	10.31
<b>De 100.01 hasta 125.00</b>	1,282.25	12.69
<b>De 125.01 hasta 150.00</b>	2,129.55	16.89
<b>De 150.01 hasta 300.00</b>	2,904.62	19.23
<b>De 300.01 hasta 500.00</b>	6,474.11	21.50
<b>De 500.01 hasta 700.00</b>	10,775.07	21.50
<b>De 700.01 hasta 1,200.00</b>	14,095.91	21.54
<b>De 1,200 en adelante</b>	28,169.61	23.45

Fuente: (CONAGUA, 2013).

### III. Metodología

#### Ubicación geográfica

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán FES-C, se localiza en el Estado de México; se encuentra ubicada a 30 km al norte de la Ciudad de México, a 2.5 km al noroeste del municipio de Cuautitlán, geográficamente se encuentra entre los 19°39' – 19°45' latitud N y 99°08'-99°14' longitud W a una altura de 2,250 metros sobre el nivel del mar (Figura 42).



**Figura 42.** Localización de la FES Cuautitlán C4. Fuente: (Google, 2017)

#### Obtención de información previa

Para la obtención de información se solicitaron datos de las fuentes que abastecen a la Facultad, así como los volúmenes de consumo de agua y la infraestructura con la que se cuenta. Para el área agropecuaria, se entrevistó al encargado del rancho el MVZ. Edgar Valentina Villalobos, para el área de edificios se visitó a la superintendente de obras y

conservación Arq. Margarita Espinoza Licon. Se obtuvieron datos sobre la matrícula estudiantil y la cantidad de personal del informe de actividades 2015 del director de esta institución.

### **Muestreo de agua**

Para la toma de muestras se colocó una lona plástica en un área sin árboles con pendiente dirigida a un bote de plástico que sirvió como depósito de almacenamiento. La muestra se tomó con un envase de plástico estéril, para evitar la contaminación del envase y el agua se utilizaron guantes estériles. El envase se mantuvo cerrado, hasta que se introdujo al depósito, al llegar a una profundidad de 10 centímetros de la superficie, se abrió y se dejó llenar completamente.

De este depósito se tomaron dos muestras, la primera fue analizada en el laboratorio de Química Ambiental de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la FES C 4 en este laboratorio se analizaron pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, turbidez. La segunda muestra se analizó en el laboratorio de química orgánica de la FES C 1 en donde se realizaron las pruebas microbiológicas de coliformes totales, coliformes fecales y mesófilos, en la tercera muestra se midió la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).

Se realizó un segundo muestreo de agua de lluvia bajo el tratamiento que se propone en esta tesis; este ensayo corrió a cargo de la empresa Ingeniería en Fertilización la cual desarrollo a escala la planta de tratamiento que se propone en esta tesis. Cuenta con filtro de arena, filtro de carbón activado y una lámpara de luz ultravioleta. Esta empresa realizo el muestreo y el análisis fue realizado en el laboratorio Quibimex para determinar el contenido de coliformes totales y fecales, además de contenido de cloro disuelto y pH.

Los datos meteorológicos fueron proporcionados por la Estación Meteorológica Almaraz localizada dentro de la FES Cuautitlán, el periodo de tiempo de las observaciones fue de 2006 a 2016.

### **Determinación del área de captación.**

El área de captación se calculó a partir de imágenes satelitales de las instalaciones de la FES Cuautitlán obtenidas de Google Earth® y analizadas en AutoCAD Map 3D® para obtener el área y medidas de cada uno de los edificios con posibilidades de captar agua de lluvia dentro de la FES Cuautitlán (Figura 43).



**Figura 43.** Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Fuente: (Google, 2017)

## Cálculos previos

Consideraciones. A continuación, se presentan algunas fórmulas, en ellas se consideran coeficientes (adimensionales), y unidades de volumen principalmente, en las unidades de volumen se pueden manejar litros, metros cúbicos o unidades del sistema inglés, dependiendo de la magnitud y de la utilidad de mediciones precisas. Sólo debe vigilarse que se utilice el mismo sistema de medida para el resto de las fórmulas.

También se debe considerar que un milímetro de lluvia es equivalente a un litro por metro cuadrado.

## Volumen captado

Con las medidas de los edificios y la precipitación mensual promedio se determinó la captación mensual por edificio de acuerdo con la siguiente expresión:

1.  $PN = Pm * n$
2.  $n = Ce * Cc$

Dónde: PN= Precipitación neta (captación, mm), n= Eficiencia de captación, Ce= Coeficiente de escurrimiento, Cc= Coeficiente de captación.

Demanda de agua

La demanda se estimó con el total de personas (matrícula estudiantil más el personal) que en promedio laboran y hacen uso de las instalaciones, se hizo un descuento de las personas que dejan de asistir por periodos vacacionales y se utilizaron las fórmulas siguientes:

3.  $D_m = Nu * Dot * Nd_m$
4.  $D_a = \sum_{j=1}^{12} D_j$

Dónde:  $D_m$ = Demanda de agua en el mes j (L/mes/población),  $Nu$ = Número de beneficiarios del sistema,  $Dot$ = Dotación (L/persona/día) se tomará como dotación 40 litros día por persona,  $Nd_m$ = Número de días del mes j. Con el calendario de actividades se descuentan los días inhábiles y vacaciones, los fines de semana se considera un consumo del 5% de días hábiles,  $D_a$ = Demanda de agua anual, j= Número del mes.

Área de captación

La ecuación para calcular el área de captación es:

$$5. A_c = \frac{D_a}{\sum_{j=1}^n PN_m}$$

Dónde:  $A_c$ = Área de captación ( $m^2$ ),  $D_a$ = Demanda anual( $m^3$ ),  $\sum PN_m$ = Precipitación neta mensual (se deben considerar en la sumatoria solo los meses con una precipitación media mayor a 40 mm.).

## **Cálculo y diseño del sistema de captación**

### **Gastos**

Para el cálculo de gastos de diseño se usaron las fórmulas siguientes:

$$6. Q_{max} = C_e * I_{max} * A_c$$

$$7. Q_{med} = C_e * I_T * A_c$$

$$8. Q_{min} = 0.5 Q_{med}$$

Donde  $Q_{max}$ : Gasto máximo,  $Q_{med}$ : gasto medio,  $Q_{min}$ : gasto mínimo,  $C_e$ : Coeficiente de escurrimiento,  $I_{max}$ : Intensidad máxima de precipitación en la zona,  $I_T$ : intensidad de precipitación teórica 50 mm/h (Anaya, 2011),  $A_c$ : Área de captación.

### **Cálculo de dimensiones de las canaletas**

Para el cálculo de dimensiones de la canaleta se tomaron en cuenta los parámetros máximos y mínimos que se mencionan a continuación:

### **Velocidades permisibles**

La velocidad mínima se considera aquella con la cual no se permite deposición de sólidos en las atarjeas que provoquen azolves y taponamientos. En la Tabla 12 se presentan las velocidades permisibles para diferentes materiales. Considerando el rango de velocidad que puede alcanzar el agua y con el cálculo del gasto de agua que cae en cada edificio, se puede obtener el tamaño de las canaletas (Tabla 13).

**Tabla 12.** Velocidades permisibles en diferentes tuberías a superficie libre.

Material del tubo	Velocidad permisible	
	Mínima (m/s)	Máxima (m/s)
Concreto ≤ 45 cm.	0.3	3.0*
Concreto > 45 cm.	0.3	3.5
Asbesto cemento	0.3	5.0
PVC	0.3	5.0**
Polietileno	0.3	5.0

Fuente: (Productos Nacobre, 2008; CONAGUA, 2009b)

\*Se limitan las velocidades para evitar la generación de gas hidrogeno sulfurado, que es muy tóxico y aumenta los malos olores, además de reducir los efectos de la erosión en las paredes de los conductos.

\*\* Para la tubería de PVC los gases generados por la conducción de las aguas en este rango de velocidades no lo afectan, además de que este material soporta la abrasión.

**Tabla 13.** Cálculos para dimensión de canaletas.

Canaletas Rectangulares				
AREA	Rh	V	S	L/s
$A = Q/V$	$Rh = \frac{A}{P}$	$V = \frac{1}{n} * rh^{2/3} * S^{1/2}$	0.007	$Q = A * V$

Fuente: Elaboración propia.

### Red de drenaje pluvial

Para el cálculo de la red de drenaje se conjugan los aportes de agua por edificio (esta cantidad se encuentra determinada por la precipitación y por las dimensiones de los edificios), las velocidades y pendientes permisibles, además de las características de los materiales utilizados y la conformación del diseño.

### Cálculo de componentes de las diferentes secciones

Para determinar la tubería utilizada se consideró el gasto máximo que aportan los edificios agrupados en diferentes secciones de tubería, el inicio de la red principal es de un diámetro mínimo de 8 pulgadas y las redes secundarias que van de los edificios hacia la red principal varían entre 4 y 6 pulgadas dependiendo del gasto por edificio. Conforme la tubería principal se acerque al área de destino deberá incrementarse el diámetro.

Para determinar el diámetro utilizado en cada sección de la red y el gasto máximo de conducción. Se elabora la Tabla 14 considerando una pendiente de 0.007.

**Tabla 14.** Cálculos para dimensión de tuberías.

Fórmulas	Donde
$D = \sqrt[2.63]{\frac{Q}{0.935 \times h^{0.54}}}$	Q = Determinado por la caída de agua sobre los techos de los edificios (m <sup>3</sup> /s) h= Pérdida por fricción en 1000 m. (m)
$V = 1273 * \frac{Q}{D^2}$	D= Diámetro (m) V= Velocidad (m/s)
$Hf = 1.209 * 10^{10} * \frac{Q^{1.852}}{D^{4.871}} * L$	Hf= Pérdida por fricción en L. (m) L = Longitud tubería (m)

Fuente: Elaboración propia.

### **Mantenimiento y revisión del sistema.**

Como todo proyecto se debe de prever el tiempo de vida de los elementos del sistema, ya que de esto depende la factibilidad del proyecto. Se debe tomar en cuenta que los elementos que se encuentran expuestos a las condiciones ambientales tienen una disminución considerable de su tiempo de vida con relación a los que se encuentran protegidos.

Para mantener el sistema en óptimo estado, se debe revisar su funcionamiento diario, además de realizar una programación de mantenimiento preventivo para prolongar la vida útil de los elementos. La revisión general del sistema comienza con el área de captación hasta los depósitos de agua, pasando por canaletas, tuberías, prefiltros y filtros, asimismo se debe realizar las bombas electromecánicas. En los casos de los filtros, bombas y lámpara UV se programará el mantenimiento de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

## IV. Resultados

### Infraestructura

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo Cuatro comprende una superficie de 1,147,510.90 m<sup>2</sup>. Cuenta con 85 edificios que suponen un área aproximada de 51,365 m<sup>2</sup>.

### Suministro de agua potable

El suministro de agua potable para el abastecimiento de los edificios proviene de un pozo instalado dentro de FES Cuautitlán. Cuenta con cuatro cisternas, se encuentran distribuidas en la escuela. La cisterna norte se encuentra en el área de veterinaria, la cisterna oriente de menor tamaño se encuentra a un costado del estacionamiento de administración y contaduría. Las últimas dos, de menor tamaño se encuentran cerca del hospital de equinos y del edificio UIM. Las características de las cisternas se vacían en las Tablas 15 y 16.

**Tabla 15.** Cisternas instaladas en FES Cuautitlán C4.

<b>Construidas o de agua con tratamiento</b>				
<b>MVZ</b>	Concreto	18 x 21	2.8	1,058.4
<b>ADMON</b>	Concreto	16 x 16	2.8	716.8
<b>UIM</b>	Concreto	13 x 4.5	2.8	163.8
<b>Hospital EQ</b>	Concreto	8 x 5	2.5	100
				<b>2,039.0</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 16.** Equipo de bombeo para cisternas instaladas en FES Cuautitlán C4.

<b>Cisterna</b>	<b>Número de Bombas</b>	<b>Potencia por bomba (Hp)</b>	<b>Número de edificios que abastece</b>
<b>Norte</b>	4	20	54
<b>Oriente</b>	4	10	34
<b>UIM</b>	2	7,5	3
<b>Equinos</b>	3	7,5	4
<b>Total</b>	13		95

Fuente: Elaboración propia.

### Suministro de agua para actividades agropecuarias

El suministro de agua para riego se obtiene de la Presa “La Conchita” y se conduce mediante canales con un gasto aproximado de 80 L/s. Los principales cultivos que se producen en la Facultad son maíz y alfalfa, los cuales requieren entre 2 y 5 riegos anuales; los riegos son rodados con duración de 8 horas. El suministro de agua para actividades pecuarias proviene de pozo y se les destina un caudal de 5 L/s. Las actividades pecuarias que más requieren agua son la producción de leche, el taller de lácteos y embutidos, y la limpieza de las instalaciones.

### Necesidades de agua (Demanda)

La FESC – Campo 4 cuenta con una plantilla docente de 1,471 académicos, una matrícula estudiantil de 10,637; además, cuenta con 1,000 trabajadores. La cantidad de agua necesaria por persona al día que se tomará como referencia será de 40 litros. En la Tabla 17 se presentan los datos de población y el resultado del consumo diario total.

Tabla 17. Demanda de agua al día en las instalaciones de la FES-C.

Población	Cantidad	Consumo per cápita (L/día)	Consumo diario total (L/día)	Consumo (m <sup>3</sup> /h)
Alumnos	10,637	40	425,480	17.7
Trabajadores	2,500	40	100,000	4.2
<b>Total</b>	<b>13,137</b>		<b>525,480</b>	<b>21.9</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de Cuéllar (2015).

### Evaluación económica del uso de agua en FES Cuautitlán

Para la evaluación económica se tomó en cuenta el Plan Semestral 2017 en el cual se indican los periodos vacacionales, los del ciclo escolar, días hábiles y fines de semana con los que cuenta el semestre (Tabla 18). Este número de días se multiplicó por el consumo per cápita de referencia de 40 L, para fines de semana se considera un 5 % de consumo.

**Tabla 18.** Días hábiles de consumo de agua en FES C.

<b>Plan Semestral 2017</b>				
<b>Mes</b>	<b>Días con estudiantes</b>	<b>Días con Administrativos</b>	<b>Fines de semana</b>	<b>Asueto vacaciones</b>
<b>Enero</b>	2	19	8	4
<b>Febrero</b>	19	19	8	1
<b>Marzo</b>	22	22	8	1
<b>Abril</b>	15	15	10	5
<b>Mayo</b>	20	20	8	3
<b>Junio</b>	7	22	8	0
<b>Julio</b>	0	6	10	15
<b>Agosto</b>	19	23	8	0
<b>Septiembre</b>	20	20	9	1
<b>Octubre</b>	22	22	9	0
<b>Noviembre</b>	19	19	8	3
<b>Diciembre</b>	10	10	10	11
<b>Total</b>	175	217	104	44

Fuente: Elaborado con datos Dirección General de Administración Escolar UNAM, (2016).

Al multiplicar las cantidades anteriores de cada mes por 40 litros por día, resulta la siguiente demanda mensual (Tabla 19):

**Tabla 19.** Demanda mensual en litros.

<b>Plan Semestral 2017</b>	
<b>Mes</b>	<b>Demanda (L)</b>
<b>Enero</b>	2,961,152
<b>Febrero</b>	10,194,312
<b>Marzo</b>	11,770,752
<b>Abril</b>	8,144,940
<b>Mayo</b>	10,719,792
<b>Junio</b>	5,388,552
<b>Julio</b>	862,740
<b>Agosto</b>	10,594,312
<b>Septiembre</b>	10,746,066
<b>Octubre</b>	11,797,026
<b>Noviembre</b>	10,194,312
<b>Diciembre</b>	5,517,540
<b>Total</b>	98,891,496

Fuente: Elaboración propia con datos (Dirección General de Administración Escolar UNAM, 2016)

De acuerdo con el consumo de agua bimestral y con las tarifas del municipio de Cuautitlán, el costo del servicio anual es de \$2,319,005.58 (Tabla 20).

**Tabla 20.** Costo de consumo bimestral de agua.

<b>Mes</b>	<b>Demanda (L)</b>	<b>Demanda (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo bimestral (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Costo \$23.45/m<sup>3</sup></b>
<b>Enero</b>	2,961,152	2,961		
<b>Febrero</b>	10,194,312	10,194	13,155	\$308,495.63
<b>Marzo</b>	11,770,752	11,771		
<b>Abril</b>	8,144,940	8,145	19,916	\$467,022.98
<b>Mayo</b>	10,719,792	10,720		
<b>Junio</b>	5,388,552	5,389	16,108	\$377,740.67
<b>Julio</b>	862,740	863		
<b>Agosto</b>	10,594,312	10,594	11,457	\$268,667.87
<b>Septiembre</b>	10,746,066	10,746		
<b>Octubre</b>	11,797,026	11,797	22,543	\$528,635.51
<b>Noviembre</b>	10,194,312	10,194		
<b>Diciembre</b>	5,517,540	5,518	15,712	\$368,442.93
<b>Total</b>	<b>98,891,496.00</b>	<b>98,891.50</b>		<b>\$2,319,005.58</b>

Fuente: Elaboración propia con datos (CONAGUA, 2013).

### Datos meteorológicos

La precipitación total promedio de la zona es de 739.6 mm/año; los meses más lluviosos son junio, julio, agosto y septiembre (Tabla 21).

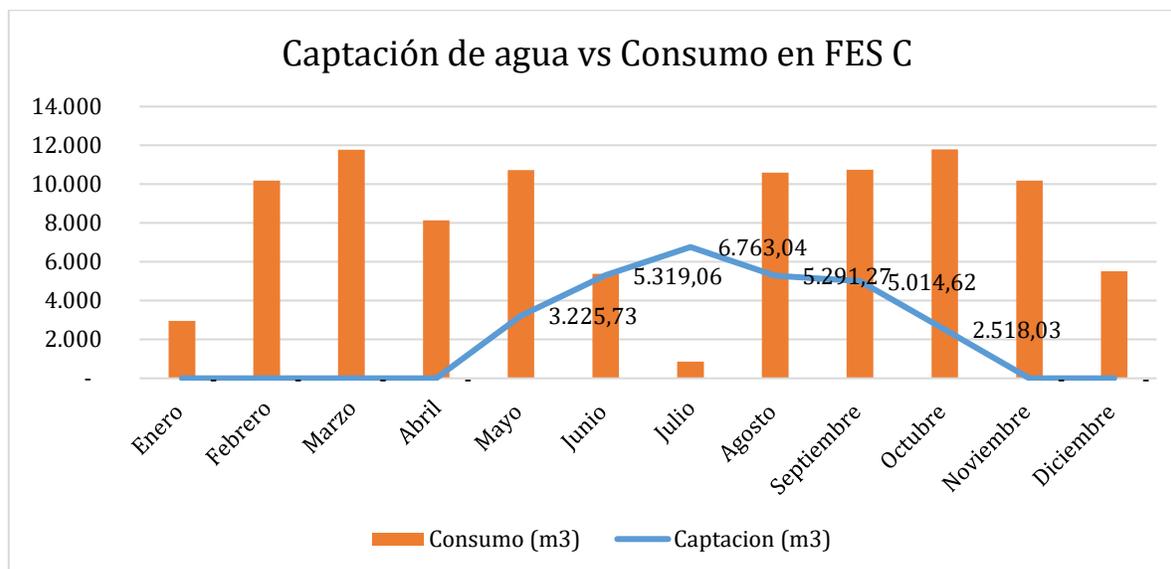
**Tabla 21.** Datos meteorológicos

<b>Mes</b>	<b>Promedio (2006-2016) (mm)</b>
<b>Enero</b>	8,9
<b>Febrero</b>	16,4
<b>Marzo</b>	15,7
<b>Abril</b>	36,5
<b>Mayo</b>	73,9
<b>Junio</b>	121,8
<b>Julio</b>	154,9
<b>Agosto</b>	121,2
<b>Septiembre</b>	114,9
<b>Octubre</b>	57,7
<b>Noviembre</b>	11,3
<b>Diciembre</b>	6,4
<b>Anual</b>	<b>739,6</b>

Fuente: Estación Meteorológica Almaraz (2017).

## Área de captación y volumen captado

El área de captación total de la Facultad de 51,365.48 m<sup>2</sup> concentrados en los techos de 85 edificios; el volumen promedio que se capta en un año en esta superficie es de 28,131,751.16 litros. Se consideraron solo los meses con un mínimo de precipitación de 40 mm de acuerdo con Anaya (2011) por este motivo los valores de enero - marzo, noviembre y diciembre aparecen en cero para el caso de captación (Figura 44).



**Figura 44.** Captación y consumo anual de agua en FES C. Fuente: Elaboración propia.

## Calidad del agua

Los parámetros analizados fueron pH, conductividad eléctrica, turbidez, color verdadero, coliformes totales, coliformes fecales, mesófilos y pseudomonas. Los resultados se muestran en la Tabla 22.

**Tabla 22.** Resultados de análisis físico de agua.

Parámetros	Agua de lluvia colectada	Unidades de referencia
<b>pH</b>	6.2	6.5 – 8.5
<b>Conductividad Eléctrica</b>	42.9 $\mu$ S/m	5.5 mS/m
<b>Turbidez</b>	1.11 UNT	Hasta 5 UNT
<b>Color verdadero</b>	22 UCV	Hasta 20 UCV
<b>DBO5</b>	6.04 ppm	0.75 ppm

Fuente: Elaboración propia.

El pH y la turbidez se encuentran dentro del rango establecido en la NOM 014 SSA 1 1994. La conductividad eléctrica se encuentra por debajo de los estándares normales. Los resultados de color verdadero y DBO5 se encuentran por encima de los parámetros, lo que indica que el agua contiene contaminantes que afectan ambos resultados, por lo que es necesario que se aplique algún tratamiento. La Demanda Bioquímica de Oxígeno 5, se refiere al consumo de oxígeno disuelto en agua después de 5 días de realizada la muestra, con esta prueba se determinó si el agua está contaminada con compuestos orgánicos o microorganismos.

Los análisis microbiológicos del agua de lluvia sin tratamiento se muestran en la Tabla 23; los valores obtenidos en los casos de mesófilos aéreos, coliformes totales y fecales de los análisis del agua de lluvia sin tratamiento son superiores a los valores de referencia contenidos en la NOM127-SSA1-2014, lo que indica que el agua captada no puede ser utilizada como potable.

**Tabla 23.** Resultados de análisis microbiológicos.

<b>Microorganismos</b>	<b>Valor de referencia</b>	<b>Resultado</b>
Mesófilos aerobios	<100 UFC/mL	>100 UFC/mL
Coliformes totales	2 NMP/100 mL	240 NMP/100 mL
Coliformes fecales	Ausentes	Presentes
Pseudomonas	Ausencia	Ausencia

Fuente: Datos del Servicio de Diagnostico Bacteriológico de FES Cuautitlán C1.

### **Análisis del agua después del tratamiento**

Para el tratamiento del agua captada se utilizó una planta de tratamiento desarrollada por la empresa Ingeniería en Fertirriego, esta planta es una réplica a escala de la que se propone en esta tesis, cuenta con filtro de arena, carbón activado y lámpara de luz ultravioleta. Los resultados de los ensayos microbiológico y fisicoquímico del agua tratada se muestran en las Tablas 24 y 25.

Las pruebas para microbiología fueron realizadas de acuerdo con la NOM-210-SSA1-2014, en la que se establecen los lineamientos de calidad para el agua y hielo para consumo humano. Los resultados de los análisis indican que, el agua de lluvia con los procesos de tratamiento utilizados cumple con la norma y puede ser usada para consumo humano.

**Tabla 24.** Resultados de ensayo microbiológico al agua tratada.

<b>Ensayo microbiológico</b>	<b>Resultado</b>	<b>Referencia</b>	<b>1 acreditado 2 autorizado</b>
Coliformes fecales	No detectable	NOM-210-SSA1-2014	1,2
Coliformes totales	No detectable	NOM-210-SSA1-2014	1,2

Sensibilidad mínima de detección por técnica de diluciones de tubo múltiple 1.1 NMP/100 mL.

**Tabla 25.** Resultados de ensayo fisicoquímico al agua tratada.

<b>Ensayo Fisicoquímico</b>	<b>Resultado</b>	<b>Referencia bibliográfica</b>
ppm Cloro	0.0	Prueba de cloro libre total
pH a 20° C	9.216	NMX-F-317-NORMEX-2013

Fuente: Datos del Laboratorio Quibimex.

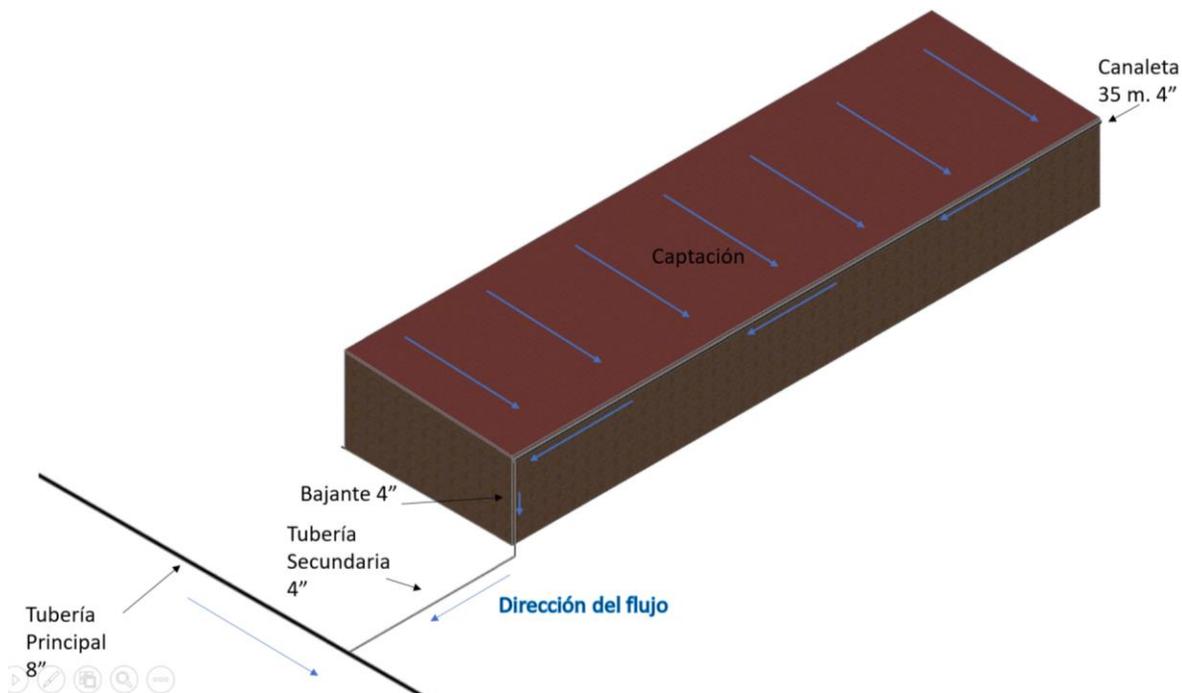
### **Propuesta de uso**

Con base en los resultados obtenidos, se propone utilizar el agua captada para suplir el abasto de agua de los edificios y de las actividades pecuarias, ya que son las principales fuentes de demanda y son abastecidas con el pozo instalado dentro de la Facultad. Este pozo forma parte de la Región Hidrológica XIII, que de acuerdo con CONAGUA (2013) presenta sobreexplotación de acuíferos, por lo que las acciones que se realicen para disminuir el consumo de esta fuente son de gran ayuda para garantizar el abasto presente y futuro de la Facultad. Adicionalmente, se propone la instalación de una planta de tratamiento para que desde cualquier toma de agua que se encuentre dentro de la Facultad se obtenga agua de calidad para consumo humano.

### **Descripción del proceso de captación de agua**

La captación del agua de lluvia inicia con la recepción del líquido en el techo de los edificios que se encuentran en la Facultad; los techos, canaletas y tubos de conducción deben tener una pendiente que permita la conducción del agua desde los techos hacia las canaletas; de éstas hacia tubos bajantes que se conectarán con la tubería de conducción subterránea que llevará el agua hacia los depósitos propuestos para rebombeo y tratamiento. De este lugar se envía el agua a las cisternas de la Facultad para su distribución por el sistema de agua potable. Como ejemplo en la Figura 45 se ilustra el edificio de Coordinación de Ingeniería Agrícola con los elementos del sistema

de captación ya instalados desde una vista isométrica, también se muestra el flujo de agua y se señalan algunas características de dichos elementos.

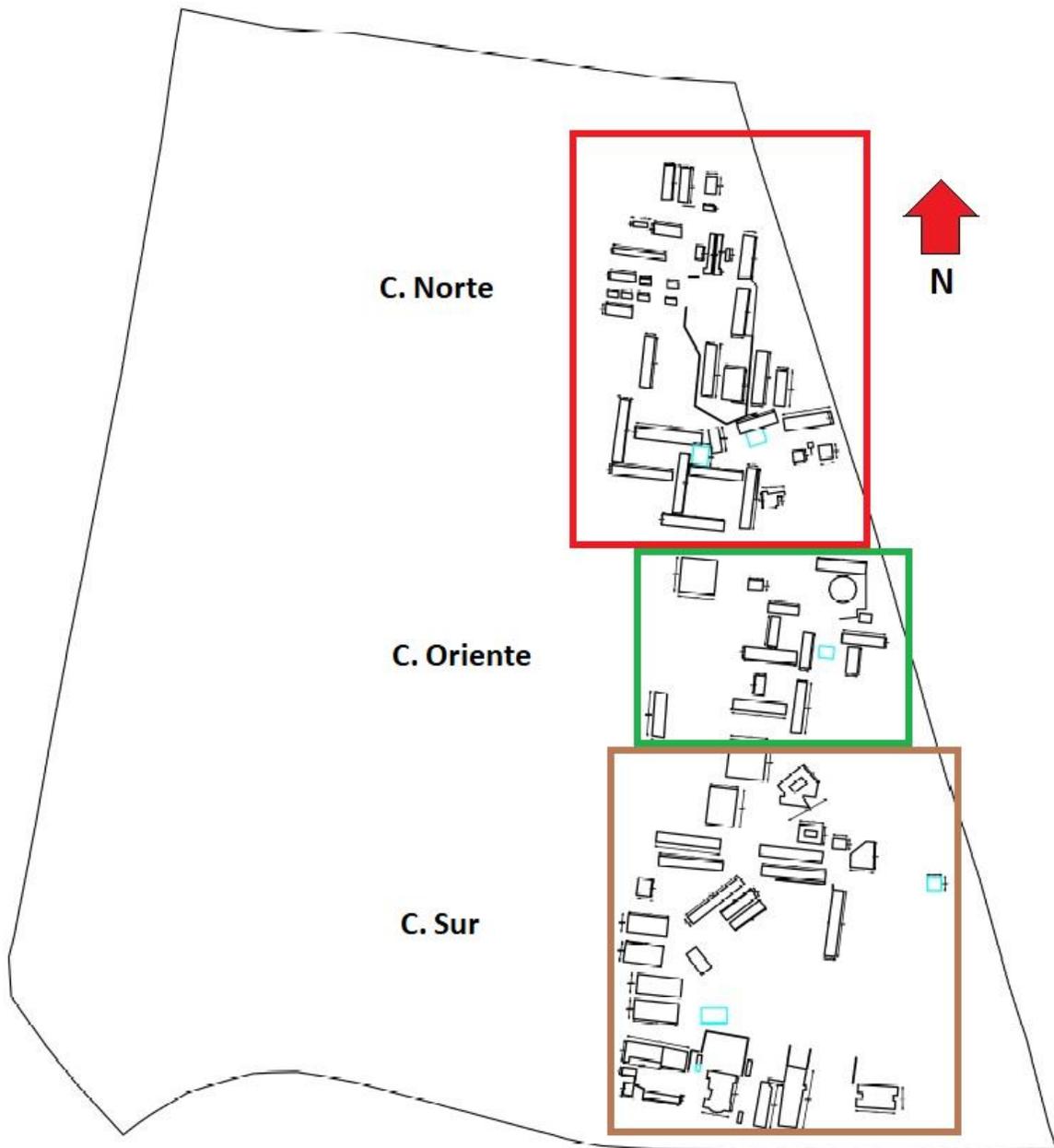


**Figura 45.** Coordinación de Ing. Agrícola con sistema de captación instalado. Fuente: Elaboración propia.

### **Diseño del sistema de captación**

Para realizar el diseño del sistema de captación se consideró el máximo caudal de captación ofertado por los techos de los edificios que fue de 90 milímetros por hora (Precipitación extraordinaria en el sitio); este valor total se ajustó restando el 15% correspondiente a los coeficientes de captación y de escurrimiento quedando el cálculo en 76.5 milímetros por hora. Con este cálculo se determinaron el tamaño de canaletas, la tubería bajante y la red de conducción hacia las cisternas de almacenamiento temporal; se ocupa el máximo caudal de agua para que las instalaciones no sean colmadas en caso de una tormenta.

Los edificios se agruparon con respecto a tres cisternas (Norte, Oriente y Sur) que deberán considerarse dentro del diseño del sistema de almacenamiento. Estas cisternas funcionarán como un almacenamiento temporal de agua no tratada, y serán conectadas a las cisternas existentes desde las cuales se distribuirá el agua tratada a los edificios (Figura 46).



**Figura 46.** Plano vista superior FES Cuautitlán C4.

## Elementos del sistema

**Área de Captación:** 51,365.48 m<sup>2</sup> que corresponde al techo de 85 edificios dentro del campus.

**Sistema de canaletas:** la longitud del sistema de canaletas dependerá de la magnitud de cada edificio, la dirección de la pendiente y la dirección de la línea principal subterránea hacia la cual vierten sus aguas. Las canaletas serán de 10 x 10 cm (4 pulgadas) o 10 x 15 cm (6 pulgadas) dependiendo del caudal de agua que ofrezca el área de captación (Tabla 25). Se seleccionó PCV porque no se corroe, ni permite la formación de depósitos o incrustaciones en sus paredes internas, con esto conserva sus propiedades hidráulicas. Este material no permite la adherencia de algas, hongos o moluscos; asimismo, es ligero y de fácil instalación y mantenimiento.

**Tabla 26.** Canaletas requeridas para el sistema.

Cisterna	Canaletas (m)	
	4"	6"
<b>Norte</b>	2,190.00	148.50
<b>Sur</b>	201.30	151.00
<b>Oriente</b>	521.00	263.90
<b>Total</b>	2,912.30	563.40

Fuente: Elaboración propia.

**Sistema de conducción:** en el sistema de conducción se considera una red principal de 8" al inicio; la red aumentará hasta 15" conforme se suman los caudales acopiados por los edificios; el acopio que cada edificio realiza se conduce con tuberías de 4 y 6". Estas tuberías conectan a los edificios con la red principal y en algunos casos conectan dos o más edificios antes de ir hacia la tubería principal; en ambos casos se calculó el gasto y se determinó el diámetro idóneo para la conducción. En la Tabla 26 se muestran las cantidades totales de tubería de los diferentes diámetros requeridos para el sistema.

Estos elementos también fueron seleccionados en PVC. Para el caso de bajantes y tuberías se seleccionó este material por el bajo costo, la resistencia a la presión y su largo tiempo de vida; además, que este tipo de material es recomendado en las plantas y sistemas de agua potable o de tratamiento, ya que no modifica la calidad del agua.

**Tabla 27.** Diámetro y longitud de tubería requerida para el sistema.

Cisterna	Bajantes y Tubería (m)					
	4"	6"	8"	10"	12"	15"
<b>Norte</b>	739.90	512.46	251.28	204.50	42.84	37.92
<b>Oriente</b>	518.00	276.23	-	229.23	125.50	-
<b>Sur</b>	313.50	751.21	264.50	418.00	144.00	128.00
<b>Total</b>	1,571.40	1,539.90	515.78	851.73	312.34	165.92

Fuente: Elaboración propia.

**Sistema de almacenamiento.** Las cuatro cisternas existentes (MVZ, ADMON, UIM y Hospital EQ) servirán como depósitos del agua proveniente de la planta de tratamiento, o sea depósitos de agua tratada o para consumo; además, se propone la construcción de tres cisternas: una en la parte norte de la Facultad, entre el área pecuaria y los edificios de MVZ, otra tendrá su ubicación entre los edificios de Ingeniería Agrícola y los edificios de mantenimiento; la tercera estará ubicada frente a los laboratorios de IME y el hospital de pequeñas especies (Tabla 27). Se hace la propuesta de construcción de tres cisternas (Norte, Oriente y Sur) ya que la cantidad de agua que se va a captar supera la capacidad de las cisternas existentes, además, se necesita que la totalidad del agua captada se concentre en un lugar para ser tratada y llevada a los sistemas de distribución de agua existentes en la escuela.

**Tabla 28.** Características de cisternas.

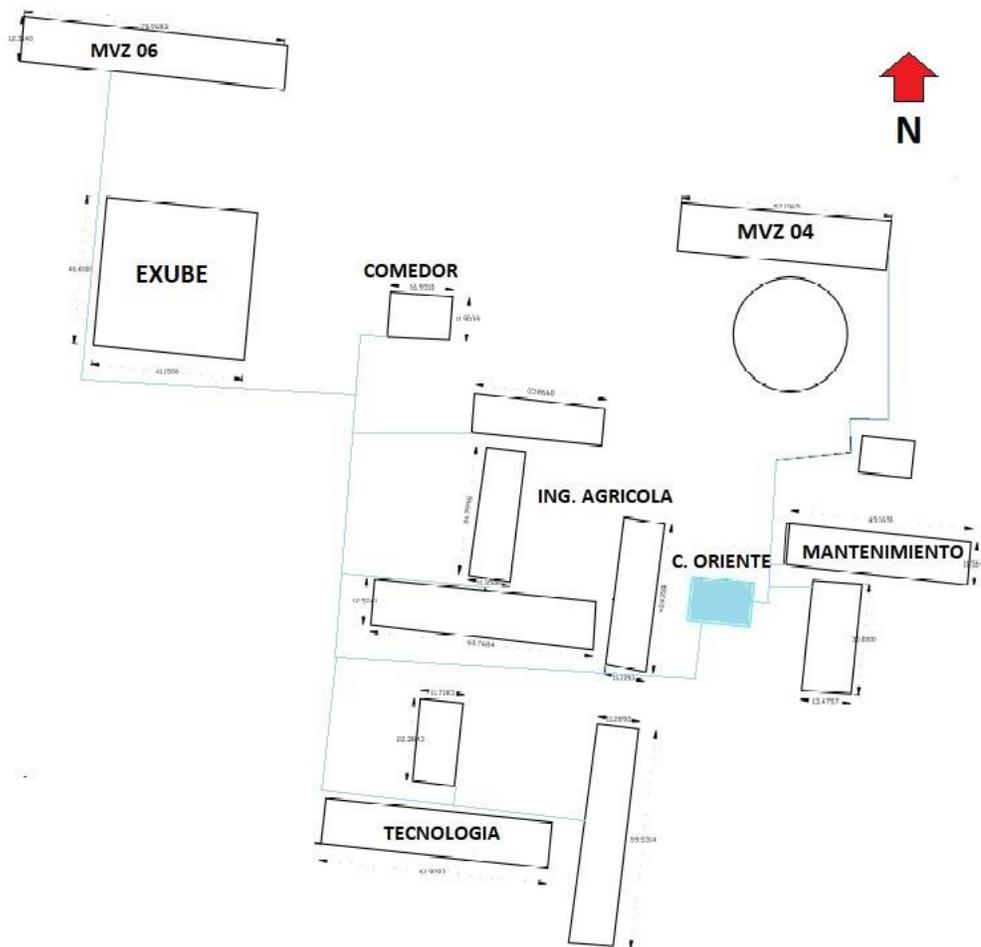
Cisterna	Material de construcción	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Capacidad (m <sup>3</sup> )
<b>Propuestas (C. Temporales)</b>				
<b>Norte</b>	Concreto	20 x 17	4	1,360
<b>Oriente</b>	Concreto	17 x 12	4	816
<b>Sur</b>	Concreto	30 x 17	4	2,040
				<b>4,216</b>

Fuente: Elaboración propia.

Con la construcción de estas cisternas, distribuidas por zonas y flujos de agua, se minimiza la cantidad de tubería para la conducción, al ser menores las distancias que tiene que recorrer del punto de captación a las cisternas; además, se minimizan los costos por excavación, la profundidad de excavación y la modificación del panorama. Otro de los beneficios de la instalación de estas cisternas es que posibilita el flujo de agua por efecto de la gravedad y en casos de tubería llena trabajen a bajas presiones y con velocidades que evitan sedimentación de sólidos o la erosión por el flujo de agua.

### Conexiones del sistema.

La cisterna Oriente (Figura 47) tendrá conexión con los edificios de Ingeniería Agrícola, Tecnología, Administración, Contaduría e Idiomas, los cuales aportan el agua captada a esta cisterna, además, tendrá conexión con la cisterna sur hacia la que rebombeará el agua captada.



**Figura 47.** Plano vista superior de Zona Cisterna Oriente.

La cisterna Norte (Figura 48) tendrá conexión a los edificios de Veterinaria y con las naves de producción pecuaria los cuales son las entradas de agua de lluvia, y tendrá una conexión de rebombeo hacia la cisterna sur.

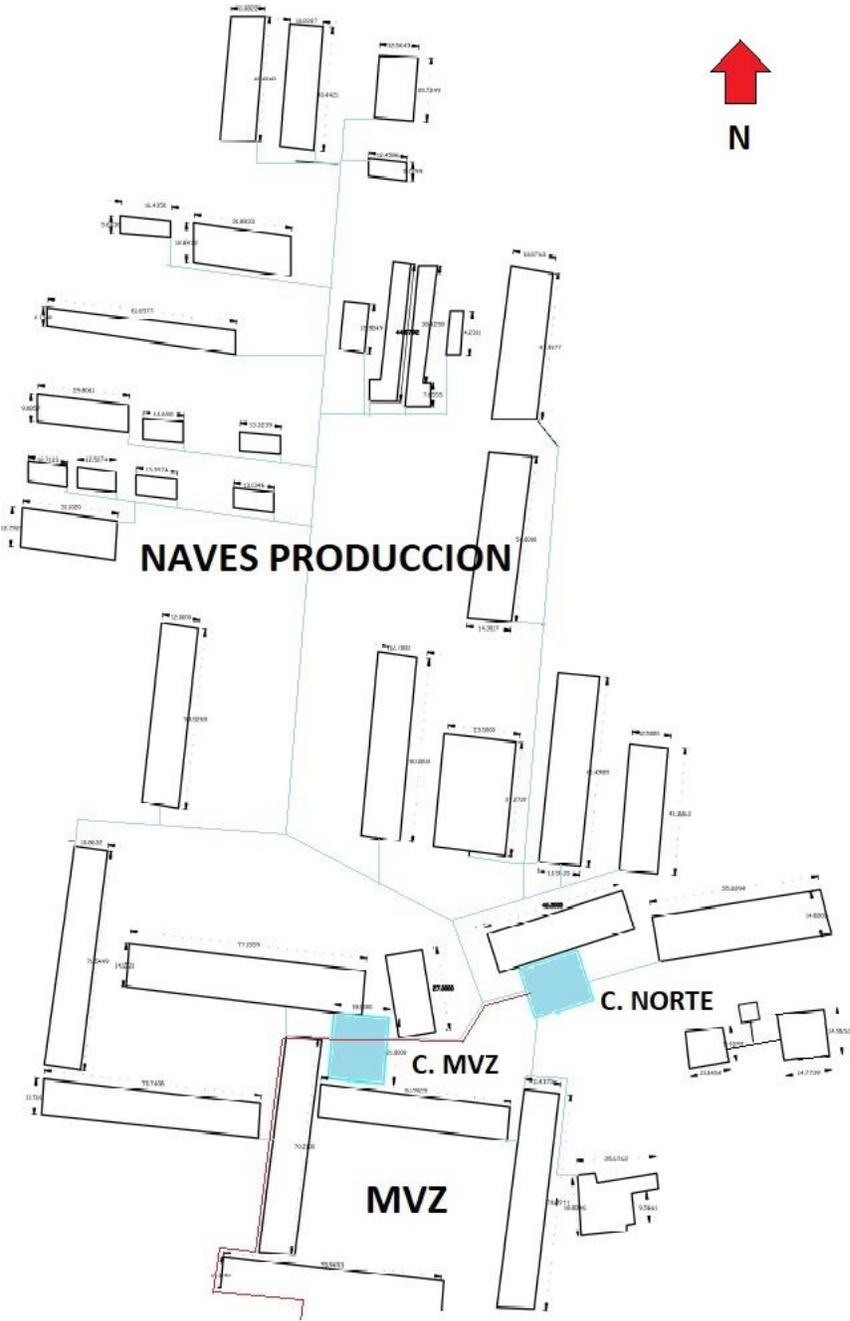
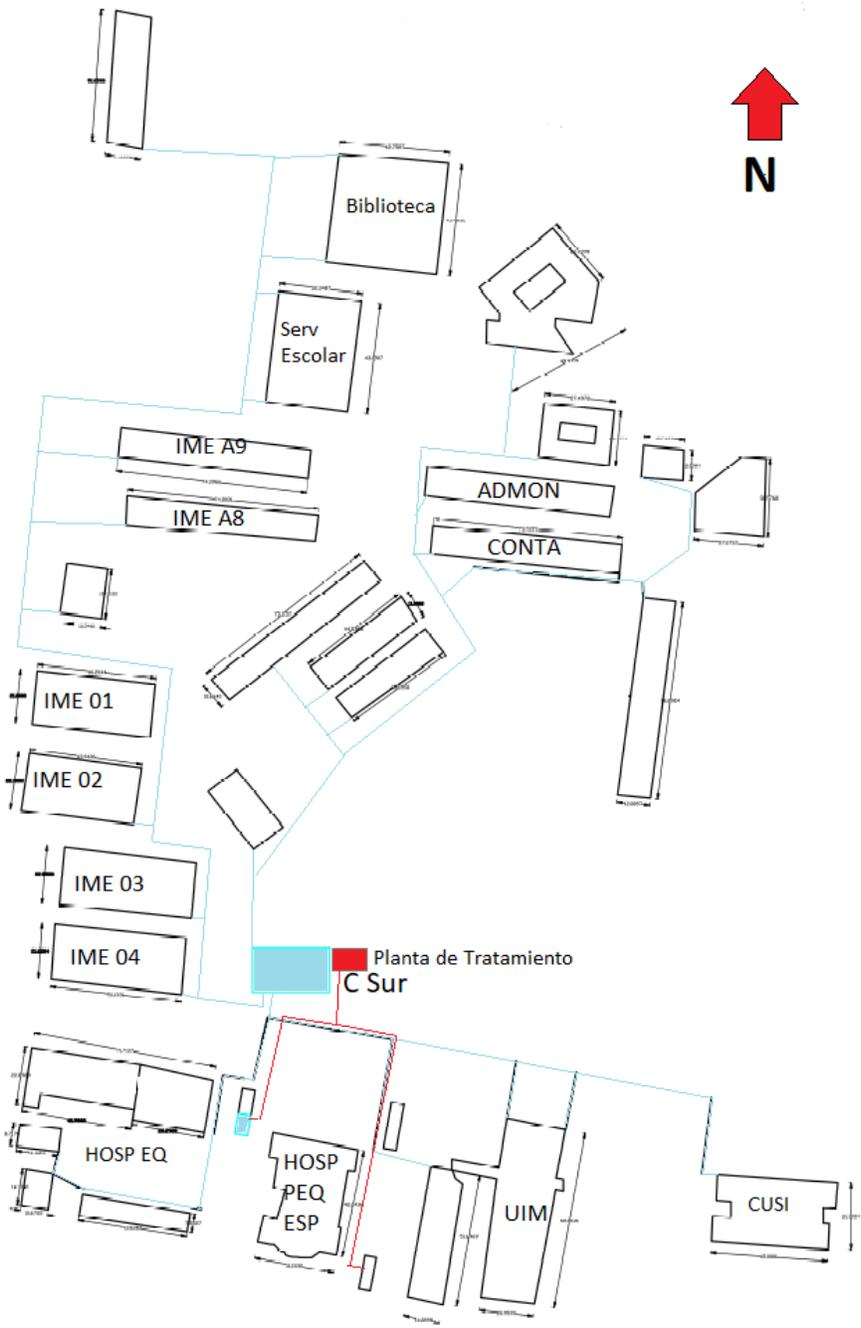


Figura 48. Plano vista superior de Zona Cisterna Norte.

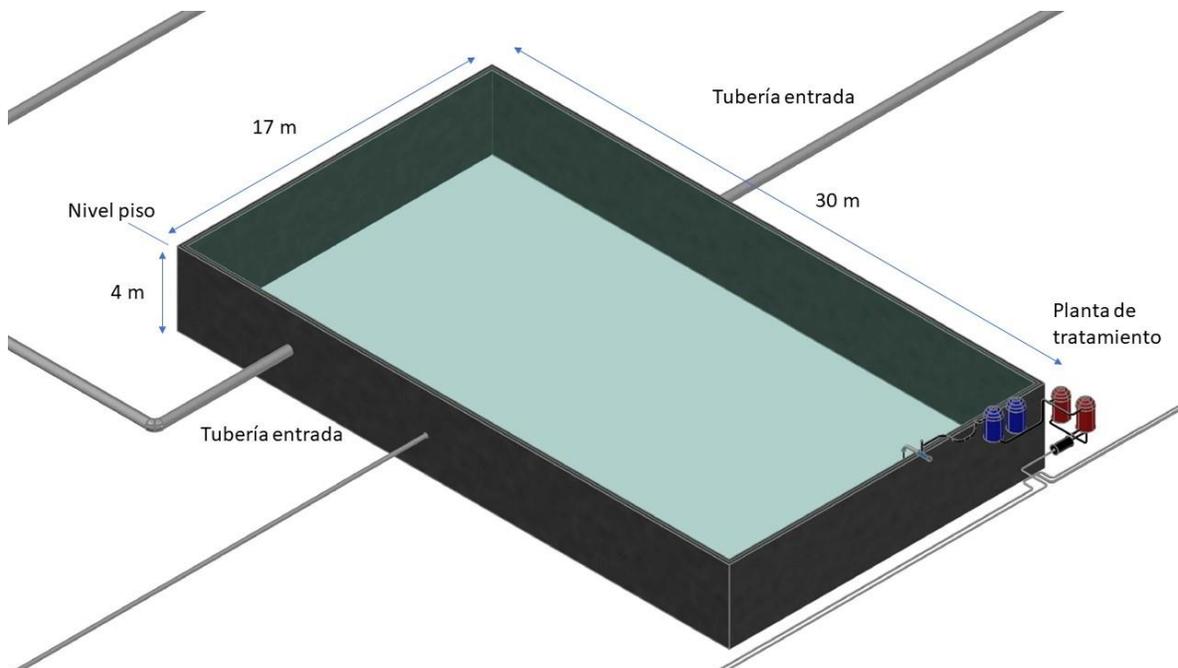
La cisterna Sur (Figura 49) recibe el agua captada de los edificios de IME y los hospitales de Veterinaria en la parte sur; además de los edificios UIM y CUSI; además, recibirá el agua captada proveniente de las cisternas Norte y Oriente. Como salida esta cisterna está conectada a la planta de tratamiento.



**Figura 49.** Plano vista superior de Zona Cisterna Sur.

La planta de tratamiento operará junto a la cisterna Sur (Figura 50); ya que en ella se encuentra concentrada el agua de lluvia. Esta planta estará conectada a las cisternas que actualmente operan en la Facultad (MVZ, ADMON, UIM y Hospital EQ), y así el agua pasará de la planta de tratamiento a las cisternas con las cuales se distribuye el agua potable a las instalaciones de la FES Cuautitlán C4 mediante sistemas hidroneumáticos. De esta manera se asegura que el agua distribuida sea sólo la tratada por la planta de tratamiento.

Para el movimiento de agua de las cisternas Norte, Oriente y Sur, se propone utilizar bombas centrífugas que ofrezcan un gasto máximo de  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ ; el diámetro de las tuberías que se utilizará para estas bombas será de 3". Para el caso del movimiento de agua de las cisternas ya construidas se hará uso de los sistemas de bombeo hidroneumáticos ya instalados en la Facultad (Tabla 15).



**Figura 50.** Detalle cisterna, ubicación planta de tratamiento. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 29 se enlista la longitud de la tubería principal, desde el inicio de la recolección de los edificios hasta su llegada a cada cisterna enlistada. Se consideran las pérdidas por fricción a tubería llena que se obtuvieron con la ecuación Hazen-Williams (Tabla 14) a ese valor se le agregó un 5 % que es el que corresponde a las pérdidas por

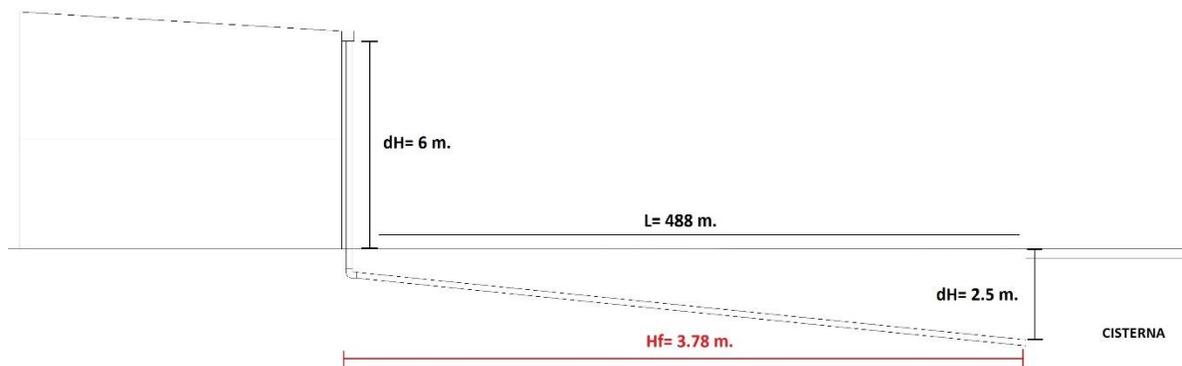
cambio de dirección y por ensanchamiento de tuberías. También se considera la ganancia de presión por diferencia en la elevación (pendiente) y la velocidad máxima obtenida en algún tramo de la tubería.

**Tabla 29.** Pérdidas en tubería principal

	<b>Longitud</b>	<b>Pérdidas</b>	<b>Pendiente (0.005)</b>	<b>Velocidad máxima</b>
<b>C Norte</b>	317,12	3,84	1.59	2,24
<b>C Oriente</b>	354,73	2,51	1.77	1,86
<b>C Sur</b>	488,00	3,78	2.44	2,13

Fuente: Elaboración propia

Las pérdidas de presión superan las ganancias debidas a la pendiente, pero se ve rebasada por la ganancia de presión debido a la diferencia de altura en las bajantes de los edificios y corresponde a la altura de cada edificio; siendo para la mayoría de los edificios de 6 metros (Figura 51).



**Figura 51.** Esquema lateral de diferencial de presión en línea de conducción. Fuente: Elaboración Propia

## Sistema de tratamiento

La planta de tratamiento debe estar compuesta de: 1) Un elemento filtrante (filtro de arena), 2) Uno adsorbente (filtro carbón activado) y 3) Un desinfectante (lámpara de rayos UV) dispuestos en ese orden (Figura 52). Se planea que la planta de tratamiento tenga un caudal de salida promedio de 25 m<sup>3</sup>/h con la ayuda de una bomba centrífuga conectada a la cisterna sur, descrita a continuación.



**Figura 52.** Esquema de la planta de tratamiento con los elementos seleccionados.

**Sistema de bombeo:** se seleccionó la bomba centrífuga de acero inoxidable marca Barmesa modelo PS1½-7.5-2 (Tabla 30).

**Tabla 30.** Características sistema de bombeo.

<b>Marca</b>	<b>Barmesa</b>
<b>Modelo</b>	Serie PS 1 ½ - 10 - 2
<b>Succión</b>	2 ½"
<b>Descarga</b>	1 ½"
<b>HP</b>	10
<b>Máxima presión de trabajo</b>	16.1 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Cuerpo</b>	Acero inoxidable 304.
<b>Impulsor</b>	Acero inoxidable 304.

Fuente: (Barmesa, 2017).

**Filtros de arena y de carbón activado.** Se seleccionaron tanques filtrantes modelo "MEDIA" de la marca "AMIAD" de acero revestidos con poliéster, resistentes a la corrosión. Como medios filtrantes se seleccionaron estratos granulares de arena sílice y carbón activado (Tabla 31). Para la planta de tratamiento son necesarios dos filtros por cada tipo de estrato.

**Tabla 31.** Características de los tanques de filtrado MEDIA.

	<b>Filtro de arena</b>	<b>Filtro de carbón activado</b>
<b>Marca</b>	AMIAD	AMIAD
<b>Modelo</b>	MEDIA 30"/3"	MEDIA 30"/3"
<b>Tipo de filtración</b>	Filtración a profundidad	Adsorción en carbón activado
<b>Tipo de estrato</b>	Arena sílice	Carbón activo granulado
<b>Grado de filtración</b>	7 micrones	Adsorción en superficie
<b>Capacidad</b>	15 – 35 m3/h	15 – 35 m3/h
<b>Limpieza del filtro</b>	Retrolavado	Retrolavado

Fuente: Elaboración propia con datos de Amiad Filtration Systems, 2010.

**Filtro MEDIA de arena.** Filtración por profundidad, con este tipo de sistema se garantiza que a pesar de la cantidad de contaminantes y partículas que contenga el agua no tratada y la presión de trabajo que se maneje dentro del filtro, el agua tratada saldrá libre de partículas sólidas mayores a 7 micrómetros. Además, cuenta con un control para retrolavado automático que funciona con un diferencial de presión, con este se garantiza que el filtro se mantenga limpio cada vez que se llene de partículas contaminantes que obstruyan el paso del agua.

**Filtro MEDIA de carbón activado.** El tanque en donde se deposita el carbón activado es el mismo que el tanque de arena. La diferencia es el medio filtrante y sus propiedades, el carbón activado puede adsorber cloro, microorganismos, químicos orgánicos, combustibles, metales y desechos radioactivos. Con esto mejora el “sabor” y color del agua, los cuales son parámetros de calidad, y resulta benéfico para la siguiente parte del tratamiento de agua: la lámpara de rayos UV que requiere la menor cantidad de partículas sólidas disueltas en el agua para garantizar una mejor desinfección.

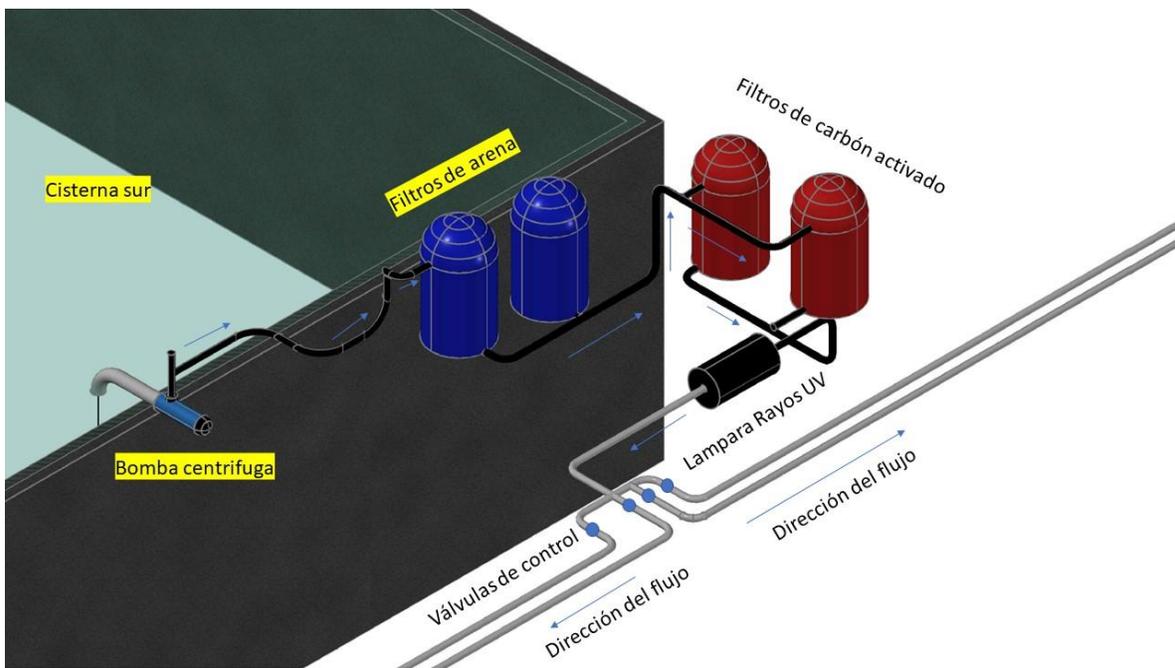
**Lámpara de rayos UV.** Se seleccionó la lámpara Atlantium modelo RZ 163 11, la cual cuenta con un sistema de monitoreo y control que permite dosificar la luz ultravioleta; también tiene alarmas que se activan con el paso de agua no tratada, con los cuales se asegura la calidad del agua con el menor consumo eléctrico (Tabla 32). Se optó por una lámpara de rayos UV que tiene la capacidad de desinfección (flujo de agua) que se requiere para las plantas de tratamiento propuestas y sus características ayudan a la automatización y eficiencia en el proceso de tratamiento.

**Tabla 32.** Características de lámpara UV

<b>Marca</b>	<b>Atlantium</b>
<b>Modelo</b>	RZ 163-11
<b>Caudal</b>	68 m <sup>3</sup> /h
<b>Consumo eléctrico (máx.)</b>	1.7 kW
<b>Material de la cámara de desinfección</b>	Sílice fundida de alto grado (cuarzo)
<b>Material de la carcasa</b>	Acero inoxidable 316L
<b>Presión de diseño</b>	145 psi
<b>Controlador</b>	Interno, con interfaz en pantalla táctil; monitoreo remoto y capacidad de control

Fuente: Elaboración propia con datos (Atlantium Technologies, 2008)

En la Figura 53 se ilustra la planta de tratamiento junto con la cisterna sur, con sus salidas de agua a las diferentes cisternas de distribución.



**Figura 53.** Isométrico de planta de tratamiento. Fuente: Elaboración propia

## Costos del sistema

El costo total del sistema de aprovechamiento es de \$3,658,759.80 a tipo de cambio de 19.03 pesos por dólar; y resulta de la suma de los elementos de captación y tratamiento que se desglosan en las Tablas 33 y 34.

**Sistema de captación.** En la Tabla 33 se presentan los costos del sistema de captación, se consideró la tubería utilizada, el lote de conexiones y las canaletas de PVC de 4 y 6 pulgadas con rejilla. Además, se incluyen los metros de tubería que interconectarán a las cisternas que reciben el agua no tratada a la planta de tratamiento y de ésta al depósito de agua limpia. En esta cotización no se consideran los costos de construcción de obra civil como son las cisternas de rebombeo, la abertura de zanjas y construcción de la planta de tratamiento, etc.

Tabla 33. Costos del sistema de captación.

Concepto	Cantidad	Precio unitario	Total
	<b>Metros</b>		
<b>Canaleta de PVC 4" con rejilla</b>	2.912,30	72,50	211.141,75
<b>Canaleta de PVC 6" con rejilla</b>	563,40	86,00	48.452,40
<b>TUBERIA DE PVC ALCANTARILLADO SERIE 20 DE 4"</b>	1.571,40	47,50	74.641,50
<b>TUBERIA DE PVC ALCANTARILLADO SERIE 20 DE 6"</b>	1.539,90	98,66	151.926,53
<b>TUBERIA DE PVC ALCANTARILLADO SERIE 20 DE 8"</b>	515,78	386,50	199.348,97
<b>TUBERIA DE PVC ALCANTARILLADO SERIE 20 DE 10"</b>	740,73	460,50	341.106,17
<b>TUBERIA DE PVC ALCANTARILLADO SERIE 20 DE 12"</b>	423,34	521,70	220.856,48
	Lote		
<b>Conexiones</b>	1	200.000,00	200.000,00
<b>Total</b>			1.447.473,80

Fuente: Elaboración propia.

**Sistema de tratamiento.** Se utilizarán dos tipos de filtros: de arena y carbón activado y una lámpara de rayos UV. Se utilizarán dos tanques de filtración por tipo de filtro, para garantizar el tratamiento incluso cuando alguno de los elementos filtrantes se encuentre bajo mantenimiento; se presentan la descripción de estos filtros en la Tabla 31 y los costos se presentan en la Tabla 34. Como estos productos son importados, el

precio que se incluye en la cotización se maneja en dólares. En esta cotización no se consideran costos de construcción de obra civil para la instalación de la planta.

**Tabla 34.** Costos de la planta de tratamiento

Sistema de tratamiento	Cantidad	Precio unitario	Total
<b>Bomba Barmesa Serie PS 1 1/2 - 10 - 2</b>	3	2,800 dls	8,400 dls
<b>Filtro MEDIA Arena 30"/3"</b>	2	12,800 dls	25,600 dls
<b>Filtro MEDIA Carbón Activado 30"/3"</b>	2	13,100 dls	26,200 dls
<b>Lampara de Rayos UV Atlantium RZ 163</b>	1	54,000 dls	54,000 dls
	Lote		
<b>Conexiones</b>	1	2,000 dls	2,000 dls
<b>Total</b>			<b>116,200 dls</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Beneficios del sistema

El sistema de aprovechamiento permitiría obtener un volumen de 28,131.75 m<sup>3</sup>, proveniente del agua de lluvia, que cubre el 28.4% del volumen demandado. Si ese volumen se obtuviera por el servicio de agua municipal el costo sería de \$659,689.56 (Tabla 37). Además de esto la planta de tratamiento tiene una capacidad máxima de 70 metros cúbicos por hora; capacidad con la que se puede procesar fácilmente la totalidad del agua que en las instalaciones de la FES C se consumen (98,892 metros cúbicos); si se considerara que ese volumen de agua se obtuviera de una planta purificadora comercial (precio por litro \$1.66 M.N.), se podrían ahorrar/obtener ingresos con un monto de \$ 161,841,703 M.N. al año considerando los costos del agua no tratada.

**Tabla 35.** Beneficios económicos.

Oferta anual	Cantidad (m3)	Costo por servicio de agua (\$23.45/m3)	Beneficio por agua purificada (\$1.66/L)	% Consumo total
<b>Agua de lluvia captada</b>	28,131.75	659,689.54	46,698,705	28.4
<b>Agua tratada</b>	98,891.50	2,319,005.68	164,159,890	100

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el agua purificada, de inicio en este proyecto no será cobrada, sólo se tomará en cuenta el ingreso o ahorro económico que genera la oferta de agua de lluvia

que es de 659,689.54 M.N. al año, y se tomará en cuenta el costo de implementación del sistema para determinar el tiempo en que retorna la inversión, 6 años.

A continuación, se enlistan algunos de los beneficios sociales/ambientales de la implementación de este sistema en la FES Cuautitlán:

1. Disminución del flujo de agua hacia las alcantarillas, ya que parte de la lluvia se encausa hacia depósitos para su aprovechamiento; con esto, disminuye el flujo de agua que debe ser tratado por las plantas potabilizadoras de agua, además disminuye la probabilidad de inundaciones.
2. Disminución de encharcamientos en zonas de tránsito Inter edificios, haciendo más fácil y comfortable, el tránsito, los días laborales y de curso para la comunidad en la temporada de lluvias.
3. Ahorro económico al disminuir la compra de agua embotellada por parte de la comunidad universitaria, al ofrecer agua con calidad para consumo que puede ser obtenida desde cualquier toma de agua dentro de la Facultad. Además, disminuye la generación de residuos plásticos.
4. Disminución en la extracción de agua del pozo instalado en el Rancho Almaraz, gracias a que el sistema provee aproximadamente un 30% anual del consumo de agua potable en las instalaciones.
5. Aprovechamiento de un recurso que se obtiene en el lugar, sin comprometer la fuente del recurso; además, de no ser aprovechada el agua estaría destinada a perderse en el sistema de drenaje.
6. La FES Cuautitlán - UNAM constituye un ejemplo y precedente a nivel local e institucional en el manejo del recurso hídrico con la implementación de esta tecnología.
7. Generación de empleo, ya que se requiere personal que supervise la operación adecuada del sistema, el personal debe de estar familiarizado con los equipos de bombeo y filtración; esta surge como una opción para los trabajadores que laboran en la UNAM.

## Tiempo de vida y mantenimiento

El mantenimiento del sistema involucra el monitoreo, limpieza y reparación de los elementos que lo componen. El monitoreo debe realizarse diariamente para garantizar por lo menos el tiempo de vida declarado por el fabricante. La limpieza y reparación de un sistema de recolección de lluvia puede ser sencillo, pero es necesario realizarlo antes del inicio de la temporada de lluvias y cada vez que se detecte alguna falla, fractura o fuga en el sistema. Los tiempos de vida se consideraron de acuerdo con los indicados por los fabricantes y se vacían en las Tablas 35 y 36. A continuación se enlistan algunas de las acciones que se deben realizar con la implementación del sistema. (Adler, 2008)

### Limpieza y reparación

- Limpiar los canales y tuberías y los rebosaderos de las cisternas.
- Limpieza de los sedimentadores, tanques y cisterna por lo menos una vez al año.

### Monitoreo y mantenimiento

- Monitorear los niveles de agua del tanque.
- Reparar posibles goteras que aparezcan durante la temporada de lluvia en techos con materiales adecuados no contaminantes.
- Monitorear periódicamente que el agua fluya sin problemas por los canales o tuberías, reparando posibles daños en ellas.
- Revisar periódicamente los prefiltros (coladeras de las canaletas), limpiar y cambiar los elementos filtrantes de los filtros de arena y carbón activado, con la regularidad que el fabricante propone.
- Revisar el correcto funcionamiento de las bombas electromecánicas.

**Tabla 36.** Vida útil y recomendaciones de mantenimiento 1.

Elemento	Tiempo de vida	Tiempo para mantenimiento	Revisión
Canaletas	3 – 5 años.	Ocasional	Anual
Tuberías bajantes	5 – 7 años.	Ocasional	Anual
Tuberías subterráneas	15 – 20 años.	Ocasional	Anual

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 37.** Vida útil y recomendaciones de mantenimiento de la planta de tratamiento.

Elemento	Tiempo de vida	Tiempo para mantenimiento	Revisión
Tuberías y conexiones	20 años	Ocasional	Semanal
Sistema de bombeo	20 años	Anual	Semanal
Filtros de arena	25 años	Anual	Semanal
Filtros de carbón activado	25 años	Anual	Semanal
Lámpara de luz ultravioleta	25 años	Anual	Semanal

Fuente: Elaboración propia

Mantenimiento ocasional se refiere a que se realiza en el momento en el que se detecte debilidad en alguna estructura, estrellamiento o fractura de los elementos y que puedan provocar alguna fuga o mal funcionamiento en el sistema.

Mantenimiento anual. Se recomienda que este tipo de mantenimiento se realice al final de la temporada de lluvias. Cambio de elementos filtrantes de los filtros de arena y carbón activado.

Revisión semanal se refiere al chequeo de las instalaciones y correcto funcionamiento de la bomba y de los demás elementos de la planta de tratamiento, basándose en barómetros y medidores de flujo.

## **V. Conclusiones**

A nivel mundial, cada día toma más relevancia la búsqueda de soluciones a los problemas de escasez de agua, calentamiento global, pérdida de diversidad, producción de alimentos y energía, ante esta problemática se han desarrollado tecnologías que buscan el aprovechamiento de energías renovables y de recursos de manera más eficiente. Dentro de estas líneas de desarrollo el aprovechamiento de agua de lluvia encaja muy bien, ya que contribuye al uso racional del agua.

En la zona se presenta sobreexplotación de los cuerpos de agua subterráneos y contaminación de los superficiales, por ello es necesario la búsqueda e implementación de alternativas a la extracción de estos cuerpos de agua; sistemas como el que se propone permiten obtener el agua que se necesita in situ, con un costo de inversión considerable, pero que ofrece diferentes beneficios y que tiene potencial para expandirse a otras áreas dentro de la Facultad.

Las instalaciones de la FES-Cuautitlán tienen los elementos necesarios para implementar el sistema de aprovechamiento de agua, ya que la zona tiene una temporada de lluvia bien definida con 739 milímetros anual promedio de los últimos diez años, que representan 739 litros por metro de área de captación.

Los edificios tienen pendientes adecuadas para encausar el agua hacia el sistema; además, se cuenta con espacio suficiente para la instalación de las cisternas propuestas, la planta de tratamiento y la red de tuberías.

La Facultad cuenta con un área total calculada de 1,147,510.90 m<sup>2</sup>, para el diseño del sistema de captación de agua de lluvia se tomaron los techos de 85 edificios como superficie de captación los cuales comprenden 51,365.48 m<sup>2</sup>.

Para el establecimiento del sistema será necesario utilizar los materiales: 3,476 metros de canaleta en dos diferentes tamaños 4 y 6 pulgadas, 4,957 metros de tubería en diámetros que van de 3 a 15 pulgadas, la construcción de 3 cisternas con capacidad total de 4,216 m<sup>3</sup>, cada una con un equipo de bombeo automatizado; y una planta de tratamiento con: 4 tanques de filtrado (2 arena y 2 carbón activado) y una lámpara de luz ultravioleta, que implican un costo total de 3,658,759.80 pesos.

El sistema de captación de agua de lluvia tiene una capacidad de diseño máxima de 90 L/h m<sup>2</sup>, o 3,929.46 m<sup>3</sup>/h, la conducción a partir de ahí se realizara con canaletas con coladera como medio de primera filtración, las tuberías bajantes y subterráneas se seleccionaron de PVC y se conducirá el agua inicialmente por gravedad, a medida que las tuberías se llenan la conducción se presuriza a una presión máxima de 6 metros columna de agua. Los materiales de PVC se seleccionaron por sus características hidráulicas, durabilidad, costo y facilidad de la instalación y mantenimiento.

Las cisternas se situarán en tres zonas Norte, Oriente y Sur, estas recibirán los aportes de agua de los edificios aledaños a ellas; además la cisterna Sur recibirá los aportes que se acopien en las dos anteriores, recibiendo el total de agua previo a tratamiento.

La planta de tratamiento tiene una capacidad máxima de 70 m<sup>3</sup>/h. Estas capacidades permitirán captar la totalidad del agua de lluvia en casos de lluvias extraordinarias y mantener agua por más tiempo en almacenamiento; ya que la capacidad de la planta de tratamiento normal 25 m<sup>3</sup>/h se calculó con base en el consumo de agua 21 m<sup>3</sup>/h, así la capacidad de tratamiento excede el consumo de agua dentro de la Facultad.

La planta de tratamiento estará conectada al sistema de distribución de agua presente en la escuela, para garantizar que el agua tratada sea utilizada en todos los edificios de la Facultad; en temporada de lluvias el sistema de captación abastecería hasta el 100% del consumo mensual de agua de la Facultad, en los meses de mayor precipitación (junio y julio).

La utilización de sistemas de filtrado de arena y carbón activado, así como la lámpara de luz y los elementos considerados en el diseño: canaletas y tuberías de PVC permitirán que el agua obtenida cumpla con las características que establecen las normas para agua de consumo humano.

El volumen de captación representa el 28.4% anual de la demanda hídrica de la Facultad 28,131,450 litros de agua que son aprovechados para consumo y que de otra forma serían desechados al drenaje.

El presente proyecto es factible porque representaría un ahorro de 659,689.56 pesos, con los que al sexto año se recupera la inversión inicial, considerando que es un proyecto que busca el aseguramiento del abasto de agua a la comunidad y la mejora ambiental.

El sistema de captación de agua de lluvia en las instalaciones de la FES Cuautitlán constituye de esta forma una solución para aumentar la disponibilidad de agua.

### **Recomendaciones**

Se recomienda la ampliación de este sistema a las canchas deportivas, ya que en temporada de lluvias tienden a inundarse, razón por la cual diferentes grupos y equipos deportivos dejan de realizar sus actividades. La implementación de este proyecto significaría un aumento considerable en el flujo de agua, para esto se debe adecuar el sistema de drenaje y monitorear la calidad del agua antes de incorporarlo a la planta de tratamiento.

## VI. Referencias

Abbasi, T. y Abbasi, S. A. (2011) "Sources of Pollution in Rooftop Rainwater Harvesting Systems and Their Control", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(23), pp. 2097–2167. doi: 10.1080/10643389.2010.497438.

Adler, I., Carmona, G. y Bojalil, J. (2008) "Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos". México.

Almirón, E. (2012) *El agua como elemento vital en el desarrollo del hombre*, Observatorio Mercosur. Disponible en: [observatoriomercosur.org.uy/libro/el\\_agua\\_como\\_elemento\\_vital\\_en\\_el\\_desarrollo\\_de\\_l\\_hombre\\_17.php](http://observatoriomercosur.org.uy/libro/el_agua_como_elemento_vital_en_el_desarrollo_de_l_hombre_17.php) (Consultado: el 10 de abril de 2017).

Amiad Filtration Systems (2010) *Filtros MEDIA*. Disponible en: [http://amiad.com/files/Media\\_A4\\_Sp\\_2010\\_print.pdf](http://amiad.com/files/Media_A4_Sp_2010_print.pdf) (Consultado: el 23 de octubre de 2017).

Anaya, M. et al. (1998) *Sistema De Captación De Agua De Lluvia Para Uso Doméstico En America Latina Y El Caribe*.

Anaya, M. (2011) *Captación de agua de lluvia. Solución caída del cielo*. Primera Ed. Texcoco: bba.

Arroyave, J. et al. (2012) "Evaluación económica de la captación de agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia", *Producción más Limpia*, pp. 76–84. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/105>.

ATL (2010) *ATL, Termofusión. Sistemas de riego*. Disponible en: <http://atltermofusionyriego.com/index.php> (Consultado: el 10 de mayo de 2017).

Atlantium Technologies (2008) "Soluciones de desinfección hidroóptica <sup>TM</sup>", *Serie RZ 163*, p. 4. Disponible en: [www.atlantium.com](http://www.atlantium.com).

Ballen, J. S. (2006) "Historia de los Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia", en *VI SEREA - Seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento Urbano de Agua*, p.

12.

Banaue Terraces (2019) *Banaue Rice Terraces Photos, Photo Gallery*. Disponible en: <http://www.banaueterraces.com/Banaue-Rice-Terraces-Photos.html> (Consultado: el 12 de febrero de 2019).

Barmesa (2017) "Bomba centrífuga en acero inoxidable. Serie PS", *Equipos de bombeo*, p. 9. Disponible en: [www.barnes.com.mx](http://www.barnes.com.mx).

Bates, B. *et al.* (2008) *El Cambio Climático Y El Agua*. 1a ed, *Documento técnico VI del IPCC*. 1a ed. Ginebra. Disponible en: <http://216.92.126.55/publicaciones/climate-change-water-sp.pdf>.

BBC Mundo (2018) "11 de las grandes urbes del mundo con más probabilidades de quedarse sin agua potable como Ciudad del Cabo", *BBC Mundo*, 7 febrero, p. 1. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-42975307> (Consultado: el 25 de enero de 2019).

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2016) "La contaminación del agua en América Latina y Chile - Programa Americas", 26 diciembre. Disponible en: <http://www.bcn.cl/observatorio/americas/noticias/la-contaminacion-del-agua-en-america-latina-y-chile> (Consultado: el 2 de noviembre de 2017).

Bici Verde. Estado de México (2010) *No Title, Presa La Concepción*. Disponible en: <http://www.biciverde.com/multimedia/fotos/rodadas-desde-izcalli/sabatuna-la-concha-presa-concepcion-jul-2010/presa-concepcion-tepozotlan-julio-20102-174#joomimg>.

Buckley, B., Hopkins, E. y Whitaker, R. (2004) *Meteorología*. Editado por L. Cupula. Barcelona.

Burek, P. *et al.* (2016) *Water Futures and Solution*.

Caballero, T. (2006) *Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de Ferrocemento. Manual Técnico*. 1a ed, *Instituto Politécnico Nacional*. 1a ed. México. Disponible en:

[http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/monte\\_carlo/monte\\_carlo.htm?iframe=true&width=95%25&height=95%25](http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/monte_carlo/monte_carlo.htm?iframe=true&width=95%25&height=95%25).

Cannon, W. B. (1943) "Lawrence Joseph Henderson (1878-1942).", *National Academy of Sciences*, 23(2), pp. 1304–6. doi: 10.1001/jama.198.12.1304.

Carbajal, A. y González, M. (2013) "Propiedades físicas y químicas del agua", en *Agua para la salud. Pasado, presente y futuro.*, pp. 33–45. Disponible en: <https://www.ucm.es/.../458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-9>.

Carbotecnia (2017a) *Osmosis inversa*, Carbotecnia SA. Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-la-osmosis-inversa/> (Consultado: el 11 de junio de 2017).

Carbotecnia (2017b) *Productos*, Carbotecnia SA. Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/productos/> (Consultado: el 20 de junio de 2017).

Carrasco, J. (2016) "Técnicas de captación, acumulación y aprovechamiento de aguas lluvias", *Boletín INIA No. 321*, p. 184.

CEPIS (2001) "Guía de diseño para la Captacion del Agua de Lluvia".

Chan, M. (2012) *Métodos de almacenamiento del agua. Un elemento clave para la adaptación al cambio climático*. Guatemala. Disponible en: <http://icc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/Chan-M-Métodos-de-almacenamiento-de-agua-versión-final.pdf>.

CONABIO (2009) "Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico.", en *Capital natural de México, Vol. II: Estado de la conservación y tendencias de cambio*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, pp. 133–177. Disponible en: [http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/VolII/II03\\_Perturbaciones\\_y\\_desastres\\_naturales\\_Impactos\\_sobre.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/VolII/II03_Perturbaciones_y_desastres_naturales_Impactos_sobre.pdf) (Consultado: el 14 de noviembre de 2017).

CONAGUA (2004) "El agua", *GEO México 2004*.

CONAGUA (2009a) "Conducciones", en *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y*

*Saneamiento*. México, p. 202. Disponible en: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro10.pdf> (Consultado: el 16 de octubre de 2017).

CONAGUA (2009b) *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario, Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Disponible en: <http://www.mapasconagua.net/>.

CONAGUA (2009c) *Semblanza Histórica del Agua en México*. Editado por SEMARNAT.

CONAGUA (2013) *Estadísticas del Agua de la Región Hidrológico - Administrativa XIII. Organismo de Cuencas del Valle de México*.

CONAGUA (2015) *Estadísticas del agua en México. Edición 2015*. Editado por SEMARNAT. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2015.pdf>.

CONAPO (2010) *Datos demográficos, Proyecciones de la Población 2010-2050*. Disponible en: <http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones> (Consultado: el 27 de marzo de 2017).

Cuéllar, J. A. (2015) *Informe de Actividades*. Cuautitlán.

Dirección General de Administración Escolar UNAM (2016) *Calendario escolar. Plan Semestral 2017*.

Duran, P., Herrera, L. A. y Guido, P. (2010) "Captación De Agua De Lluvia, Alternativa Sustentable", en *Congreso Nacional del Medio Ambiente*, pp. 1-14.

DURMAN (sin fecha) *MANUAL TÉCNICO TUBOS PVC DE DOBLE PARED, ASTM F949 / A ASHTO M-304 PARA ALCANTARILLADO SANITARIO, PLUVIAL y PARA CARRETERAS*. Disponible en: [http://durman.com/descargables/tubos\\_pvc\\_doble\\_pared.pdf](http://durman.com/descargables/tubos_pvc_doble_pared.pdf) (Consultado: el 15 de octubre de 2017).

EPA (2016) *What is acid Rain?*, United States Environmental Protection Agency. Disponible en: <https://www.epa.gov/acidrain/what-acid-rain> (Consultado: el 31 de

marzo de 2016).

FAO (2000) *Manual de Captación y Aprovechamiento del agua de lluvia, Experiencias en América Latina*, Fao. Santiago, Chile. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai128s/ai128s00.pdf>.

FAO (2013) *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile.

FAO (2015) *Towards a water Critical Perspectives for Policy-makers*. Editado por World Water Council. Roma. Disponible en: [http://www.fao.org/nr/water/docs/FAO\\_WWC\\_white\\_paper\\_web.pdf](http://www.fao.org/nr/water/docs/FAO_WWC_white_paper_web.pdf).

FEA y CEMDA (2006) *El agua en México: lo que todas y todos debemos saber*. 1a ed.

Filken (2014) *Drink to wellnes, Products*. Disponible en: [filken.com.sg](http://filken.com.sg).

Forbes (2018) “CDMX, entre las 11 ciudades que podrían quedarse sin agua potable”, *Forbes*, 21 febrero, p. 1. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/cdmx-entre-las-11-ciudades-que-podrian-quedarse-sin-agua-potable/> (Consultado: el 25 de enero de 2019).

Gleick, P. H. (1996) “Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs.”, *Water International*, 21. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/02508069608686494>.

Gobierno de la República (2007) “NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”, *Diario Oficial de la Federación*, pp. 1–10.

Gobierno de la República (2013) “Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018”, *Diario Oficial de la Federación*. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Gobierno del Estado de Aguascalientes. (2012) *Portal del Estado de Aguascalientes*. Disponible en: <http://www.aguascalientes.gob.mx/transparencia/calidad/sop/obras/ReportesVarios/fotostransp.asp?StrIdContrato=6386> (Consultado: el 10 de mayo de 2017).

Google (2017) *Google Earth*. Disponible en: <https://earth.google.com/web/@19.69416193,-99.19225748,2252.4237494a,2491.14395453d,35y,0h,0t,0r> (Consultado: el 24 de octubre de 2017).

Greenpeace (2010) *México ante el cambio climático*. México. Disponible en: [www.greenpeace.org.mx](http://www.greenpeace.org.mx) (Consultado: el 14 de noviembre de 2017).

Greenpeace (2016) "Plásticos en los océanos. Datos, comparativas e impactos.", *Greenpeace*. Disponible en: [http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/plasticos\\_en\\_los\\_oceanos\\_LR.pdf](http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/plasticos_en_los_oceanos_LR.pdf) (Consultado: el 2 de noviembre de 2017).

Herrera, L. A. (2010) *Estudio de Alternativas, para el uso sustentable del agua de lluvia*. Instituto Politecnico Nacional.

Hidrofiltec SAC (2015a) *Filtro de carbón activado granular., Tecnología en filtración de agua*. Disponible en: [http://www.hidrofiltec.com/filtro\\_carbon.htm](http://www.hidrofiltec.com/filtro_carbon.htm) (Consultado: el 7 de junio de 2017).

Hidrofiltec SAC (2015b) *Filtros pulidores, Tecnología en filtración de agua*. Disponible en: [http://www.hidrofiltec.com/filtro\\_pulidor.htm](http://www.hidrofiltec.com/filtro_pulidor.htm) (Consultado: el 20 de junio de 2017).

iBB Culture Inc (2014) *Yerebatan Sarnici*. Disponible en: <http://yerebatan.com/> (Consultado: el 25 de octubre de 2017).

Innovative Water Solutions (2010) *Galvanized Metal Cisterns*. Disponible en: <https://www.watercache.com/portfolio/galvanized-metal-cisterns> (Consultado: el 7 de mayo de 2017).

Isla Urbana (2017) *Sistemas de captación de agua de lluvia, Isla Urbana*. Disponible en: <http://islaurbana.mx/> (Consultado: el 10 de junio de 2017).

Korenfeld, D. (2009) *Cultura Del Agua. Hacia un uso eficiente del recurso vital., Biblioteca Mexiquense del Bicentenario*. Editado por G. del E. de México.

Koutchma, T. (2014) "UV Disinfection of Air, Water, and Surfaces", en AP (ed.) *Food Plant Safety. UV Applications for Food and Non-Food Surfaces*, pp. 15–30. doi: 10.1016/B978-0-12-416620-2.00003-5.

Krishna, J. (2005) "The Texas Manual on Rainwater Harvesting", *Texas Water Development Board*, 1(3ª), p. 88. doi: 10.1007/s10350-008-9244-1.

Lomnitz, E. (2012) "Lluvia Para Todos", *IV Asamblea de IRCSA México*.

Macomber, P. S. H. (2010) *Guidelines on Rainwater Catchment Systems for Hawaii*. Editado por University of Hawaii at Manoa. College of Tropical Agriculture and Human Resources. Disponible en: <https://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/RM-12.pdf>.

Magaña, V. O. (2006) *Informe sobre escenarios futuros del sector agua en México bajo cambio climático para las climatologías del 2020, 2050 y 2080*.

Martinson, B. y Thomas, T. (2003) "Improving Water Quality By Design", *11th International Rainwater Catchment Systems Conference*, p. 10. Disponible en: [http://eprints.port.ac.uk/87/1/water\\_quality.pdf](http://eprints.port.ac.uk/87/1/water_quality.pdf).

Martinson, B. y Thomas, T. (2005) "Quantifying the First-Flush Phenomenon First-Flush Theory", *12th International Rainwater Catchment Systems Conference*, pp. 1–7.

Moreno, J. M. et al. (2005) *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático en España*. Ministerio.

National Geographic (2017) "Del océano al grifo, la contaminación del agua nos afecta a todos", *NatGeo*, octubre, p. 1. Disponible en: <http://www.nationalgeographic.es/video/tv/un-tornado-de-fuego-aparece-entre-las-llamas-que-devastan-portugal> (Consultado: el 5 de noviembre de 2017).

OMS (2015a) *Informe 2015 del PCM: datos esenciales*.

OMS y UNICEF (2015) *Informe de actualización 2015 y evaluación del ODM, Progresos en materia de saneamiento y agua potable*.

Organizacion Panamericana de la Salud (ed.) (2011) "Tratamiento De Agua", en *Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, BVSDE*, pp. 406–529. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap8.pdf>.

Perales, S. y Doménech, A. (2007) "Los sistemas urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia", *Equipamiento y Servicio Municipales*, 24(133), pp. 66–77. doi: 10.1152/ajpccell.00303.2005.

Pérez, H. (2008) *Acciones desinfectantes en la potabilización del agua en pequeñas comunidades*. Universidad de Sucre.

PNUD y INIA (2015) "Cosecha de agua de lluvia para enfrentar la escasez de agua en áreas de secano", *Guía práctica campesina*, p. 44.

Productos Nacobre (2008) *Criterios de Diseño para Redes de Alcantarillado Empleando Tubería de PVC*. Disponible en: [https://instalacioneshs.files.wordpress.com/2008/08/manual\\_alcantarillado.pdf](https://instalacioneshs.files.wordpress.com/2008/08/manual_alcantarillado.pdf) (Consultado: el 17 de octubre de 2017).

PUMA y Isla Urbana (2013) "Sistema de captación de lluvia para consumo humano en el edificio de Programas Universitarios de la UNAM, Campus CU", *Programa Universitario de Medio Ambiente*, p. 15.

Ratnayaka, D., Brandt, M. y Johnson, M. (2009a) "Disinfection of water", en *Water Supply*. Sixth Edit, pp. 425–461. doi: 10.1016/B978-0-7506-6843-9.00019-6.

Ratnayaka, D., Brandt, M. y Johnson, M. (2009b) "Specialized and Advanced Water Treatment Processes", en *Water Supply*. Sixth Edit. Elsevier, pp. 365–423. doi: 10.1016/B978-0-7506-6843-9.00018-4.

Ratnayaka, D., Brandt, M. y Johnson, M. (2009c) "Treated Water Storage", en *Water Supply*. Sixth Edit, pp. 671–698. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-7506-6843-9.00026-3>.

Reij, C., Mulder, P. y Begemann, L. (1988) *Water harvesting for plant production, Applied Geography*. doi: 10.1016/0143-6228(90)90043-0.

Rojas, M. N., Gallardo, J. R. y Martínez, A. (2012) "Implementación y Caracterización de un Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia", *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 15(1), pp. 16–23. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v15n1/v15n1a2.pdf>.

Romero, M. (2008) "Tratamientos Utilizados En La Potabilización De Agua", *Boletín electrónico Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar*, (08), pp. 1–12.

Rotoplas (2016) *Rotoplas*. Disponible en: <http://www.rotoplas.com.mx/> (Consultado: el 12 de mayo de 2017).

Sancho, J. (2007) "AGUA ES VIDA", *Revista de la Academia de Ciencias Exacta, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza*, pp. 1–12.

Sapag, N. y Sapag, R. (1991) *Preparación y Evaluación de Proyectos*. 2a ed. Editado por McGraw Hill.

SC Fluids (2019) *SC Fluids, Pipes*. Disponible en: <http://www.scfluids.com.mx/index.html> (Consultado: el 12 de febrero de 2019).

Secretaría de Economía (2001) "NMX-AA-038-SCFI-2001 Análisis De Aguas - Determinación De turbiedad En Aguas Naturales , Residuales Y Residuales Tratadas - Waters Analysis - Determination of Fluoride in Natural , Wastewaters and Wastewaters Treated -", p. 20.

SEDEMA (1994) *Programa de Precipitaciones Acidas en la ZMCM. Informe Anual 1994*. Ciudad de México.

SEMARNAT (2013) *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y Desempeño Ambiental*. México.

Shiklomanov, I. A. (1998) *World Water Resources: A new appraisal and assessment for the 21ST century, International Hydrological Programme*. Editado por UNESCO. Francia: UNESCO.

Soluciones Hidropluviales (sin fecha) *Infiltración para recarga de acuíferos*. Disponible en: <http://hidropluviales.com/infiltracion/> (Consultado: el 25 de octubre de 2017).

Soriano, M. A. (2015) *Niebla como fuente alternativa para suministro de agua*. Escuela Colombiana de Ingeniería. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Sotomayor, R. (2013) *Red del agua UNAM, UNAM*. Disponible en: [http://www.agua.unam.mx/noticias/2013/nacionales/not\\_nac\\_febrero22\\_4.html](http://www.agua.unam.mx/noticias/2013/nacionales/not_nac_febrero22_4.html) (Consultado: el 10 de junio de 2017).

Tebbutt, T. y Yolland, H. (1990) *Fundamentos de control de calidad del agua*. Editado por Limusa. México.

Texas Commission on Environmental Quality (2007) *Harvesting, Storing, and Treating Rainwater for Domestic Use, TCEQ Publication*. Disponible en: [papers2://publication/uuid/55A72C82-E41F-4B98-B962-BCFBBF627C47](http://papers2://publication/uuid/55A72C82-E41F-4B98-B962-BCFBBF627C47).

Thompson, P. D. y O'Brien, R. (1976) *Fenomenos Atmosfericos*. Editado por TIME Inc.

UNESCO (2015) *Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile*. Editado por R. Pizarro et al. UNESCO.

El Universal (2018) "11 ciudades en riesgo de quedarse sin agua", *El Universal*, 21 mayo, p. 1. Disponible en: <https://www.eluniversal.com.mx/destinos/11-ciudades-en-riesgo-de-quedarse-sin-agua> (Consultado: el 25 de enero de 2019).

Vásquez, A., Vásquez, I. y Vásquez, C. (2014) *Cosecha del agua de lluvia y su impacto en el proceso de desertificación y cambio climático*. 1a ed. Perú: Aleph.

Wolf System Austria (2017) *Reinforced concrete round tank., Cesspits/small-scale wastewater treatment plant*. Disponible en: [www.wolfsystem.at/Concrete-Tanks/Tanks/Cesspits-small-scale-wastewater-treatment-plant](http://www.wolfsystem.at/Concrete-Tanks/Tanks/Cesspits-small-scale-wastewater-treatment-plant) (Consultado: el 10 de mayo de 2017).

Worm, J. y Hattum, T. Van (2006) *Rainwater harvesting for domestic use, Water International*. doi: 10.1080/02508069108686093.

WWAP (2003) *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Agua para todos, agua para la vida., UNESCO*. Disponible en: <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>.

WWAP (2015) *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a sustainable world*. UNESCO. París. doi: 10.1016/S1366-7017(02)00004-1.

WWAP (2016) *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo*. París. Disponible en: <http://www.unwater.org/publications>.

WWAP (2017) *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. Editado por UNESCO. París. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647S.pdf>.

WWAP (2018) *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hidricos. Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestión del Agua*. París: UNESCO.

Anexos

Anexo 1. Informe de análisis microbiológico de agua captada

 Servicio Social  
de Bacteriología  
Diagnóstica



**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**  
**Servicio de Diagnostico Bacteriológico a la Comunidad Interna y Externa**

Fecha de recepción de muestra: 19/04/17  
Folio: 024  
Tipo de muestra: Agua  
Usuario: Roberto Olmedo García

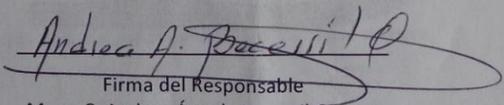
---

**Norma establecida: NOM-127-SSA1-1994 y NOM-112-SSA1-1994**

	Valor de referencia	Resultado
Mesofilos aerobios	<100 UFC/mL	>100 UFC/mL
Coliformes totales	2 NMP/100mL	240 NMP/100mL
Coliformes fecales	Ausentes	Presentes
Pseudomonas	Ausencia	Ausencia

**Resultado: Agua NO apta para consumo humano**

Muestra Trabajada por: Mariana E. Espinosa

  
Firma del Responsable  
M. en C. Andrea Ángela Becerril Osnaya

Av. 1o de Mayo S/N, Santa María las Torres, Campo Uno, C.P. 54740 Cuautitlán Izcalli, Estado de México, Edificio L5, Laboratorio 513.

Anexo 2. Informe de resultados del agua tratada.



**laboratorio  
Quibimex**

**INFORME DE RESULTADOS**

ACFO-009  
S. A. No. 25216  
a/ m/ d

FECHA ENTRADA: 17/SEP/14  
FECHA INICIO ENSAYO: 17/SEP/14  
FECHA DE REPORTE: 17/OCT/06

**AGRIDOR MEXICO, S.A. DE C.V.**  
Simón Rojas Manz. 1798 Lote: 26  
Col. Ampliación Emiliano Zapata  
Ixtapaluca Estado de México  
C.P. 56554

A continuación presentamos los resultados de los ensayos practicados a la siguiente muestra tomada por personal de nuestro laboratorio para su estudio.

**1.- AGUA DE LLUVIA DESPUES DE FILTRO** (Líquido contenido en bolsa de plástico whirl-pak, cantidad de muestra tomada: 2 bolsas de 300,0 mL. y 400,0 mL aproximadamente cada una, fecha de muestreo: 2017/SEP/14, hora de muestreo: 15:20 h, temperatura de recepción: 4,00°C).

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS M-1	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	1 Acreditado 2 Autorizado
° Coliformes Fecales	NO DETECTABLE	NOM-210-SSA1-2014 Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos. Apéndice H Normativo. Método aprobado para la estimación de la densidad de Coliformes totales, Fecales y E. coli por la técnica del NMP presentes en muestras de alimentos para consumo humano y agua	1,2
° Coliformes Totales	NO DETECTABLE		
° Sensibilidad mínima de detección por la técnica de diluciones en tubo múltiple es de 1,1 NMP/100mL			

ENSAYO FÍSICOQUÍMICO	RESULTADO M-1	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	1 Acreditado 2 Autorizado
ppm Cloro (Prueba de campo)	0,0	* Free Total Chlorine Test	Ensayo no acreditado Ensayo no autorizado
UpH al 20 ° C	9,216	NMX-F-317-NORMEX-2013 Alimentos - Determinación de pH en alimentos y bebidas no alcohólicas-Método potenciométrico - Método de prueba.	1
*ppm = mg/L Sensibilidad de 0 a 3,4 mg/L Cl <sub>2</sub>			

1.- No. De Acreditación ema A-012-001/12, Vigente a partir del: 2012/04/10  
2.- Tercero Autorizado como Laboratorio de Prueba. Autorización No. TA-11-17, Vigencia: Del 09 de Febrero de 2017 al 09 de Febrero de 2019

Nos ponemos a sus órdenes para cualquier duda o aclaración.

  
**Q.F.B. LEONOR MEDINA M.**  
GERENTE DE ASEG. DE CALIDAD  
SIGNATARIO AUTORIZADO

LMM/MHP

1/1

CUALQUIER COMENTARIO O QUEJA DE NUESTROS SERVICIOS FAVOR DE REPORTARLO AL FAX No. 5445-5494, A LA ATENCION DEL GERENTE GENERAL.  
Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total, sin la autorización de LABORATORIO QUIBIMEX, S.A. DE C.V.  
Los resultados se refieren únicamente a la (s) muestra (s) o unidades de ensayo analizadas.

Alfonso Toro 1207 Col. Sector Popular Ciudad de México, Delegación Iztapalapa 09060 Tel. (55) 5445-5495, 5445-5496, Fax (55) 5445-5494

**ORIGINAL**