



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“Diagnóstico de la infiltración de agua pluvial en  
Ciudad Universitaria mediante los pozos de absorción.”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O   C I V I L

P R E S E N T A :

CARLOS ALBERTO ROSAS CABELLO

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. MARIA TERESA ORTA LEDESMA

MÉXICO, D.F.

OCTUBRE 2013



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

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/093/13

Señor  
CARLOS ALBERTO ROSAS CABELLO  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora DRA. MARÍA TERESA ORTA LEDESMA, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"DIAGNOSTICO DE LA INFILTRACIÓN DE AGUA PLUVIAL EN CIUDAD UNIVERSITARIA MEDIANTE  
LOS POZOS DE ABSORCIÓN"**

- INTRODUCCIÓN
- I. GENERALIDADES
- II. TECNOLOGÍAS PARA LA INFILTRACIÓN DE AGUA EN ACUÍFEROS
- III. LEGISLACIÓN
- IV. CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LOS POZOS DE ABSORCIÓN EN CIUDAD UNIVERSITARIA
- V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
- VI. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA
- ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 3 de octubre del 2013.  
EL PRESIDENTE

  
M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH\*gar.

## **Dedicatoria**

*“¿Quién podrá contar los granos de arena a orilla de los mares, las gotas de lluvia, los días ya transcurridos? ¿Quién puede medir la altura del cielo, la extensión de la tierra, las profundidades del océano?*

*El Señor fue quien creó la sabiduría, la vio, le tomó las medidas, la difundió en todas sus obras, en todos sus seres vivos según su generosidad.”*

*(Eclo1,1-3;9)*

A ti es a quien dedico esta obra, como lo hago de mi vida. Porque creaste todo con infinito amor, para que pueda contemplarte, haciendo posible tu gracia que me bendice.

Bendito seas Señor, porque desde el vientre de mi madre haz puesto tu amor y muestras tu misericordia en la vida de mi familia, mis amigos y todo aquel que sabe de ti.

Porque estas presente en la fuerza de las aguas, la inmensidad de las tierras, la complejidad de seres tan diminutos y la generosidad de nuestra hermana naturaleza.

Gracias, porque cuando vemos caer la lluvia sobre las tierras desérticas, es como encontrarte en medio de nuestras dificultades, desesperaciones y angustias.

Cuando sufrimos a causa de las tempestades y lo perdemos todo; lo último que debemos perder es la fe en ti, pues te haces presente en el momento preciso.

Al maltratar tu creación, contaminando y no aprovechando al máximo la naturaleza; recuerde, que también ahí te haces presente como un gran regalo.

Que no sean en vano nuestras investigaciones y búsquedas en la ciencia, porque si bien nos has dado la inteligencia para encontrar beneficios a la sociedad; en ocasiones las utilizamos para perjudicar al mas necesitado.

Permíteme contemplar tu rostro en cada proyecto que lleve a cabo, no solo en los que ponga a prueba mi conocimiento; sino en el proyecto de la vida para no dejar de encontrarte.

Y que este trabajo que he desarrollado -gracias al apoyo de tantas manos, pensamientos e ideas que pones en todas las personas como medio de comunicación entre tú, mi Dios y mi ser- no sea el último en el que tu creación (la humanidad y la naturaleza) sean los objetivos más importantes por lograr.

## **Agradecimientos**

Esta obra ha sido posible gracias al apoyo de:

Mis padres Elsa Cabello Ramírez y al Ing. Carlos Rosas Gutiérrez, mis hermanas Astrid e Ingrid.

Al apoyo incondicional de mis familiares:

María de la Luz Ramírez	Genoveva Ramírez
Daniel Cabello	Marlén Juárez
Miguel Cabello	Claudia Cárdenas
Carmen Gutiérrez	Delfino Rosas

En especial del apoyo técnico de mis tías:

Lic. Lourdes Velazquillo y C.P. María de Jesús Velazquillo

A mis directores de tesis:

M.I. Cristian González Reyes y Dra. María Teresa Orta Ledesma

A mis profesores dentro de la Facultad de Ingeniería y en el Instituto de Ingeniería:

Dr. Ignacio Monje	Dr. Humberto Gardea
M.C. Isaura Yáñez	Ing. Claudia Elisa Sánchez
Ing. Germán Martínez	Ing. Erick García
Ing. Leonardo Toscano	Ing. Ernesto Mendoza
Ing. Héctor Legorreta	Ing. Miguel Eduardo Cárdenas
Ing. Javier Cortés	Dra. Maritza Arganis

Y a mis amigos, familiares:

Fray Jesús Gómez, Fray Manuel Anaut, Fray Octaviano, Arq. María Luisa Ruiz, Roberto Suárez, Jessica Iniesta, Valentina Mejía, Guadalupe Villalobos, Elena Acevedo, Karen Tolentino, Alí Guzmán, Edgar Sandoval, Jorge Cázares, Mariana Chávez, Federico Cedillo, Atzin Domínguez, María Rosas, Abel Lazos, y demás amigos y familiares que no está escrito su nombre en este espacio pero que en mis pensamientos y oraciones se encuentran.

## Índice

<b>Contenido</b>	<b>Págs.</b>
Lista de Tablas	i
Lista de Figuras	ii
Introducción	1
Objetivos y Alcances	2
<b>CAPÍTULO 1. Generalidades</b>	
1.1. Situación actual del agua	4
1.1.1. En el mundo	5
1.1.2. En México	10
1.1.3. En el Valle de México	15
1.2. Descripción de Ciudad Universitaria	22
1.2.1. Estado geohidrológico de Ciudad Universitaria	22
1.2.2. Programas proambientales	24
<b>CAPÍTULO 2. Tecnologías para la infiltración de agua en acuíferos</b>	
2.1. El agua subterránea como parte del ciclo hidrológico	26
2.2. Metodologías de infiltración de agua a acuíferos	27
2.2.1. Métodos de recarga en superficie	29
2.2.2. Método de recarga en profundidad	31
2.2.3. Ventajas e inconvenientes	34
2.3. Características de los Pozos de absorción	36
2.3.1. Componentes	37
2.3.2. Tratamientos y Restricciones	38
<b>CAPÍTULO 3. Legislación</b>	
3.1. Normatividad en México	40
3.1.1. La ley de Aguas Nacionales y los recursos hidráulicos	41
3.1.2. El cuidado del agua en la LGEEPA	42
3.1.3. La cosecha de agua pluvial en la Ley de Aguas del D.F.	43
3.1.4. Norma Oficial Mexicana 015 CNA 2007	44
3.2. Normatividad Internacional	47
3.2.1. Normatividad en los Estados Unidos de América	48
3.2.2. Normatividad en la Unión Europea (Alemania)	52
3.2.3. Normatividad en Reino Unido y Australia	54
3.2.4. Normatividad en Noruega	56
3.2.5. Normatividad en la India	58
<b>CAPÍTULO 4. Condiciones de operación de los pozos de absorción en CU</b>	
4.1. Antecedentes	60
4.1.1. Inicio de las Obras de construcción	60
4.1.2. Ubicación de los 9 pozos de absorción	61
4.1.3. Estructura Principal	62
4.1.4. Mantenimiento	65
4.2. Calidad del agua en pozos de absorción	66
4.2.1. Elección de pozos de muestreo	67
4.2.2. Programación de muestreo	70
4.2.3. Parámetros a evaluar	70
4.2.4. Equipo y material de muestreo	71
4.2.5. Análisis fisicoquímico	72
4.2.6. Análisis microbiológico	73

## Índice

### **CAPÍTULO 5. Resultados y Discusión**

5.1. Resultados fisicoquímicos	74
5.1.1. Pozo de Rectoría	75
5.1.2. Pozo de Economía	76
5.1.3. Pozo de Medicina	77
5.2. Resultados Microbiológicos	78
5.2.1. Pozo de Rectoría	78
5.2.2. Pozo de Economía	78
5.2.3. Pozo de Medicina I	78
5.3. Discusión de Resultados	79
5.3.1. Fisicoquímicos	81
5.3.2. Microbiológicos	83
5.3.3. Otros	84

### **CAPÍTULO 6. Conclusiones**

Conclusiones	85
--------------	----

### **CAPÍTULO 7. Bibliografía**

#### **ANEXOS**

Anexo A: Estudio Geológico

Anexo B: Fotográfico

## Índice

<i>Tabla</i>	<i>Contenido</i>	<i>Pág.</i>
Tabla 1.1	Distribución del agua en el mundo	5
Tabla 1.2	Progreso en la meta ODM relativa al agua potable	9
Tabla 1.3	Regiones Administrativas	13
Tabla 1.4	Usos del Agua en México	14
Tabla 1.5	Fuentes de Abastecimiento de Agua DF	21
Tabla 1.6	Extracción de los Pozos de la UNAM	24
Tabla 2.1	Ventajas e inconvenientes sistemas	35
Tabla 3.1	Límites máximos permisibles en aguas pluviales	45
Tabla 3.2	Parámetros necesarios para infiltrar agua	51
Tabla 4.1	Características de los pozos a elegir	68
Tabla 4.2	Calendario de muestreo en pozos de absorción de C.U.	70
Tabla 4.3	Límites de contaminantes en agua para infiltración	71
Tabla 4.4	Características del material de muestreo	72
Tabla 4.5	Métodos de análisis y equipo a utilizar	72
Tabla 4.6	Coliformes Fecales método	71
Tabla 5.1	Parámetro de Rectoría	75
Tabla 5.2	Parámetros de Economía	76
Tabla 5.2a	Parámetros de Medicina	77
Tabla 5.3	Resultados Microbiológicos	79
Tabla 5.4	Precipitación en el Distrito Federal 2012	80
Tabla 5.5	Lluvia mensual a nivel nacional durante 2012	80
Tabla 5.6	Comparación de contaminantes en el D.F.	80

<i>Figura</i>	<i>Contenido</i>	<i>Pág.</i>
Figura 1.1	Población mundial, según regiones y desarrollo	7
Figura 1.2	Población mundial con y sin acceso a una fuente mejorada de agua potable en 1990,2004 y 2015	8
Figura 1.3	Cobertura de agua potable en el mundo	10
Figura 1.4	Regionalización de México	11
Figura 1.5	Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad del agua	12
Figura 1.6	Regiones Hidrológicas- Administrativas	13
Figura 1.7	Mapa de acuíferos sobreexplotados	13
Figura 1.8	Esquema de la Geología en el Valle de México	16
Figura 1.9	Esquema de Ríos del Distrito Federal	17
Figura 1.10	Zonificación del Valle de México	19
Figura 2.1	El ciclo del agua	26
Figura 2.2	Esquema Río Influyente	30
Figura 2.3	Río influyente	30
Figura 2.4	Esquema de un cause modificado	30
Figura 2.5	Esquema de un pozo seco	33
Figura 2.6	Estructura de una trinchera de infiltración	33
Figura 2.7	Construcción de una trinchera de infiltración	34
Figura 2.8	Vista de un pozo de absorción	36
Figura 2.9	Construcción de un pozo de absorción Tultepec	37
Figura 2.10	Esquema de un pozo de absorción	38
Figura 2.11	Esquema del tratamiento de un pozo de absorción	38
Figura 3.1	Separación Legislativa de las aguas	40
Figura 3.2	Diagrama muestra para infiltración de agua pluvial	52
Figura 4.1	Encharcamientos en la zona Sur del D.F.	59
Figura 4.2	Ubicación de los pozos de absorción en CU	61
Figura 4.3	Ademe y proceso de infiltración	62



## Índice

Figura 4.4	Diagrama de Recolección de agua pluvial CU	63
Figura 4.5	Secciones y Detalles	64
Figura 4.6	Mantenimiento en Abril de 2012	66
Figura 4.7	Porcentaje de Pozos de Absorción por área	67
Figura 4.8	Detención de residuos en el pozo de Economía	65
Figura 4.9	Trampa para retener sólidos	67
Figura 4.10	Pozos elegidos	69
Figura 4.11	Análisis Físicoquímico y Microbiológico	73
Figura 5.1	Pozo de Absorción Rectoría previo al muestreo	75
Figura 5.2	Pozo de Absorción Economía	76
Figura 5.3	Precipitación anual 2012	79
Figura 5.4	Sólidos Suspendidos Totales	81
Figura 5.5	Nitrógeno Total	82
Figura 5.6	Sólidos Sedimentables	82
Figura 5.7	Coliformes	83
Figura A1	Localización	91
Figura A2	Materiales	92
Figura A3	Sondeo Xitle	93
Figura A4	Sondeo C.U.	94
Figura A5	Cantera Pumas	95
Figura A6	Flujo de agua pluvial	95
Figura A7	Lago de la Cantera Pumas	95
Figura B1	Pozo de Rectoría	96
Figura B2	Pozo de Rectoría	96
Figura B3	Pozo de Rectoría	96
Figura B4	Pozo de Estadio Olímpico	97
Figura B5	Pozo de Estadio Olímpico	97
Figura B6	Pozo de Estadio Olímpico	97
Figura B7	Pozo de Filosofía y Letras	98
Figura B8	Pozo de Filosofía y Letras	98
Figura B9	Pozo de Filosofía y Letras	98
Figura B10	Pozo de Filosofía y Letras	98
Figura B11	Pozo de Economía	99
Figura B12	Pozo de Economía	99
Figura B13	Pozo de Economía	99
Figura B14	Pozo de Economía	99
Figura B15	Pozo de Torre de Humanidades	100
Figura B16	Pozo de Medicina I	101
Figura B17	Pozo de Medicina I	101
Figura B18	Pozo de Medicina I	101
Figura B19	Pozo de Medicina I	101
Figura B20	Pozo de Medicina I	101
Figura B21	Pozo de Medicina II	102
Figura B22	Pozo de Medicina II	102
Figura B23	Pozo de Medicina II	102
Figura B24	Pozo de Química	103
Figura B25	Pozo de Química	103
Figura B26	Pozo de Campo de Beisbol	104
Figura B27	Pozo de Campo de Beisbol	104
Figura B28	Pozo de Campo de Beisbol	104

## **Introducción**

---

El entorno natural en el que vivimos millones de personas en todo el mundo ha ido variando producto de una intensa contaminación y la respuesta del medio ambiente ante estas afectaciones. En la última década han sucedido fenómenos naturales de gran magnitud dejando inundaciones severas y afectaciones diversas en comunidades mundiales. Por otro lado, los servicios básicos, las fuentes de alimento y de trabajo han disminuido conforme la población se incrementa. De esta forma el cuidado de los recursos naturales es necesario, cuando los insumos son bajos y el costo para suministrar agua a la población son altos.

El agua es un tema que se encuentra dentro de las necesidades básicas de sobrevivencia y por si fuera poco uno de los elementos más contaminados del planeta. Los gobiernos reservan gran parte de su presupuesto para abastecer a sus habitantes de agua potable. Sin embargo, la carencia de este recurso es inevitable cuando los sitios se encuentran alejados.

La Ciudad de México es un ejemplo de desabasto de agua potable, aunque paradójicamente es el modelo nacional para solucionar problemas ingenieriles como las inundaciones, hundimientos de construcciones (producto de la sobreexplotación de agua subterránea) y el manejo de la red de drenaje. Si el territorio nacional se ve afectado por el suministro de agua potable y por la abundancia de agua cuando ocurren huracanes y depresiones tropicales de gran magnitud ¿por qué no aprovechar el agua, captarla y reutilizarla?

En la actualidad la búsqueda por reutilizar los recursos naturales se vuelve necesaria a medida que se limita su disponibilidad. Existen diversos métodos para captar el agua de lluvia y utilizarla en diversas modalidades, ya sea para el consumo humano, uso agrícola o medida regulatoria de acuíferos para evitar derrumbes y problemas estructurales en construcciones.

Acorde con ésta situación en la capital mexicana, la UNAM a través de su proyecto PUMAGUA, ha determinado reutilizar los grandes volúmenes de agua precipitada, darle un manejo adecuado que no interponga la seguridad de la población y que proponga una solución al problema del agua, siendo adecuada entre costo y beneficio.

Los planteamientos de solución serán los eficientes y eficaces hasta que la población tome participación para cuidar el agua, evite la contaminación y tenga una conciencia del severo malestar ambiental que afecta el desperdicio.

## Objetivos

---

General:

Realizar un diagnóstico de tres pozos de absorción de agua pluvial en Ciudad Universitaria.

Particulares:

- Analizar cinco parámetros de calidad requerida del agua pluvial, susceptible de infiltrarse mediante pozos de absorción, establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua.
- En su caso, proponer medidas de corrección para las mejores prácticas de infiltración en los pozos de absorción analizados susceptibles de aplicar a los restantes.

## Alcances

---

Al analizar las condiciones de operación de los pozos de absorción de Ciudad Universitaria, se tienen contemplados los siguientes aspectos:

- A la fecha no se tiene documentado un diagnóstico que describa los pozos de absorción del campus, por ende, la información a describir, será únicamente resultado de la investigación elaborada con apoyo de la Dirección General de Obras de la UNAM.
- Con objeto de conocer y evaluar el estado de la estructura principal de los pozos (cisternas, ademes, canaletas, etc.), se realizarán visitas de campo .
- En virtud de que 3 pozos de absorción son una muestra significativa, se limitará la época de muestreo de acuerdo a las condiciones meteorológicas únicamente de lluvias.
- La NOM-015-CONAGUA-2007 señala que se deberá incorporar en el pozo un instrumento de muestreo y prueba que cumpla con la Norma ISO 15839:2003 *Water Quality – On – line sensors/analysing equipment for water – Specifications and performance tests*, o la Norma Oficial Mexicana correspondiente; se tomará como base lo acordado durante la reunión en el **Encuentro Latinoamericano sobre Remediación de Sitios Contaminados de 2011, realizado en la** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- Los recursos económicos asignados al proyecto PUMAGUA son limitados, por ello y dado el costo tan alto que representa la determinación de algunas características de calidad del agua, por ejemplo metales pesados, únicamente se analizarán 5 de los 7 parámetros establecidos en la NOM-015-CONAGUA-2007. Los parámetros considerados serán:
  - Coliformes Fecales
  - Nitrógeno Total
  - Sólidos Suspendidos Totales
  - Sólidos Sedimentables
  - Materia Flotante
  
- Las propuestas de solución, estarán sujetas a los estudios químicos, biológicos y visitas de campo, realizados durante el período de monitoreo.

## **CAPÍTULO 1.**

### **Generalidades**

---

#### **1.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL AGUA**

El “planeta azul” por el color predominante de los mares, o simplemente “la Tierra” es el lugar en que vivimos millones de especies. Está compuesta superficialmente por 71% de agua, con un volumen aproximado de 1,386 millones de km<sup>3</sup>; repartidos mayormente en océanos y glaciares (ver Tabla 1.1). Sin embargo, la calidad y cantidad del agua depende conforme se mueve por el ciclo hidrológico en tres estados físicos:

- Líquido: en la naturaleza se traduce en ríos, mares, lagos, lagunas, agua subterránea y lluvia.
- Sólido: mayormente en los casquetes polares y nieve en algunas regiones con climas por debajo de los 0°.
- Gas: presente alrededor del globo terráqueo en nubes por efecto de la evaporación.

La principal función del ciclo hidrológico es repartir las aguas alojándolas en distintos espacios, sin importar sus características organolépticas que pueden ser: olor, sabor y color.

Se estima que del total de agua existente en el planeta, el 97% es agua salada, conteniendo algunas sales nocivas para la salud. Solo el 3% restante es agua dulce y la única reserva consumible para el ser humano.

Por ello, alguna vez nos hemos cuestionado: ¿qué pasaría si no existiera el agua?

La función que tiene el agua en los seres vivos es determinante, porque contribuye al proceso de distribución de nutrientes. Un claro ejemplo se presenta en las plantas, donde el agua funge como medio de transporte de potasio, fósforo y otros compuestos orgánicos, de las raíces al resto de la planta. En las especies animales como el ser humano, el agua determina la composición anatómica correspondiéndole entre el 60% y 70% de su peso corporal; y además, es el hábitat para millones de seres vivos. Por lo tanto, en caso de no tener agua, la Tierra sería un planeta sin vida.

A raíz de la aparición del hombre, el agua no sólo representa un recurso necesario de sobrevivencia; sino también es parte importante en la generación de energía, industrias, medio de transporte y vialidad, fuente de alimento e incluso lugar de hogares y cultivos. Aún los beneficios que aporta el agua a la vida, también es causante de enfermedades, devastaciones y pérdidas humanas, en razón del incremento demográfico, la excesiva contaminación (desde la invención de la máquina de vapor en la revolución industrial de los siglos XVIII y XIX) y la mala distribución de agua en el planeta, aunado a la carencia de condiciones óptimas para consumirse.

En ese sentido, la importancia de cuidar las fuentes de agua procuran la existencia de la población y más aún cuando el agua es parte del entorno natural de los seres vivos.

Tabla 1.1.- Distribución del agua en el mundo

Fuente de agua	Volumen de Agua (m <sup>3</sup> )	Agua dulce (%)	Total de agua (%)
<b>Océanos , Mares y Bahías</b>	1,338,000,000	-	96.500
<b>Capas de hielo, Glaciares y Nieve</b>	24,064,000	68.700	1.740
<b>Agua Subterránea</b>	23,400,000	-	1.700
Dulce	10,530,000	30.100	0.760
Salada	12,870,000	-	0.940
<b>Humedad del suelo</b>	16,500	0.050	0.001
<b>Hielo en el suelo y gelisuelo (permafrost)</b>	3,000,000	0.860	0.022
<b>Lagos</b>	176,400	-	0.013
Dulce	91,000	0.260	0.007
Salada	85,400	-	0.006
<b>Atmósfera</b>	12,900	0.040	0.001
<b>Agua de pantano</b>	11,470	0.030	0.000
<b>Ríos</b>	2,120	0.006	0.000
<b>Agua biológica</b>	1,120	0.003	0.000
<b>Total</b>	<b>1,386,000,000</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fuente: Tabla de Estimación de distribución de agua en el mundo, Gleick 1996, García Santiago 2009

#### 1.1.1. En el Mundo

Podemos englobar la situación del agua en el mundo por su disponibilidad y servicio, y por su calidad y entorno. Cuando nos referimos a la disponibilidad y servicio se determina por el volumen que consume un cierto grupo de la población y por las fuentes existentes. Así podremos saber si el servicio es eficiente cuando las fuentes son las óptimas para cubrir todas las necesidades. Por su parte, la calidad examina las características físicas o químicas del agua, además de diagnosticar la continuidad con la que se abastece el servicio; mientras que el entorno, nos aportará las condiciones en las que el agua actúa sobre la población; es decir, que debido a las condiciones meteorológicas sea posible obtener el recurso.

#### **Disponibilidad**

Como sabemos, la disponibilidad de agua no depende más que de la posición geográfica, pero no siempre sucede que los países con mayor número de habitantes tengan más o menos servicios de agua. Por ejemplo, en cuanto a la disponibilidad global de agua para la población, el continente americano es el lugar en el mundo con mayor número de fuentes existentes de agua dulce. Entre América del Norte y América Central, se concentran casi el 8% de la población mundial y el 15% de los recursos de agua disponible en el mundo. El consumo de agua en nuestro planeta, ya sea por evapotranspiración o incorporada a productos y organismos se calcula en 2,100 km<sup>3</sup> al año sin contar las aguas residuales. El volumen resulta importante cuando analizamos que de tal cantidad existirán regiones que se abastecen con más agua que otras.

Aunado a ello, existen naciones donde se encuentra localizada la mayor cantidad de agua dulce en el mundo, como es el caso de Brasil, que contiene alrededor de 5418 m<sup>3</sup>/s<sup>1</sup>. Paradójicamente solamente 57 de 190 millones de brasileños cuentan con dicho servicio; es decir menos de la tercera parte de su población recibe agua potable.

Otra de las potencias hídricas del planeta es Canadá con 2850 m<sup>3</sup>/s, que se traduce en el 9% de agua dulce del mundo. En su mayoría el agua disponible se encuentra en destinos subterráneos, que se calculan en un volumen aproximado de 37 veces más grande que el agua de los lagos y ríos del país. Desafortunadamente sólo el 40% de su población accede a ella.

Seguidos de la Federación Canadiense, se encuentra Indonesia con 2938 m<sup>3</sup>/s, y China con 2812 m<sup>3</sup>/s; aunque en este último caso la población es mayor que el recurso con el que cuentan y es necesario que se invierta en infraestructura para tratar más de la mitad del agua que se consume. Como otros ejemplos sobresalientes, Estados Unidos cuenta con 2800 m<sup>3</sup>/s, mientras Colombia posee 2112 m<sup>3</sup>/s y en donde el acceso al agua potable y su saneamiento han aumentado en la última década. Se cree que el agua potable en esta nación sudamericana alcanza el 93% de la población<sup>2</sup>.

Pese a que la industria es un factor importante para saber que países requieren de mayor cantidad de agua, el índice demográfico es un punto clave que determina la necesidad de abastecer más y con mejor calidad el servicio hídrico. Otro dato importante es que el consumo de agua potable en alguna ciudad o país depende del desarrollo tecnológico, económico y las actividades que en ella se realizan. Por ejemplo, en los países europeos se sabe que cada persona consume alrededor de 220 litros diarios, mientras que en Estados Unidos o Japón el consumo asciende a los 350 litros diarios por persona. Por su parte, las comunidades marginadas no consumen más de los 20 litros por persona, como es el caso de poblaciones del África subsahariana.

En un reporte de la Organización de las Naciones Unidas de 2009<sup>3</sup> señala que más de 4 mil millones de personas aún no cuentan con servicio de agua potable; de manera complementaria, la Organización Mundial de la Salud (OMS), expresa que una de cada tres personas del mundo no dispone de agua suficiente para satisfacer sus necesidades diarias, aunado a que el problema va en aumento a medida que los centros urbanos y la población crecen, estimando así, que para el año 2030 la población aumentará en lugares donde hay serios problemas de agua.

Las economías mundiales se enfrentan a la concentración de población en localidades urbanas, con mayor grado en regiones menos desarrolladas. Dichos fenómenos poblacionales impactan en el uso de agua potable al disminuir la disponibilidad media natural.

---

<sup>1</sup> En el estudio "Ranking: Los ocho países con los mayores volúmenes de agua dulce" publicado en la revista *Plataforma Urbana* del 9 de septiembre de 2010, reporta la cantidad de agua en m<sup>3</sup>/s para hacer referencia del agua disponible y la que se suministra a la población.

<sup>2</sup> World Bank & Trading Economics 2011

<sup>3</sup>United Nations World Water Development Report 2009

En 1950 la población mundial era aproximadamente 2,529 millones de personas; mientras que para el 2010 la cifra alcanzaba 3 veces más que la estimada anteriormente, revela un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas (World Population in 2300).

Es evidente entonces, que la población continuará en crecimiento al igual que las necesidades básicas en algunos sectores.

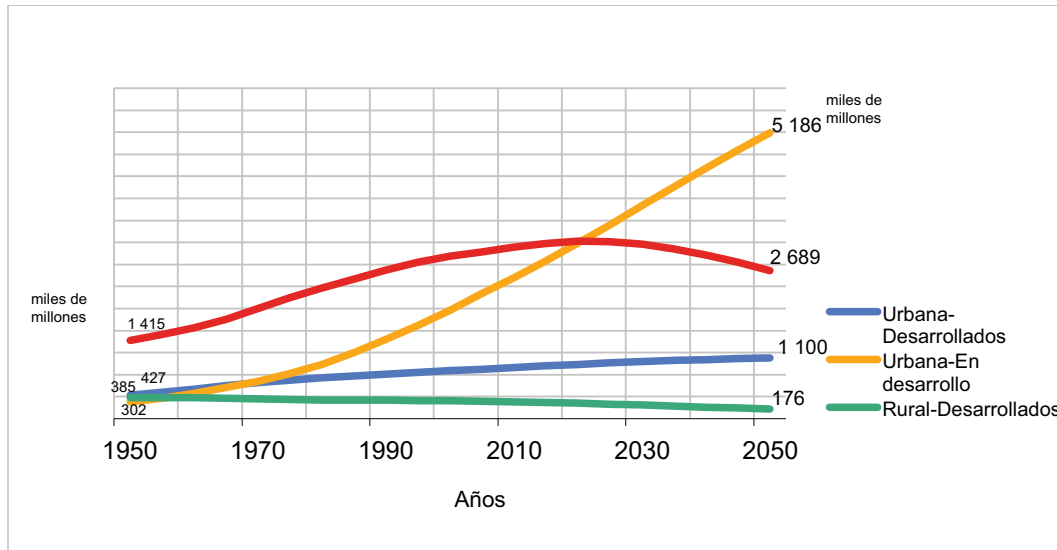


Figura 1.1.- Población mundial, según regiones y desarrollo

Fuente: Estadísticas de la población de países en desarrollo, Comisión Nacional del Agua 2011

En el año 2050, la población en sociedades urbanas en desarrollo alcanzará por lo menos 5,186 mil millones de personas y el agua en las circunstancias que se encuentra actualmente no será la suficiente para abastecer a toda la población.

### Calidad

La disponibilidad de agua y la población son aspectos preocupantes, aunque en mayor medida la sanidad del agua. Por lo que representa un reto distribuir la cantidad suficiente de agua, con la calidad adecuada a la población.

Las cifras son alarmantes aún con los esfuerzos que se hacen para evitar que la población menos beneficiada pueda adquirir servicios de calidad. Es así como la OMS en conjunto con el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) crearon los objetivos de desarrollo del milenio.

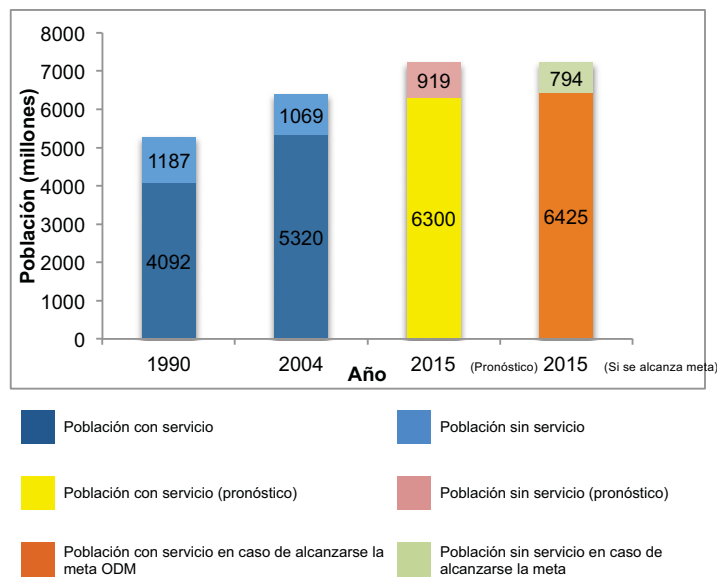
La organización se plantea lo siguiente :

*Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) nos han embarcado en una lucha común contra la pobreza, la desigualdad, el hambre y la enfermedad. El mundo se ha comprometido para 2015 a reducir la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios de saneamiento básicos.(OMS,UNICEF 2007)*



Dicho planteamiento, destaca que el número de personas sin acceso a una fuente mejorada de agua potable disminuyó en 118 millones de personas de 1990 a 2004. (Ver Figura 1.2 )

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua representa el mayor obstáculo para que la gente tenga una vida de calidad. Por lo que en sus estadísticas sanitarias mundiales, se estableció que en el mundo anualmente mueren 1.5 millones de niños por enfermedades relacionadas con el agua, ya sea por falta o contaminación. Bastará con tener la administración efectiva de los volúmenes hídricos, el monitoreo de calidad y conciencia en la necesidad de agua a nivel mundial, para que las medidas planteadas se reflejen en los países que no cubren los servicios básicos.



**Figura 1.2.- Población mundial con y sin acceso a una fuente mejorada de agua potable en 1990,2004 y 2015.**

Fuente: La meta de la ODM relativa al agua potable y saneamiento , OMS UNICEF 2007.

En una publicación de 2007, la ODM manifestaba que se espera llegar a la meta planteada, aunque se ve difícil que los gobiernos contribuyan con la infraestructura necesaria para combatir la desigualdad social y el desabasto de agua que estigmatiza al mundo desde hace años. Sin embargo también puntualizó que son las naciones con mayor número de habitantes las que sí han tomado el reto como parte de su agenda.(Ver Figura 1.2)

Tabla 1.2.- Progreso en la meta ODM relativa al agua potable

Países con más de 50 millones de habitantes en 2004	Acceso al Agua Potable (%) 2004		
	1990	Efectivo	Necesario para alcanzar la meta ODM
China	70	77	79
India	70	86	79
Indonesia	72	77	80
Brasil	83	90	88
Pakistán	83	91	88
Bangladesh	72	74	80
Nigeria	49	48	65
México	82	97	87
Viet Nam	65	85	76
Filipinas	87	85	91
Etiopía	23	22	46
Egipto	94	98	96
Turquía	85	96	90
Irán	92	94	94
Tailandia	95	99	97
República Democrática del Congo	43	46	60
Myanmar	57	78	70

Fuente: La meta de la ODM relativa al agua potable y saneamiento , OMS UNICEF 2007

### **Entorno natural**

A últimas fechas, las épocas tanto de sequía como de precipitación se han visto alteradas.

Los tiempos que habitualmente se consideraban de lluvias ya se han desajustado y han ocasionado que cuando se presenta una precipitación, los volúmenes lleguen a ser dañinos incluso cobrando vidas.

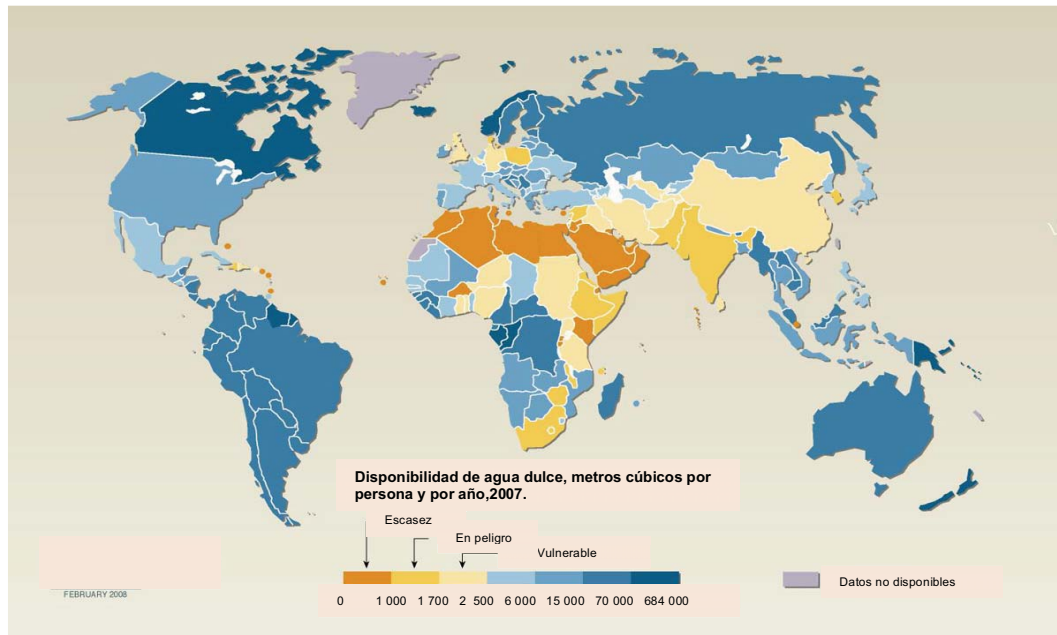
Al presentarse un huracán no se piensa en el aprovechamiento máximo del recurso, como por ejemplo, el huracán Sandy en noviembre de 2012, que a su paso por la ciudad de Nueva York dejó a millones de personas afectadas por las inundaciones y los cortes de energía eléctrica.

Por otro lado, los temporales de sequías se han prolongado tanto que no solo los cultivos o animales son los afectados; incluso la misma población se desgasta poco a poco por la falta del recurso a causa de la inversión térmica. Muestra de ello es la sequía que vivieron en 2012 Chile y el Reino Unido; este último sufrió la peor sequía en 35 años<sup>4</sup>.

Para tiempos futuros, ya no bastará el combate a la contaminación de los ríos, la sobreexplotación del agua subterránea o simplemente la búsqueda de nuevas tendencias ecológica; quizá haya necesidad de implementar tecnologías para la desalación del mar o la búsqueda de agua a distancias remotas.

La población mundial debe tomar conciencia del impacto que tiene el agua en el entorno en que vive, es decir, será necesario disminuir su uso inconsciente, excesivo y revertir las afectaciones que generan las grandes urbes, los automóviles e industrias en nuestro planeta.

<sup>4</sup> Estimaciones según el Departamento de Medio Ambiente, Alimentos y Asuntos Rurales del Reino Unido, por sus siglas en inglés (DEFRA)



**Figura 1.3.- Cobertura de agua potable en el mundo**

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) 2008

### 1.1.2. En México

Al igual que en otros países, en México existe gran preocupación por el tema del agua, particularmente por el abastecimiento y distribución regular en la totalidad del territorio.

Mientras algunas entidades federativas enfrentan las intensas sequías, las regiones cercanas al mar sufren las consecuencias de los fenómenos meteorológicos.

#### ***Ubicación geográfica, agente importante de escasez***

Teniendo en cuenta que nuestro país posee miles de kilómetros de costa y alberga numerosos ríos, lagos y lagunas; la disponibilidad natural media per cápita de agua en 2010 era de 4,422 m<sup>3</sup> por habitante, lo que representa solo el 0.1% del agua dulce mundial.

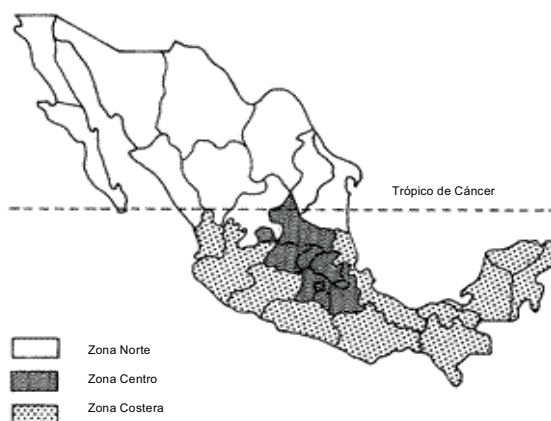
Sin embargo, la baja disponibilidad de agua se debe a diversos factores ligados principalmente al clima, la altitud sobre el nivel del mar, la distribución existente de tierra y agua, a las condiciones atmosféricas y en especial, a la posición geográfica.

Con solo analizar un planisferio nos podemos dar cuenta que la mitad de México se localiza en una zona caracterizada por áreas de intensas sequías. La razón puede ser porque se encuentra dentro de las latitudes similares a las de lugares extremadamente desérticos en el mundo como el desierto del Sahara<sup>5</sup>. Otro aspecto, es el paso del Trópico de Cáncer por los estados de Baja California Sur, Sinaloa, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas, que contribuye a la incidencia de rayos solares en forma perpendicular durante los meses de verano.

<sup>5</sup>Los desiertos del mundo se ubican en zonas caracterizadas por altas presiones constantes, condición que no favorece a la lluvia. Biomas del mundo [www.jmarcano.com/nociones/bioma/desierto.html](http://www.jmarcano.com/nociones/bioma/desierto.html)

Esto propicia que el clima sea cálido mientras que en la zona intertropical a partir del centro y sureste del país predominen las lluvias.

Con la mega diversidad que describe al territorio nacional, se han ubicado dos grandes climas: por una parte la región del norte y noroeste, que está definida por el clima cálido y seco; y por otro, la parte del centro y sureste, donde prevalecen los climas húmedos tropicales, dando como resultado un desequilibrio de lluvias y disponibilidad de agua.



**Figura 1.4.- Regionalización de México**  
Fuente: FAO 2008

### ***El agua en el desarrollo de la sociedad mexicana***

La variación de la disponibilidad natural media per cápita del agua en México desde 1950 hasta 2010, ha experimentado una disminución de aproximadamente el 76%. En nuestros días, el territorio recibe alrededor de 1.51 billones de metros cúbicos de agua en las precipitaciones pluviales, de la cual 72.5% regresa a la atmósfera por la evaporación y 25.6% escurre hacia los ríos y los lagos.

Al respecto la CONAGUA establece que:

*La lluvia promedio que se presenta anualmente en el territorio nacional es de 760 milímetros sin embarg, estos promedios nacionales ocultan grandes diferencias regionales, ya que estados como Baja California, recibe una precipitación de apenas 176 milímetros anuales, mientras que Tabasco recibe más de 2,100 milímetros, lo cual genera problemas de escasez en algunas regiones y exceso e inundaciones en otras. La mayor parte de lluvia se presenta entre los meses de junio y septiembre además de tener un problema de variación temporal y espacial de lluvia.*(Agenda del Agua 2030, CONAGUA 2011)

De manera complementaria la Comisión Nacional del Agua, realizó un estudio con el fin de comparar la posesión de agua entre estados y el desarrollo regional. Concluyendo así que, se podría explicar la escasez de agua en las zonas más pobladas del país.

Según el Atlas Digital del agua en México 2012, en la zona norte, centro y noroeste se concentra el 76.9% de la población y se genera el 78.96% del Producto Interno Bruto (PIB), pero únicamente ocurre el 31.74% del agua renovable<sup>6</sup>. Mientras que, en la zona sur y sureste (Figura 1.5), donde habita el 23.1% de la población, se produce el 21.04% del PIB y ocurre el 68.26% del agua renovable.

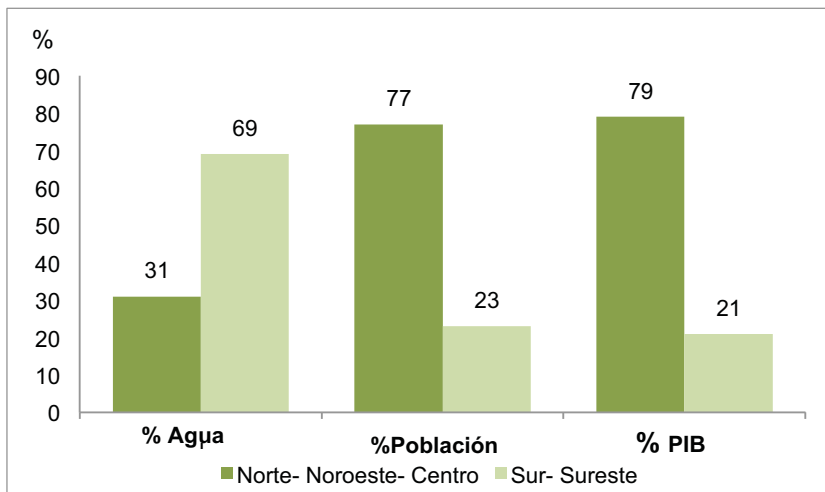


Figura 1.5.- Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad del agua  
Fuente: Atlas Digital del Agua en México, Comisión Nacional del Agua 2012

Ante la problemática que reflejan los estudios de la CONAGUA, las autoridades mexicanas realizaron modificaciones a las leyes, que garantizaran un manejo consciente del agua. Con el objetivo de considerar las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, sus límites y facilitar la administración e integración de la información socioeconómica la Ley de Aguas Nacionales (LAN 1992)<sup>7</sup>, dividió a la República Mexicana en 13 regiones hidrológico-administrativas. Respetando las 314 cuencas y sus 37 divisiones, se puede conocer la disponibilidad media correspondiente al escurrimiento en 2010<sup>8</sup>.

En la tabla 1.3, se muestra que la región XIII, la cual corresponde a las Aguas del Valle de México y que, según el estudio de 2010, contaba con menos de 500 m<sup>3</sup> por habitante por año, lo que ya para entonces, representa un déficit importante.

Otro aspecto importante sobre el agua en México, es que el 1.9% del agua precipitada recarga los acuíferos del subsuelo, por lo que cada año el país cuenta con 465,000 millones de metros cúbicos de agua dulce renovable.

<sup>6</sup> Se utiliza como agua renovable al agua que cae por precipitación estimada en agua superficial (ríos, lagos) y agua subterránea.

<sup>7</sup> Ley de Aguas Nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF), el 1º de diciembre de 1992; última reforma publicada DOF el 7 de junio de 2013

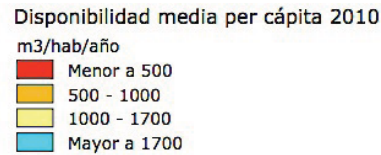
<sup>8</sup> Comisión Nacional del Agua 2010

A pesar del volumen de agua pluvial escurrida, genera inquietud la sobreexplotación de estos cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Dentro de la República Mexicana, se tienen contabilizados 653 acuíferos, de los cuales 101 presentan sobreexplotación de aproximadamente 6 km<sup>3</sup> al año. (Ver Figura 1.7)

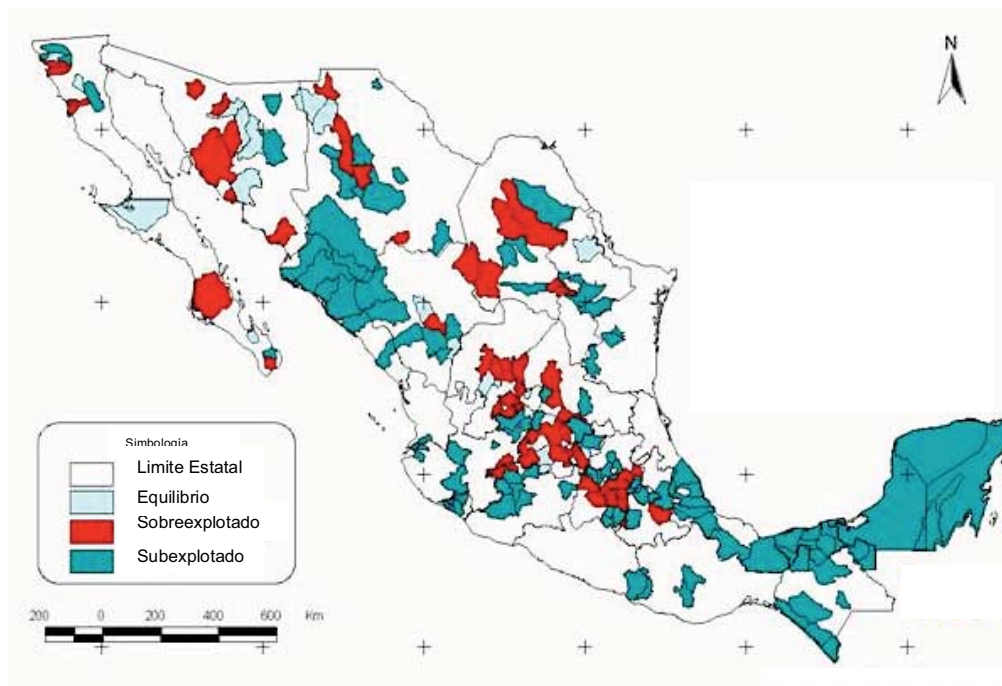
**Tabla 1.3.- Regiones Administrativas**

Número	Región H-A	Disponibilidad*
I	Península de Baja California	5021
II	Noroeste	8231
III	Pacífico Norte	25917
IV	Balsas	21991
V	Pacífico Sur	32683
VI	Río Bravo	13022
VII	Cuencas Centrales del Norte	8163
VIII	Lerma – Santiago – Pacífico	34348
IX	Golfo Norte	26604
X	Golfo Centro	94089
XI	Golfo Sur	159404
XII	Península de Yucatán	29596
XIII	Aguas del Valle de México	3515

Fuente: Comisión Nacional del Agua 2010  
 \*Millones de m<sup>3</sup> al año



**Figura 1.6.- Regiones Hidrológicas – Administrativas**  
 Fuente: Comisión Nacional del Agua 2010



**Figura 1.7.- Mapa de acuíferos sobreexplotados**  
 Fuente: Comisión Federal de Electricidad, Instituto Nacional de Ecología 2012

En la Agenda del Agua 2030<sup>9</sup>, el gobierno federal considera que se tienen grandes retos para los siguientes años, pues si bien se cuenta con 85 ríos principales, estos son cortos, innavegables y en algunos casos con bajo caudal; incluso no todos aportan agua dulce ni en calidades óptimas para el consumo humano.

Establece también que el país necesita recuperar la calidad del agua de los ríos y lagos, pues muchos de ellos contienen algún grado de contaminación y en contraparte son fuente importante de abastecimiento.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en el 2006 nuestro país contaba con alrededor de 4 mil presas para la generación de energía y el uso y distribución de servicios; pero a causa de las sequías y los rezagos en infraestructura, se ha truncado la potencialización de otros cuerpos de agua que abastezcan las necesidades de la población para cubrir las actividades que de ella provienen.

En general, se han clasificado los usos del agua en 12 rubros, los cuales a su vez se agrupan en cinco categorías, como por ejemplo: el uso agrícola, abastecimiento público, la industria autoabastecida y termoeléctricas y uso hidroeléctrico.

Tabla 1.4.- Usos del Agua en México

Uso	Volúmen*
<b>Agrícola</b>	59.4
<b>Abastecimiento Público</b>	10.7
<b>Industria autoabastecida</b>	3.0
<b>Termoeléctricas</b>	4.2
<b>Subtotal uso consuntivo</b>	77.3
<b>Hidroeléctricas</b>	140.3
<b>Total de uso</b>	217.6

Fuente: Comisión Nacional del Agua 2006,  
\*miles de millones de metros cúbicos

La Agenda del Agua 2030 estima que para 2030 la demanda de agua se incrementará a 91.2 miles de millones de metros cúbicos, derivado del incremento en las actividades productivas y el crecimiento de la población.

<sup>9</sup> Agenda del Agua 2030, CONAGUA 2011

### 1.1.3 En el Valle de México

#### **Constitución geohidrológica**

Los problemas que en los últimos años han aquejado a gran parte de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), han ido acrecentándose conforme incrementa la población en este lugar; la deficiencia en los servicios básicos y el incontrolable manejo de recursos, han producido que la población se vea afectada.

Sin lugar a dudas, la problemática sobre el abasto de agua en las colonias del Distrito Federal es un estigma que ha pasado cientos de generaciones que residen en la capital económica y política de nuestro país. El entorno geográfico, sus diversos acontecimientos históricos y políticos, dieron pauta para que el D.F. concentre el 45% de la actividad industrial del país, el 22% del Producto Interno Bruto, y que la zona metropolitana de la Ciudad de México albergue al 20% de la población del país. En esta ciudad, se encuentran oficinas centrales del Gobierno Federal, centros de negocios nacionales e internacionales, actividades culturales, universidades y lugares de investigación importantes.

Para conocer el problema que presenta en materia de agua, se describirá a continuación la situación geohidrológica del Valle de México.

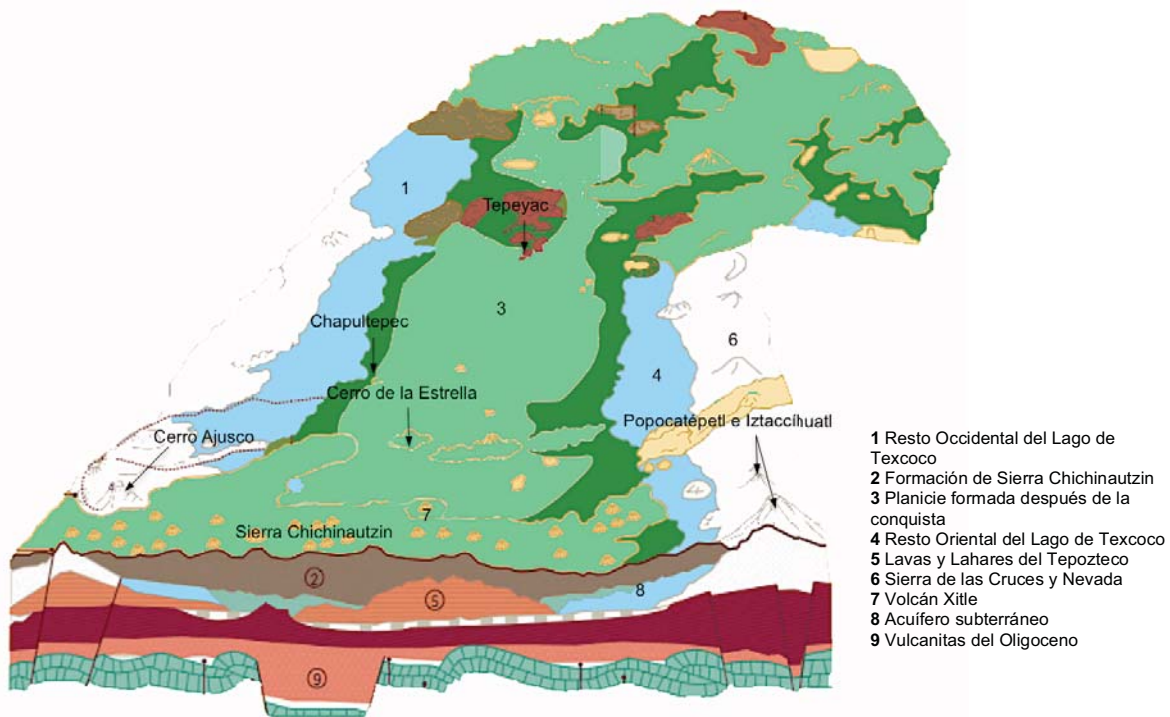
La constitución geológica que describe la ZMVM es una intercalación de productos volcánicos como lavas, tobas y cenizas transportadas por ríos y arroyos provenientes de las partes altas.

La hidrografía juega un papel importante en la formación del suelo, que a lo largo del tiempo, han generado abanicos aluviales en la desembocadura de las corrientes montañosas.

Sin embargo, no se tienen descripciones anteriores del lugar, hasta la llegada de los Mexicas en julio de 1325, quienes encontraron un edén rico en fauna y vegetación que consideraron podía abastecerles de vida por tiempo indefinido. El lugar que recién habitaban, se le llamó Valle de México, formación que data de más de 600 mil años.(Ver Figura 1.8)

Comprendiendo el entorno natural que tenía la ZMVM, se sabe que la región del Anáhuac comprendía extensas áreas hídricas producto de las precipitaciones en el lugar, como por ejemplo, el lago de Xochimilco, Zumpango, Xaltocan, Chalco y Texcoco; este último de gran importancia por su longitud y ubicación que rodeó a las islas de Tenochtitlán, Tlatelolco, Nonoalco, Mixhuca y Tlalpan.





**Figura 1.8.- Esquema de la Geología en el Valle de México**

Fuente: El gran Reto del Agua en la Ciudad de México , SACM 2012

Para alimentar al gran Lago de Texcoco y por acción del deshielo de los glaciares en la zona de sierra nevada (Popocatepetl e Iztaccíhuatl) existían los ríos Cuautitlán, Tepotzotlán, Magdalena Contreras, los Remedios, Amecameca y Tlalmanalco.

Asimismo, existían manantiales de donde los pobladores del lugar se abastecían de agua, de acuerdo a los estudios geohidrológicos de Orozco y Berra (1875), se enumeraron entre los más importantes al de Chalco y Xochimilco. Otros manantiales que cabe mencionar por su trascendencia, fueron los de Chapultepec, Churubusco, Coyoacán y Santa Fe, que eran cuerpos de agua dulce, el de Iztapalapa de aguas salobres, y los de Peñón de los Baños y Pocito de Guadalupe, de aguas termales. Al día de hoy, los cauces naturales se conservan en zonas montañosas que rodean al área urbanizada.

Los ríos que cruzaban la zona urbana han sido entubados o desecados por obra del incremento en la construcción de viviendas y vialidades que mejoren el desplazamiento de la ciudadanía por la urbe. Un ejemplo es el Río Magdalena, antiguamente de los ríos más caudalosos, que en épocas pasadas abasteció de agua a los actuales Viveros de Coyoacán y alimentó las corrientes del Río Churubusco.

Al Oeste de la ZMVM, se encuentra la Sierra de las Cruces que favorecida por las abundantes precipitaciones que se producen en las partes altas y por su constitución fácilmente erosionable al paso del agua, originó un gran número de cauces generando subcuencas fluviales como los ríos Magdalena, San Ángel Inn, Puerta Grande y Puente Colorado.(Ver Figura 1.9)

Es importante señalar que la Sierra Chichinautzin es la zona de recarga natural del acuífero del área metropolitana debido a la alta permeabilidad de su roca de basalto. Otras áreas importantes del cuidado del entorno natural son los grandes manantiales de Xochimilco como punto de descarga del flujo subterráneo; es en este lugar donde se localizan algunos de los pozos de extracción de agua más productivos del área.



**Figura 1.9.- Esquema de Ríos del Distrito Federal**

Fuente: El gran Reto del Agua en la Ciudad de México , SACM 2010

Desde el entorno del sureste de esta ciudad, cercanos a Ciudad Universitaria, se originaron derrames de lava causados por el volcán Xitle, formando la zona conocida como “Pedregal del Xitle” en donde se ubica ahora la “Zona de Pedregales” que incluye entre muchos otros, citando a manera de ejemplo, el “Pedregal de San Ángel”, “Pedregal de Santo Domingo”, etc., que dadas las condiciones anteriores en las que se encontraba el Lago de Texcoco, generaron cavernas o grietas por donde pueden encontrarse – a ciertos metros de excavación – zonas lacustres o de

agua subterránea. La porosidad, fracturamiento y resistencia a la erosión del basalto, no presenta escurrimiento superficial, salvo en zonas donde la pendiente es pronunciada.

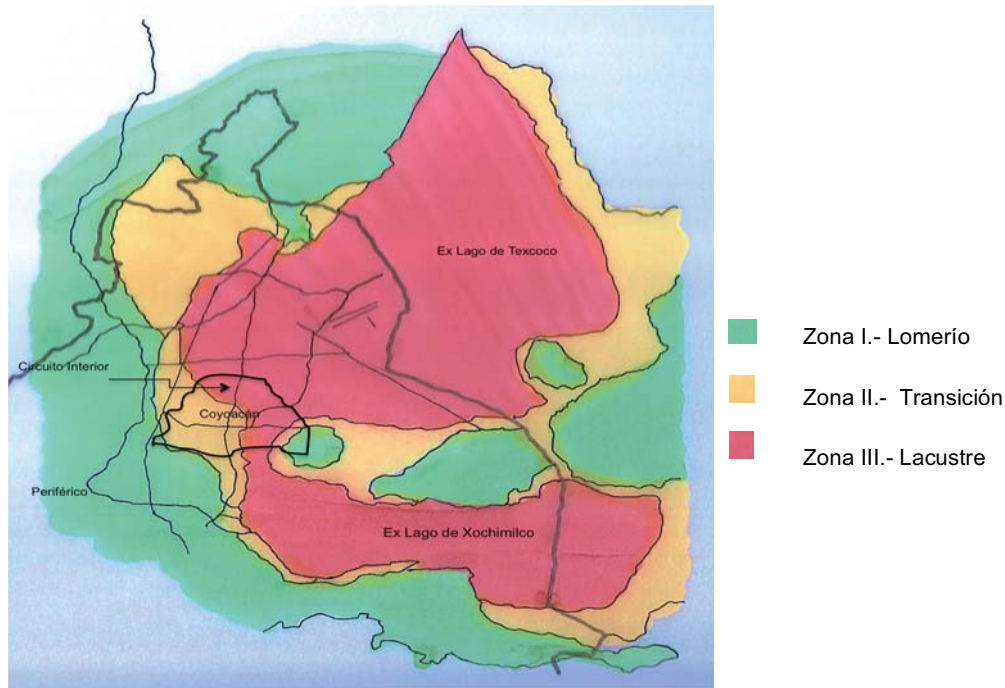
Para parametrizar la constitución geológica de la ZMVM, en los últimos años, con objeto de evitar riesgos en edificaciones causados por los sismos de gran magnitud que pueden presentarse en el área y de acuerdo a los estudios del suelo en diversas zonas del Distrito Federal<sup>10</sup>, se han conjuntado los espacios en 3 grandes categorías que son:

- a) Zona I: Lomerío, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados;
- b) Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros; y
- c) Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son generalmente de mediana compactación a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

Gráficamente se expresan las anteriores zonas en la figura 1.4, con base en lo expresado en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y en las investigaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

---

<sup>10</sup> Arnal, Luis. Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, Diseño y construcción de cimentaciones; Figura 2.1 Zonificación geotécnica de la Ciudad de México pág. 764



**Figura 1.10.- Zonificación del Valle de México**  
Fuente: Servicio Sismológico Nacional , UNAM 2013

### **Las inundaciones**

Con la construcción de diversas obras de ingeniería como el Túnel Emisor Oriente, la preservación de los canales de Xochimilco, la protección de las áreas verdes como el Bosque de Chapultepec y el Bosque de Tlalpan, además de otros proyectos incluidos en el Plan Verde de la Ciudad de México<sup>11</sup>; el Gobierno del Distrito Federal pretende encausar a la ciudad dentro del *ranking* mundial de las ciudades ecológicamente sustentables.

Es importante señalar que debido a sus características hidrológicas y topográficas, el Valle de México ha sufrido desastres como inundaciones, que en temporadas de lluvias alcanzaban las precipitaciones a cubrir zonas de cotas bajas. Por ello, ya desde la época colonial, se construyeron tajos como el de Nochistongo para proporcionar una salida a las aguas acumuladas.

Se tienen numerosas referencias históricas de las inundaciones catastróficas que ha sufrido lo que hoy conocemos como la ZMVM y de las medidas implementadas para disminuir o eliminar sus consecuencias negativas; y para mayor objetividad de los esfuerzos y resultados, se referirá a continuación algunos de los mas relevantes.

Para el año de 1446, México- Tenochtitlán estaba ubicado a 2 metros sobre el nivel del lago de Texcoco, lo cual en temporada de lluvias de ese año el nivel del lago creció hasta llegar a la inundación. Aconsejado el imperio azteca por Netzahualcóyotl, con ayuda de los pueblos de

<sup>11</sup> El Plan Verde es la ruta del Gobierno del Distrito Federal a mediano plazo (15 años) que contiene las estrategias y acciones para encaminar a la Ciudad de México hacia la sustentabilidad de su desarrollo [www.sma.df.gob.mx/planverde](http://www.sma.df.gob.mx/planverde)

Coyoacán, Iztapalapa y Azcapotzalco, construyó un dique para detener las aguas en tiempo de lluvias, y que en época de sequías, separara las aguas salobres de las dulces.

Consolidada la Nueva España, en 1555 se vio afectada nuevamente por las intensas lluvias. Por ello, el cabildo de aquella época decidió construir el Albarradón de San Lázaro; obra importante que figuraba un semicírculo que incluía las actuales calzadas de Guadalupe e Iztapalapa.

En 1604 ocurrió una nueva inundación, creando la necesidad por parte del Virrey Juan de Mendoza y Luna, de solicitar la presentación de proyectos que permitieran hacer el desagüe permanente; al no recibir ninguna propuesta que cumpliera sus expectativas, se procedió únicamente a la reparación del albarradón de San Lázaro y la reconstrucción de la calzada de Tepeyac o Guadalupe y la de San Cristóbal, que separaba el lago de Xaltocan del de Texcoco.

En 1607, se da otra inundación en la Ciudad de México, derivada del desbordamiento de las lagunas y por el caudal que añadían innumerables manantiales que brotaron en las calles y dentro de los edificios. Esto hizo que las aguas de las acequias rebozaran hasta cubrir diversos puentes que permitían atravesar de un lado a otro, muchos edificios se derrumbaron y se estropearon casas de campo por el rumbo de Chalco.

En años más recientes, al incrementar la población, fue necesidad la construcción de un sistema de drenaje profundo evitando las grandes inundaciones pero contribuyendo a la desecación (parcial o total); dichos proyectos contemplaron la separación de las aguas residuales de las pluviales y que dan como resultado, que se sigan presentando inundaciones considerables.

### ***El hundimiento de construcciones y abasto de agua***

Ante uno de los embates más abruptos que la naturaleza cobra a la población, como son por ejemplo las inundaciones en algunas zonas del Distrito Federal, producto del desbordamiento del Río de los Remedios y del Canal de la Compañía, los asentamientos estructurales de las viviendas de Iztapalapa además de una escasez de agua perenne, enfrentan al sector ingenieril a la obligación de analizar, estudiar y plantear una serie de obras que mitiguen las tragedias recurrentes como consecuencia del deterioro ecológico.

Las obras hidráulicas, sobre todo el bombeo, han producido abatimientos piezométricos de consideración, lo que ha provocado incrementos de esfuerzos efectivos en los depósitos del suelo que se traducen en consolidación de los mantos de arcilla y dan origen al hundimiento regional de la Ciudad de México.

La sobrepoblación y el desabasto de agua son las problemáticas más usuales en el Valle de México; sin embargo, hay localidades en las que las inundaciones cobran severos daños a las viviendas. Se tienen registros que debido al aumento exponencial de la población desde a

principios del siglo pasado, a la urbanización y a la contaminación de los ríos y manantiales, dejaron de ser suficientes cuerpos de abastecimiento del vital líquido.

Por ello se buscaron diversas alternativas que pudieran cubrir la necesidad de abastecimiento de agua potable y saneamiento; en ese sentido, el gobierno fijó su política principalmente en la extracción de agua en acuíferos y manantiales, sin cautela de los riesgos subsecuentes.

No fue hasta la década de los 70's, que se comenzó la construcción de la presa Miguel Alemán Valdés, ubicada en terrenos del Estado de México. Así, el cauce de los ríos y las precipitaciones del lugar contribuirían al abastecimiento del agua potable para el Valle de México.

Un estimado por el Gobierno del Distrito Federal (GDF), revela que la infraestructura de agua potable se integra hasta fechas recientes por:

Tabla 1.5.- Fuentes de Abastecimiento de Agua DF

<b>Fuentes de Abastecimiento de agua</b>
12287 km de red secundaria
355 Tanques de almacenamiento
267 Plantas de bombeo
37 Plantas Potabilizadoras
976 Pozos de extracción
69 Manantiales
435 Dispositivos de Cloración
1057 km de red primaria

Fuente: Gobierno del Distrito Federal, Estadísticas de agua 2012

Sin embargo para que la Ciudad de México y junto con sus áreas conurbadas puedan ofrecer a sus habitantes un lugar de integración social, habitabilidad, confort y equidad, deben acatarse medidas serias; que impulsen a otras organizaciones tanto en el sector gubernamental como privado a la toma de conciencia y cuidado de los bienes naturales.

A pesar de los avances científicos y la colaboración de diversas instituciones importantes tanto mexicanas como extranjeras, aún no se ha encontrado una solución eficaz a los problemas analizados que pueda aplicarse a la llamada "Segunda Ciudad más grande del mundo".

De alguna forma todas las personas que frecuentan la ZMVM están obligadas a preservar el entorno que a pesar del vertiginoso movimiento cosmopolita aún permanece. Más aún, las entidades educativas deben promover activamente el cuidado y uso consciente de los recursos naturales, así como la búsqueda de nuevas tecnologías en beneficio del medio ambiente.

## 1.2. DESCRIPCIÓN DE CIUDAD UNIVERSITARIA

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), como máxima casa de estudios del país, está asentada en la zona sur del Distrito Federal particularmente en el área identificada como Ciudad Universitaria (CU).

La Ciudad Universitaria es el área que comprende al conjunto de edificios, ubicadas en las márgenes de la delegación Coyoacán, colindante con la delegación Álvaro Obregón.

Se encuentra delimitada al poniente, por el Estadio Olímpico; al sur, los frontones y la zona deportiva; al oriente, la Facultad de Medicina y al norte, por los edificios de las facultades de Filosofía y Letras, Derecho, Economía y Odontología.

La zona de CU, comprende aproximadamente 740 hectáreas establecidas sobre el Pedregal de San Ángel, está dotada de estadios, museos, bibliotecas, laboratorios además de sus conjuntos habitacionales y docentes. Repartidos en 4 zonas principales:

- Zona Escolar: Facultades y edificios de investigación.
- Zona Deportiva: Estadio Olímpico Universitario, campos de práctica, gimnasios, etc.
- Zona Administrativa: Direcciones Generales y Talleres de mantenimiento.
- Zona Cultural: Museo Universum, Museo Universitario de Arte Contemporáneo (MUAC), Hemeroteca, etc.

Además, como una medida para revertir los efectos ambientales que han afectado al Distrito Federal, en especial del impacto sobre la zona en la que se realizó la Ciudad Universitaria, se construyó en 1983 la zona protegida o Reserva del Pedregal de San Ángel con aproximadamente 1.460 Km<sup>2</sup> sobre basalto .

### 1.2.1. Estado Geohidrológico de Ciudad Universitaria

La zona del Pedregal de San Ángel ha sido estudiada profundamente, principalmente por la problemática arqueológica y ambiental al cubrirse la parte del centro prehispánico de Cuicuilco por la erupción del volcán Xitle y la invasión de zonas protegidas. (Véase Anexo *Estudio Geológico*)

El volcán Xitle, formación geológica denominada cono de ceniza, está inmerso dentro de la Sierra Chichinautzin. Se piensa que la erupción del volcán comenzó hace más de 2000 años con actividad explosiva y contaminante. La explosión dió origen al Xitle aunque puede que esto haya ocurrido después del nacimiento del volcán Parícutín en el estado de Michoacán.

De acuerdo a un estudio realizado por investigadores del Instituto de Geología de la UNAM, y publicado en la Revista Mexicana de Ciencias Geológicas<sup>12</sup>, un muestreo realizado en algún espacio general del campus Ciudad Universitaria, parte sur del Xitle, arrojó que el flujo se originó

---

<sup>12</sup> Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, volumen15, número 2 , 1998. P.115-131.

de sur a norte, cubriendo principalmente la zona donde se ubica CU hasta llegar aproximadamente a la Avenida Miguel Ángel de Quevedo.

La zona está compuesta principalmente por roca basáltica y olivino, representando el área más extendida de la erupción con 25.5 km<sup>2</sup> y un espesor aproximado de 25 m. Representa la fase de la erupción con menos viscosidad, la más efusiva y veloz. Las lavas fluyeron a través de los canales que existían y cubrieron las áreas pantanosas donde también se encontraron tuberías de explosión. Cuando la lava tocó algunas áreas cubiertas por agua formaron lava acojinada (pillow lavas).

Para 1979, Encisco de la Vega registró el carácter fisural de las lavas y el alineamiento de los volcanes Yololica y Magdalena Cuautzontle con el volcán Xilte. También mencionó que dichas lavas fueron el producto de una erupción de tipo Islandiana<sup>13</sup> debido al lento flujo de la lava a partir de una fractura de más de 7 km de largo.

En épocas más recientes, un sondeo publicado por INEGI revela que el 1.91% de la superficie de la demarcación tiene suelo tipo Feozem háplico de textura fina, rico en materia orgánica, textura media, buen drenaje y ventilación, poco profundos, pedregosos e inestables, restringiendo por ello su uso en la agricultura permanente.

El 11.81%, se encuentra suelo litosol; que es un tipo de suelo poco desarrollado, superficial, característico de relieves montañosos que está constituido por gravas, piedras y materiales rocosos de diferentes tamaños. El porcentaje restante lo ocupan diversos materiales dentro de los que se encuentra la roca basáltica.

La Delegación Coyoacán que anteriormente era la zona colindante con el Lago de Texcoco y el Lago de Xochimilco, incluso es considerada como parte de la región del Pánuco, dentro de la cuenca Rey Moctezuma.

La presencia de material detrítico –que fue transportado por las corrientes del agua– revela la presencia a la llegada de los aztecas y en tiempos de la colonia, de cuerpos de agua en la zona. Así pues, la parte correspondiente a Ciudad Universitaria, tuvo como vecinos al Río Chiquito, al Río Churubusco y el final del Río Magdalena; entubados desde hace algunas décadas.

---

<sup>13</sup> Las erupciones islandianas se caracterizan por no formar grandes edificios volcánicos debido a que las erupciones se presentan desde fisuras o fracturas de la corteza terrestre. Las erupciones de este tipo se deben a extensas fallas que dan origen a cinturones alineados de pequeños volcanes y conos de escoria. Las lavas que se emiten en estos acontecimientos vulcanológicos son de tipo basáltico, efusivas no explosivas de medianos a grandes volúmenes. Así, producen extensos campos planos de lava con presencia de pequeños conos de salpicaduras de escorias. GeNopia,2013



Por lo que se refiere al estado hidrológico de CU, haciendo una inspección en diversas áreas del campus y algunas otras colonias circunvecinas, se puede observar que existen cuerpos de agua por debajo de los 25 m de profundidad, como es el caso de la llamada *Cantera Pumas*, en la cual existe un flujo natural de agua de menores dimensiones pero con el cual puede concluirse la presencia de agua anteriormente, además de arcillas, limos y aluviones.

El abastecimiento de agua potable en CU, depende en su totalidad de la extracción del acuífero del Valle de México, pero no dependiente del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM).

Para satisfacer de las necesidades de agua, se tienen 3 pozos de absorción de los cuales se extrae en promedio 100 l/s con picos de 163 l/s a 170 l/s.

**Tabla 1.6.- Extracción de los Pozos de la UNAM**

Pozo	Año	Ubicación	Gasto (l/s)	Profundidad (m)
Pozo 1	1952	Facultad de Química	31	132
Pozo 2	60's	Ex planta incineradora	91	193
Pozo 3	60's	Vivero Alto	45	157

Fuente: Dirección General de Obras y Conservación del Campus Universitario, 2008.

Cada pozo cuenta con un sistema de potabilización a base de hipoclorito de sodio. En el campus se generan 112 l/s de aguas residuales, de las cuales el 36% recibe tratamiento.

El requerimiento de agua por parte de la Ciudad Universitaria es variable, dependiendo de la época del año, el gasto que se suministra va desde 80 l/s durante la temporada de lluvias hasta 180 l/s durante la época de estiaje, mostrándose una tendencia de incremento histórico, de acuerdo con el crecimiento de la población universitaria.

La red general de distribución de agua potable tiene una longitud aproximada de 50 km, en diámetros que van de 12 a 4 pulgadas en circuitos primarios, y mayormente tiene una antigüedad de 52 años en tuberías principales.

### 1.2.2. Programas proambientales en el campus

En la delegación Coyoacán, las autoridades se han preocupado por el restablecimiento de zonas verdes, así como del cuidado y protección del medio ambiente. Es por ello que se ve apoyada por diversas instituciones públicas y privadas para el cuidado estricto de lugares endémicos y de sus recursos naturales. Un ejemplo, es la colaboración de la UNAM; quien se ha preocupado por la restauración del Área Ecológica de Ciudad Universitaria y que también constituye un espacio de

capacitación, cuidado y recarga de acuíferos, así como de la conservación de flora y fauna natural de los pedregales.

Con dichas acciones, también se tomó conciencia sobre el cuidado, reuso y calidad del agua, por ejemplo en 2008, la UNAM; impulsó un programa especializado en el uso inteligente del recurso vital, dando como resultado que en la actualidad se hayan alcanzado índices significativos de mejoramiento. La principal preocupación de la UNAM a través del Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua (PUMAGUA) es la utilización eficiente de aguas residuales, agua potable extraída de pozos del acuífero y el agua de lluvia.

En el marco del IV Foro Mundial del Agua llevado a cabo en la Ciudad de México en 2006, la UNAM como institución líder en investigación, docencia y difusión de temas sobre el medio ambiente, participó en diversas mesas de diálogo exponiendo los trabajos relacionados con el agua. A éste evento se sumaron 26 dependencias de la misma Universidad con el fin de compartir ideas sobre el buen aprovechamiento de los recursos hidráulicos.

No obstante, las reuniones no terminaron en dicho encuentro y no fue sino hasta el mes de octubre del mismo año, en que se efectuó el Primer Encuentro Universitario del Agua, con el propósito de contribuir en la coordinación efectiva de los universitarios para realizar acciones en beneficio de la población universitaria. Durante varias reuniones, que incluyeron eventos multidisciplinarios y la presencia de autoridades de la UNAM, se concretaron actividades para impulsar el uso y manejo eficiente del agua en todo el campus. Para diciembre de 2007, se hizo oficial la puesta en marcha del Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua en el UNAM, (PUMAGUA), teniendo el apoyo de la Rectoría y estando a cargo del Instituto de Ingeniería.

Las principales prioridades dentro del programa son:

- La reducción de fugas en la red principal de abastecimiento y en el interior de los edificios;
- Sustitución de muebles de baño por los de bajo consumo;
- En caso viable, sustitución de agua potable por agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento ubicadas en Ciudad Universitaria;
- Utilización de equipos de riego más eficientes; y
- Cambio de la vegetación en algunos jardines por vegetación autóctona de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

Con la implantación de los principales ejes de trabajo, se disminuyó el consumo del agua potable hasta en un 50% durante los años 2009 a 2011. A su vez, se garantiza la calidad del agua para uso y consumo humano cumpliendo las normas establecidas. Y en los últimos años, se trabaja en la búsqueda de tecnologías y medios para atacar el mal uso del agua.

## CAPÍTULO 2.

### Tecnologías para la infiltración de agua en acuíferos

#### 2.1. EL AGUA SUBTERRÁNEA COMO PARTE DEL CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico, como parte importante de la vida en el planeta, es el movimiento general del agua a través de sus tres estados y distribución equilibradamente. Consiste en el ascenso del agua en los océanos mediante la evaporación, se transporta en forma de nubes hasta los continentes, y su descenso lo realiza a través de la precipitación. Una vez que el agua se encuentra en la superficie, se incorpora a las corrientes de ríos y otra parte se infiltra al suelo, posteriormente sigue su trayectoria hasta los grandes océanos.

La esorrentía subterránea tarda más tiempo en introducirse a través del suelo y almacenarse en un espacio natural a diferencia del agua superficial, depositada en cauces como ríos o lagos, permitiendo así que los ríos mantengan un cierto nivel de caudal después de las últimas precipitaciones.



Figura 2.1.- El ciclo del Agua

Fuente: Atlas de la Cuenca Lerma Chapala, SEMARNAT- INE-UNAM-IE, México, 2006

La presencia de bosques en el área de infiltración, realiza una función mediadora entre el agua de lluvia precipitada y el lecho subterráneo. Ya sea por la capacidad de infiltración que pueda llegar a tener el suelo que los contengan, así como la presencia de agua en otros estados de agregación. Tal es el caso de la niebla, que es interceptada por los árboles, condensada y llevada por escurrimiento hasta el subsuelo.

Desafortunadamente, el crecimiento de las ciudades e industrias traen como consecuencia la disminución de áreas forestales, de conservación y aumento en la contaminación del agua.

Por su parte, el descenso en la captación de agua de lluvia de los bosques, el bajo nivel de agua en los acuíferos y su contaminación han fomentado el desequilibrio en el ciclo hidrológico.<sup>14</sup> En tal caso, la importancia del cuidado y recuperación de acuíferos va más allá de evitar desastres naturales.

La demanda de agua en el mundo va creciendo a medida que la población va en ascenso y se va extendiendo por lugares en donde el agua es escasa, especialmente en zonas áridas o semiáridas. A través del tiempo, se han buscado soluciones innovadoras que eficienten el manejo crítico del agua en cualquiera de sus estados o ubicaciones, de las cuales, la que trae mayor beneficio, es la recarga de acuíferos.

Infiltrar agua en acuíferos es una forma de almacenar agua subterránea durante el temporal de lluvias para satisfacer la demanda en época de escasez. También se utiliza como solución para combatir la intrusión de agua salina en acuíferos de costa, hundimientos por el descenso en niveles de subsuelo, mantenimiento de un flujo base de corrientes y elevar los niveles de agua para reducir el costo de bombeo de agua subterránea.<sup>15</sup>

## 2.2 METODOLOGÍAS DE INFILTRACIÓN DE AGUA A ACUÍFEROS

La recarga de acuíferos a través de diversas técnicas, permiten la introducción directa o inducida de agua en un acuífero, con el objetivo de incrementar la disponibilidad de los recursos hídricos y mejoramiento de su calidad.

Generalmente las aplicaciones y usos sobre la recarga de acuíferos son las siguientes:

- Almacenar agua en espacios subterráneos de escorrentías superficiales,
- Combate al descenso piezométrico,
- Manutención hídrica de espacios ecológicos,
- Disminución a los costos de transporte de agua, almacenamiento y bombeo,
- Solución a problemas de hundimiento,
- Corrección de problemas de intrusión de agua salina en acuíferos costeros,
- Aprovechamiento del suelo y zonas saturadas con fines de tratamiento de agua potable y residual, y
- Disminución de altos contenidos en nitratos, cloruros y agentes químicos

A pesar de que en la actualidad existen tendencias que apoyan la recarga de acuíferos, esta actividad no es una nueva tecnología. Es bien sabido que años atrás, se ha infiltrado agua a través del suelo sin importar la calidad con la que es enviada al acuífero, además de que el proceso de recarga es una acción misma del ciclo hidrológico.

---

<sup>14</sup> Atlas de la Cuenca Lerma Chapala, SEMARNAT- INE-UNAM-IE, México, 2006

<sup>15</sup> Traducción de Ground Water Research using waters of impaired Quality, National Academy Press ,Washington D.C. 1994

Existen dos formas principales en las que se realiza la recarga a los acuíferos:

1. Recarga natural de agua: que es la recarga que se realiza al caer la lluvia y que el suelo va absorbiendo debido a su porosidad. Se caracteriza por realizarse en forma natural aunque esto contribuye a una infiltración paulatina .
2. Recarga artificial : la recarga artificial de agua subterránea tiene por objeto el aumento del depósito de agua del suelo mediante la modificación del movimiento natural de agua de la superficie utilizando técnicas adecuadas de construcción civil. Está sustentada mediante la teoría de la infiltración que se originó en la antigua Grecia y Roma, quienes observaron que al caer lluvia o nieve, era posible abastecer los manantiales subterráneos.

En el siglo XVII, Pierre Pierrault y Deme Mariotte midieron la precipitación del río Sena de los años 1668 a 1670. Como resultado de sus estudios, dedujeron que la totalidad de la precipitación abastecía los depósitos subterráneos. Aunque la modalidad de recarga puede hacerse tanto con agua de lluvia o con agua tratada, ésta última no es recomendable si no se tuvo el cuidado y el tratamiento necesario para evitar la contaminación del acuífero.

Para la proyección de una construcción con fines de recarga, deben considerarse gran variedad de estudios, los cuales aportaran datos básicos para adoptar alguna técnica de infiltración.

Deben considerarse la disponibilidad y el tiempo necesario de escurrimiento de precipitaciones, así como la identificación de un medio ambiente óptimo y rentable. Es necesario incluir estudios científicos que avalen las características del lugar y la necesidad de construir un sistema de recarga, tal es el caso de estudios meteorológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, geológicos, topográficos, químicos y una evaluación del potencial del subsuelo para la recarga subterránea.

Sin embargo, cada recarga artificial presenta características específicas según sean las condiciones del terreno utilizado para la recarga y la disposición de recurso hídrico a infiltrar. Por ello, de acuerdo a la disposición de agua se pueden clasificar las recargas de la siguiente forma:

- Sistemas de recarga con agua superficial.  
Son todas aquellas formas de infiltrar agua mediante recursos de escurrimiento continuo o discontinuo; es decir, de fuentes donde el agua es constante como ríos permanentes o discontinuos, en el caso de lluvias torrenciales.
- Sistemas de recarga con agua residual.  
Como su nombre lo indica, son sistemas adecuados para realizar un infiltración con agua residual doméstica. Estos sistemas deben contener procesos de tratamiento durante la

recolección previos al contacto con el acuífero o en su defecto, ya haber recibido un tratamiento anteriormente.

- Sistemas con agua de otros acuíferos

Generalmente estos sistemas se ocupan cuando la zona aún cuenta con cuerpos de agua sanos y se desea equilibrar otros con bajo nivel piezométrico mediante drenes.

Normalmente la recarga artificial se realiza en acuíferos a nivel freático, a una profundidad considerable o directamente desde la superficie. Es muy común que los materiales sobre los cuales se hará la infiltración se les realice un tratamiento con el fin de aprovechar las características de cada uno. La mayoría de ellos son depósitos aluviales o areniscas aunque también se puede llevar a cabo un método de filtración en materiales bien consolidados como calizas o dolomías<sup>16</sup> fracturadas.

Para la práctica de recarga, se pueden llevar a cabo múltiples técnicas, aunque pueden clasificar dichos trabajos por dos principales grupos en función de la forma en que se infiltre el agua; ya sea desde la superficie de un terreno o por inducción directa hasta el acuífero.

### 2.2.1 Métodos de recarga en superficie

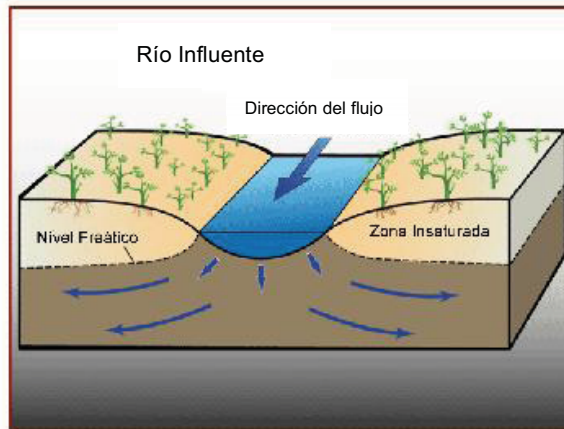
Se conoce por recarga en superficie porque es necesaria una extensión de terreno que esté en contacto con el agua. Ésta forma de infiltración se emplea en acuíferos libres donde la permeabilidad del material no es baja, lo que permite que el agua llegue hasta el acuífero. (Ver Figura 2.2)

A continuación se presentan algunos ejemplos de la recarga en superficie:

- I. Recarga en superficie a través de un cauce:
  - a) Presas de arrastre. En zonas muy llanas en que existen corrientes superficiales como ríos, es útil la aplicación de este sistema, pues aumenta el tiempo de recorrido de la corriente y la zona de descarga. El sistema está formado por diques o muros de tierra en forma de “L” que cortan la corriente y aumentan el contacto entre la superficie con el agua.
  - b) Sistemas de vasos escalonados. Consiste en la construcción de vasos de retención de azolves, seguidos hacia aguas debajo de vasos en los que se tiene agua el tiempo necesario para que se efectúe la infiltración. (Ver Figura 2.3)

---

<sup>16</sup> Las dolomías son rocas sedimentarias de origen químico compuestas de carbonato de calcio y magnesio, también conocidas como dolomitas.



**Figura 2.2.- Esquema de Río influente**

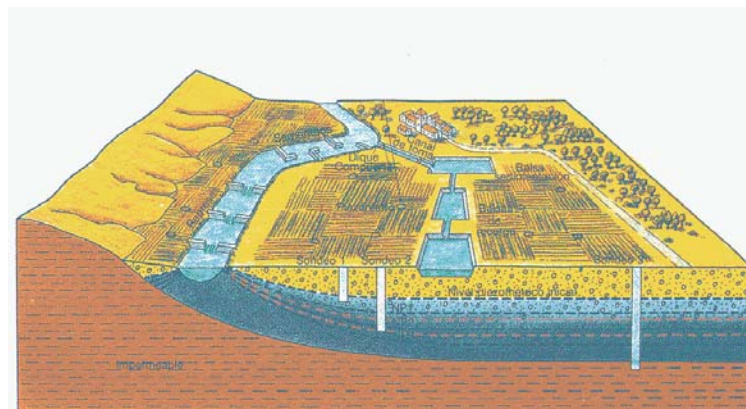
Fuente: Mancomunidad de Australia 2006, Kit de sensibilización sobre el Río Limpopo



**Figura 2.3.- Sistema de Vasos Escalonados**

Fuente: Mancomunidad de Australia 2006, Kit de sensibilización sobre el Río Limpopo

- c) Método de cauce modificado. Se efectúa a través del cauce de corriente, sea el cauce natural o artificial. En ocasiones es conveniente cortar o ensanchar el cauce para facilitar la infiltración. Puede beneficiar la construcción de una presa de regulación para monitorear en el escurrimiento prolongando el tiempo de infiltración.(Ver Figura 2.4)



**Figura 2.4.- Esquema de un cauce modificado**

Fuente: Mancomunidad de Australia 2006, Kit de sensibilización sobre el Río Limpopo

## II. Recarga en superficie fuera de su cauce:

- a) Zanja o método surco. Se efectúa en zanjas dispuestas en forma de peine, construidas en ambos lados de un canal que las alimenta. Son utilizadas cuando hay capas del suelo permeables a poca profundidad. La trinchera puede ser de medio a un metro de ancho y de uno a dos metros de profundidad, dependiendo su tamaño de los sitios de recolección y amplitud de la zona donde cae la lluvia y se podrían extender de 10 a 20 metros de largo. Para los lugares en donde la topografía es irregular y poco profunda, las zanjas o surcos proporcionan un área de contacto máxima de recarga. Esta técnica requiere menos preparación del suelo y es menos sensible a la sedimentación. Consisten en un espacio excavado de profundidad a considerar según sea la precipitación aunque no son recomendables para almacenar grandes cantidades de agua, esto según sea la capacidad de infiltración del suelo que se tenga.
- b) Recarga por extensión de agua sobre el terreno y planicies de Inundación. Se utilizan cuando existen terrenos de alta permeabilidad, normalmente el llenado de estas superficies se realiza por medio de riego. Si el agua se encuentra en un medio poroso, una rápida infiltración y percolación del agua se llevará a cabo con mayor rapidez.
- c) Tanques de percolación. Aunque este método se puede adaptar a un terreno irregular, el área de contacto del agua no supera el 10% de la superficie total de recarga. Las perforaciones deben tener pendiente para mantener la velocidad de flujo y sedimentos mínimos de deposición, asimismo ser poco profundos y de fondo plano. Debe existir un análisis detallado del régimen de lluvias, el número de días de lluvia, los períodos secos y la tasa de evaporación y estudios hidrogeológicos detallados, para conocer el sitio y número de tanques a construir.

### 2.2.2 Método de recarga en profundidad

Se caracteriza por introducir agua en el acuífero mediante pozos y sondeos, donde los terrenos cuentan con alternancia de suelos permeables e impermeables.

Los métodos mas utilizados son los siguientes<sup>17</sup>:

- a) Pozo excavado de recarga. En este caso, el agua de recarga es guiada a través de un tubo a la parte inferior del pozo, por debajo del nivel de agua. La calidad del agua a infiltrar debe ser tal que no contamine la calidad del agua contenida en el acuífero, dado que es un

---

<sup>17</sup> Manual para el uso, conservación y filtración en acuíferos de agua pluvial, Gobierno de la India , Septiembre 2007.  
Uso de pozos de absorción como punto de descarga final en un sistema de drenaje, Tesis, UNAM, Mayo 2005.  
Guía para recarga artificial de acuíferos, Nueva Delhi, Mayo 2000.



método directo. Son más profundos que los pozos de tierra, el agua debe pasar a través de medios filtrantes, tales como drenajes de piedra, grava y arena, antes de entrar en el pozo.

- b) Pozo de inyección. Los pozos de inyección son estructuras similares a un tubo con el fin de aumentar el almacenamiento de agua subterránea de un acuífero confinado mediante el bombeo de agua en la superficie tratada a presión.
- c) Presas de agua subterránea. Estas son –básicamente– las estructuras de conservación del agua subterránea y son eficaces para proporcionar sostenibilidad a la tierra y detener el flujo superficial. Una presa de agua subterránea es una barrera a través de la corriente que retarda el flujo de agua subterránea natural del sistema y almacena el agua debajo de la superficie del suelo para satisfacer las demandas durante el período de necesidad. El objetivo principal de la presa de las aguas subterráneas es detener el flujo de las aguas subterráneas de la subcuenca y aumentar el almacenamiento dentro del acuífero.
- d) Azoteas de recarga. En las zonas urbanas, el agua de lluvia puede ser conservada y utilizada para la recarga de las aguas subterráneas. Este enfoque requiere la conexión del tubo de salida de la azotea para desviar el agua a cualquiera de los pozos existentes. Los conjuntos habitacionales urbanos o edificios institucionales tienen gran zona cubierta y pueden ser utilizados para la recogida de agua de lluvia en la azotea para recargar los acuíferos en las zonas urbanas.

### III. Recarga inducida:

Se trata de un método indirecto de recarga artificial que implica el bombeo de los acuíferos conectados hidráulicamente con agua de la superficie, para inducir la recarga del depósito de agua al suelo. Algunos autores lo consideran un método propio de recarga en profundidad, porque es necesario el uso de sistemas mecanizados como bombas para introducir el agua hasta los acuíferos.

### IV. Otros métodos:

Entre los últimos métodos que se han experimentado y mostrado como nuevos se encuentran los pozos secos, trincheras y acuíferos artificiales.

Los pozos secos también llamados pozos en zona no saturada o pozos colgados son incisiones de 10 hasta 50 metros de profundidad y de hasta 2 metros de diámetro.

Su objetivo principal es infiltrar agua al manto acuífero, sin embargo, en su mayoría reciben agua de las azoteas.

Son colocados generalmente en terrenos de alta permeabilidad para permitir la absorción. No son recomendados para industrias ni estacionamientos debido a que no cuentan con un pretratamiento que evite la contaminación de acuíferos con agentes altamente contaminantes como las grasas, ácidos e hidrocarburos.



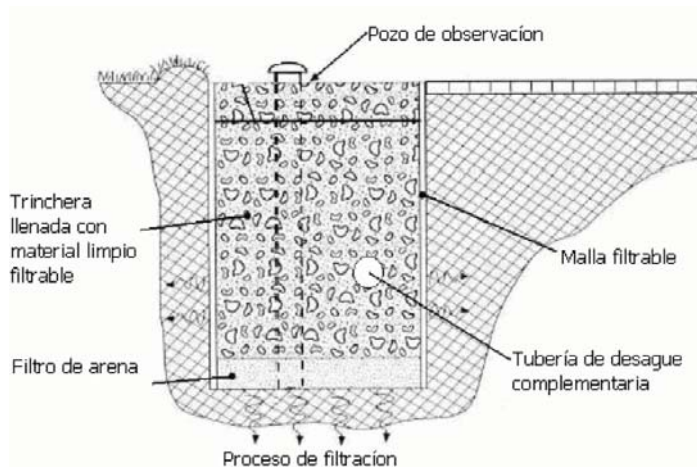
**Figura 2.5 .- Esquema de un pozo seco**

Fuente: Osman & Houghtalen 2003

En el caso de las trincheras de recarga, son excavaciones de 1 m de ancho y 10 m de profundidad. La función principal es recibir agua pluvial en áreas pequeñas que a su vez son cubiertas con agregados permeables que cumplen con la función de un filtro.

El gran problema de ésta técnica es que al tener excedentes de agua, la zona de infiltración llegan a inundarse por lo que no se recomiendan estas estructuras si las precipitaciones torrenciales son altas pues no contemplan el espacio suficiente para acumulación de agua.

Además de ello, también presentan problemas de obstrucción por sedimentos como restos vegetales o materiales de agregados finos que afectan el proceso de infiltrado.



**Figura 2.6.- Estructura de una trinchera de infiltración**

Fuente: Osman & Houghtalen 2003

La construcción de acuíferos artificiales, es un práctica no muy recomendable; sin embargo por su bajo costo es utilizada en regiones donde no se cuentan con los recursos necesarios para obras de mayor complejidad.



**Figura 2.7.- Construcción de una trinchera de infiltración**

Fuente: Osman & Houghtalen 2003

Consisten principalmente en excavaciones de hasta dos metros de profundidad que son cubiertas por algunas capas de arena, grava y un bordo de fibra plástica.

Dichas “lagunas” son llenadas con agua pluvial o aguas negras por algunos días y la infiltración se lleva de acuerdo al paso del agua por los filtros de grava y arena que se contiene al fondo. Al llegar el secado, los restos de la filtración son removidos fácilmente para volver a llenar dicho estanque. No son del todo recomendables, en virtud del bajo tratamiento que se le da al agua que llega a los acuíferos, lo que puede ocasionar una alta contaminación de las aguas subterráneas.

### 2.2.3 Ventajas e inconvenientes

Los métodos de recarga en superficie pueden ser menos complejos por la capacidad de manipulación en sus estructuras, mientras que los dispositivos de recarga artificial en profundidades requieren de mayor cantidad de equipo específico para excavaciones y sondeos que eviten la afectaciones de ductos en caso de que se presenten.

En el caso de pozos como métodos de recarga en superficie, son de los más eficientes y utilizados cuando hay poca disponibilidad de terreno o cuando se requieran a cierta profundidad.

En la siguiente tabla se enumeran algunas comparaciones entre ambas técnicas.

Tabla 2.1.- Ventajas e inconvenientes de los distintos sistemas de recarga artificial

Métodos	Superficiales	Profundidad
Factores		
<b>Precio y disponibilidad del terreno</b>	No es fácil colocarse en zonas pobladas o de cultivo. Se deben contemplar en lugares de grandes superficies si se desea infiltrar grandes volúmenes de agua.	Pequeño, necesitan de poco espacio.
<b>Factores estéticos y ambientales</b>	Presentan problemas de proliferación de insectos y roedores. Requieren de vallas protectoras contra animales.	Escasos.
<b>Permeabilidad del acuífero</b>	Media a grande. Las permeabilidades bajas exigen grandes extensiones de terreno para poder recargar grandes volúmenes de agua.	Variabilidad, se emplean de forma generalizada en terrenos formados por alternancia de niveles permeables e impermeables, cuando existen niveles poco permeables entre la superficie del suelo y el acuífero.
<b>Construcción de instalaciones</b>	Pueden requerir acondicionamientos previos del terreno para nivelarlo, retirar coberturas poco permeables o arcillosas, retirar vegetación, obtener diques resistentes, construir estructuras para la conducción del agua, etc.	No son complicados.
<b>Pérdidas por evaporación</b>	Son importantes, dependen del tamaño de las instalaciones y en ocasiones representan los 0.005 m/día.	Nulas.
<b>Requisitos de calidad del agua</b>	Pequeños pues se puede aprovechar el poder auto - depurador de la zona no saturada.	Grandes, porque se introduce directamente al acuífero. En ocasiones implica un costo de pre tratamiento alto.
<b>Grado de depuración del agua en el terreno</b>	Grande, el paso del agua por el medio no saturado es decisivo para conseguir una buena eliminación de contaminantes.	Pequeño o nulo.

Fuente: Adaptación :Osman & Houghtalen 2003

### 2.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS POZOS DE ABSORCIÓN

Los pozos de absorción forman parte del método de recarga superficial en cuanto que el agua se hace llegar a través de filtros por diversos niveles de agregado. Conforme el contacto que puede llegarse a tener entre el ademe de conducción y la perforación del estrato, puede considerarse como un método de recarga a profundidad.

Permiten captar el agua pluvial en zonas donde la estratificación es de baja permeabilidad a nula, haciendo que el pozo actúe como agente inductor natural.

En cuanto a los costos que representa la construcción del pozo desde la perforación y levantamiento de los dispositivos de recarga son relativamente bajos en comparación con otros métodos, además de ser una solución donde no se necesitan grandes áreas de terreno como es el caso de las planicies inundables o los vasos escalonados.

Son también parte de la solución de problemas de disminución de niveles de aguas freáticas bajas o inundaciones por aguas torrenciales.

Las principales ventajas de un pozo de absorción, es que puede construirse y repararse con materiales disponibles pero pueden llegar a complicarse en cuanto se vayan alimentando de más dispositivos, cuando ya no sea útil, puede cubrirse con un material poroso para evitar un colapso.

Sin embargo a pesar de la facilidad de construcción y manejo; las afectaciones son mayores cuando el agua infiltrada no cuenta con un pre tratamiento lo que puede generar gastos extras por mantenimiento y alta contaminación de acuíferos.



a) Interior de un pozo de absorción



b) Vista de un pozo de absorción prefabricado

**Figura 2.8.- Vista de un pozo de absorción**

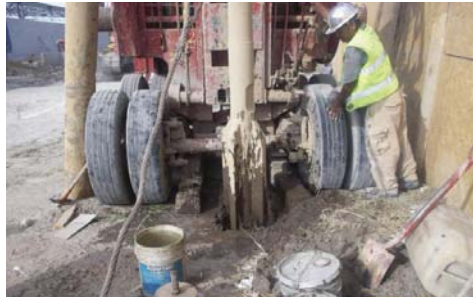
Fuente: [www.aguasaludable.net](http://www.aguasaludable.net), [www.rcnegociosac.com](http://www.rcnegociosac.com)

Para la manutención, los pozos pueden preservarse sin limpieza alguna por alrededor de 3 a 5 años desde su construcción; pero una vez que transcurran éstos años, debe practicársele un lavado que consiste en la remoción de residuos que pudieran alojarse en las paredes.

De la misma forma en que pueden construirse, también existe la modalidad de estructuras prefabricadas usadas como pozos de absorción o sistemas de drenaje vertical.

La mayoría de estas estructuras son fabricadas en concreto de alta resistencia, compuestas por paneles modulares y piezas de interconexión que facilitan la manipulación de estos.

A pesar de lo descrito, el uso ha sido recurrente en distintos lugares por la facilidad de su manejo, manutención y bajo costo. En el Distrito Federal, los gobiernos recientes han optado por el uso de pozos de absorción junto con otras formas de recarga de acuíferos con el fin de obtener la mayor cantidad de agua infiltrada.



**Figura 2.9.- Construcción de un pozo de absorción en Tultepec, Edo. de Méx**

Fuente: [www.tultepec.olx.com.mx](http://www.tultepec.olx.com.mx)

### 2.3.1. Componentes

La mayoría de las estructuras para infiltración de agua pueden ajustarse a la topografía del lugar, los recursos económicos y la condición de operación.

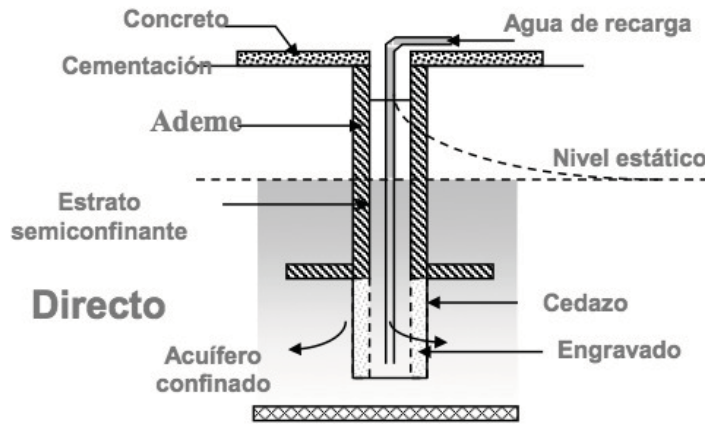
Estructuralmente los pozos de absorción pueden complementarse con otros dispositivos haciendo de ellos un trabajo eficiente esto es; menor contaminación, mayor volumen infiltrado y bajo costo. De tal forma que al conocer las características de un pozo de absorción no se detallará en un concepto en particular sino mas bien en la forma general de un pozo de absorción.

Los principales elementos son :

Ademe. Es un elemento estructural en algunos casos de acero al carbón, madera o mampostería que realiza las funciones de conducir el agua, desde algún espacio de captación al acuífero o simplemente el tren de viaje del agua al acuífero. Por lo regular, contiene perforaciones en sus paredes evitando la contaminación del acuífero y provocando la salida de excedentes.

Cedazo. También llamado criba, es un utensilio que sirve para separar materia de ciertas dimensiones y el agua a infiltrar. El tamaño de los espacios por los que penetra el agua están considerados con base en el tamaño de materia.

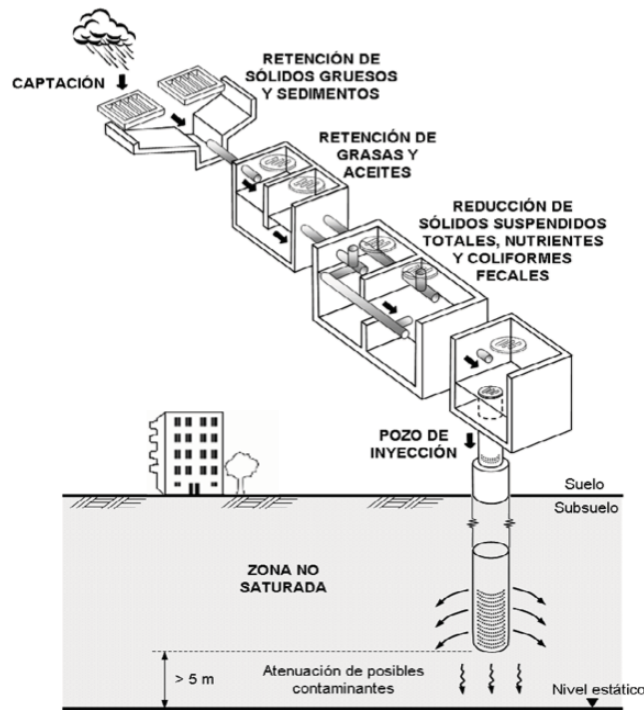
Engravado. Consiste en varias capas de agregados (grava , arena, arcilla, etc.) que sirven como filtros y donde se retendrán algunos contaminantes del agua. Existen pozos que los tienen al fondo del ademe y otros son parte de una secuencia de tratamientos.



**Figura 2.10.- Esquema de un pozo de absorción**  
La recarga Artificial de Acuíferos en México, Chávez Guillen CONAGUA 2011

### 2.3.2. Tratamiento y Restricciones

Como se ha mencionado, los pozos de absorción son una opción de recarga de acuíferos cuando la calidad del agua es aceptable y cumple con los requerimientos. El agua que se infiltra proviene de industrias o es agua residual, no puede ser utilizada si no es tratada previamente por el alto grado de contaminantes que pueda alojar.



**Figura 2.11.- Esquema del tratamiento de un pozo de absorción**  
La recarga Artificial de Acuíferos en México, Chávez Guillen CONAGUA 2011

En ese caso, el agua pluvial, sí puede utilizarse siempre y cuando se realice el tratamiento como se describe en la Figura 2.11.

Una vez que el agua es captada y almacenada, se deben retener los sedimentos por efecto de la sedimentación. La retención de grasas y aceites es importante porque la desintegración de estos compuestos químicos no es un proceso natural, que tarde poco tiempo.

Con la reducción de sólidos suspendidos totales y eliminación de coliformes fecales, se está disminuyendo la probabilidad de contaminar el agua en forma biológica.

Además se deben considerar las siguientes restricciones:

- Sólo pueden ser infiltradas zonas de suelos no saturados.
- La remoción de contaminantes debe ser mayor del 30%, esto se refiere a que debe estar libre de materia.
- El monitoreo debe realizarse en superficie y cuando el gasto sea mayor a los 100 litros por segundo (l/s).



### **CAPÍTULO 3.**

#### **Legislación en materia de agua**

---

##### **3.1. NORMATIVIDAD EN MÉXICO**

La República Mexicana como estado libre y soberano, está regida bajo la norma suprema denominada Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) promulgada el 5 de febrero de 1917. Establece la organización de las instituciones y sus funciones; garantizando a la población un estado de derecho y libertad.

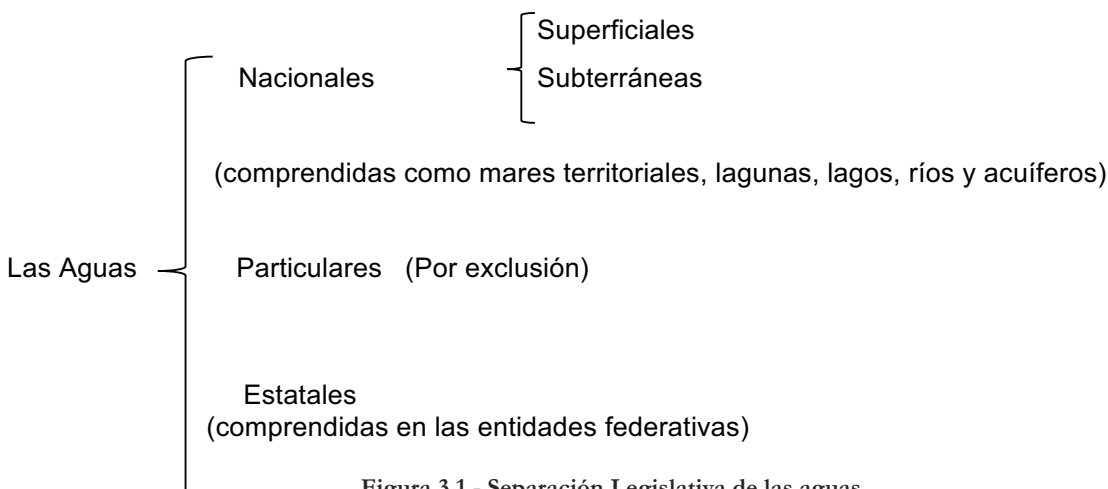
Se compone por ciento treinta y seis artículos divididos en nueve títulos.

Como parte integral de los estatutos se han creado –entre otros– leyes, normas reglamentarias y técnicas con la finalidad de controlar y prevenir a la población de algún riesgo que genere el mal uso de los bienes nacionales.

En este orden de ideas, en materia de agua, al ser un recurso necesario para nuestra existencia, presente en el ambiente y alojado en algunas partes de nuestro territorio nacional, debe guardarse bajo limitantes y facultades que puedan mediar el uso, manejo o en su caso reuso del líquido vital, evitando que la población recurra al desperdicio, contaminación o incluso causar un perjuicio o daño a la vida de las personas o sus propiedades.

Así, en los artículos 27, 73, 115 y 122 de la CPEUM se establecen las facultades del Congreso de la Unión en materia de Aguas; y también en el Artículo 27 Constitucional se expresa claramente: *“La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada.”*

El artículo 27 de la CPEUM, en comento, establece el carácter de las aguas separándolas de la siguiente manera.



**Figura 3.1.- Separación Legislativa de las aguas**  
Fuente: Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Otros aspectos que aborda son *la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales por parte de los particulares* quienes pueden acceder mediante una concesión otorgada por el Ejecutivo Federal. *La prestación de servicios públicos como el agua potable, drenaje, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales* es responsabilidad de cada municipio.

Aún cuando el planteamiento de los artículos abarcan diversos rubros, no son los suficientes para que las disposiciones sean efectivas. Se requirió crear reglamentos que especificaran los lineamientos a seguir conforme a la Ley de Aguas Nacionales, y algunos contenidos en la Ley General de Protección al Ambiente, de ellas se derivan Normas Oficiales Mexicanas que contemplan disposiciones técnicas para la preservación efectiva de los bienes y del cumplimiento legal.

### 3.1.1. La Ley de Aguas Nacionales y los recursos hídricos subterráneos

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) creada en 1992 y cuya última reforma publicada en el DOF fue el 7 de junio de 2013, tiene por objeto complementar los requerimientos establecidos en el artículo 27 de la CPEUM, *el agua es un bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental, se apoyará de la participación social y los órdenes de gobierno en las decisiones relativas a la gestión de las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes. Además de regular el uso, aprovechamiento o explotación de dichas aguas, su distribución, uso, preservación en cantidad y calidad, para lograr un desarrollo integral sustentable*<sup>18</sup>.

De manera particular la LAN establece, regula, controla, restringe o faculta, entre otros los siguientes aspectos:

- *Reconoce la autoridad del ejecutivo federal como administrador de las aguas nacionales a través de sus comisiones y establecimiento de los diversos usos del agua. Además de los usos agrícola, industrial y público del agua, considera el uso ambiental es decir; que la naturaleza es un usuario más del agua.*
- *Confiere facultades a la Comisión Nacional del Agua y a la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales como la autoridades administrativas que vigilen el cumplimiento y aplicación de la Ley en sus respectivas materias, expiden títulos de concesión, asignación o permiso de recursos según los estatutos establecidos.*
- *Aunque el Estado sea el regulador principal de las aguas, propone que debe existir el derecho de una información oportuna acerca de las necesidades y disponibilidades del agua superficial y subterránea, determina que las aguas del subsuelo deberán ser*

---

<sup>18</sup> Tomado de [www.pronatura.org.mx](http://www.pronatura.org.mx)

*libremente alumbradas mediante obras artificiales, salvo cuando por causas de interés o utilidad pública el Titular del Ejecutivo Federal establezca zona reglamentada, de veda o de reserva o bien suspenda o limite provisionalmente el libre alumbramiento.*

- En el artículo 19, la LAN hace responsable a la utilidad pública del control en extracción y explotación o uso de aguas del subsuelo comprometiéndolos a:

*I. Garantizar la calidad de agua conforme a los parámetros referidos en las Normas Oficiales Mexicanas;*

*II. Descargar las aguas residuales a los cuerpos receptores previo tratamiento, cumpliendo con las Normas Oficiales Mexicanas o las condiciones particulares de descarga, según sea el caso, y procurar su reúso, y*

*III. Asumir los costos económicos y ambientales de la contaminación que provocan sus descargas, así como asumir las responsabilidades por el daño ambiental causado.*

- Expone la obligación de la Comisión Nacional del Agua o en su caso alguna autoridad que tenga a cargo los recursos hidráulicos, de vigilar la infiltración de aguas para recargar acuíferos que deberán ajustarse a las Normas Oficiales Mexicanas de las cuales se emitirán para ese efecto.
- Para que las anteriores disposiciones se cumplan sin poner en riesgo la vida de las personas y la seguridad de sus bienes o ecosistemas vitales, será la “Comisión” quien se encargue de establecer las normas o acciones a realizar para evitar la construcción u operación de obras que alteren desfavorablemente las condiciones hidráulicas.

Con lo anterior debe tenerse claro, que la situación de los cuerpos de aguas subterráneos preocupa en gran medida al gobierno.

Así, la principal preocupación de la LAN en el ámbito de aguas subterráneas es realizar acciones que *impulsen el uso eficiente y sustentable del agua, incluyendo los acuíferos y los trasvases entre cuencas.*

Aún con la influencia que tienen los Estados Unidos de América (EUA) sobre las leyes mexicanas, las nuevas disposiciones reglamentarias de aquel país del norte difieren de la normativa ambiental de México.

### 3.1.2. El cuidado del agua en la LGEEPA

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, apunta que deberán existir proyectos que actúen en la preservación, proyección y aprovechamiento sustentable, la restauración del suelo, agua y demás recursos naturales; de manera que sean compatibles con la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad en la protección de los ecosistemas.

Es importante señalar que esta ley que especifica cualquier tema relacionado con el medio ambiente, fomenta la aplicación de tecnologías, equipos y procesos que reduzcan las emisiones y

descargas de contaminantes en coordinación con los Estados y el Distrito Federal, así como la regulación del aprovechamiento sustentable y el control de la contaminación de las aguas de jurisdicción estatal.

### 3.1.3. La cosecha de agua pluvial en la Ley de Aguas del Distrito Federal

Las leyes anteriores, que son aplicables en todo el territorio nacional, son la base para la creación de leyes municipales o estatales con el fin de especificar las condiciones que se tienen en cada localidad.

De esta forma, el Distrito Federal por medio de su cámara legislativa, aprueba la Ley de Aguas del Distrito Federal (LADF) en 2003 ,donde exige la captación de lluvia en nuevas edificaciones. Además de ello, también se aprobó la ley de adaptación y mitigación del cambio climático publicada en junio de 2011.

Con estas acciones, el Distrito Federal no deja atrás las Normas Oficiales Mexicanas, sino completa un sistema de leyes que prohíben la contaminación de los recursos naturales y fomentan el cuidado del medio ambiente.

En materia de cosecha de agua de lluvia, el Título noveno de la LADF establece la regulación y promoción de cosecha de agua con fines de potabilización. Fortalece las políticas, estrategias, programas y acciones gubernamentales para hacer de la población un agente participativo en la gestión sustentable e integral de los recursos hídricos.

Expresamente, los artículos 125, 125 BIS ,125 BIS 1, 125 BIS 2, 125 BIS 3, 125 BIS 4 , describen la necesidad de que las nuevas edificaciones, instalaciones, equipamientos, viviendas y obras públicas que se construyan en el Distrito Federal están obligadas a instalar y construir equipos necesarios para cosecha de lluvia. Estrictamente en los predios localizados en las Zonas I y II de lomerío o de transición en el Distrito Federal, conforme a la zonificación indicada en el Capítulo VIII del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal<sup>19</sup>, será obligatorio contar con sistemas de cosecha y recarga de aguas pluviales al subsuelo que permitan su infiltración.

Dicha infiltración se debe llevar a cabo a través de diferentes sistemas, como zanjas y pozos de absorción, pisos filtrantes, estacionamientos con pasto que permita la infiltración del agua de lluvia y la recarga al subsuelo. Conjuntamente con las disposiciones anteriores, los proyectos que se encuentren sujetos a un Estudio de Impacto Urbano<sup>20</sup> deben contar con un sistema de captación y recarga de aguas pluviales al subsuelo.

---

<sup>19</sup> Reglamento de Construcciones del Distrito Federal <http://www.paot.org.mx/centro/reglamentos/df/pdf/regladecons.pdf>

<sup>20</sup> Estudio Impacto Urbano, es el instrumento a través del cual se asegura la compatibilidad de los desarrollos en sus etapas de construcción, operación y mantenimiento con el entorno urbano, con la finalidad de garantizar, evitar y/o minimizar en beneficio de la población que habita la Ciudad de México, los impactos generados a las condiciones de la estructura vial, hidráulica, sanitaria, social y económica, así como llevar a cabo las acciones de integración a la imagen urbana existente [http://www.canadevivallemexico.com/documentos/distrito\\_federal/](http://www.canadevivallemexico.com/documentos/distrito_federal/)

Teniendo todas estas medidas, el Gobierno del Distrito Federal pretende impulsar la recuperación del acuífero, que por el aumento demográfico elevado, los niveles freáticos disminuyen considerablemente.

#### 3.1.4. Norma Oficial Mexicana 015-CONAGUA- 2007

Ante la preocupación inminente del gobierno federal por preservar los cuerpos de agua subterráneos, ha implementado medidas para contrarrestar efectos negativos por el mal aprovechamiento de los recursos hidráulicos, particularmente de la Zona Metropolitana del Valle de México y sus áreas aledañas.

Al igual que otras ciudades en el mundo, en México se han estudiado tecnologías que atiendan la problemática de la sobreexplotación de los acuíferos.

En ese sentido la CONAGUA en cooperación con SEMARNAT, publicaron el proyecto de norma y después la **Norma Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007** en el Diario Oficial de la Federación en 2009, que establece los estatutos jurídicos y técnicos para infiltración artificial de agua a los acuíferos.

De esta manera las instancias federales se comprometen a vigilar la *protección en la calidad del agua de los acuíferos, el aprovechamiento pluvial y de escurrimiento superficiales; así como aumentar la disponibilidad de agua subterránea a través de la infiltración artificial.*

No obstante, la **NOM 015 –CONAGUA – 2007** es la primera disposición regulatoria con carácter obligatorio en México que propone una recarga artificial al acuífero solamente con agua pluvial. Existe otra norma NOM – 014 – CONAGUA- 2003 que al igual que la NOM-015-CONAGUA-2007 plantea la recarga artificial de acuíferos pero en este caso con agua residual tratada.

Las disposiciones entre cada una de estas normas es distinta, por la cual no están agrupadas en una sola ley.

La Norma Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007 indica que es válida para todo el territorio nacional y dirigida a quien ejecute proyectos de infiltración con aguas pluviales al suelo y subsuelo con capacidad mayor a los 60 litros por segundo, aunque no se debe confundir que la misma autorice la extracción del agua infiltrada.

El estudio de ésta Norma, fue el producto de la fusión de varias Normas Oficiales Mexicanas y normas mexicanas pero principalmente NOM-003-CONAGUA-1996 y NOM-004-CONAGUA-1996.

Con ellas se llegaron a las especificaciones siguientes:

- Las actividades de la Norma respetarán las áreas naturales protegidas y sus programas de manejo.
- El suelo deberá estar caracterizado conforme a la Norma ISO 15175:2004<sup>21</sup>,
- En áreas propensas a deslaves, sólo podrán llevarse a cabo las obras cuando se hayan realizado obras de ingeniería para estabilizar el terreno.

---

<sup>21</sup> Se refiere a la ISO 15175:2004: Soil quality -- Characterization of soil related to groundwater protection

- Si el área a manipular recibió algún evento de contaminación, debe asegurarse que no esté catalogado como predio contaminado.
- La disposición de aguas al suelo y a la zona no saturada no debe afectar a captaciones de agua subterránea o a obras civiles de terceros.
- La infiltración no se puede realizar con aguas residuales crudas o la mezclas de éstas con agua pluvial.
- Debe existir limpieza en la zona de recarga, es decir libre de basura.
- En el caso de la disposición de aguas pluviales o de escurrimiento superficial a la zona no saturada, se deberá observar las especificaciones de la NOM – 003- CONAGUA - 1996
- La infiltración no deberá afectar la calidad del agua nativa, por ello se acatará al muestreo de la Norma ISO/CD 5667-11-2006<sup>22</sup> , la Guía para el muestreo de aguas subterráneas, la que la sustituya o la Norma Mexicana correspondiente.
- Las obras de disposición de aguas al subsuelo mediante pozos de infiltración, deben contar con un sistema de tratamiento que garantice que el agua en el punto de infiltración tenga los límites.

Tabla 3.1 .- Límites Máximos permisibles en aguas pluviales en pozos de infiltración

	Parámetros	Límite
<b>Fisicoquímicos</b>	Grasas y Aceites	15 mg/L
	Materia Flotante	0 U*
	Sólidos Sedimentables	2 mg/L
	Sólidos Suspendidos Totales	150 mg/L
	Nitrógeno Total	40mg/L
	Fósforo Total	20mg/L
<b>Otro</b>	Coliformes Fecales	No detectable

\*U.-unidades

Fuente: NOM-015-CNA-2007

Con el fin de tener una operación óptima del sistema de infiltración, la Norma establece que se debe mantener cerrado el dispositivo, no se deberá infiltrar agua cuando se presente la primera precipitación del año y en caso de inundaciones. Durante la ocurrencia de eventos accidentales que propicien el derrame de contaminantes deberá evitarse el contacto con el agua a infiltrar y las áreas de captación de agua pluvial deberán estar estrictamente libres de residuos sólidos o líquidos.

<sup>22</sup> ISO/CD 5667-11-2006: Calidad del Agua, Parte 11.- Guía para muestreo

En lo que respecta al mantenimiento, las obras de disposición deben recibirlo a más tardar el 1 de mayo de cada año considerando las siguientes indicaciones:

1. Mantener un programa de mantenimiento y de señalización en las obras de disposición;
2. Construir de un plan de atención de contingencias para evitar el derrame accidental de líquidos o sustancias contaminantes;
3. Remover de los sedimentos y realizar la limpieza de rejillas u obras complementarias de acuerdo a cada sistema de tratamiento y
4. Registrar de las actividades de mantenimiento realizadas en cada obra.

Si un pozo de infiltración se deja de operar, la CONAGUA establece que se deben cerrar dichos pozos en atribución a las especificaciones de la NOM-004-CONAGUA-1996 que señala los requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general.

Para el cumplimiento de ésta Norma, la SEMARNAT acredita a la Comisión<sup>23</sup> para realizar visitas a los pozos de infiltración y que establece los siguientes requerimientos:

- Proyecto ejecutivo;
- Estudio de caracterización del suelo
- Diseño del sistema de tratamiento;
- Informes del laboratorio aprobado por la CONAGUA, donde se demuestre que el sistema de tratamiento cumple con las especificaciones de la tabla.
- Programa de mantenimiento de las obras de disposición.
- Dispositivos de medición, registros del análisis de la calidad del agua, y
- Acceso para verificar visualmente las obras de disposición de aguas al subsuelo mediante pozos de infiltración.
- En caso de término de operación, bitácora de cierre del pozo de infiltración y acceso para verificar visualmente el cumplimiento con la NOM-004-CONAGUA-1996.

---

<sup>23</sup> Como aparece en la NOM-015, CONAGUA o la Comisión se refiere a la Comisión Nacional del Agua así como SEMARNAT a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

### 3.2. NORMATIVIDAD INTERNACIONAL

La necesidad del agua en el mundo no es responsabilidad de algunas ciudades, sino es una problemática a nivel mundial. El vanguardismo verde y sustentabilidad han llevado a diversas instituciones públicas y privadas del mundo a tomar acciones que beneficien al planeta y sus recursos.

Muchos países han establecido parámetros para la construcción y normalización de los sistemas de agua para consumo humano, industrias y usos agrícolas o pesqueros, aunque también los recursos hídricos son vigilados como parte del ambiente natural ya sea ríos, lagos o la misma precipitación.

En la mayoría de los casos, los permisos para la captación del agua de lluvia y la infiltración a las aguas subterráneas son consideradas alternativas a los sistemas de aguas pluviales existentes, recibir un permiso para la construcción de soluciones verdes significa crear la regulación de aguas pluviales convencional. De esta forma, la reinserción de agua pluvial en mantos acuíferos no es un tema nuevo; sin embargo sí es innovador el uso de tecnologías de menor contaminación de suelos o metodologías eficaces que lleven al mayor aprovechamiento hídrico.

Para mayor objetividad de lo expuesto, se detallan los siguientes casos:

Los países de *primer mundo* optaron medidas desde hace algunas décadas, reflejadas mayormente en países con extensiones territoriales menores y con altas temporadas de precipitación. Es el caso de los países germanos (Alemania, Austria, Suiza y Polonia) que construyeron sistemas de recolección pluvial específicos separados de las aguas residuales, evitando inundaciones o bloqueos por acción de la nieve.

Otro ejemplo son las provincias americanas que comparten frontera con México y donde el temporal de lluvias es bajo, acondicionaron sus sistemas de captación de agua de tal forma que aún con las temperaturas altas y el clima desértico, mantuvieran el agua precipitada de algunos meses dentro de acuíferos artificiales.

Se ha notado que existen diferencias entre la regulación federal y las políticas administrativas municipales, cada país mantiene una actividad de desarrollo sostenible en cuestión de agua. Alemania por ejemplo, es el país en donde no se reglamenta la ejecución de proyectos de agua pluvial puesto que las normas de ingeniería ya están preestablecidas con los demás códigos ingenieriles de la Comisión Europea de infraestructura. El Reino Unido utiliza una serie de normas de ingeniería, en algunos proyectos como el control de inundaciones, son evaluados por el Sistema Urbano de Drenaje Sustentable, por sus siglas en inglés (SUDS) en el Reino Unido.



El mismo organismo tiene conexión con la Supervisión Federal de Australia que se encuentra bien organizado en términos de comunicación y acuerdos establecidos para dar prioridad a soluciones con el Diseño Urbano Sensible al Agua por sus siglas en inglés (WSUD) WSUD de Australia.

Por su parte, en EUA, la autoridad federal para la emisión y aprobación de proyectos de descarga en materia de agua y protección al ambiente es la Agencia de Protección al Ambiente, por sus siglas en inglés (EPA). La mayoría de las acciones verdes en EUA, son absorbidas por el gobierno local, donde todas las grandes ciudades y pueblos más pequeños, están en proceso de desarrollar, perfeccionar y aplicar sus propias estrategias para la gestión sostenible del agua. Aunque la regulación ocupa un papel primordial en la ejecución de actividades sostenibles del agua para evitar contaminación, aún no existe un control estricto y especificaciones meticulosas para la reinsertión de agua pluvial ya sea a mantos acuíferos o evacuación a cuerpos de agua.

El desarrollo de normas que establezcan las formas o métodos a seguir para el manejo de las aguas pluviales difiere en todo el mundo, por ejemplo en Europa, EUA, India y Australia, la legislación está ampliamente desarrollada y puede servir de inspiración en países y regiones del mundo que aún no tienen una base legal para la gestión sostenible de las aguas pluviales.

### 3.2.1. Normatividad en los Estados Unidos de América

La regulación federal en los EUA en materia de agua, establece la referencia de calidad y los criterios a seguir para la gestión del agua. La calidad del agua es verificada por la Ley de Agua Limpia quien dispone como autoridad legal para regular la contaminación del agua; su objetivo es *restaurar y mantener la integridad química, física, y biológica de las aguas de la nación*<sup>24</sup>. En dicha ley autoriza a la EPA actuar como entidad reguladora de la calidad del agua en los Estados Unidos, el establecimiento de normas nacionales para la contaminación se encuentra a cargo de los Estándares de Calidad de Agua (WQS).

La contaminación es controlada a través del Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes (NPDES), que es el organismo encargado de regular las descargas pluviales ya sea de los sistemas municipales de alcantarillado pluvial, de las actividades de construcción y de las actividades industriales.<sup>25</sup> La mayoría de las descargas de aguas pluviales son consideradas fuentes puntuales, por lo que los operadores o usuarios de dichas fuentes, deben ser autorizados por el organismo para realizar descargas de agua de todo tipo. El mecanismo está diseñado para evitar la escorrentía de lavado de contaminantes nocivos en las aguas superficiales locales, tales como arroyos, ríos, lagos y aguas costeras. Sin embargo, es la autoridad local o regional la

---

<sup>24</sup> U.S.Clean Water Act 1972

<sup>25</sup> EE.UU. EPA 2009b

encargada de detallar las normas a seguir. No todos los estados cuentan con la presencia de estos programas, pues son los estados los que crean sus leyes de descargas pluviales.

En cuanto a Normas para el manejo, captación y vertido de aguas pluviales en los EUA se basan a través del Manual de Prácticas para el Buen Manejo (*BPM*)<sup>26</sup>. Aunque la EPA a través de las *BMP* coordina y señala los lineamientos para evitar una contaminación, son los estados y los municipios quienes están autorizados a desarrollar sus propias *BPM*. Se enfocan a la calidad del agua a través de los sistemas de drenaje de aguas pluviales.

Por ejemplo, en el estado de California, el *Manual Construction Site BPM* especifica las prácticas en el manejo de aguas pluviales aprobadas por la NPDES, como el uso de zanjas de drenaje o control de la erosión<sup>27</sup> aunque no establece parámetros químicos ni físicos sobre la calidad del agua que se infiltra.

En septiembre de 2008, la EPA publicó un Manual Municipal de Infraestructura Verde, dando consejos a las ciudades en la aplicación, financiamiento y promoción de la infraestructura verde en calles verdes y métodos de recolección de agua de lluvia.<sup>28</sup>

Para el estado de Pensilvania y exclusivamente en la ciudad de Filadelfia, existe una regulación de las aguas pluviales en la que se han presentado algunos proyectos de infiltración y con la que se administran alrededor de 1 pulgada de lluvia de todas las superficies impermeables en la primera lluvia de la temporada.<sup>29</sup>

Del mismo modo, Portland ha desarrollado normas de aguas pluviales donde exige que para una buena infiltración en un cierto sitio debe contar con vegetación alrededor de la superficie; porque la vegetación puede ser uno de los medios más rentables y ecológicamente eficientes para mejorar la calidad del agua.

En 1995, Portland publicó la ley OAR 690-350-0010 y que actualmente se encuentra dentro de la Ley de Aguas para el Estado de Oregon. En ella autoriza al Departamento de Recursos Hidráulicos en colaboración con el Departamento de Calidad Ambiental de Oregon y algunos otros departamentos en la ejecución de las siguientes actividades:

- Regular los proyectos de derecho del agua;
- Coordinar, revisar y comentar las condiciones de las agencias especializadas en tema de agua;
- Expedir licencias y permisos en materia de recargas artificiales;
- Vigilar el control de calidad en los proyectos de inyección de agua;

---

<sup>26</sup> EUA, EPA, 2010

<sup>27</sup> Guía y manual de campo para las mejores prácticas de construcción en sitio (*BPM*), Estado de California 2003, págs. 26 y 35

<sup>28</sup> EUA, EPA, 2009a

<sup>29</sup> Philadelphia Department of Water 2006, art. S.600.5

- Vigilar que se lleven a cabo las reglas de proyectos de inserción de agua a los acuíferos evitando la degradación y
- Evalúa la construcción de infraestructura de recarga.

Exige que para la construcción de cualquier sistema de recarga de acuíferos, debe expedirse un permiso con el cual el Departamento de Calidad Ambiental (DEQ) estará monitoreando la calidad del agua infiltrada. Además, el procedimiento de recarga de acuíferos con agua pluvial deberá contener un sistema de tratamiento recomendado por alguna institución científica avalada por el Departamento de Calidad.

Contempla que la calidad del agua pluvial en el momento de la descarga a cualquiera de los sitios ya sea en aguas subterráneas o superficiales deben estar libre de los siguientes contaminantes:

- Sólidos en suspensión y sedimentos;
- Metales pesados disueltos y partículas como el plomo, cobre, zinc, y cadmio;
- Los nutrientes tales como nitrógeno y fósforo;
- Bacterias y virus;
- Orgánicos como aceites, grasas, hidrocarburos, pesticidas y fertilizantes
- Materia flotante como la basura y escombros

*La ciudad de Portland tiene los siguientes requisitos para la reducción de contaminantes en los proyectos que se desarrollen por más de 500 m<sup>2</sup> de área impermeable y cualquier desarrollo existente que proponga la creación de nuevas descargas de aguas pluviales fuera del sitio:*

- *El 70 por ciento de eliminación de sólidos suspendidos totales (SST) se requiere del 90 por ciento de la escorrentía media anual.<sup>30</sup>*
- *En las cuencas que han establecido un total de descargas máximas diarias (TMDL), o que se encuentran en la Lista de DEQ 303 (d) de aguas afectadas (Anexo 1-5), las instalaciones de gestión de aguas pluviales deben ser capaces de reducir el contaminante (s) de preocupación, ya que aprobado por BES.*

De ser así, el agua infiltrada debe cumplir con los siguientes requerimientos para Sólidos Suspendidos Totales:

1. Los proyectos pueden utilizar vegetación como se especifica en el capítulo 2 para cumplir con la eliminación del 70% de los SST<sup>31</sup> del 90% de la escorrentía media anual, sin presentar datos adicionales en la eliminación de SST.

---

<sup>30</sup> Véase el Apéndice E del manual de infiltración de para obtener información más detallada acerca de la formulación de normas para reducir la contaminación de Portland

<sup>31</sup> Sólidos Suspendidos Totales

2. Si el proyecto no utiliza vegetación para la reducción de la contaminación, se deberá demostrar, a través del enfoque de rendimiento que la propuesta de infiltración cumple con los requisitos específicos de eliminación de SST<sup>13</sup>.

En caso de tener sistemas de infiltración como lo marca el total de cargas máximas diarias:

1. Los proyectos de desarrollo de cuencas hidrográficas con TMDL<sup>32</sup> establecidos o en la Lista de DEQ 303 (d)<sup>14</sup> podrán utilizar las instalaciones de vegetación del enfoque simplificado o Enfoque Presunta (como se especifica en el capítulo 2)<sup>14</sup>, sin presentar datos adicionales sobre la eliminación de contaminantes.
2. Si un proyecto en una cuenca con TMDL establecidos o la Lista de DEQ 303 (d) utiliza las instalaciones sin vegetación para la reducción de la contaminación, el solicitante debe demostrar a través del enfoque de rendimiento (como se especifica en el capítulo 2) que la propuesta de desarrollo es consistente con TMDL específica o requisitos 303 (d). El requisito básico es seleccionar y utilizar una instalación de gestión de las aguas pluviales que es capaz de reducir los contaminantes de interés, tal como fue aprobado por el BES.

A continuación (Tabla 3.2) se muestran los parámetros a estudiar según sea el caso de descarga y las condiciones de cada uno de ellos.

Tabla 3.2.- Parámetros necesarios para infiltrar agua según sean las condiciones del lugar

Parámetros para descarga total máxima diaria (TMDL)						
Río Columbia	Río Willamette	Pantano de Columbia	Arroyo Johnson	Arroyo Fanno y Ash	Arroyo Tryon	Corriente Westside
<b>Gases totales disueltos de dioxina</b>	Bacterias	Bacterias	Bacterias	Bacterias	Bacterias	Bacterias
		Dioxina	Fósforo	DDT	Fósforo	Temperatura
		Temperatura	Plomo	<i>Dieldrin</i>	SST	
			DDT/DDE	Temperatura	Temperatura	
			<i>Dieldrin</i>			
		Dioxina				
		Temperatura				

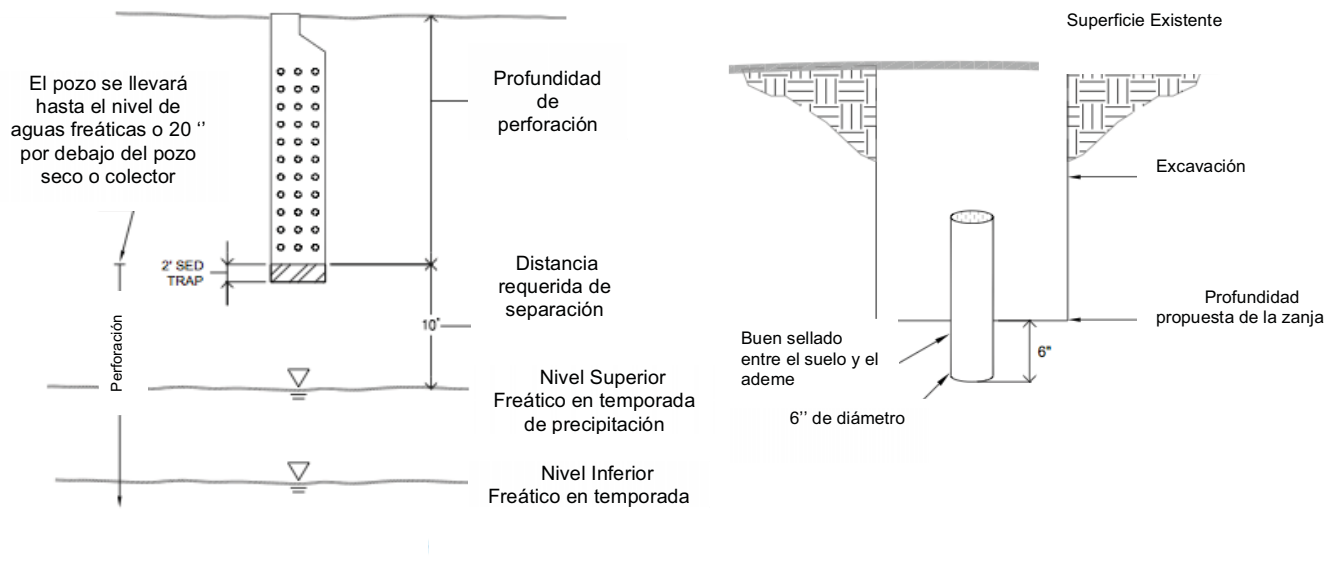
Lista de Parámetros del caso 303d				
Río Columbia	Río Willamette	Pantano de Columbia	Arroyo Johnson	Arroyo Fanno y Ash
<b>Bacterias</b>	Mercurio	Manganeso	PCH	<i>Dieldrin</i>
<b>DBO</b>	Manganeso	Acero	PAH	
<b>pH</b>	Acero			
<b>DDT/DDE</b>	DDT/DDE			
<b>PCB</b>	PCB			
<b>Arsénico</b>	<i>Aldrin</i>			
<b>PAH</b>	PAH			
<b>Temperatura</b>				

Fuente: Manual para el manejo de aguas pluviales, Portland EE.UU. Agosto 2008.

<sup>32</sup> Descarga Total Máxima Diaria, en inglés, *Total Maximum Daily Load (TMDL)*

Existen otras especificaciones en materia de infiltración como el caso de la dimensión de los pozos de absorción, zanjas de infiltración o techos verdes. En cada uno de ellos muestra las necesidades y normas con las que se puede infiltrar el agua. También se muestra en el documento el tamaño de grava o agregado que se necesita para realizar un filtro dentro de un pozo de absorción.(Ver Figura 3.2.)

Con la mayoría de las normas técnicas que expone el manual para el manejo de aguas pluviales, se cree que se tendrá un buen manejo. De ser así, el gobierno estatal afirma en su sitio web: *Si te las arreglas para cuidar las aguas pluviales en tu propiedad, puedes recibir hasta un descuento del 100% en los cargos de gestión de aguas pluviales*, debido a que sus acciones ayudan a proteger los ríos, arroyos y las aguas subterráneas de los efectos dañinos de las aguas pluviales contaminadas. Con ese incentivo, el gobierno desea crear conciencia de la gente para que invierta en infraestructura y tecnología sustentable.



**Figura 3.2.- Diagrama muestra para infiltración de agua pluvial según lo recomienda la Norma de Portland**

Fuente: Portland Stormwater Management Manual Agosto 1, 2008

### 3.2.2. Normatividad en la Unión Europea (Alemania)

En Europa, la legislación que normaliza la cuestión de aguas pluviales es avanzada con respecto a otras naciones. A través del Marco Directivo del Agua de la Unión Europea, todos los países que ya tienen o van a desarrollar una legislación relacionada con el tema del agua deben incluir a las aguas pluviales como tema fundamental en la preservación y uso del agua.

*El Marco Directivo del Agua de la Unión Europea sirve para organizar las zonas de gobierno, fomentar la comunicación y la colaboración, y desarrollar metas para la protección y revitalización de los sistemas de agua*<sup>33</sup>.

Las normas europeas de regulación de agua anteriormente se enfocaban en el agua potable, la pesca, el baño y las aguas subterráneas, y las sustancias peligrosas que no ponen en riesgo el bienestar humano. En la actualidad han involucrado otras tecnologías y usos del agua como la cosecha del agua pluvial ya sea para consumo humano o para re inserción a la naturaleza.

Alemania ha tomado un papel fundamental en la creación de propuestas de normas y ejecución de planes federales. La Ley de Recursos Hídricos por sus siglas en alemán *Wasserhaushaltsgesetz 2010*, establece ideas claras para el uso de los recursos hídricos, incluida la contaminación de las aguas subterráneas y la degradación, el tratamiento de aguas residuales urbanas, la protección ambiental y los riesgos de inundación, y establece reglas para el aprovechamiento de redes de acción comunitaria. Recientemente los métodos adoptados por el gobierno alemán en el caso de la protección al ambiente y uso del agua han sido los que tienen que ver con las aguas pluviales.

Por ello desde el 2009, se creó la Ley Levy para aguas residuales la cual tiene como objetivo primordial "el que contamina paga". Es el primer impuesto ambiental a nivel nacional que atribuye la responsabilidad de la limpieza.

La Asociación Alemana para el consumo del agua, aguas residuales y residuos (*Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall*) ha establecido normas de ingeniería referentes al abastecimiento del agua y ha incluido secciones sobre la planificación, construcción y mantenimiento de los sistemas de infiltración de agua de lluvia, y las normas de tratamiento de aguas pluviales.

Estos documentos, el DWA-153 M (*Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser 2007*) y la DWA-138 A (*Planung, Bau und Betrieb von Anlagen von zur Versickerung Niederschlagswasser 2005*) especifican el diseño técnico para aguas pluviales ya sea para la retención de agua, infiltración, y el tratamiento.

De acuerdo al Diario Oficial de la Unión Europea, las aguas pluviales deberán mantener un estatus de calidad acorde al lugar que se vierta. En ese caso, si se desea descargar aguas pluviales en acuíferos, los parámetros de los que deberá estar libre el agua son:

---

<sup>33</sup> Marco Directivo del Agua, Unión Europea, 2000

- Arsénico;
- Cadmio;
- Plomo;
- Mercurio;
- Amonio;
- Cloruro;
- Sulfato;
- Sustancias sintéticas artificiales como tricloroetileno, Tetracloroetileno y derivados del petróleo como aceites y grasas;
- Se deberán medir los parámetros indicativos de salinidad como la conductividad, temperatura y pH;
- Los nitratos y fósforos no deberán sobrepasar los 50 mg/L y
- Las sustancias activas como plaguicidas, incluidos los metabólicos y los productos de degradación y reacción deberán restringirse a 0.1 µ/L y 0.5 µ/L respectivamente.<sup>34</sup>

### 3.2.3. Normatividad en Reino Unido y Australia

El Reino Unido ha tomado conciencia sobre el desarrollo sustentable en el agua y lo expresa claramente a través de la modernización de los sistemas de drenaje ordinarios en la mayoría de sus ciudades por los *Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable* (SUDS). Aunque no es obligatorio, el programa SUDS recomienda que se utilicen soluciones de infiltración de agua pluvial y el manejo de ellas como objetivo principal.

También la *Declaración de Planificación de Políticas para el Desarrollo y el Riesgo de Inundaciones* del año 2006 exige que los SUDS se consideren como solución viable para evitar los riesgos de inundación. Del mismo modo, la Evaluación de planificación urbana y rural de los Reglamentos Efectos Ambientales establecidos en 1999 determinan que los SUDS pueden utilizarse para mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente.

Como parte integral de las medidas ecológicas, en el sector de la construcción, el "*Documento H*" establece las reglas para el manejo del agua en forma de infiltración a través de los sistemas de tuberías. Los estándares establecidos por parte del Reino Unido en materia de infiltración de aguas pluviales se basan en las Guías de información establecidas por la Asociación para la Industria de la Construcción (*CIRIA*), además de la investigación y recomendaciones en los sistemas de drenaje sustentable (*SUDS*). La publicación de las normas y reglamentos que especifican las estrategias a seguir para un infiltrado óptimo se pueden encontrar por regiones administrativas; ya que cada parlamento ha adecuado las necesidades en cada provincia.

---

<sup>34</sup> Datos según la Directiva 98/8/CE

Por ejemplo, la región que comprende Inglaterra y Gales están inmersos en el mismo manual del manejo de sistemas de drenaje urbano sustentable publicado en el 2000 y la otra parte del territorio, como Irlanda del Norte y Escocia, tienen el manual para el diseño de sistemas de drenaje urbano sustentable publicado igualmente en el año 2000.

Ambos están complementados con el *Código Interino de Prácticas en sistemas de drenaje sustentable* del 2004 que proporciona un enfoque estratégico para el mantenimiento de las tecnologías utilizadas para la infiltración.

Los criterios a seguir por parte de los organismos especificados en el tema de las aguas pluviales recomiendan lo siguiente:

- El agua pluvial para su manejo debe contener tres características principales: buena cantidad, buena calidad y frecuencia .
- La escorrentía puede ser tratada con diferentes dispositivos de infiltración como pozos de infiltración, zanjas o suelos circundantes.
- Se deberán remover en su totalidad sólidos que eviten la absorción del agua por parte del suelo, los desechos o compuestos bioquímicos que contribuyan al crecimiento de microorganismos
- El nivel de tratamiento depende del tamaño de los medios disponibles tales como la longitud de la trayectoria del flujo a través del sistema y el tiempo que tarda en pasar al manto acuífero.
- De ser posible, el agua recolectada deberá tener un Pre-tratamiento antes de infiltrar el escurrimiento y por lo tanto no generar contaminación dentro y fuera del dispositivo de infiltración.

Aún con la descripción que muestra la CIRIA en el manual de sistemas de drenaje urbano sustentable, no especifica la cantidad de contaminantes retenidos pues dentro del documento permite la infiltración de agua pluvial desde distintas formas de captación a diferencia de las normas europeas o americanas. Los espacios de los que recomienda se infiltre agua son :

- Espacios con vegetación.
- Zonas con agregados como grava.
- Dispositivos de construcción como adoquines sólidos con grandes agujeros verticales llenos de tierra o grava.
- Adoquines sólidos con espacios entre las unidades individuales.
- Adoquines porosos con un sistema de huecos dentro de la unidad.
- Superficies continuas con un sistema inherente de huecos y pavimentos permeables.



Por su parte en Australia, se recomiendan las estrategias llamadas Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) que tienen similitud con las establecidas en el Reino Unido. La reciente colaboración entre el "Commonwealth", los estados y gobiernos municipales ha provocado la legislación ambiental estatal y política de planificación del desarrollo específico en las estrategias del WSUD.

El Consejo de Gobiernos Australianos (COAG) ha propuesto reformas en temas del agua para los centros urbanos. El 25 de junio de 2004, se firmó el Acuerdo Intergubernamental sobre la Iniciativa Nacional del Agua que muestra el interés de Australia por la reforma del agua y en 2008 la COAG acordó trabajar en un programa sobre el agua.

Siguiendo los criterios establecidos por la Iniciativa Nacional del Agua, el Consejo de Protección del Medio Ambiente y Patrimonio del Consejo de Administración de Recursos Nacionales, en conjunto con el Consejo Nacional de Salud e Investigaciones Médicas, desarrollaron normas y regulaciones para el uso de agua de lluvia, incluyendo la riesgos ambientales, la recolección de aguas pluviales y recarga de acuíferos.<sup>35</sup>

A su vez se creó el Comité Victoriano de Aguas Pluviales por parte de la Autoridad de Protección Ambiental (EPA) y Melbourne Water Corporation.

Establecieron los principales estatutos para las prácticas eficaces en el manejo de aguas pluviales urbanas. Esta guía proporciona la planificación del suelo urbano, ya sea en situaciones regionales o metropolitanas, con un bosquejo inicial del manejo de las aguas pluviales sustentables. Aunque no es un manual técnico se tratará de normalizar los recientes proyectos WSUD en Australia.

#### 3.2.4. Normatividad en Noruega

La situación en Noruega sobre la captación de agua pluvial -ya sea lluvia o nieve- en las zonas urbanas se basa en dirigir el exceso de agua a los cuerpos más cercanos por medio de tuberías. Ésta práctica tenía por objeto proporcionar un buen ambiente urbano y evitar inundaciones, sin embargo; puede presentarse lo siguiente:

- El aumento de la escorrentía de aguas pluviales en la cantidad e intensidad.
- El aumento de la velocidad del agua y el riesgo de la erosión.
- La reducción del nivel de las aguas subterráneas y los daños a la vegetación y estructuras de los edificios.
- Emisión y dispersión de contaminantes en el agua de superficie (metales pesados y contaminantes).
- El deterioro del entorno ecológico (reducción de la biodiversidad)

---

<sup>35</sup> Ley para la protección del Medio Ambiente de Australia y el Consejo del Patrimonio, 2010

De esta forma las cuestiones relacionadas con la gestión de las aguas pluviales está regulado por varias leyes como son: la Ley de Recursos Hídricos, Ley de Control de la Contaminación en la Ley de Planificación y Construcción.

En general, la Ley de Recursos Hídricos de Noruega, dispone:

- *La explotación y el desarrollo debe ser preferiblemente de manera que la precipitación aún puede drenar a través de la infiltración en el suelo. La Autoridad del Agua podrá ordenar medidas para proporcionar una mejor infiltración en el suelo, si esto puede hacerse sin costos excesivos .*
- Faculta a varias instituciones que están encargadas de vigilar que la infiltración del agua al suelo se dé de manera eficiente y con una calidad aceptable. Para ello *Pollution Act* es la encargada de vigilar que los contaminantes no se propaguen en cuerpos de agua sanos.
- Como sucede en las leyes de otros países, cada municipio están encargado de vigilar que las leyes federales se cumplan y que sean las instancias locales las que detallen y especifiquen las normas correspondientes para evitar una contaminación en demás sitios.

Una diferencia importante con las leyes antes mencionadas, es que mientras algunos gobiernos se preocupan por realizar acciones verdes para beneficiar al ambiente o evitar las inundaciones, en Noruega las acciones de infiltración de agua pluvial o manejo de las precipitaciones es obligada. El clima lluvioso predomina en el país nórdico, llegando a ser excesivas las reservas de agua y por lo tanto es necesario que el agua se capte y se maneje en forma óptima para evitar problemas como los mencionados al inicio.

Según las políticas en cuestión de agua pluvial por parte del ministerio de aguas del gobierno noruego establece que:

- El manejo de aguas pluviales provee de seguridad a los residentes (la vida, la salud, las finanzas).
- Evita daños de las inundaciones y las inundaciones pueden provocar en carreteras.
- Asegurar y evitar problemas en áreas propensas a inundaciones.
- Garantizar la calidad del agua óptima para las aguas superficiales (ríos, lagos, etc).

La Administración de Aguas Pluviales del gobierno noruego plantea los siguientes parámetros que deberán monitorearse en aguas pluviales:

- Monitoreo de metales pesados en las zonas de recarga principalmente Cadmio, Cromo, Cobre, Zinc, Mercurio y Níquel especialmente del agua pluvial recolectada de los centros regionales, las zonas habitacionales y centros financieros.
- Los valores fijos para los nutrientes (fósforo, nitrógeno) y los sólidos suspendidos no deben sobrepasar los niveles de los necesitados para el consumo humano.
- Las aguas pluviales deben tener la misma calidad especificada para aguas superficiales en la Ley de Estocolmo (*VAV Estocolmo, 2002*).

### 3.2.5. Normatividad en la India

La reglamentación sobre el agua pluvial y la infiltración a los mantos acuíferos en la India han crecido durante los últimos años. En la guía de infiltración de agua pluvial recomienda diversos aspectos tanto de construcción, evaluación y mantenimiento, así como el monitoreo para evitar la contaminación.

Según el documento de evaluación de aguas pluviales se recomienda lo siguiente:

- Calidad Física

Si los sólidos en suspensión están presentes en el agua de recarga, las técnicas de aplicación de superficie son más eficientes que las técnicas del subsuelo. A pesar de que las partículas en suspensión pueden causar obstrucción, la infiltración por superficie es la más recomendable. En adición, se usan métodos indirectos de recarga, los sólidos en suspensión no representan algún problema.

También, la recarga artificial presenta sólidos suspendidos en el agua de recarga, las técnicas de aplicación del subsuelo, incluyendo pozos profundos y pozos de absorción, son propensos al fracaso.

- Situación química

El agua de recarga debe ser químicamente compatible con el agua del acuífero a través de la cual fluye el agua. La presencia de gases disueltos en el agua puede causar problemas tanto en los dispositivos de recarga como en el lugar de vertido, pueden alterar el pH del acuífero y reducir su permeabilidad.

No deben estar presentes sustancias tóxicas en exceso de acuerdo a las normas de salud establecidas. Si la recarga artificial tiene como propósito el consumo humano, entonces la fuente de agua debe cumplir con los estándares de agua potable.

- Calidad Biológica

Los agentes biológicos tales como algas o bacterias pueden estar presentes en el agua de recarga siempre y cuando no generen problemas de obstrucción o contaminación. La inyección de agua que contiene bacterias y las algas a través de pozos generalmente no se recomienda debido a que causa la obstrucción de las paredes del dispositivo lo cual es difícil y costoso remedio. Los desechos orgánicos pueden contener bacterias dañinas o promover el crecimiento de otros agentes nocivos produciendo el exceso de nitrato o de otros subproductos.

Se recomienda que las aguas pluviales una vez recolectadas sean tratadas mediante procesos físico-biológicos para erradicar los posibles contaminantes.

## **CAPÍTULO 4.**

### **Condiciones de operación de los pozos de absorción en Ciudad Universitaria**

---

Como respuesta a las necesidades de cuidado del agua los pozos de absorción en Ciudad Universitaria forman parte de las acciones que la UNAM ha realizado en los últimos años para revertir los efectos que causan la contaminación de áreas protegidas y la extensión de sus instalaciones. La escasez de áreas naturales ocasiona que la poca agua precipitada en temporadas de lluvia no pueda filtrarse gradualmente a los acuíferos, además de ocasionar encharcamientos. En vez de recuperar los espacios de agua del subsuelo producto de su explotación, algunos ambientalistas recomiendan otro tipo de soluciones como la cosecha de agua de lluvia y su posterior potabilización.

Tal es el caso de las instalaciones del Instituto de Geofísica, el cual aprovecha las intensas lluvias de temporal para llenar sus cisternas; una vez recolectadas las aguas, los sistemas de baño son suministrados con el agua de lluvia y por ende obtienen un ahorro significativo.

Asimismo el reúso y uso consiente del agua trae la búsqueda de alternativas eficaces, como ejemplo el reciclaje de las aguas residuales en los edificios 12 y 18 del Instituto de Ingeniería.

La necesidad de reutilizar el agua dándole una calidad aceptable, ya sea con tratamientos fisicoquímicos o microbiológicos intervienen en el mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano, pero ciertamente representa costos elevados tan sólo en la manutención y vigilancia.

Por ello, el uso de dispositivos amigables con la naturaleza para recolectar el agua pluvial y reinsertarla en el subsuelo de Ciudad Universitaria puede propiciar varios beneficios como son:

- Recuperar el volumen de agua subterránea.
- Contrarrestar encharcamientos drenando el agua en lugares específicos.
- Libre tránsito en espacios públicos y vialidades.
- Uso adecuado de los recursos naturales.



**Figura 4.1.- Encharcamientos en la zona Sur del D.F.**

Fuente: [www.lajornada.unam.mx](http://www.lajornada.unam.mx) , 18 de julio de 2013

Estas medidas han sido agrupadas dentro del programa interno de manejo del agua de la universidad (PUMAGUA) y gracias a las políticas y medidas de concientización la población estudiantil va generando nuevas propuestas para mejorar el entorno. De esta forma las actividades que puedan realizar las autoridades educativas o gubernamentales incorporándolas en la sociedad civil, ayudarán en el rescate de espacios públicos y mejorar la calidad de vida desde distintos puntos de vista.

#### **4.1.ANTECEDENTES**

Con el objetivo de reducir los problemas de encharcamiento en zonas de Ciudad Universitaria, donde la acumulación de agua en los meses de lluvias es considerable; así como la conciencia de utilizar en forma razonable los recursos naturales, se propuso una solución que resolviera la escasez hídrica y a su vez un tránsito adecuado tanto de automóviles como de peatones.

##### 4.1.1 Inicio de la Obras de construcción

Entre los años 1994 a 1996, bajo la supervisión de la Dirección General de Obras y Servicios Generales de la UNAM, se hicieron perforaciones a más de 50m de profundidad aprovechando las condiciones del terreno. Además, se construyeron unas cisternas para almacenar el agua pluvial y después conducirla hasta los mantos freáticos.

Sin embargo hasta esas fechas, la normatividad en materia ambiental para pozos de absorción no estaba contemplada dentro del catálogo federal. En ese caso establecer las condiciones y características necesarias para la ubicación, uso, manutención y vigilancia de pozos de absorción debió ser un problema; sumado a ello la poca información sobre las distintas formas de cosecha de agua y conducción de agua pluvial a los acuíferos. Hace algún tiempo, el agua colectada era utilizada para el riego de áreas verdes como es el caso de Medicina aunque en la actualidad se ha dejado de usar cambiando el recurso por el agua tratada que abastece la Planta de Tratamiento de aguas residuales "Cerro del Agua".

En otras dependencias, el agua es colectada como solución contra incendios; es así que en la estación central de bomberos de C.U. es utilizada como reserva y en algunas facultades el agua es simplemente conducida al drenaje aunque cuenta con rejillas y canales de captación.

Ciertamente que las obras que pueden llevarse a cabo para reducir cualquier efecto nocivo a la naturaleza debe estar ligado con el uso de materiales que aporten beneficios o no perjudiquen al medio natural.

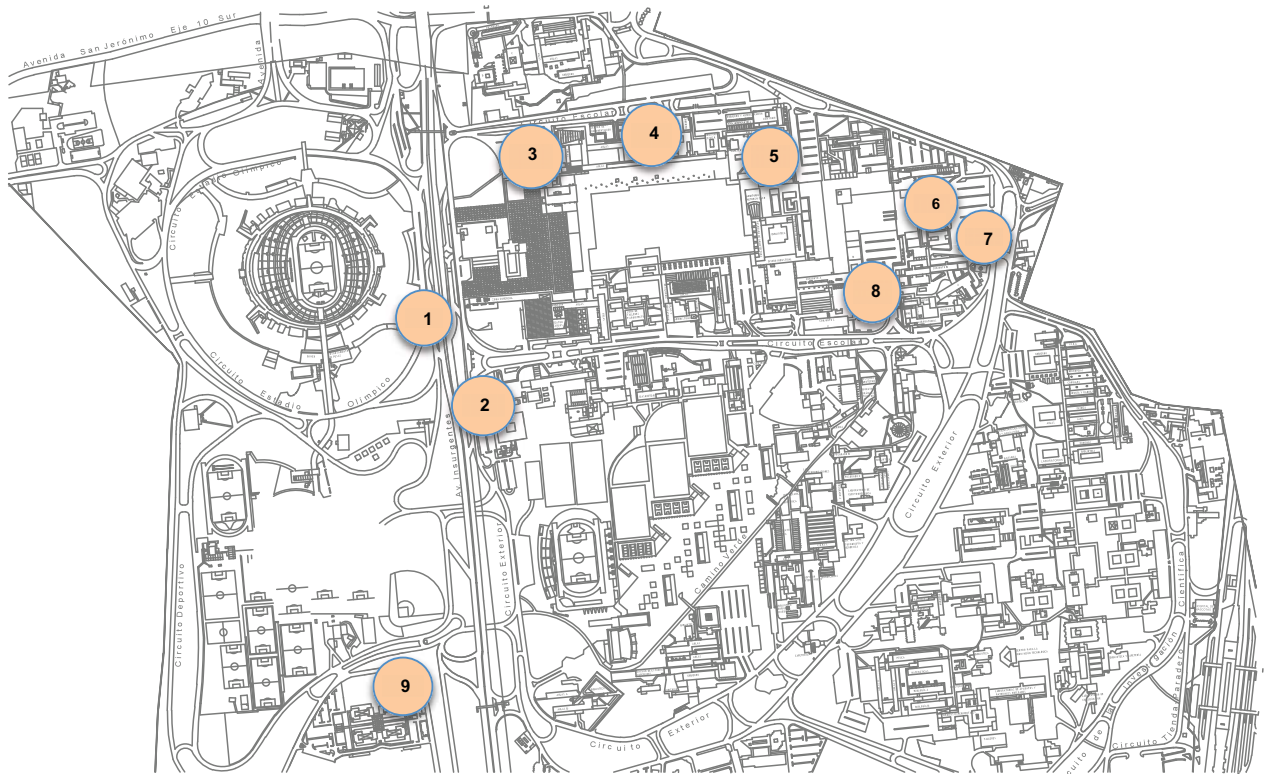
Es así, que los pozos de absorción están ubicados según las necesidades producto de severo estancamiento de agua. Cada pozo de absorción contiene características específicas según el lugar donde se ubique, pero la estructura principal es muy similar entre ellos.

Por tal motivo, nos enfocaremos en la revisión y diagnóstico de las condiciones en que éstos dispositivos operan, evitando un problema ambiental. Según lo informado por algunos colaboradores del Taller de Obras y Conservación que se encargan de la limpieza de los pozos de absorción, actualmente se contemplan 9 pozos de absorción, aunque ésta cifra no es definitiva.

#### 4.1.2. Ubicación de los 9 pozos de absorción

A lo largo de los años en que se fueron construyendo más pozos de absorción no se tuvo un control interno que estableciera las condiciones en que se encontraban los pozos de absorción, el número de ellos y su ubicación.

A pesar de tal circunstancia, se tomará en cuenta lo establecido oficialmente como 9 pozos de absorción distribuidos en su mayoría en la Zona Escolar y ubicados en estacionamientos o áreas verdes cercanas a una edificación listados a continuación:



1. Rectoría
2. Estadio Olímpico
3. Filosofía y Letras
4. Economía
5. Torre de Humanidades
6. Medicina I
7. Medicina II
8. Química
9. Campo de Beisbol

Figura 4.2.- Ubicación de los pozos de absorción en el Campus Universitario <sup>36</sup>

Fuente: DGO, UNAM Ing. Germán Martínez. Abril de 2012

<sup>36</sup> Para observarse con más detalle, refiérase al Anexo Fotográfico

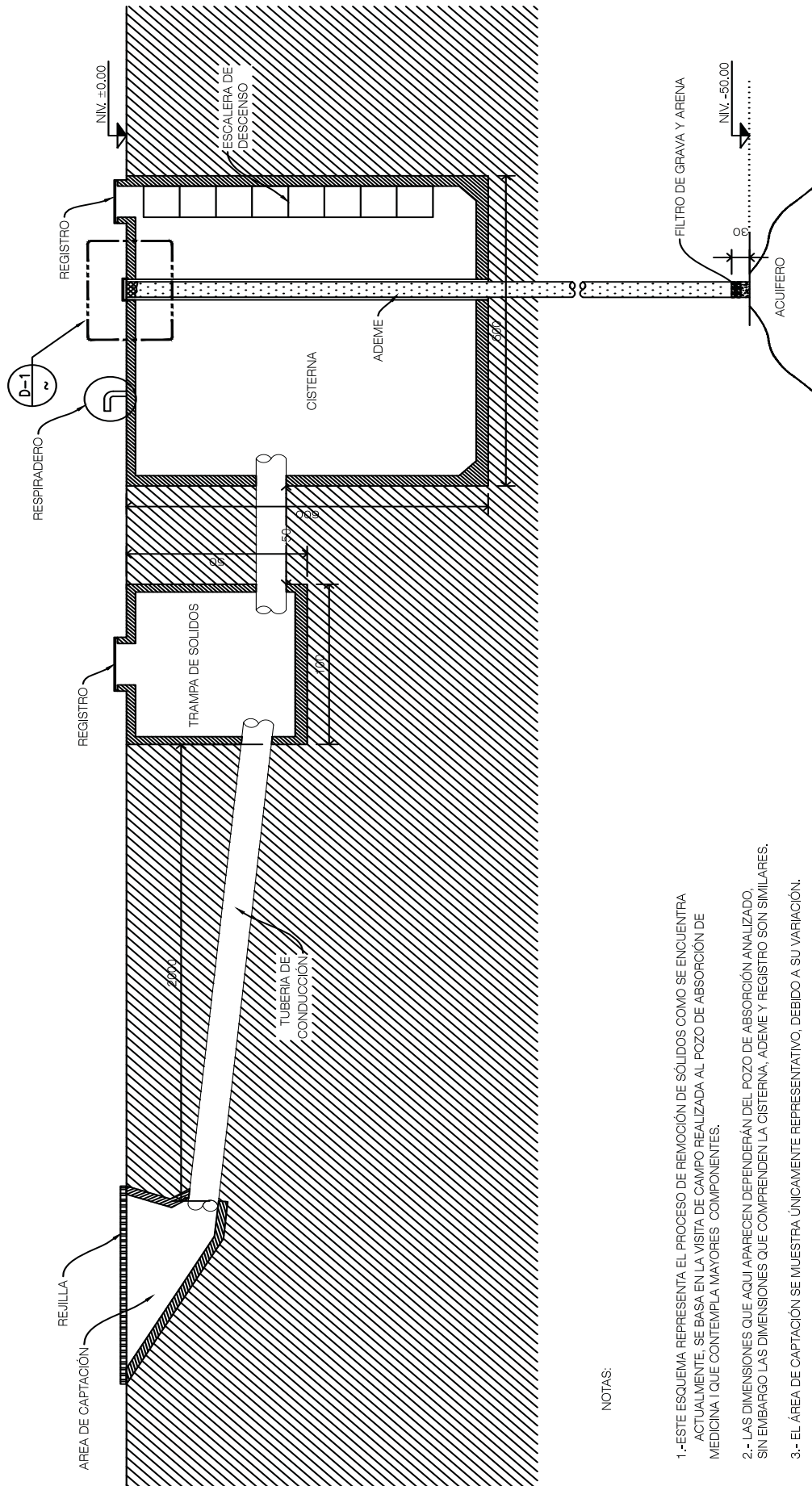
#### 4.1.3. Estructura principal

La estructura está constituida por un ademe de acero perforado, cubierto en la parte superior por una malla que evita el paso de sólidos y sujeta por bastidor de acero. En el fondo contiene un filtro compuesto por tezontle o gravas de 2 a 5 cm de diámetro y arenas o tierra producto de la excavación en un área no mayor a los 60 cm<sup>2</sup>. El grosor estimado es de 15 a 30 cm de espesor en el fondo.

Alrededor de la perforación se construyó de acuerdo a las condiciones del terreno, una o varias cisternas dotadas de varias cámaras que funcionan como espacios de almacenaje.



**Figura 4.3.- Ademe y proceso de infiltración**  
Pozo de absorción de “Filosofía y Letras”, Abril 2012



NOTAS:

- 1.-ESTE ESQUEMA REPRESENTA EL PROCESO DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS COMO SE ENCUENTRA ACTUALMENTE. SE BASA EN LA VISITA DE CAMPO REALIZADA AL POZO DE ABSORCIÓN DE MEDICINA I QUE CONTEMPLA MAYORES COMPONENTES.
- 2.- LAS DIMENSIONES QUE AQUÍ APARECEN DEPENDERÁN DEL POZO DE ABSORCIÓN ANALIZADO, SIN EMBARGO LAS DIMENSIONES QUE COMPRENDEN LA CISTERNA, ADEME Y REGISTRO SON SIMILARES.
- 3.- EL ÁREA DE CAPTACIÓN SE MUESTRA ÚNICAMENTE REPRESENTATIVO, DEBIDO A SU VARIACIÓN.
- 4.- ESQUEMA SIN ESCALA. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.

Figura 4.4 Diagrama de Recolección de agua pluvial en Ciudad Universitaria



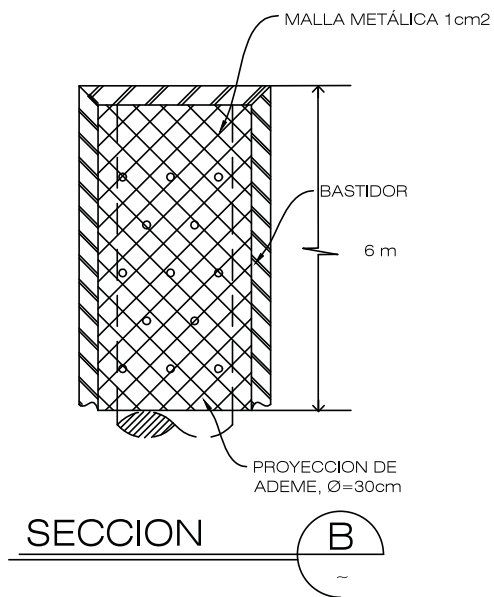
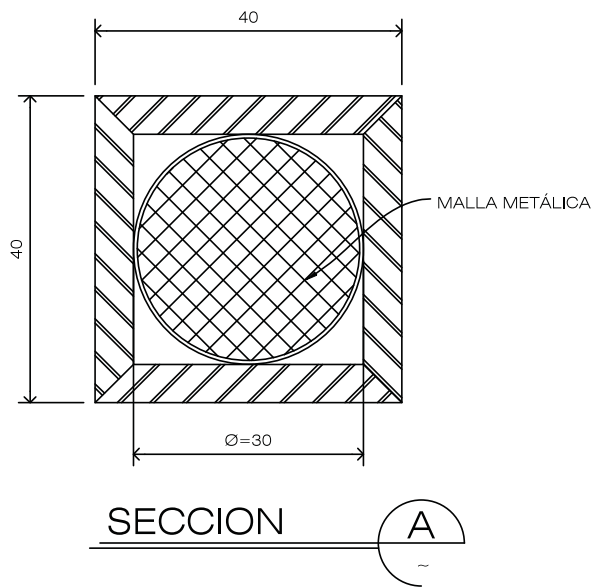
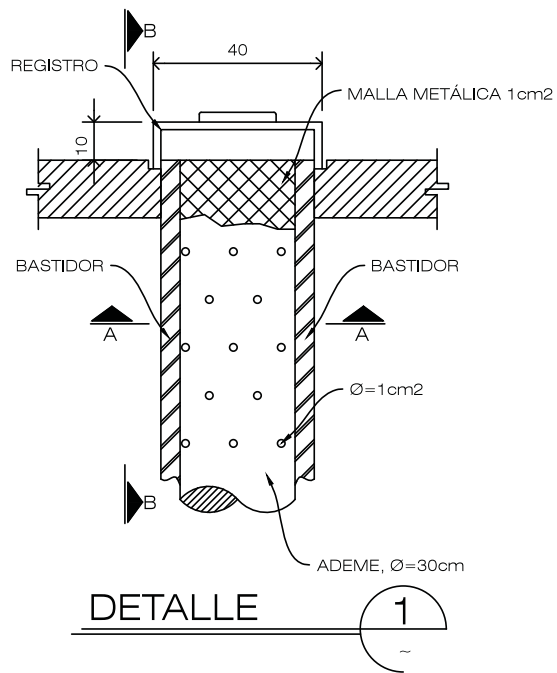


Figura 4.5.- Secciones y Detalles

Cada pozo de absorción tiene condiciones en particular que lo hacen diferente al resto de los pozos aún cuando estos tienen características similares.

Algunas características que difieren entre uno y otro son las siguientes:

- Capacidad de infiltración del suelo.
- Ubicación y dimensionamiento de las cisternas.
- Tipo de tuberías.
- Tamaño y número de canales colectores.

De forma general, todos los pozos de absorción comparten algunas características similares, tales como:

- Rejillas en los conductos.
- Filtros para el agua.
- Cisternas con paredes aplanadas e impermeabilizadas.
- Una o más coladeras para coleccionar el agua.
- Escaleras de ascenso y descenso a las cisternas.
- Tuberías de filtración y conducción forradas con malla de orificios de 1cm<sup>2</sup>.
- Ademe de conducción.
- Bastidor de acero.

A pesar de que los aditamentos e infraestructura necesaria para este tipo de pozos es poca, el agua que se infiltra es pluvial y que la Norma Oficial Mexicana 015 no especifica las características necesarias, se recomienda que sus componentes tales como escaleras de descenso, rejillas o la impermeabilización sean continuamente rehabilitadas o mantenidas en condiciones óptimas.

#### 4.1.4. Mantenimiento

El mantenimiento de los pozos es realizado en 2 etapas a lo largo del año, la primera se realiza durante el mes de diciembre y comprende la limpieza del cárcamo, mientras que la segunda se realiza durante abril y mayo como lo marca la NOM-015- CONAGUA- 2007 artículo 8.1; abarcando la limpieza de tuberías como se muestra en la Figura 4.5a.

La limpieza consiste en introducir un martinete y cepillo que remueven los residuos que obstruyen el flujo del agua a través de la malla de filtración. Al mismo tiempo que se bombean los lodos (residuos orgánicos como hojas y polvo) que se almacenan al fondo de la cisterna. Una vez concluida la limpieza, se introducen 20m<sup>3</sup> de agua limpia a través del ademe y conduciéndola hasta el acuífero. Midiendo el tiempo de filtración, se verifica que el pozo y sus elementos están libres de materia que obstruyan el paso del agua.

El proceso desde la limpieza hasta la incursión de agua tiene un costo aproximado de \$50,000 por cada pozo.

Parte sustancial de una infiltración es el monitoreo constante de los pozos; ya sea desde su limpieza en temporadas de sequía y en época de precipitaciones aún cuando las lluvias sean atípicas y la calidad con la que se reinserta el agua pluvial.



(a) Uso de martinete y escobillas de alambre para la limpieza del ademe



(b) Bombeo del agua para determinar si el ademe y el pozo han quedado limpios

Figura 4.6.- Mantenimiento en Abril de 2012

#### 4.2. CALIDAD DEL AGUA EN POZOS DE ABSORCIÓN

Para conocer a fondo la problemática de los pozos y su situación en temporada de lluvias, se decide realizar una serie de visitas de campo con la premisa de tomar muestras representativas de agua, dadas las condiciones actuales de los pozos de absorción; con esto se pretende tener un registro de las condiciones en las que los pozos opera, ya sea desde su mantenimiento, uso y calidad con la que se está infiltrando el agua pluvial.

Recordemos que la NOM 015-CONAGUA-2007 Infiltración artificial de agua a los acuíferos, aplicable en el Distrito Federal y en la totalidad del territorio nacional, tiene como finalidad proteger las aguas nativas del acuífero.

Se han tomado medidas para contrarrestar la contaminación a dichos cuerpos de agua, pues es una fuente principal de consumo de agua de la población, en mayor medida se debe cuidar la infiltración directa de agua pluvial que ha circulado por superficies que pueden afectar la calidad óptima del agua recolectada.

#### 4.2.1. Elección de pozos de muestreo

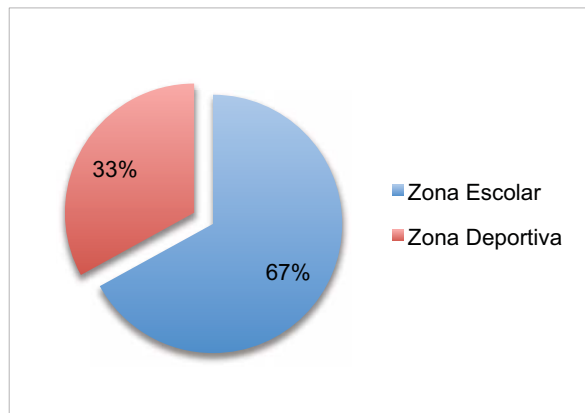
Analizado las opciones que requieren menor inversión económica y mayor accesibilidad para muestreo, asimismo la representación de los diversos escenarios que pueden presentarse en el área a estudiar, se presentan los siguientes criterios para elección:

a) Por su ubicación

Los pozos de absorción están presentes en sólo 2 zonas de las 4 en que se divide el campus universitario, por lo cual lo más conveniente es tomar la muestra en una distribución equitativa.

Como no existe información sobre algún pozo de absorción en las áreas administrativa y cultural, pero si un mayor número de pozos en el área escolar; se limitan las posibilidades de elegir más pozos en ésta zona.

Figura 4.7.- Porcentaje de Pozos de Absorción por Área Administrativa



b) Por entorno y representatividad

Las diversas condiciones en las que se encuentran los pozos de absorción aportarán mayor información sobre cada uno de los dispositivos; agruparlos facilita la investigación, los recursos y permitirá establecer un plan de trabajo en forma generalizada.

Convendría analizar todos los casos pues su entorno es variable (por ej. la presencia o no de vegetación) aunque

imposibilita la comparación entre ellos y la búsqueda de soluciones a una mala operación si fuesen necesarias.



Figura 4.8.-Detención de residuos en el pozo de Economía

c) Disponibilidad

Fue necesario conocer el estado actual de los pozos y su disponibilidad que se refiere al número de registros (coladeras) por los que se introducirá el muestreador.

De ser así también conviene tener presente las localidades en las que se pudiera tomar la muestra de agua porque no tendría la misma calidad el agua que es recolectada en las primeras etapas del tratamiento a conocer el estado final del agua a infiltrar.

En ese sentido, la visita de campo previa al muestreo arrojó lo siguiente:

- El entorno en el que se encuentran los pozos (Tabla 4.1) propician la acumulación de residuos de toda índole, así que buscar los espacios en donde exista la menor cantidad de obstrucciones ya sea por residuos orgánicos e inorgánicos beneficiará en la calidad del muestreo.
- Es importante que el nivel de agua que contienen la cisternas sea la idónea para la recolección de agua pues aún con las intensas lluvias y su almacenamiento; no siempre existirá un volumen constante ya sea en la cisterna como dentro del ademe. Como no se tiene un documento histórico que señale el gasto aproximado por año de las cisternas, se utilizarán las dimensiones como argumento de capacidad.

Tabla 4.1.- Características de los pozos a elegir

Pozo	Área Administrativa	Coladeras o Registros	Entorno	Observaciones
<b>Rectoría</b>	Zona Deportiva	5	Captación de agua del desnivel, conducido por canales, vegetación media alrededor.	Mantenimiento reciente, la cisterna es la de mayor capacidad.
<b>Estadio</b>	Zona Deportiva	3	Captación de agua del desnivel del Estadio.	Mantenimiento nulo, existencia de lodos en el fondo de la cisterna.
<b>Filosofía</b>	Zona Escolar	2	Captación del agua del Circuito Interior, vegetación baja alrededor.	Mantenimiento nulo, existencia de lodos.
<b>Economía</b>	Zona Escolar	3	Captación del agua de azoteas y del Circuito Interior.	Mantenimiento nulo, pozo con mayor capacidad de absorción.
<b>Torre H.</b>	Zona Escolar	3	Captación del agua que cae en estacionamiento, vegetación alta.	No se aprecia.
<b>Medicina 1</b>	Zona Escolar	4	Captación del agua de edificios cercanos y estacionamiento.	Mantenimiento nulo, existencia de lodos en el fondo de cisterna, obra de toma con basura inorgánica.
<b>Medicina 2</b>	Zona Escolar	5	Captación de agua de estacionamiento y Circuito Interior, vegetación baja.	Mantenimiento nulo, abundancia de lodos.
<b>Química</b>	Zona Escolar	3	Captación de agua de estacionamiento y edificios cercanos.	No se aprecia.
<b>C. Beisbol</b>	Zona Deportiva	2	Captación de agua de desnivel, vegetación alta.	No se aprecia.

- Para la toma de muestra puede realizarse en los siguientes espacios:
  - a) Canal de recolección: donde el agua ya pasó la primera rejilla y está libre de materia flotante y sólidos menores a 5 cm.
  - b) Cisterna : En este lugar se presume que el agua esta libre de cualquier sólido únicamente materia orgánica menores a 2 cm.
  - c) Ademe: el agua ha pasado los filtros de residuos con dimensiones superiores a los 5 cm<sup>2</sup> y está lista para infiltrarse .
  - d) Filtro principal: el pozo de absorción tiene un filtro formado por gravas y arenas, pero se encuentra a una profundidad mayor a los 50 m, por lo que tomar la muestra en dicho lugar sería la mejor opción pero representa un alto costo sin asegurar un dato confiable.



Figura 4.9.- Trampa para retener sólidos

El resultado del análisis anterior muestra que los pozos de Rectoría, Economía y Medicina I son las mejores opciones.




Pozo de absorción	Capacidad Neta	Ubicación
<b>Rectoría</b> 	250 m <sup>3</sup>	Desnivel del circuito escolar y reincorporación de la vialidad en Insurgentes Sur.
<b>Economía</b> 	144 m <sup>3</sup>	Estacionamiento para profesores de la Facultad de Economía.
<b>Medicina I</b> 	176 m <sup>3</sup>	Acceso a la Facultad de Medicina.

Figura 4.10.- Pozos elegidos

#### 4.2.2. Programación del muestreo

De acuerdo a estadísticas presentadas por la CONAGUA, la mayor precipitación pluvial en el Distrito Federal se presenta durante los meses de junio a octubre<sup>37</sup>, en tanto se propone llevar a cabo el diagnóstico de la calidad del agua.

Se considera que con las primeras lluvias se produce un arrastre de sólidos que se encontraban estancados en los espacios de conducción del agua; para esto es necesario realizar el muestreo después de las primeras lluvias en donde las muestras de agua sean homogéneas.

Tomando en cuenta la disponibilidad del lugar y periodicidad en los tres para un mejor muestreo, a continuación se muestra la calendarización de visita.

Tabla 4.2.- Calendario de muestreo en pozos de absorción de CU.

Sitio de Muestreo	4ta. Semana Julio 2012	4ta. Semana Agosto 2012	4ta. Semana Septiembre 2012
<b>Pozo Rectoría</b>	del 23 al 27	del 27 al 31	del 24 al 28
<b>Pozo Economía</b>	del 23 al 27	del 27 al 31	del 24 al 28
<b>Pozo Medicina I</b>	Del 23 al 27	del 27 al 31	del 24 al 28

Los muestreos se harán por la mañana en cualquier día de la semana estipulada, con en base a la información proporcionada por la Dirección General de Obras, que estima un tiempo promedio de vaciado de la cisterna al acuífero de 7 horas, y asumiendo que las lluvias se generen por la tarde de cualquiera de los días de la semana.

#### 4.2.3. Parámetros a evaluar

La Norma Oficial Mexicana<sup>38</sup> establece que para considerar la infiltración de agua pluvial en un pozo de absorción saludable y que ésta no afecte la calidad del agua nativa en el acuífero, deberán evaluarse los siguientes parámetros que garanticen la calidad del agua o en su caso realizar los tratamientos necesarios para que los contaminantes no sobrepasen los límites señalados en la tabla 4.3.

<sup>37</sup> Obsérvese en el Anexo las estadísticas de precipitación y mapas meteorológicos estimados para los meses de junio a octubre del año 2012

<sup>38</sup> Se refiere a la Norma Oficial Mexicana 015-CONAGUA- 2007

Tabla 4.3.- Límites de contaminantes en agua para infiltración en acuíferos

	Parámetros	Límite NOM-015-CONAGUA-2007
<b>Fisicoquímicos</b>	Grasas y Aceites	15 mg/L
	Materia Flotante	0 U*
	Sólidos Sedimentables	2 mg/L
	Sólidos Suspendidos Totales	150 mg/L
	Nitrógeno Total	40mg/L
	Fósforo Total	20mg/L
<b>Otro</b>	Coliformes Fecales	0 UFC*/100ml

\*Unidades ,

UFC.- Unidades Formadoras de Colonias

Sin embargo, realizar todos los parámetros de la norma representa un alto costo para el proyecto además de no contar con la instrumentación necesaria para analizar muestras de agua que contengan restos de grasas, aceites y otros compuestos.

Por lo tanto sólo se realizarán los siguientes parámetros:

- Materia Flotante.
- Sólidos Sedimentables.
- Sólidos Suspendidos Totales.
- Nitrógeno Total.
- Coliformes Fecales.

Se tomarán muestras simples de agua por presentarse un bajo caudal recomendado en la Norma Oficial Mexicana correspondiente y la NMX-AA-003-2006.

#### 4.2.4. Equipo y material de muestreo

Para la recolección de muestras simples se utilizará material exclusivo tal y como lo menciona la NOM-015-CONAGUA- 2007 y que especifica en el inciso 6.1 un método de muestreo de la “Guía para el muestreo de aguas subterráneas”, así mismo se considerará la NMX-AA-003-2006 que resume en la tabla XX.XX el tipo de material a utilizar.



**Tabla 4.4.-Características del material de muestreo**

Parámetro	Material de muestreo	Capacidad
<b>Materia flotante</b>	Plástico	5 L
<b>Sólidos Sedimentables</b>	Polietileno	1500 ml
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	Plástico	500 ml
<b>Nitrógeno Total</b>	Polietileno	2 L
<b>Coliformes Fecales</b>	Vidrio/ Bolsas esterilizadas	250 ml

#### 4.2.5. Análisis fisicoquímico

Para mantener un estatus confiable en los resultados a obtener en el momento del análisis, se considerarán los métodos establecidos dentro de la Norma, además del uso de equipo previamente calibrados (Tabla 4.5 y Figura 4.10b).

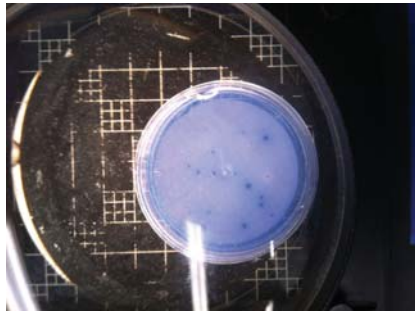
**Tabla 4.5.- Métodos de análisis y equipo a utilizar**

Parámetro	Método de análisis	Equipo utilizado
<b>Materia flotante</b>	NMX-AA-006-SCFI-2000	Malla de acero inoxidable con abertura de 3.3 mm
<b>Sólidos Sedimentables</b>	NMX-AA-004-SCFI-2000	Cono Imhoff
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	NMX-AA-034-SCFI-2001	Filtros, balanza, estufa
<b>Nitrógeno Total</b>	NMX-AA-026-SCFI-2001	Digestor

#### 4.2.6. Análisis microbiológico

El análisis microbiológico solo incluye la determinación de coliformes fecales, la presencia de éste parámetro dentro de la muestra reporta contaminación (Figura 4.10 a)

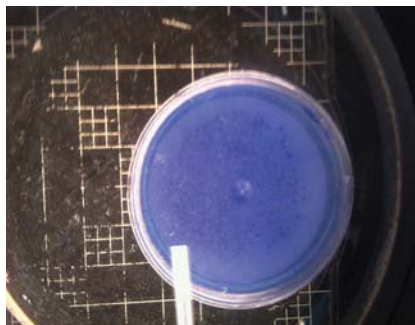
Parámetro	Método de análisis	Equipo utilizado
<b>Coliformes Fecales</b>	NMX-AA-102-SCFI-2006	Filtración por membrana



1.- Análisis microbiológico en Pozo de Rectoría, mes de Agosto 2012



2.- Prueba de Sólidos sedimentables en los 3 pozos para el mes de Septiembre de 2012. Obsérvese el contraste entre cada uno de los conos Imhoff.



1.- Análisis microbiológico en Pozo de Medicina I, mes de Octubre 2012



2.- Prueba de Sólidos Suspendidos Totales en los 3 pozos para el mes de Septiembre de 2012. Obsérvese el contraste de color entre cada uno de los filtros que denota la presencia de sólidos.

(a) Microbiológico

(b) Físicoquímico

**Figura 4.11 .- Análisis Físicoquímico y Microbiológico**

## **CAPÍTULO 5.**

### **Resultados y Discusión**

---

El objetivo principal de un análisis fisicoquímico y/o microbiológico en el agua, es describir en forma puntual las características y componentes que tenga. Dentro del área sanitaria, evaluar la calidad del agua que se infiltra en un pozo de absorción aporta información no sólo para realizar un tratamiento o contrarrestar una operación deficiente; sino también prevenir los riesgos que ponen en peligro la integridad de los seres vivos y ejecutar las soluciones convenientes.

#### **5.1. RESULTADOS FISICOQUÍMICOS**

Durante el recorrido por los pozos de absorción de Ciudad Universitaria y la recolección de muestras, se tuvieron los cuidados necesarios para transportar las muestras al laboratorio del Instituto de Ingeniería. El proceso de las muestras se siguió conforme a las normas correspondientes para no inferir en los resultados.

Evaluar las características físicas del agua pluvial como sólidos suspendidos totales o sólidos sedimentables; determinan la presencia de sales inorgánicas como calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Las bajas concentraciones de éstos sólidos no representan algún peligro para la salud; aunque si se consume puede tener un sabor desagradable.

Anteriormente se pensaba que verter agua contaminada en espacios por debajo de la superficie, no significaba un riesgo; porque el paso por los estratos y sus espesores pudieran funcionar como filtros y eliminar los contaminantes. En la actualidad se sabe que una gran cantidad de agentes tóxicos desde compuestos orgánicos sintéticos, trazas metálicas y microorganismos patógenos permanecen en el agua aún con el tránsito del líquido por agregados de distintos espesores. Ésta es la razón principal por la que la NOM 015-CONAGUA-2007 obliga a que todos los residuos físicos y químicos sean removidos con tratamientos previos a la conducción de agua hacia los mantos freáticos.

Del mismo modo, el contenido de compuestos químicos en aguas donde su destino final es el consumo humano puede traer consecuencias de riesgo. Como es el caso del nitrógeno total, que refleja la cantidad de nitrógeno orgánico ya sean proteínas, ácidos nucleicos y amonio.

El exceso de nitrógeno total causa eutrofización en el agua esto se debe a que el agua se enriquece en forma anormal de nutrientes. Comienza una elevada proliferación de algas y microorganismos, aumenta la actividad metabólica consumidora de oxígeno por parte de los descomponedores y eleva el índice de contaminación.

### 5.1.1. Pozo de Rectoría

Las condiciones que guarda el pozo de Rectoría se presumen aceptables en consecuencia a la calidad del tratamiento de las aguas pluviales (Tabla 5.1 y Figura 5.1).

La cisterna que aloja el agua recolectada a través de los canales y rejillas está equipada con doble cámara separada por un muro de mampostería que funge como filtro de al menos 40 m<sup>2</sup>, gracias a ello la presencia de materia flotante en los tres muestreos es nula.

En el caso de los Sólidos Suspendidos Totales, las cifras van aumentando a medida que la temporada de lluvias culmina. Puede tratarse como normal la presencia de sólidos por el arrastre natural en el primer muestreo, sin embargo la presencia de mayores concentraciones de sólidos suspendidos en los siguientes meses demuestra una deficiencia en alguna parte del tratamiento.

Así mismo los sólidos sedimentables van en aumento conforme continúa el estudio. El valor de éste parámetro al igual que los dos anteriores no demuestran algún peligro de contaminación.

Durante el mes de Agosto, la existencia de nitrógeno total responde posiblemente a la descomposición de materia orgánica puesto que en el entorno hay presencia de árboles y vegetación. A pesar de que el análisis arrojó una concentración de 2.66 mg/L, el valor es bajo.

Tabla 5.1.- Parámetros de Rectoría

Rectoría				
Meses				
Parámetro	Agosto	Septiembre	Octubre	NOM-015
Materia flotante	0	0	0	0 U*
SST	38	88	70	150 mg/L
Nitrógeno Total	2.66	0	0	40 mg/L
S. Sedimentables	0.4	0.4	0.5	2 mg/L

\*U.- unidades

En la Figura 5.1 se muestra el pozo de rectoría en condiciones normales, obsérvese la presencia de gran cantidad de residuos sólidos lo cual pudiera explicar el valor de los parámetros analizados anteriormente.



Figura 5.1.- Pozo de Absorción de Rectoría previo al muestreo

Fotografía tomada el día 28 de agosto de 2012

### 5.1.2. Pozo de Economía

Para explicar los valores del análisis fisicoquímico en el pozo de Economía debe suponerse que, a diferencia de los otros dos pozos, la capacidad de infiltración es mayor. Se puede asociar este evento con la existencia de una grieta<sup>39</sup> que agiliza la conducción del agua o en otros casos la composición de estratos diferentes a la roca basáltica. Sólo con un estudio estratigráfico se pueden conocer las razones por las que el agua atraviesa a mayor velocidad las diferentes capas de suelo.

Por lo que se refiere a sólidos suspendidos totales el mes de agosto tuvo mayor arrastre de partículas rebasando hasta en un 50% más del límite establecido por la NOM-015-CONAGUA-2007 y en los meses restantes la concentración de sólidos fue disminuyendo, por debajo de los límites requeridos.

No así en los sedimentables, donde observamos en la Tabla 5.2 que el valor correspondiente al mes de septiembre se encuentra en el valor límite de la Norma. Para los meses de agosto y octubre no representa algún problema.

El valor del nitrógeno total cumple lo propuesto por la noma al igual que el pozo de Rectoría aunque en este caso es mayor.

Tabla 5.2 Parámetros de Economía

Economía				
Meses				
Parámetro	Agosto	Septiembre	Octubre	NOM-015
Materia flotante	0	0	0	0 U*
SST	323	114	20	150 mg/L
Nitrógeno Total	3.64	0	0	40 mg/L
S. Sedimentables	2.3	2	0.7	2 mg/L



Figura 5.2.-Pozo de Absorción de Economía horas después del muestreo

Fotografía tomada el día 28 de agosto de 2012

<sup>39</sup> Por grieta se conoce como la abertura que existe entre dos bloques de roca basáltica que predomina en la zona.

### 5.1.3. Pozo de Medicina I

La ubicación del pozo de medicina obliga a tener mayor limpieza dado que es el pozo más transitado, aunque no por ello los resultados de materia flotante deberían ser positivos si el funcionamiento de las trampas de retención fueran las adecuadas. La ausencia de materia flotante en el mes de octubre puede responder a una limpieza por parte del Taller de Obras y Conservación.

Según la Norma<sup>40</sup>, los sólidos suspendidos totales pueden permitirse hasta 150 miligramos en cada litro de agua, de ésta forma los valores arrojados por el muestreo se encuentran dentro del rango. Lo mismo sucede con los sólidos suspendidos totales y nitrógeno total que cumplen los requerimientos señalados en la Tabla 1<sup>41</sup> de la Norma.

Tabla 5.2 a.- Parámetros de Medicina

Medicina				
Meses				
Parámetro	Agosto	Septiembre	Octubre	NOM-015
Materia flotante	Detectable	Detectable	Detectable	0 U*
SST	41	90	58	150 mg/L
Nitrógeno Total	2.94	0	0	40 mg/L
S. Sedimentables	0.5	0.2	0.6	2 mg/L

<sup>40</sup> Se refiere a la Norma Oficial Mexicana 015 – CONAGUA- 2007

<sup>41</sup> Refiérase en el Anexo a la Tabla 1 de la sección 5.2.3. de la NOM-015-CONAGUA-2007

## 5.2. RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Las características fisicoquímicas y organolépticas que describen la calidad del agua son: olor, color, sabor (en su caso del agua potable), que se evalúan conforme a la turbiedad y temperatura. Otros parámetros que son de vital importancia conocerlos porque permiten contrarrestar enfermedades producto de microorganismos patógenos, son los microbiológicos en especial las coliformes fecales, porque la ausencia de éstas bacterias indica una seguridad bacteriológica. Comúnmente se alojan en los intestinos humanos y animales, evacuados se establecen en heces fecales, suelos, semillas y vegetales .

En el momento de la precipitación y el escurrimiento superficial, el agua va adquiriendo gran cantidad de compuestos orgánicos debido al trayecto por superficies contaminadas.

La importancia de analizar biológicamente al agua pluvial que se introduce en un acuífero, resulta benéfico porque evita la proliferación dentro de los mantos freáticos y favorece la calidad del agua que se extrae.

### 5.2.1. Coliformes Fecales

En un análisis microbiológico para agua de pozos de absorción, el límite según las Normas 127 y 015, deberá marcar ausencia de colonias<sup>42</sup> microbiológicas (coliformes fecales) por cada 100 ml de muestra de agua. En tal caso, si al realizar el estudio se encuentra la presencia tan sólo de una colonia, se puede determinar que el sitio se encuentra en un grado de contaminación.

Como se presenta en la tablas siguientes, en general todos los pozos presentaron por arriba de las 300 colonias de coliformes fecales en los primeros meses de muestra. El lugar mas contaminado fue Medicina I, llegando hasta  $4E +07$  de colonias en 100 ml de agua pluvial a infiltrar durante el recorrido que se realizó en el mes de Agosto. La cifra puede ser alarmante porque significa la proliferación extensiva de microorganismos dentro de los mantos acuíferos.

No bastando el resultado anterior, para el mes de Septiembre se encontró una ligera disminución pero permaneciendo en un grado alto de contaminación con  $3E +05$  de colonias. Debe entenderse que la presencia de colonias disminuyó a medida que las precipitaciones también disminuyeron.

Las mediciones realizadas en Rectoría reportaron la presencia de hasta  $1 \times 10^3$  de colonias en Agosto y Septiembre, y para Economía los resultados fueron en ascenso de  $3 \times 10^3$  a  $5 \times 10^3$  .

En Octubre las colonias microbiológicas en el muestreo de todos los pozos disminuyeron en 100%, lo que determina la ausencia total de microorganismos y una calidad de agua aceptable.

---

<sup>42</sup> Las colonias microbiológicas expresa un número relativo de microorganismos en un volumen delimitado de agua, comúnmente UFC.

Tabla 5.3.- Resultados Microbiológicos

Rectoría	
Mes	Coliformes Fecales (UFC <sup>43</sup> /100ml)
Agosto	1000
Septiembre	1000
Octubre	0

Medicina	
Mes	Coliformes Fecales (UFC/100ml)
Agosto	4000000
Septiembre	300000
Octubre	0

Economía	
Mes	Coliformes Fecales (UFC/100ml)
Agosto	300
Septiembre	5000
Octubre	0

### 5.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para conocer el grado de contaminación en los pozos seleccionados de acuerdo a los límites establecidos en la NOM-015-CONAGUA-2007, se hará una comparación de los resultados obtenidos en cada pozo y así determinar la situación en la que se encuentra cada uno.

Es de vital importancia argumentar los resultados obtenidos con la precipitación ocurrida durante la toma de muestra, puesto que se encuentran íntimamente relacionados.

Según datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), el Distrito Federal presentó un volumen de precipitación anual de aproximadamente 568.9 mm. El mes con mayor precipitación pluvial fue Julio con 160.5mm.

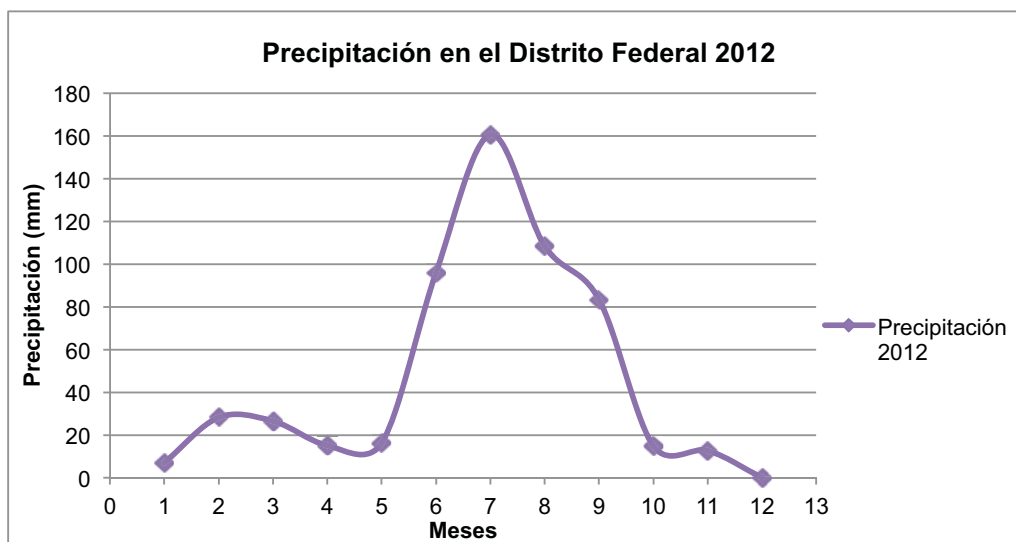


Figura 5.3 Precipitación anual 2012

Fuente : Reporte Anual 2012, SMN

<sup>43</sup> UFC.-Unidades Formadoras de Colonias .



Los meses en los que se tomaron las muestras presentaron los siguientes volúmenes de precipitación:

Tabla 5.4.- Precipitación en el Distrito Federal 2012

Mes	Agosto	Septiembre	Octubre
<b>Volumen (mm)</b>	108.4	83.4	14.9

Fuente: Sistema de Información Hidroclimatológica CONAGUA

Según el análisis de lluvias para 2012, demostró que el volumen precipitado disminuyó 4.5% de lo estimado normalmente, lo que repercute en los días de muestreo y la calidad del agua examinada.

Tabla 5.5 .- Lluvia mensual a nivel nacional durante 2012 y promedio (1941-2011)

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
<b>2012</b>	129.6	164.8	126.1	52	22.4
<b>Promedio (1941-2011)</b>	141	138.8	142.8	74.8	31

Fuente: Sistema de Información Hidroclimatológica, CNA

Analizar la calidad del agua que se infiltra en un pozo de absorción, representa no sólo el estado actual del proceso de recolección e infiltración con el que cuentan los dispositivos de Ciudad Universitaria, sino también la acumulación de residuos en el agua producto del lavado atmosférico.

El Distrito Federal, tiene el problema de la contaminación del agua por lavado atmosférico durante las lluvias. Así, entran al agua el monóxido de carbono, óxidos de azufre y nitrógeno, hidrocarburos y metales pesados como plomo, cadmio y zinc. Se demostró que la Ciudad de México tiene baja calidad en el agua drenaje durante la época de lluvias<sup>44</sup>.

En la tabla siguiente se hace una comparación entre la calidad del agua en el drenaje durante la época de secas y el estado que guarda el agua en el drenaje durante la época de lluvias; debe notarse un aumento en la concentración de contaminantes.

Tabla 5.6.- Comparación de contaminantes en el D.F. producto del lavado atmosférico

Parámetro	Valor Promedio en época de secas	En época de lluvias
<b>DBO, mg/L</b>	341	427
<b>SST, mg/L</b>	295	264
<b>Huevos helmintos, HH/L</b>	17	40

Fuente: La contaminación Ambiental en México, Jiménez 1998

<sup>44</sup> La Contaminación Ambiental en México, Jiménez 1998

### 5.3.1. Físicoquímicos

Durante los primeros eventos de precipitación en la época de lluvias, los canales de recolección conducen el agua con mayor cantidad de contaminantes variados a consecuencia de un arrastre natural de sustancias que pudieron alojarse con anterioridad mientras no se presentara algún caso de lluvia. En el momento de presentarse mayor frecuencia de lluvias, los elementos de conducción y tratamiento desalojan las sustancias contaminantes y por ende filtran con mejor calidad el agua almacenada en las cisternas. Sin embargo, cuando todos los elementos<sup>45</sup> reciben un mantenimiento periódico, la probabilidad de arrastre disminuye de la misma forma que la contaminación.

### Sólidos Suspendidos Totales

En el caso de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) podemos observar en la Figura 5.4 que a lo largo del tren de muestreo, la concentración de sólidos por cada litro mantuvo una tendencia a la baja para el caso del pozo de Economía. Sin embargo el alto grado de sólidos en el mes de agosto denota la necesidad de mayor limpieza ya sea por la acumulación de residuos en las azoteas y/o canales que adhirieron importantes cantidades de contaminantes. A medida que la frecuencia de lluvias sucedieron, las superficies quedaron libres de sólidos y por lo tanto el riesgo de contaminación disminuyó. No así sucede con Rectoría y Medicina I que tienen una trayectoria similar entre sí, pero que las circunstancias de arrastre no se presentaron de la forma anterior.

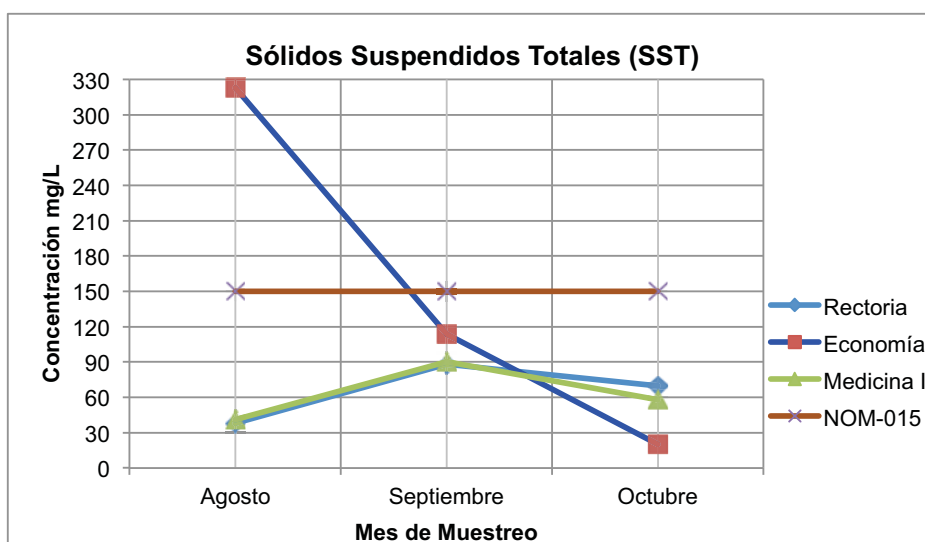


Figura 5.4.- Sólidos Suspendidos Totales

Según los datos obtenidos, existió un bajo nivel de sólidos en el primer muestreo pero adquirieron un aumento considerable en el mes de Septiembre. Pudiera explicarse ésta variación, al entorno vegetal en que se encuentran; a diferencia del pozo de Economía en el que la presencia de árboles, arbustos y medios orgánicos van de contenidos bajos a nulos.

<sup>45</sup> Por elementos de un pozo de absorción se entiende: canales de recolección, rejillas, canales de conducción, trampas de sólidos, cribas, mallas retenedoras de sólidos, cisterna y ademe; descritos con anterioridad.

### Nitrógeno Total

A su vez el análisis de agua en busca de concentraciones de nitrógeno total denotaron un nivel adecuado en aguas para infiltración subterránea. En general, los tres sitios examinados se comportan en forma similar tendiendo a la ausencia de este compuesto orgánico.

Como se ha mencionado anteriormente, el decremento de nitrógeno total puede suponerse gracias a la disminución de contaminantes ( materia orgánica en descomposición) a lo largo del proceso de recolección y tratamiento.

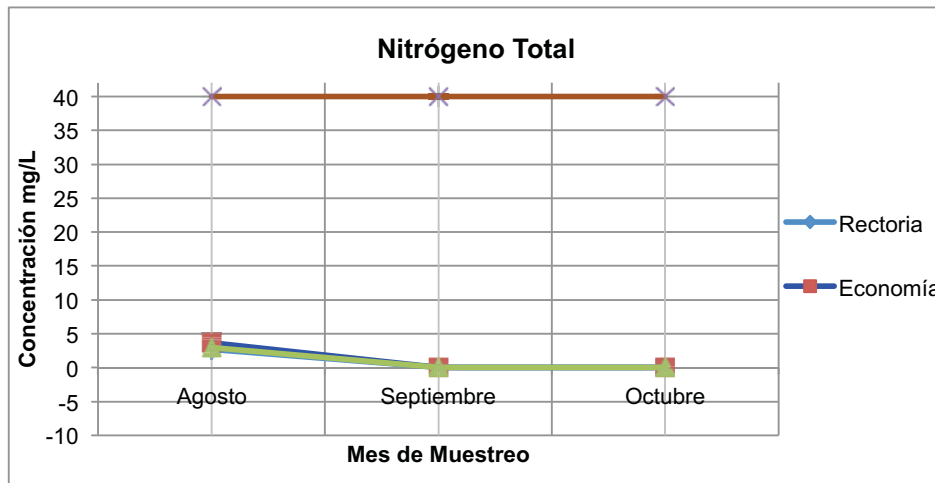


Figura 5.5 Nitrógeno Total

### Sólidos Sedimentables

A pesar de la calidad en la que los pozos se encuentran, la fluctuación de valores entre Agosto y Septiembre expone un aumento de sustancias orgánicas e inorgánicas presenten ya sea en las operaciones de captura o dentro de la cisterna.

Economía maneja un comportamiento similar en la concentración de SST, que se refiere a la disminución de compuestos debido a la constante circulación de agua.

En el pozo de Medicina I encontramos una ligera disminución en el mes de Septiembre.

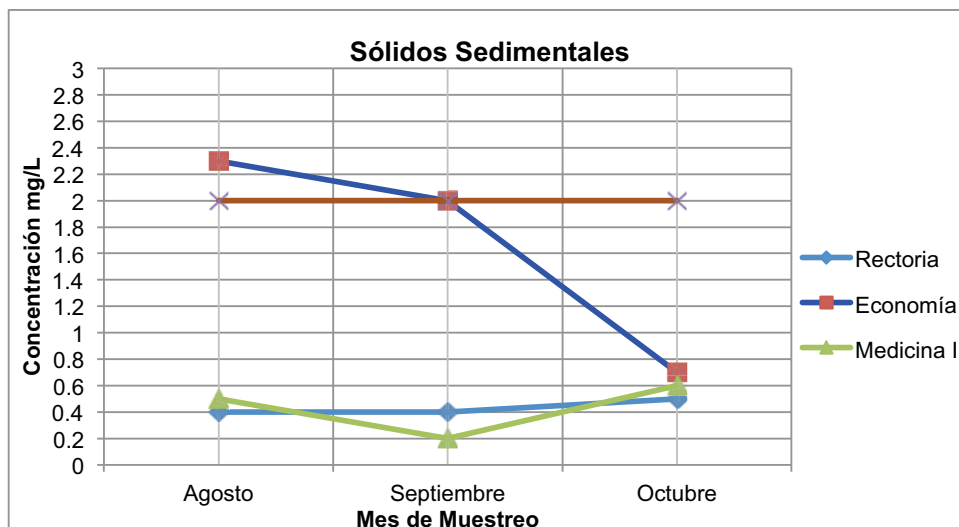


Figura 5.6.- Sólidos Sedimentables

### 5.3.2. Microbiológicos

La contaminación por agentes microbiológicos en agua pluvial se puede referir al tránsito del agua por superficies contaminadas por residuos orgánicos o también el alojamiento de microorganismos durante la precipitación.

#### Coliformes fecales

Los exámenes microbiológicos que se le practicaron a las aguas en los pozos de la UNAM, demuestran que existen grandes concentraciones de organismos patógenos. La formación de colonias de coliformes fecales en 100 ml de agua registraron de 300 hasta  $4000 \times 10^3$  colonias.

El pozo más contaminado fue el pozo de Medicina I y el mes con mayor frecuencia de contaminantes fue Septiembre para los casos de Economía 1000 UFC/100 ml y Rectoría 500 UFC/100 ml.

Todos los pozos reportaron contaminación al menos en Agosto y Septiembre, pero en Octubre la baja disponibilidad de agua y el transcurso de la época de lluvias registraron ausencia de microorganismos.

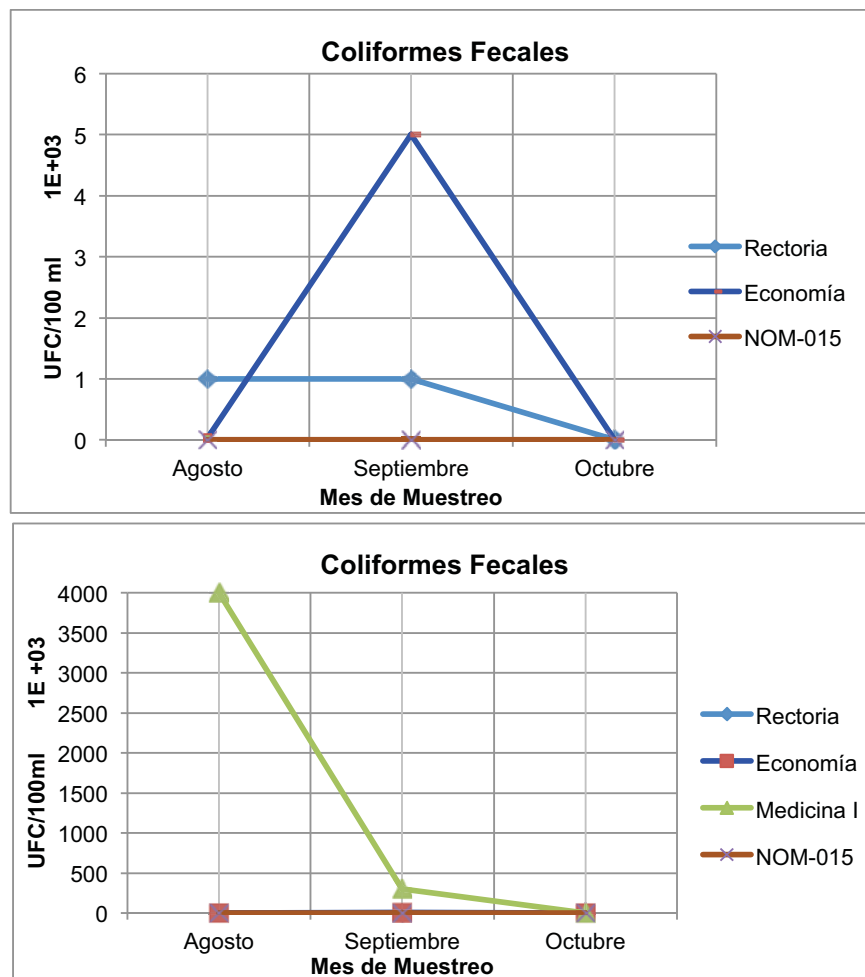


Figura 5.7.- Coliformes Fecales

### 5.3.3. Otros

A pesar de que el análisis de laboratorio sólo incluye la toma de muestras y la medición de límites establecidos en la norma, se tomaron en cuenta también las visitas de campo para diagnosticar el estado actual de los pozos de absorción.

Se observó visualmente que el flujo del agua pluvial se da por superficies con altos contenidos de hidrocarburos puesto que los pozos en su mayoría están alojados en estacionamientos o espacios donde se ubican automóviles; propiciando así el contacto directo entre estos contaminantes y el agua pluvial a infiltrar.

Estos espacios contribuyen a mayor contaminación además de no contener los tratamientos adecuados para evitar la contaminación excesiva. Como se indicó anteriormente, el paso del agua por los diferentes estratos de suelo no aseguran que éstos detengan las cantidades de hidrocarburos en los agregados de los que se constituyan provocando un riesgo ambiental. (Obsérvese el Anexo Fotográfico)

## **CAPÍTULO 6.**

### **Conclusiones**

---

El presente diagnóstico de los pozos de absorción de Ciudad Universitaria, permitió conocer la situación ambiental en que se encuentran dichos dispositivos, además de la calidad físico-química con la que se infiltra el agua pluvial.

Con base en la NOM 015- CONAGUA- 2007 que establece los límites permisibles de calidad que debe contener un agua de lluvia que es filtrada al acuífero, y al análisis integral de la información expuesta; se llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Según los datos obtenidos de la etapa de muestreo y análisis del agua pluvial en la temporada de lluvias 2012, los tres pozos de absorción contemplan contaminación principalmente los meses de Agosto y Octubre, de acuerdo a los 5 parámetros establecidos en este trabajo.
2. De acuerdo al muestreo, el pozo de Medicina I es el lugar con mayor contaminación esto con base en los datos proporcionados por el análisis de laboratorio en las pruebas de materia flotante, sólidos suspendidos totales y coliformes fecales.
3. Aunque no se evaluó en forma puntual la concentración de hidrocarburos en el agua pluvial, durante las visitas de campo se constató visualmente la presencia de estos contaminantes; puesto que la mayoría de las cisternas de almacenamiento de agua pluvial y los pozos de absorción se encuentran en algunos casos dentro de un estacionamiento o cercanos a ellos, lo que propicia la recolección de dichos contaminantes.
4. Es necesario efectuar adecuaciones al tren de tratamiento de agua pluvial, puesto que las cribas y trampas de sólidos no son eficientes para detener contaminantes (restos de hojas, polvo y basuras inorgánicas como botellas y plásticos), además de no contener espacios para la remoción de grasas y aceites, así como los métodos para eliminar parámetros biológicos.
5. La limpieza y manutención son procesos importantes para el buen manejo de las aguas pluviales, por ello se recomienda rehabilitar los ademes en estado de corrosión; la limpieza de las cisternas, canaletas y tuberías de conducción evitando que el flujo del agua contribuya a una mayor contaminación.
6. El desarrollo de la presente tesis permitió el reconocimiento de los pozos de absorción, su cuantificación y ubicación; por lo que se recomienda que se realicen mayores estudios e investigaciones sobre el número de pozos construidos y evaluar sus características para

disminuir el riesgo ambiental que supone el estado en que se encuentran los pozos evaluados.

7. La infiltración de agua pluvial al acuífero, es un proceso adecuado que rehabilita las aguas subterráneas de la extracción sin medida; evita el derrumbe de construcciones e implementa mayor disponibilidad de agua, por lo que el uso de éstos dispositivos no solo drena el agua acumulada por las intensas lluvias; sino que contempla un plan integral de reúso del agua.
8. Con base en lo investigado, se recomienda que la población colabore en las prácticas de reutilización de agua pluvial, así como en las distintas formas de concientización en el uso del agua.
9. Deberán revisarse las políticas verdes, así como ampliar su normatividad en el caso de aguas pluviales y su reuso.

## CAPÍTULO 7.

### Bibliografía

---

- Abedrop, Salomón et. al. “*El gran reto del agua en la Ciudad de México*”, Sistema de aguas de la Ciudad de México, Octubre de 2012.
- AbwAG, “*Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer*”, Buchst Berlin Deuscht, Aa G v, 2010.
- Allison G.B, Gee G.W. “*Groudwater recharge*”, Enciclopedia of life sopport systems University of Kanzas, Lawrence USA, 1974.
- Aparicio J. “*Fundamentos de hidrología de superficie*”, Editorial Limusa, Cap. 2 y 7, 2004.
- Arnal, Luis. “*Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*”, Reimpresión, México, 2010.
- Brobdeck, Klaus. “*Agua de lluvia en Alemania*”, Berlín, 2010.
- Brown Chris, Gerston. “*The Texas manual ion rainwater havesting*”, Texas Water Development, Austin, Texas, 2005.
- Brissaud, François. “*Groundwater rechrge with recycled municipal wastewater*”, Hidrociencias Cedex, Noruega, 2005.
- Canavos, George. “*Probabilidad y Estadística Aplicaciones y Métodos*”. McGraw Hill, México, 1992.
- Centro para la Sustentabilidad Incalli Ixcahuicopa. “*Repensar la Cuenca: La Gestión de Ciclos del Agua en el Valle de México*”, UAM, USAID, 2008.
- César, Enrique. “*Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*” ICA, México, 2003.
- Chair Aldeman, Julian. “*Groundwater Recharge using waters*”, National Academy Press, Auflage Septiembre, 2008.
- CIRIA C522. “*Sustainable urban drainage systems .-design maual for England and Wales*”, Londres, 2000.
- Colin, Fernando. et. al. “*Captación de agua pluvial para la recarga de los mantos acuíferos del Valle de México*”, IPN, México, 2003.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- Comisión Nacional del Agua, “*Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*”, México, 2007.
- Comisión Nacional del Agua, “*Agenda del Agua 2030*”, México, 2010.
- Comisión Nacional del Agua, “*Gaceta de administración del agua*”, Volumen 1, México, 2007.
- CONGUA- SEMARNAT NOM-015-CNA-2007, *Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua*. México, Agosto, 2009.
- CONGUA- SEMARNAT NOM-014-CONAGUA-2003, *Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada*. México, Agosto, 2009.



- D.R P.S, Navaraj. "A study of impact of aquifer recharge on ground water in madurai city" Tamil, India, 2005.
- Del Castillo, Uriel. et. al. "Ahorro y reuso de agua mediante tratamiento in situ en el Campus Universitario de la UNAM", Coordinación de Bioprocesos Ambientales del Instituto de Ingeniería de la UNAM, México, 1997.
- Delgado, Hugo. et. al. "Geology of the xitle volcano in southern mexico", Revista mexicana de ciencias geológicas, Volumen 15, número 2, UNAM, 1998.
- Departamento de Desarrollo Urbano. "Retningslinder for overamshandtering", Noruega, 2005.
- Diario Oficial de la Unión Europea. "Relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro". Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 2006.
- Dillon, Peter. "Action Research Workshop", National Research Flagship, University of Dhaka, India, 2011.
- Dirección General de Planeación UNAM, "Anuario estadístico de la UNAM" UNAM, 2008.
- Domínguez, Ana "Hidrogeología del campo Nijar y Acuíferos Marginales Almería", España.
- Buchgeber, Maria. "Besentigung von dach ,parckplatz und atrabenwasser", Land Obreroes Terreich, España, 2010.
- Udo, Anroid, "Ley Alemana Verordnung", Consejo de Gobierno de Sttugard, Alemania, 2005.
- Encuentro Latinoamericano sobre la Remediación de Sitios Contaminados, "Memorias de Congreso", México, Agosto, 2011.
- Escalero, Óscar. et. al. "Ciclo hidrológico", Atlas de la ciencia Sttugart –berg, Alemania, 2002.
- Flores, Luis. "Tesis de Geologia" Número 21, UNAM, México.
- Foster, Garduño. et. al. "Recarga del agua subterranea con aguas residuales urbanas", Banco Mundial Washington, EUA, 2006.
- Gobierno de Noruega, "Retningslinjer for overvannshandtering I bergen Kommune" Vann- og avlopsetaten, Noruega, 2005.
- González, Fernando. "Diagnóstico Pumagua", UNAM, México, 2010.
- Government of Arizona, "Management of Aquifer Recharge for Sustainability", Actas del simposio internacional, 6ta Gestion Phoenix-Arizona, EUA, 2007.
- Government of Oregon, "Water Oregon Laws", Oregon Revised Statues, Volume I of II, EUA, 2012.
- Hach Company. "Manual de análisis de agua" segunda edición en español, Loveland, Colorado, EUA, 2000.
- Heras, Springall. et. al. "Hidrologia infiltración", Manual de hidrología, México, 2009.
- Herman, Bouwer, "Artificial recharge of groundwater: systems, desing and management", Engineering Library Chapter 24, Francia, 1992.
- J. Borrell Fontelles, M.Pekkarinen. "Union Europea agua subterránea", Unión Europea, 2012.
- Jiménez, Blanca. et. al. "Estudio de disponibilidad de agua en México en función del uso, calidad y cantidad", Proyecto Interno 3320 Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1995.

- Jiménez, Blanca “*La Contaminación ambiental en México*”, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1998.
- Jovis, Verlag. “*Sustainable water management in the city of the future*”, Hafencity University, Berlin, 2011.
- Löw, Simon. “*Grundzüge der Hydrogeologie*”, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, 2004.
- Marozzi, Antônio. “*Manejo de águas pluviais urbanas*”, Prosabe, Brasil, 2007.
- Matias Garcias, et. al. “*Tesis: Pozos de Absorción*”, ENEPA, UNAM 1999.
- Maurer, Max. et. al. “*Abwasserentsorgung 2025 in der Schweiz*”, Eawag Aquatic Research, Alemania, 2012.
- Memorias. “3rd Regional Workshop on development of Eco-efficient Water infrastructure in Asia and the Pacific”, Bangkok, Tailandia, 2010.
- Mendoza, Edgar. et. al. “*Proyecto piloto de recarga controlada al acuífero de la zona metropolitana de la ciudad de México*”, México, 2010.
- Mihelcic, James. “*Ingeniería Ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*”, Alfaomega, México, 2009.
- Miljoministeriet, Miljostyrelsen. “*Geologi og grundvand*”, Udgivelsen er støttet af Vandfonden , Dinamarca, 2004.
- Ministerio Interior Japonés de Tierras. “*Disposición de aguas de lluvia*”, Tokio, 2010.
- Ministerio de Ciencia e Innovación. “*Guía metodologica para el uso de aguas regeneradas en riego y recarga de acuíferos*”, Tragua, España, 2000.
- Montt, José. “*Antecedentes empíricos y modelación de la calidad de las aguas lluvias urbanas*”, Tesis Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile, 2000.
- Morales, Rammses. “*Uso de pozos de absorcion como puntos de descarga final en un sistema de drenaje pluvial*”, Tesis, UNAM, 2005.
- Nirman, Bhawan, “*Rain water harvesting and conservation*”, Organización de servicios de consultoría New Delhi, Nueva Delhi, India, 2000.
- NMX-AA-005-SCFI-2000, Método para la “determinación de grasas y aceites recuperables.
- NMX-AA-102-SCFI-2006, Método para la “detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y Escherichia coli presuntiva método de filtración en membrana”, Diario Oficial de la Federación, 21 de agosto de 2006.
- NSW Enviroment Protection Authority, “*Managing urban Stormwater Treatment Techniques*”, Sydney, Australia, 1997.
- Pino, Escamilla. “*Captación de agua de lluvia,aleternativa sustentable*”, Conama, España, 2010.
- Reinoso, Eduardo. “*Riesgo sísmico de la Ciudad de México*”. México, 2007.
- Rodríguez, Felipe. “*Fábrica de agua Las Venitas*”, Revista Informativa Colegio de Ingenieros Civiles de México, Número 522 octubre de 2012.
- Santiago, Iván. “*Análisis de poencialidad de reuso de agua*”, Tesis, FES UNAM, México, 2009.

- Santoyo, Enrique. “*Características Geológicas y Geotécnicas del Valle de México*”, TGC, México, 1992.
- Secretaria de Energía, Recursos e saneamiento, “*Resoluçao conjunta SMA/SERHS/SS*”, Brasil, 2006.
- SEGOB, “*Tormentas Severas, Centro Nacional de Desastres*”, México, 2010.
- Shram Shakti, Bhawam. “*Manual artificial recharge of groundwater*”, Gauri Chatter , India, 2007.
- Simental, Victor. “*Propuesta de Reforma Legal en materia de captación de agua pluvial, con obligatoriedad en su uso. Caso: Distrito Federal*”, México, 2000.
- Shoich Fujita, Hiroshi Kameda, “*Background of innovetive technologies in japan*”, Ingenieria Tokio Consultans, Tokio, 2013.
  
- UNICEF, “*La meta de los ODM relativa el agua potable y el saneamiento*”, Organización mundial de la salud, UNICEF, Suiza, 2007.
- Universidad Tecnológica de Chalco. “*Planeación estratégica de la Infraestructura en México 2010-2035*”, México, 2009.
- Vollertsen,Thorkild, et. al. “*Leyes Dinamarca*”, Alborg Universitet, Dinamarca, 2009.
- <http://www.pronatura.org.mx>
- <http://www.tultepec.olx.com.mx>
- <http://www.aguasaludable.net>
- <http://www.rcnegociossac.com>
- <http://www.sma.df.gob.mx/planverde>
- <http://www.jmarcano.com/nociones/bioma/desierto.html>
- <http://www.paot.org.mx/centro/reglamentos/df/pdf/regladecons.pdf>
- [http://www.canadevivallemexico.com/documentos/distrito\\_federal](http://www.canadevivallemexico.com/documentos/distrito_federal)

## Anexos

### Anexo A

#### Estudio Geológico

Para conocer la situación geológica de Ciudad Universitaria se recurrió al estudio realizado por el Instituto de Geofísica, descrito a continuación y publicado en la Revista Mexicana de ciencias geológicas.

De primera instancia se describe el lugar de estudio. Observemos en la siguiente figura que el número de volcanes que se encuentran alrededor del Volcán Xitle son considerables.

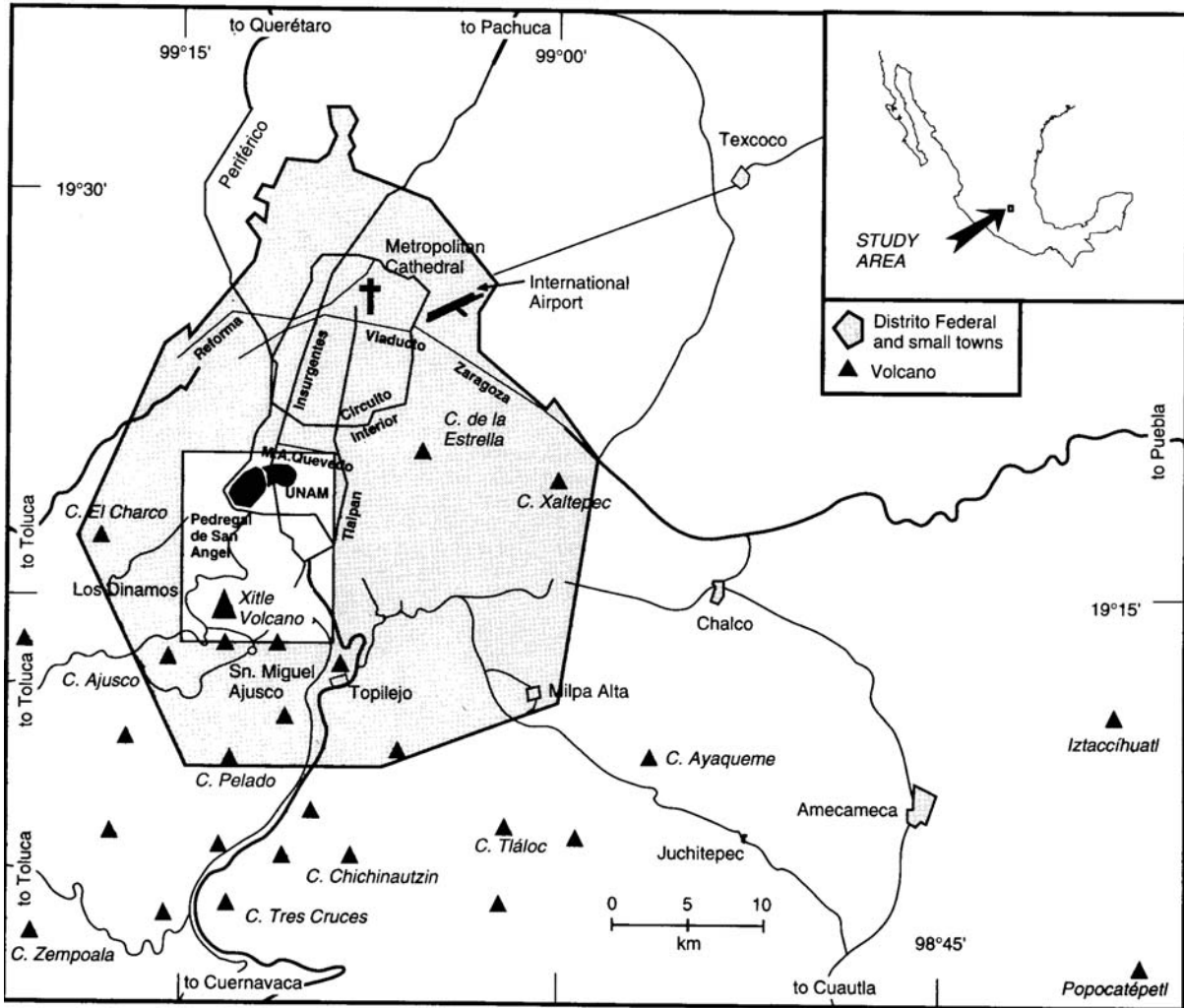


Figura A1.- Localización

Fuente: Delgado, Molinero, et al Geología del sureste de México

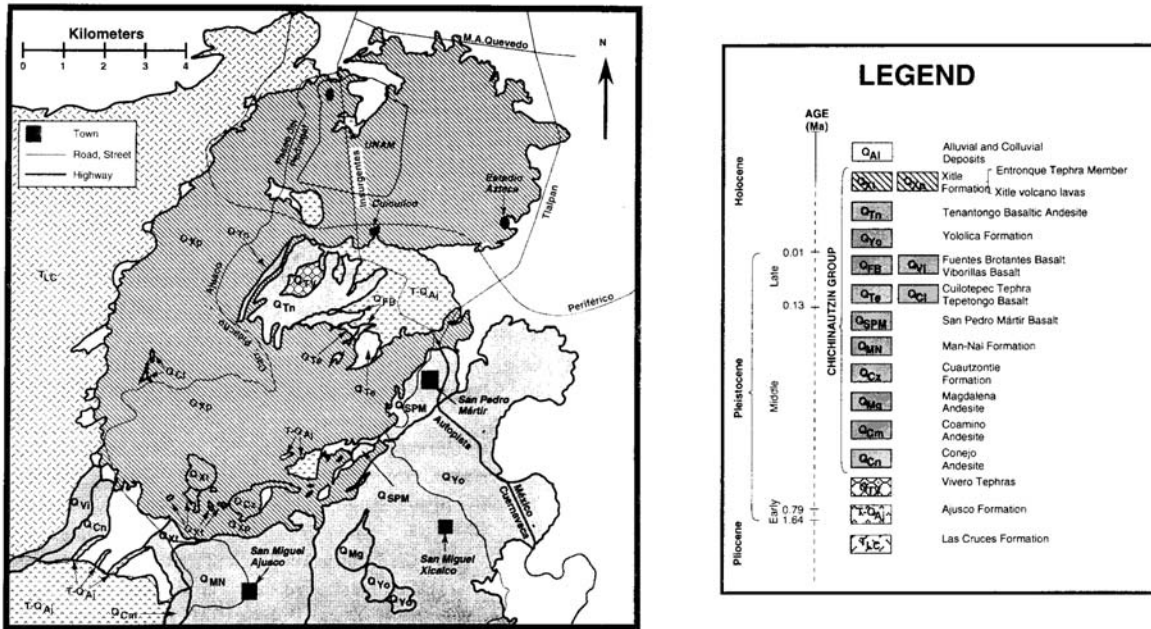


Figura A2.- Materiales

Fuente: Delgado, Molinero, et al Geología del sureste de México

En la Figura A2, se muestra el tipo de materiales encontrados; la zona sombreada representa el material volcánico que despidió el volcán Xitle y que aún se encuentra en la zona.

La importancia de anexar algunas imágenes del estudio, reside en que la zona de Ciudad Universitaria no está compuesta por los mismos materiales y en espesores similares.

En un primer sondeo realizado cerca del volcán Xitle, los investigadores encontraron coladas de lava en tiempos distintos; al mismo tiempo que existen capas de varios materiales y nos específicamente roca basáltica.

Según la Figura A3 demuestra que en los primeros 3m, la capa está conformada por cenizas y lapilli. De acuerdo a los estudios, se sabe que la roca después de los 6 metros de profundidad se calculan entre 2000 a 2025 años de antigüedad.

Sin embargo las pruebas se realizaron en el campus CU (no expresa el documento el lugar preciso) del cual se extrajeron dos muestras. En la primera se observa una profundidad de hasta 16 metros y en el que expresa 2 coladas de lava en distintos momentos. La primera fase alojó hasta 3 m de espesor albergada sobre depósitos de ceniza y carbón. Se describe además que el contacto entre los materiales existentes y la roca basáltica producto de la primera colada contribuyó a alojar lava vidriosa que mantiene rupturas o grietas entre pequeños bloques.(Obsérvese Figura A4)

La segunda fase de la colada determina un mayor espesor, aproximado de 10 m con características similares a la colada anterior. La ruptura entre los bloques de lava originados por el material incandescentes y la presencia de agua generaron separaciones dentro de la misma roca basáltica, a lo que se le llama como “grietas”.

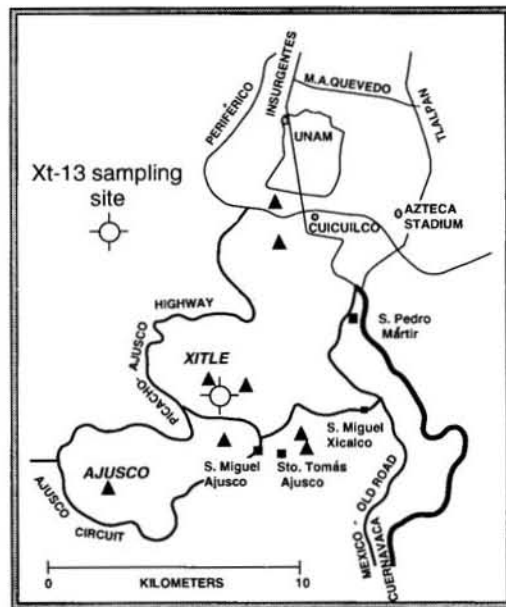
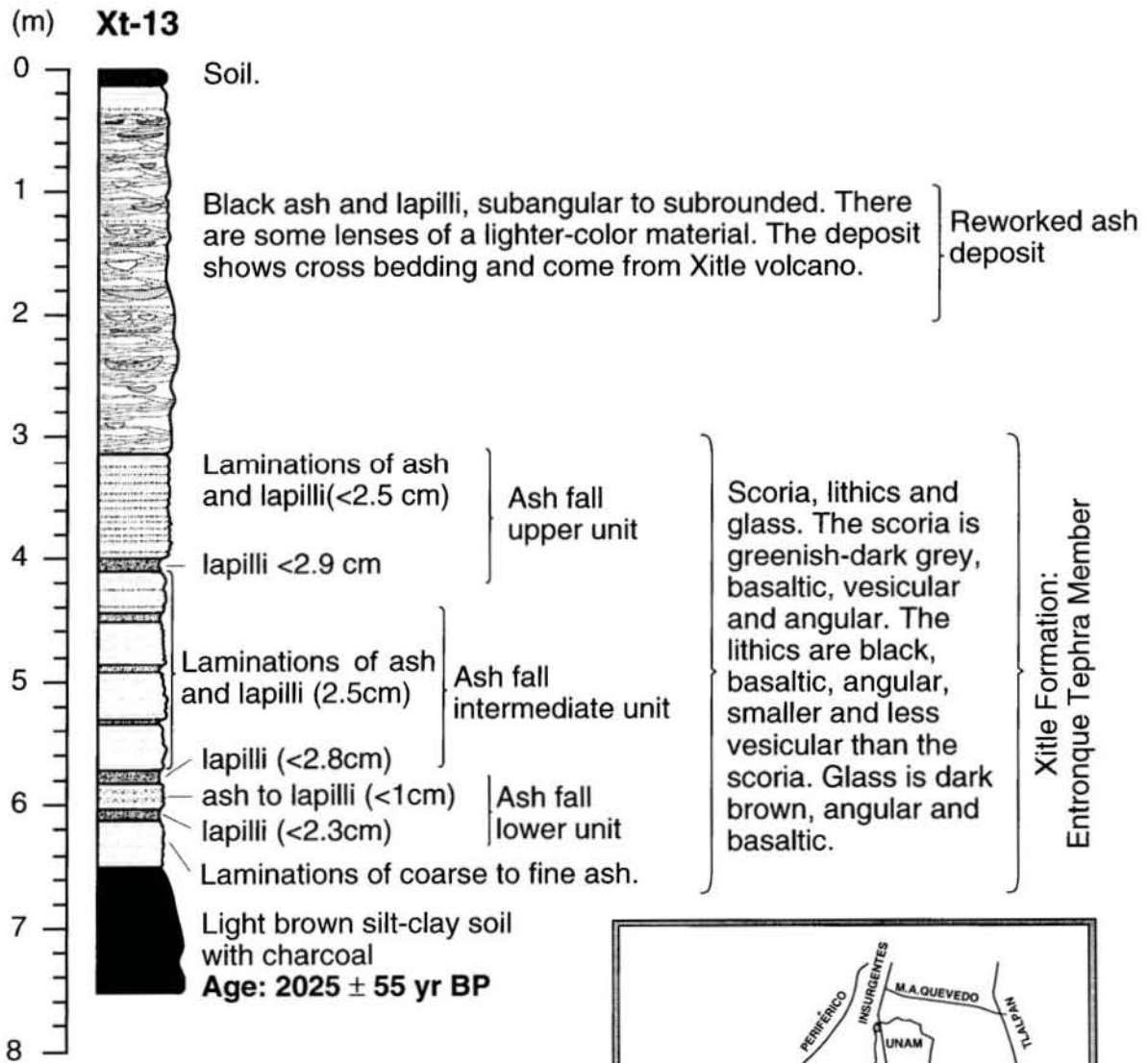


Figura A3.- Sondeo Xitle

Fuente: Delgado, Molinero, etal Geología del sureste de México

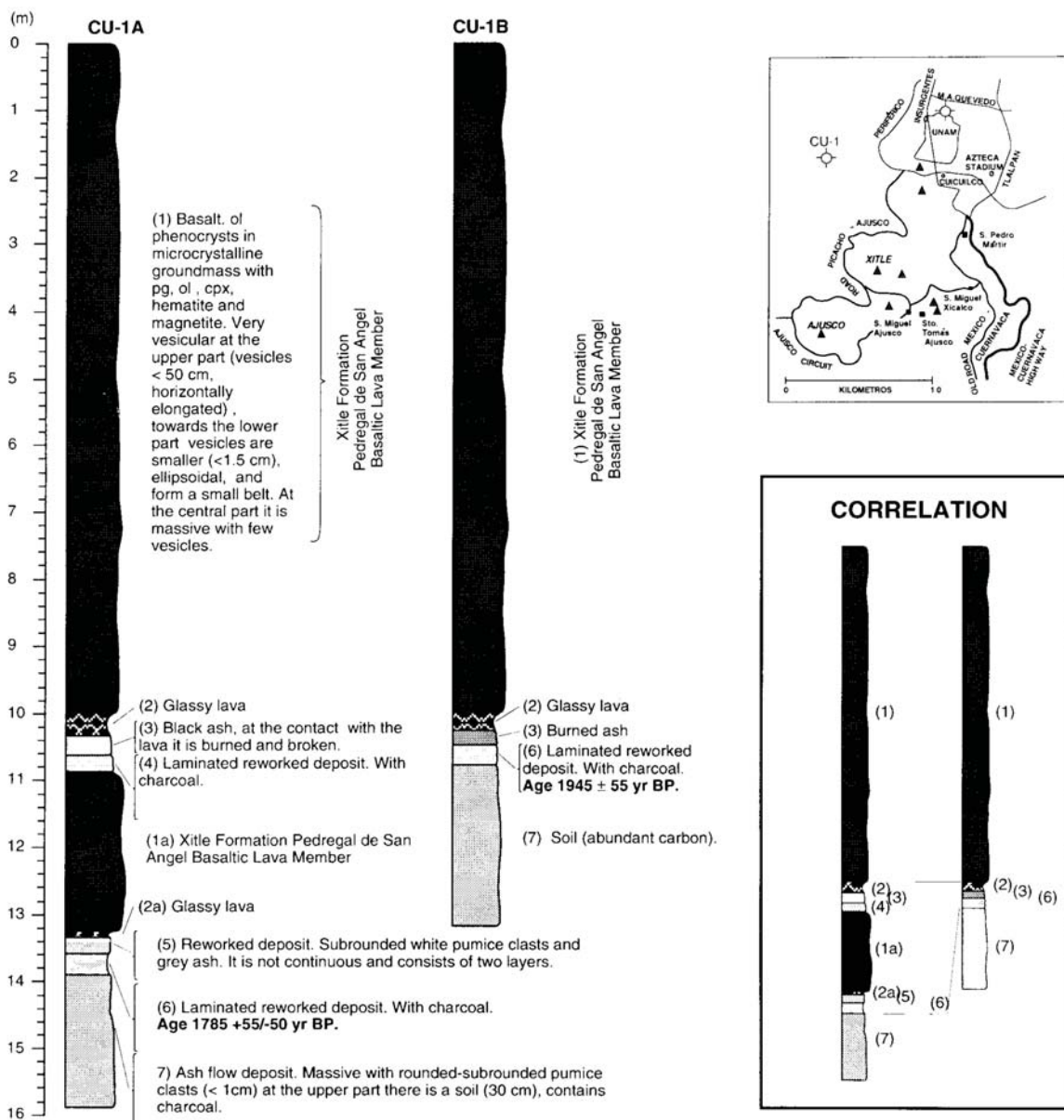


Figura A4.- Sondeo CU

Fuente: Delgado, Molinero, et al Geología del sureste de México

En un segundo estudio, realizado en otro sitio se encontró que únicamente se presentaba la segunda colada con el mismo espesor y el depósito base de ceniza a una profundidad mayor, lo que para caso de los pozos de absorción puede explicar lo siguiente:

- La razón por la cual el agua fluye con mayor rapidez en algunos pozos, tomándose como absorción; es porque la presencia de grietas y menores espesores de roca basáltica contribuyen a un flujo con mayor velocidad que en espacios de Ciudad Universitaria donde se encuentran mayores espesores y diferentes materiales.
- Como se mencionó anteriormente, las investigaciones por parte del Instituto de Geofísica han contribuido en la investigación de los pozos de absorción de Ciudad universitaria porque se puede conocer la razón por la que el agua de lluvia se filtra con mayor facilidad en algunas zonas del campus.

- Sin embargo, existen indicios claros de que el comportamiento del agua y los materiales alojados en distintos espacios difieren conforme se alejan o se acercan los puntos de análisis del volcán Xitle. Una muestra clara de ello es el aspecto que da la parte llama “Cantera Pumas”, en la que las diferentes coladas de lava en distintos momentos y la variedad de materiales permiten que las aguas pluviales circulen por el lugar. Inclusive adentrándonos en la Cantera podemos apreciar flujos de agua e incluso un lago, en lo que se puede concluir que el flujo del agua por las “grietas” y la roca basáltica propician el incremento de volumen de los mantos acuíferos.



Figura A5.- Cantera Pumas, las líneas que se observan en la roca son las distintas coladas de lava



Figura A6.- La presencia de abundante agua es producto de la filtración de agua pluvial

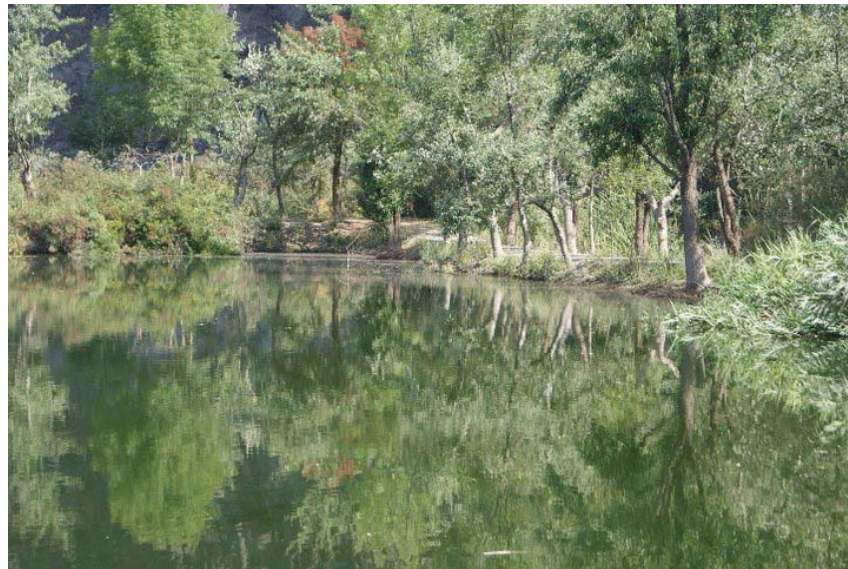


Figura A7.- Lago de la Cantera Pumas



## Anexos

### Anexo B: Fotográfico

#### Pozo de absorción Rectoría

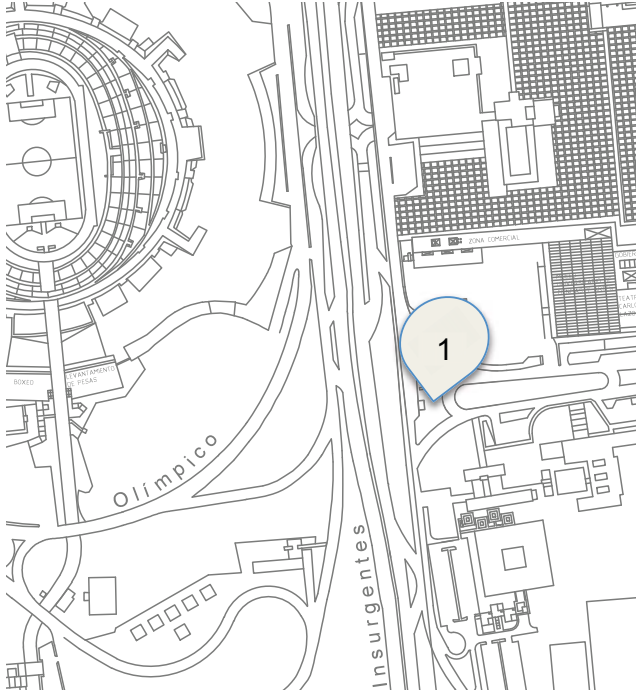


Figura B1.- Limpieza del Pozo de Rectoría, puede observarse la maquinaria que se utiliza.



Figura B2.- La presencia de árboles en la zona de recarga al acuífero, afecta con la presencia de materia orgánica y su obstrucción a lo largo del tren de conducción.



Figura B3.- Muestreo en el mes de Octubre.

## Pozo de absorción "Estadio Olímpico Universitario"

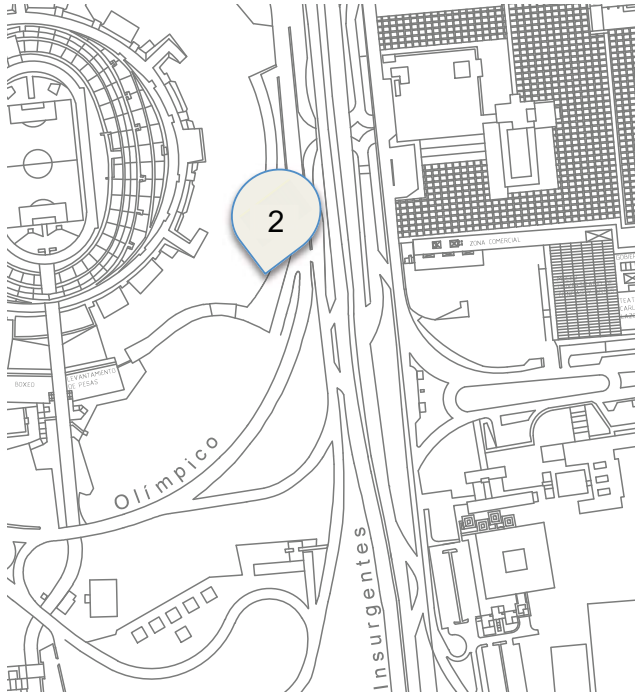


Figura B4.- El Pozo del Estadio Olímpico se encuentra debajo de la Av. de los insurgentes, lo que ocasiona la contaminación del agua de lluvia con grasas y aceites de los automóviles.



Figura B5.- Ademe de conducción, obsérvese el estado de conservación



Figura B6.- Rejillas recolectoras de agua pluvial

Pozo de Absorción “Filosofía y Letras”

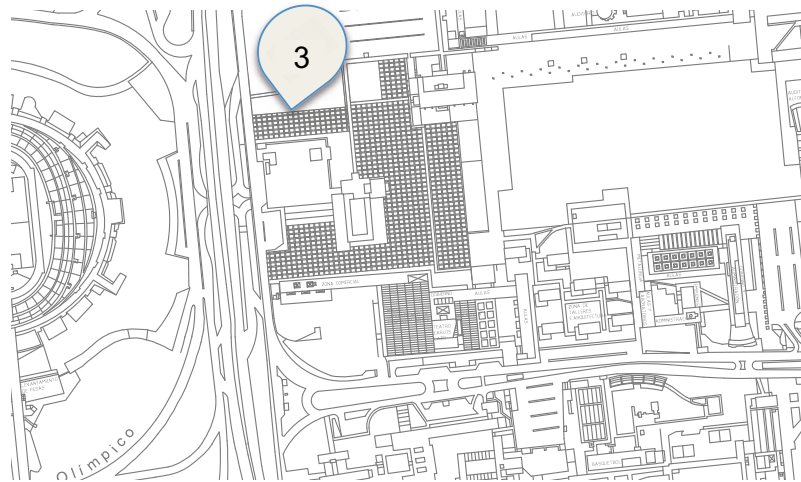


Figura B7.- El Pozo de Filosofía se encuentra en el estacionamiento de alumnos



Figura B8.- Registro y rejilla de recolección



Figura B9.- Escalera de descenso a la cisterna de almacenamiento



Figura B10.- Registro de descenso

Pozo de Absorción “Economía”



Figura B11.- El pozo de Economía está inmerso en el estacionamiento de profesores.



Figura B12.- Se puede observar los 3 registros del pozo.



Figura B13.- Vista interior del pozo de Economía, obsérvese que debido a la facilidad de flujo, el pozo no contiene agua.



Figura B14.- Escalera de descenso.

## Pozo de Absorción “Torre de Humanidades”



Figura B15.- El pozo de la Torre de Humanidades fue el lugar más difícil de acceder durante las visitas de campo, debido a la concurrencia de automóviles al igual que otros pozos.

Pozo de Absorción “Medicina I”



Figura B16.- Vista frontal del pozo de Medicina I, en él se observan el título “Pozo de Absorción”



Figura B17.- Registros de acceso



Figura B18.- Trampa de sólidos con exagerada cantidad de restos orgánicos e inorgánicos



Figura B19.- Trampa de sólidos después de una precipitación



Figura B20.- Ademe

## Pozo de Absorción "Medicina II"

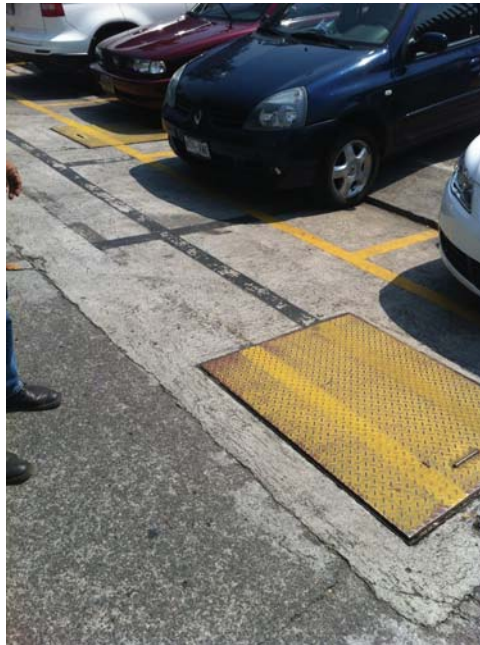
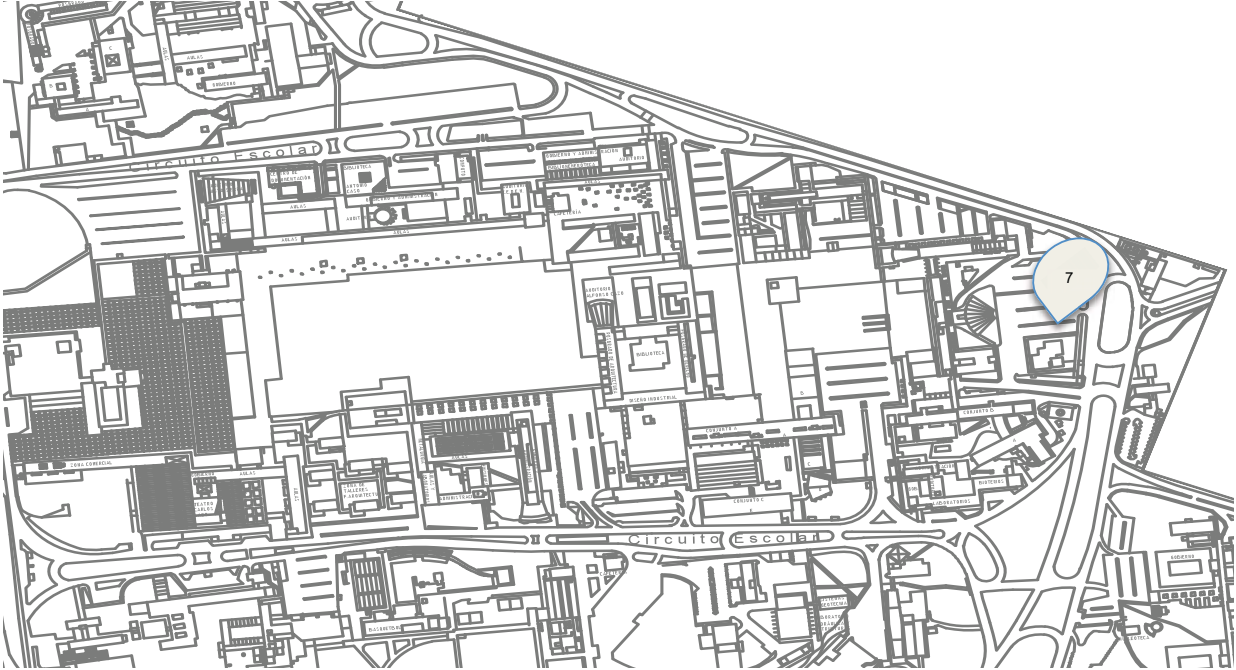


Figura B21.- Pozo de Medicina II debajo del estacionamiento de alumnos



Figura B22.- Rejillas de recolección y canaleta de conducción



Figura B23.- Ademes de conducción, obsérvese el estado de los dispositivos

## Pozo de Absorción “Química”

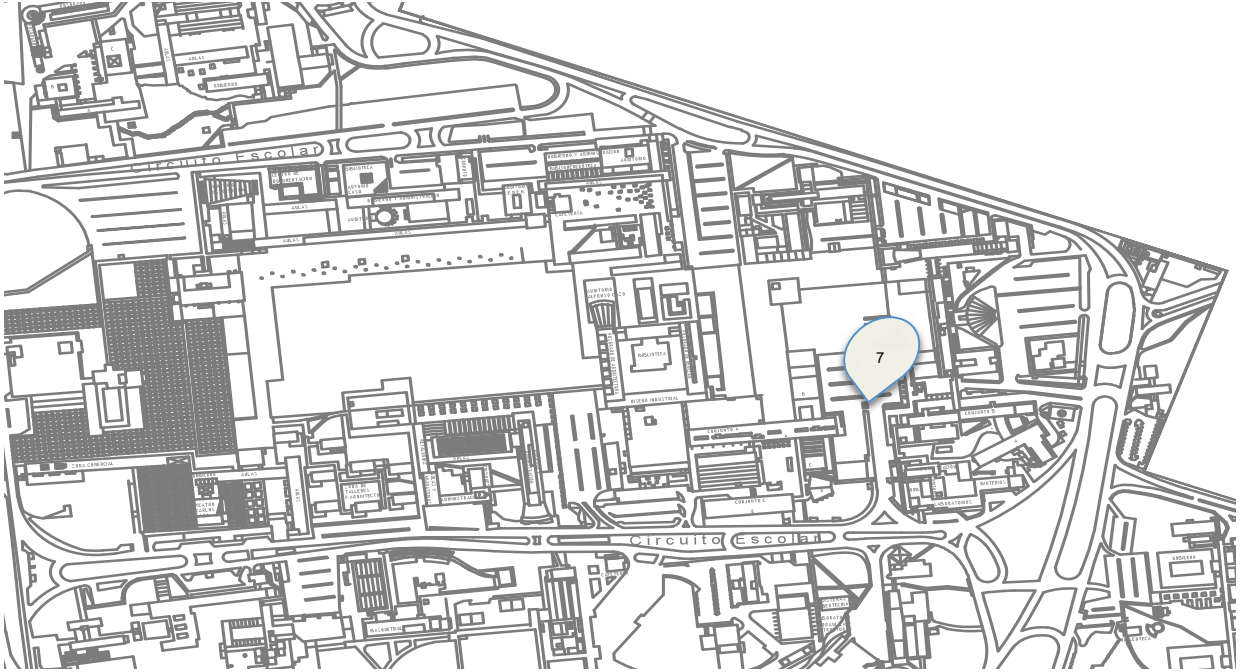


Figura B24.- El Pozo de Química, fue de los pozos en los que nos se pudo acceder y observar el estado de su tren de tratamiento.



Figura B25.- El Pozo de Química durante el tiempo de limpieza



### Pozo de Absorción "Campo de Beisbol"

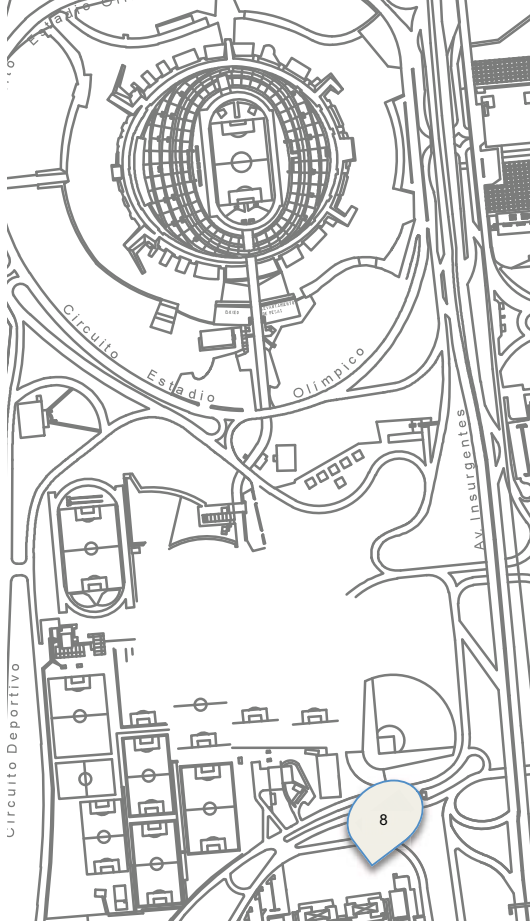


Figura B26.- El Pozo de Beisbol cuenta con canaletas sin rejilla, teniendo obstrucción de restos orgánicos



Figura B27.- Cisterna de almacenamiento de agua pluvial para después infiltrarse al acuífero.



Figura B28.- El Pozo de Beisbol cuenta con canaletas sin rejilla, teniendo obstrucción de restos orgánicos