



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**"Estudio de la calidad y Tratamiento del agua de lluvia de recarga
de los pozos de Absorción de Ciudad Universitaria"**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

HUGO MÁRQUEZ SÁNCHEZ



CIUDAD DE MÉXICO

2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente: María Rafaela Gutiérrez Lara.

Vocal: Luz María Lazcano Arriola.

Secretario: Dra. María Teresa Orta Ledesma.

1er. Suplente: Sergio Adrián García González.

2do. Suplente: Alejandra Mendoza Campos.

Sitio donde se desarrollo el tema:

Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Facultad de Química de la UNAM.

ASESOR DEL TEMA:

Dra. María Teresa Orta Ledesma.

SUPERVISOR TECNICO:

M. en C Isaura Yañez Noguez.

SUSTENTANTE:

Márquez Sánchez Hugo.

ÍNDICE

Índice de figuras.....	I
Índice de tablas.....	II
Lista de Acrónimos.....	I
Resumen.....	I
Introducción.....	II
Objetivo general.....	II
Objetivos particulares.....	II
1. ANTECEDENTES.	
1.1 Desarrollo Histórico.....	2
1.2 Situación actual en el mundo.....	3
1.2.1 Los Ángeles california.....	3
1.2.2 Captación en Europa.....	5
1.2.2.1 Alemania.....	5
1.2.2.2. Suiza.....	6
1.2.2.3. Reino Unido.....	6
1.2.3 Captación de Asia.....	6
1.2.3.1 Japón.....	7
1.2.3.2 India.....	7
1.2.3.3 Singapur.....	8
1.2.4 Captación en Australia.....	8
1.2.4.1 Victoria.....	9
1.2.4.2 Sur de Australia.....	9
1.2.4.3 Sídney y nuevo Sur Gales.....	9
1.2.5 Captación en África.....	9
1.2.5.1 Kenia.....	10
1.2.5.2 Zimbabue.....	10
1.2.6 Captación en México.....	10
1.2.6.1 Ciudad Universitaria.....	13
2. MARCO TEORICO.	
2.1 legislación.....	16
2.2 Descripción de principales conceptos.....	18
2.2.1 Agua freática.....	18
2.2.2 Infiltración.....	18
2.2.3 Capacidad de infiltración.....	18
2.2.4 Indicadores.....	18

2.2.5 Tratamiento.....	19
2.3. Métodos de recarga.....	19
2.3.1. Obras de superficie.....	19
2.3.2. Obras de profundidad.....	20
2.4. Sistemas de recarga de agua pluvial.....	20
2.4.1 Estanque de agua.....	21
2.4.2. Pantano.....	21
2.4.3 Infiltración.....	21
2.4.4. Filtración.....	21
2.4.5. Sistemas de canal abierto.....	21
2.5. Problema de colmatación.....	21
2.6. Problema específico del agua de lluvia.....	22
2.7 Factores que controlan la calidad del agua.....	22
2. 8. Parámetros indicadores de la calidad del agua.....	23
2.8.1. Sólidos disueltos.....	24
2.8.2. Sólidos suspendidos totales.....	24
2.8.3. Sólidos sedimentables.....	25
2.8.4. Nutrientes.....	25
2.8.5. Compuestos orgánicos.....	27
2.8.6. Materia flotante.....	28
2.8.7 Coliformes fecales.....	28
2.9. Tratamiento.....	29
2.9.1 Consideraciones generales.....	29
2.9.2 Tratamiento preliminar.....	30
2.9.2.1. Separación de grandes sólidos.....	31
2.9.2.2 Desbaste.....	31
2.9.3 Tratamiento primario.....	31
3. METODOLOGIA.	
3.1 Evaluación de la calidad de agua.....	34
3.2 Procedimientos para evaluar la calidad de agua de lluvia.....	34
3.2.1 Procedimiento para la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	34
3.2.2 Procedimiento para la Demanda Química de Oxígeno.....	40
3.2.3 Procedimiento para Nitrógeno Total.....	43
3.2.4 Procedimiento para Sólidos Sedimentables.....	48
3.2.5 Procedimiento para Materia Flotante.....	50
3.2.6 Procedimiento para Sólidos Suspendidos Totales.....	51
3.2.7 Procedimiento para Fósforo Total.....	53
3.2.8 Procedimiento para Coliformes Fecales.....	56
3.3 Statgraphics.....	61
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	
4.1 Resultados.....	63
4.1.1 Resultados y análisis estadístico del pozo de absorción de Rectoría.....	63
4.1.2 Resultados y análisis estadístico del pozo de absorción de Medicina.....	67
4.1.3 Resultados y análisis estadístico del pozo absorción de Béisbol.....	70

4.1.4 Resultados y análisis estadístico del pozo de absorción de Economía.....	73
4.1.5 Resultados y análisis estadístico del pozo de absorción del Estadio.....	76
5. DISEÑO DE TRATAMIENTO.	
5.1 Diseño de tratamiento.....	80
5.1.1 Cálculo de gasto pluvial y diseño de tratamiento para el pozo de Rectoría....	80
5.1.2 Cálculo de gasto pluvial y diseño de tratamiento para el pozo de Medicina..	93
5.1.3 Propuesta para clausurar correctamente el pozo de Beisbol.....	97
5.1.4 Cálculo de gasto pluvial y diseño de tratamiento para el pozo de Economía.	98
5.1.5 Cálculo de gasto pluvial y diseño de tratamiento para el pozo del Estadio..	101
5.2 Generalidades en los pozos de absorción.....	104
6. CONCLUSIONES.....	105
BIBLIOGRAFIA.....	107

Índice de figuras.

Figura 1.1 Pozos de infiltración en calles de los Ángeles.....	4
Figura 1.2 Pozo de absorción en Iztapalapa.....	11
Figura 1.3 Plano de pozos de absorción en Ciudad Universitaria.....	14
Figura 2.1 Tratamiento general de agua pluvial.....	29
Figura 2.3 Sedimentador convencional.....	31
Figura 3.1 Frascos Winkler previamente marcados.....	35
Figura 3.2 Frascos Winkler con muestra y agua de dilución.....	36
Figura 3.3 Oxímetro utilizado para medir el oxígeno disuelto.....	37
Figura 3.4 Incubadora.....	38
Figura 3.5 Medición de oxígeno disuelto final.....	39
Figura 3.6 Reactor de digestión.....	40
Figura 3.7 Espectrofotómetro midiendo el blanco.....	42
Figura 3.8 Digestor BUCHI Unit K-424.....	44
Figura 3.9 Equipo armado para comenzar digestión.....	45
Figura 3.10 Muestras conectadas al equipo de destilación.....	46
Figura 3.11 Destilación final.....	47
Figura 3.12 Cono Imhoff.....	49
Figura 3.13 Viales colocados en digestor.....	54
Figura 3.14 Viales colocados en bastidor.....	54
Figura 3.15 Espectrofotómetro para medir el Fósforo Total.....	55
Figura 3.16 Procedimiento para la realización de diluciones y filtración de membrana.....	59
Figura 5.1 Curvas intensidad de la lluvia-duración-período de retorno.....	81
Figura 5.2 Área de captación de agua pluvial del pozo de Rectoría.....	83

Figura 5.3	Rejilla por donde entra el agua pluvial al pozo de Rectoría.....	85
Figura 5.3	Área de captación de agua pluvial del pozo de Medicina.....	93
Figura 5.4.	Rejilla por donde entra el agua pluvial al pozo de Medicina.....	94
Figura 5.5	Área de captación de agua pluvial del pozo de Economía.....	97
Figura 5.6.	Rejilla por donde entra el agua pluvial al pozo de Economía.....	98
Figura 5.7	Área de captación de agua pluvial del pozo de Estadio.....	100
Figura 5.8.	Rejilla por donde entra el agua pluvial al pozo del Estadio.....	101
Figura 5.9.	Diagrama general de tratamiento de los pozos de absorción en Ciudad Universitaria.....	104

Índice de tablas

Tabla 1.1 Evaluación de experiencias de infiltración de agua pluvial en el Área Metropolitana de la Cuenca de México.....	12
Tabla 2.1 Límites máximos permisibles de contaminantes en la recarga de acuíferos.....	16
Tabla 2.2 Criterios de diseño para sedimentador tipo rectangular.....	31
Tabla 4.1 Escala de clasificación de calidad de agua para DBO₅ y DQO de acuerdo a la CONAGUA.....	64
Tabla 4.2 Resultados de DBO₅, DQO, SST, C. Fecales y M. Flotante del pozo de Rectoría.....	64
Tabla 4.3 Resultados de STATGRAPHICS para DBO₅, DQO, SST y M. Flotante del pozo de Rectoría.....	65
Tabla 4.4 Resultados de Sólidos Sedimentables, Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Rectoría.....	66
Tabla 4.5 Resultados de STATGRAPHICS para Sólidos Sedimentables, C. Fecales, Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Rectoría.....	66
Tabla 4.6 Resultados de DBO₅, DQO, SST, C. Fecales y M. Flotante del pozo del Medicina.....	67
Tabla 4.7 Resultados del STATGRAPHICS para DBO₅, DQO, SST y M. Flotante del pozo de Medicina.....	68
Tabla 4.8 Resultados de Sólidos Sedimentables, Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Medicina.....	69
Tabla 4.9 Resultados de STATGRAPHICS para Sólidos Sedimentables, C. Fecales Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Medicina.....	69
Tabla 4.10 Resultados de DBO₅, DQO, SST, C. Fecales y M. Flotante del pozo de Béisbol.....	71
Tabla 4.11 Resultados del STATGRAPHICS para DBO₅, DQO, SST y M. Flotante del pozo de Béisbol.....	71

Tabla 4.12 Resultados de Solidos Sedimentables, Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Béisbol.....	72
Tabla 4.13 Resultados de STATGRAPHICS para Solidos Sedimentables, C. Fecales Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Béisbol.....	72
Tabla 4.14 Resultados de DBO₅, DQO, SST, C. Fecales y M. Flotante del pozo de Economía.....	73
Tabla 4.15 Resultados del STATGRAPHICS para DBO₅, DQO, SST y M. Flotante del pozo de Economía.....	74
Tabla 4.16 Resultados de Solidos Sedimentables, Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Economía.....	74
Tabla 4.17 resultados de STATGRAPHICS para Solidos Sedimentables, C. Fecales Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Economía.....	75
Tabla 4.18 Resultados de DBO₅, DQO, SST, C. Fecales y M. Flotante del pozo del Estadio.....	76
Tabla 4.19 Resultados del STATGRAPHICS para DBO₅, DQO, SST y M. Flotante del pozo del Estadio.....	77
Tabla 4.20 Resultados de Solidos Sedimentables, Nitrógeno total y Fósforo total del pozo del Estadio.....	77
Tabla 4.21 Resultados de STATGRAPHICS para Solidos Sedimentables, C. Fecales Nitrógeno total y Fósforo total del pozo del Estadio.....	78
Tabla 5.1 Datos para el caudal de diseño del pozo de Rectoría.....	84
Tabla 5.2 Datos y cálculos para el sedimentador del pozo de Rectoría.....	92
Tabla 5.3 Datos para el caudal de diseño del pozo de Medicina.....	94
Tabla 5.4 Datos y cálculos para el sedimentador del pozo de Medicina.....	95
Tabla 5.5 Datos para el caudal de diseño del pozo de Economía.....	98
Tabla 5.6 Datos y cálculos para el sedimentador del pozo de Economía.....	99

Tabla 5.7 Datos para el caudal de diseño del pozo del Estadio.....	101
Tabla 5.8. Datos y cálculos para el sedimentador del pozo del Estadio.....	102

Lista de Acrónimos

NOM	Norma Oficial Mexicana
NMX	Norma Mexicana
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
BASIX	Índice para Construcciones
PUMAGUA	Programa de Manejo, Uso y Reusó del Agua
SSA	Secretaria de Salud
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SS	Sólidos Sedimentables
MF	Materia Flotante
CF	Coliformes Fecales
NT	Nitrógeno Total
FT	Fósforo Total

Resumen

En el presente trabajo se evalúan las condiciones para implementar un sistema de tratamiento, para garantizar la calidad de agua que se infiltra a los pozos de absorción del campus de Ciudad Universitaria. El flujo de agua debe contar con los niveles ideales que marca la norma NOM-015-CONAGUA-2007, “Infiltración artificial de agua a los acuíferos, características y especificaciones de las obras y el agua, en cuanto a contaminantes se refiere”.

Se realizó el muestreo de los parámetros: Materia flotante, Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales, Nitrógeno total, Fósforo total, Coliformes fecales, excluyendo grasas y aceites. En conjunto se realizaron dos pruebas adicionales, la Demanda Biológica y Química del Oxígeno.

En los tres meses que duraron las pruebas en el periodo de lluvias de Agosto a Octubre de laboratorio, se hicieron dos muestreos por mes, en cinco de los nueve pozos de absorción con los que cuenta Ciudad Universitaria. Encontrando que los parámetros de contaminación se mantuvieron constantes, los cuales fueron representativos, mostrando cómo se encontraba la calidad del agua pluvial. En todos los casos, el Nitrógeno total y el Fósforo total se encontraron dentro de los rangos establecidos; por otro lado la materia flotante, las coliformes fecales, los sólidos suspendidos totales, se encontraron fuera de los límites, las otras dos pruebas que se realizaron adicionalmente, como la Demanda Biológica de Oxígeno comparada con los parámetros que maneja la CONAGUA salieron bajos, no así para la Demanda Química de Oxígeno que presenta parámetros relativamente altos para la misma Entidad.

Mediante un análisis estadístico, se estimaron los parámetros ideales con los que se realizaron los cálculos necesarios para establecer la propuesta del sistema de tratamiento. Para lo cual, los resultados de los muestreos realizados, indicaron que se tenía que enfocar en los sólidos que arrastraban los aguas pluviales hacia el pozo de absorción, ya que estos tapan las grietas por las que se infiltraba el agua, dejando inservibles los pozos de absorción con el paso de los años, aunque se les hacen trabajos de mantenimiento cada año, los pozos se van colmatando, como es el caso del pozo del campo de beisbol que pueden pasar semanas y el agua no se infiltra.

Introducción

En la actualidad el tema del agua es uno de los más importantes a nivel mundial, ya que es uno de los recursos más importantes para todos los seres vivos, la sociedad enfrenta muchos problemas con respecto al uso y reúso del agua, principalmente en las grandes ciudades donde el vital líquido se ha sobreexplotado de una manera irracional en los últimos años, provocando un descenso importante en los niveles piezómetros de los acuíferos y de los mantos de agua dulce.

En el caso de la ciudad de México ubicada en una cuenca donde la precipitación pluvial provoca encharcamientos e inundaciones en gran parte de su territorio, debido al mal estado en desagües y cañerías donde casi todo el espacio está construido por edificios, centros comerciales y pavimento. La recarga natural ha disminuido exponencialmente provocando que el agua se quede anegada en estos espacios y no se vaya al subsuelo para que pueda infiltrarse naturalmente.

Las salidas naturales del agua han quedado tapadas por el arrete de basura, por esa razón algunas zonas quedan inundadas con aguas pluviales. Generando problemas de salud, medio ambientales y socioeconómicos.

Todo esto ha despertado gran interés en el aprovechamiento de toda esa agua pluvial, para recarga del acuífero y que además busca disminuir los problemas de inundaciones y encharcamientos, un claro ejemplo es el campus de Ciudad Universitaria, que no está exenta de estos problemas con el agua pluvial, se hicieron obras denominadas pozos de absorción que desahogaban toda esa agua al acuífero.

De esta manera se fueron haciendo cada vez más recurrentes las construcciones de los pozos de absorción en Ciudad Universitaria, que cuenta con el registro de nueve pozos: Economía, Química, Campo de beisbol, Filosofía y letras, Medicina I, Medicina II, Torre de humanidades, Rectoría y Estadio olímpico.

El problema no quedó en solucionar las inundaciones, porque con el paso del tiempo la preocupación por la calidad del agua infiltrada fue creciendo, se observó que esta agua arrastraba materia orgánica, basura y demás contaminantes que se encuentran en los estacionamientos y vialidades, ocasionando posible contaminación del agua nativa.

Cuando en 2008 nace el Programa de Manejo, Uso y Reuso del Agua (PUMAGUA), se comenzaron a observar y analizar las diferentes deficiencias que se tenían en el campus, una de las cuestiones fue el análisis de la calidad de agua, tanto de suministro como agua residual. Sin embargo el análisis de la calidad de agua de los pozos de absorción no se hicieron hasta años posteriores. Así también, otro de los problemas que se atendió fue el desperdicio de agua que se extraía de los pozos de extracción de agua potable, mediante la implementación de soluciones como minimización de fugas en la red de Ciudad Universitaria.

Ante un rezago en la evaluación de la calidad de agua que se infiltraba en éstos pozos de absorción, en Ciudad Universitaria PUMAGUA inició con los estudios de calidad de agua pluvial en el año 2013. Como parte de estas actividades se realizó el presente trabajo, dirigido al análisis de la calidad de agua de lluvia en 5 de los 9 pozos de absorción de Ciudad Universitaria.

Después de un recorrido de campo los pozos se seleccionaron como representativos por su ubicación, se llevo a cabo un muestreo y análisis de la calidad de agua en cinco de estos pozos de absorción; Economía, Campo de beisbol, Medicina I, Rectoría y Estadio olímpico. Los cuales se eligieron por su excelente distribución en el campus, además de su fácil acceso.

Tomando como referencia la NOM-015-CONAGUA-2007 se analizaron los parámetros de calidad establecidos: Materia flotante, Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales, Nitrógeno total, Fosforo total, Coliformes fecales, excluyendo grasas y aceites. Así también se realizaron dos pruebas adicionales, la Demanda Biológica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno.

De acuerdo a los resultados se procedió a proponer un sistema de tratamiento mediante lo establecido en la normatividad vigente.

Objetivo general.

Evaluar la calidad del agua en 5 pozos de absorción situados en Ciudad Universitaria y proponer el sistema de tratamiento requerido para cumplir con la normatividad vigente.

Objetivos particulares.

Identificación y selección de los pozos de absorción en Ciudad Universitaria para llevar a cabo un muestreo representativo.

Determinar el cumplimiento de la norma NOM-O15-CONAGUA-2007 mediante muestreos y análisis fisicoquímicos que se realizan en laboratorio de Coliformes Fecales, Materia Flotante, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, Nitrógeno Total, Fosforo Total, además de la Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Proponer un sistema de tratamiento que garantice la remoción de contaminantes. Tomando como referencia aquellos parámetros que no cumplen con la norma NOM-015-CONAGUA-2007.

Capítulo 1

ANTECEDENTES

1.1 Desarrollo Histórico.

La recarga de acuíferos artificialmente es una técnica relativamente joven, que remonta a más de 100 años, se denomina así por un conjunto de obras determinadas realizadas por el hombre. Existen datos algunos de ellos muy antiguos de recarga artificial, como las laderas en zonas con poca agua, este tipo de obras evitaban la erosión del suelo que propiciaban buenas extensiones para los cultivos, así favorecían una mejor recarga de agua de lluvia.

La infiltración se ha venido practicando desde tiempos muy remotos, algunos documentos son de 2000 a.c. En Grecia y en India ya Filtraban el agua utilizando cribas y filtros de grava o arena, la calentaban para llevarla a punto de ebullición, de esta manera, se eliminaba la turbiedad y se mejoraba notablemente su sabor y color. También existen datos de que los egipcios en el año de 1500 a.c. utilizaban el principio de la coagulación.

Hasta 1670 se concibió la idea de microorganismos que se encuentran en el agua, que son los principales responsables de la contaminación de la misma. Aquí es donde la filtración comienza a jugar un nuevo papel en la descontaminación del agua, de esta manera, se iniciaron los nuevos retos en el tratamiento del agua.

Con el transcurso del tiempo el hombre fue utilizando otro tipo de tecnologías, en 1804 se diseñó lo que fue la primera planta de tratamiento en Escocia, que consistía en un filtro lento de arena. En 1854 se inició el uso del cloro en los procesos de potabilización del agua que posteriormente utilizaron sustancias menos agresivas como el hipoclorito de sodio. En 1903 comenzaron a ablandar el agua como un método para desalarla, el intercambio de iones era el método único que se utilizaba para este fin. En 1906 en Francia se empezó a utilizar el Ozono como método de desinfección.

En la década de los 70 surgieron nuevos contaminantes como resultado de actividades industriales y agrícolas, se iniciaron las técnicas de aireación como medida para los nuevos contaminantes aparte de la floculación y adsorción utilizando carbón activado para detener los efectos de los nuevos contaminantes, posteriormente surgieron los procesos de membrana que se utilizan hoy en día.

Actualmente la filtración juega un rol muy importante para la recarga artificial del agua de lluvia, ya que el agua arrastra muchos contaminantes.

1.2 Situación actual en el mundo.

A continuación se mencionan algunos casos de infiltración artificial:

1.2.1 Los Ángeles California.

Evaluaron el impacto en la calidad de agua a infiltrar el escurrimiento pluvial, se hicieron estudios en diferentes lugares de los Ángeles. El trabajo de monitoreo consistió en el análisis de escurrimientos superficiales, análisis de agua subterránea durante y después de la lluvia, observaron que el escurrimiento pluvial no afectaba las condiciones de calidad de los acuíferos, así mismo no se identificaron contaminantes que afectaran a la salud pública. En los sitios donde pudiera haber más contaminación cómo es el caso de zonas industriales, utilizaron filtros para remover contaminantes antes de que entraran en el pozo de absorción, entonces demostraron que podían retirar los contaminantes y sólidos que podían afectar el proceso de infiltración.

Encontraron grandes beneficios como la conservación y regeneración de las fuentes de agua subterránea, los lugareños apoyaron la idea debido a los altos costos que pagaban por llevar el agua en épocas de sequía, además de que reducía los riesgos de inundaciones, los problemas por la saturación en el drenaje.

Se hicieron pruebas en diferentes zonas para ver como funcionaban, algunos ejemplos son:

Una planta de reciclaje: Donde se aprovechó el escurrimiento de un patio pavimentado de 9,300 m² para su infiltración. El sistema de tratamiento del agua pluvial consistió en una estructura de concreto para detención, que descarga en un pozo de infiltración. Parte del agua que se captó en techos va directamente al pozo de infiltración sin pasar por un proceso de tratamiento.

Parque público: Donde se diseñó un proyecto para infiltrar los escurrimientos de un estacionamiento de 2,023 m² y los pasos peatonales cercanos. El sistema consistió en unos recolectores, de agua pluvial donde se dirigía a unos canales que estaban a los lados del lugar. La descarga se conducía a un sistema que separaba los sedimentos y el aceite, posteriormente el agua se descargaba al pozo de infiltración.

En una escuela se buscó infiltrar el agua de lluvia en un área de 28,327 m². El agua es dirigida a un pozo subterráneo que se encuentra debajo de un patio de

juegos. Se empleó un sistema de tratamiento que utiliza la vegetación para frenar, filtrar y direccionar el agua de lluvia.

Con estas situaciones se encontraron beneficios de infiltrar el agua de lluvia, como evitar traer agua de otras zonas, solucionaron los problemas relacionados con los escurrimientos excesivos en zonas urbanas, los sistemas no son costosos de instalar ni mantener (Fig. 1.1)



Figura 1.1 Pozos de infiltración en calles de los Ángeles.

Fuente: Estudio para el aumento del agua Investigación, estrategia y reporte de implementación. Consejo de cuenca de Los Ángeles y San Gabriel. 2010.

La infiltración en el mundo es cada vez más importante, por problemas de abasto que padecen grandes ciudades que están más pobladas, a pesar de que el clima es inestable, se puede tener una buena captación de lluvias cada vez más intensas e impredecibles.

El desarrollo urbano está afectando mucho, debido a que las zonas impermeables han aumentado en exceso, la destrucción de ecosistemas naturales que ayudan a absorber el agua ha desaparecido con el tiempo.

El hecho de aprovechar el agua de lluvia permite tener un recurso de calidad para diferentes usos no potables, como, la limpieza, sanitarios, industria y recargar las

reservas, que es lo que interesa para este proyecto. También al detener y retener el flujo pluvial se evita la saturación de los drenajes, mitiga los efectos de las inundaciones, previene la contaminación por arrastre de basura y contaminantes.

Por eso varios países están tomando medidas para captar el agua pluvial, aumentando cada vez más las obras de infiltración y su presupuesto para mejorarlas.

1.2.2. Captación en Europa.

El aprovechar el agua de lluvia en Europa es principalmente por los altos costos de las tarifas, los países con mayor costo son Dinamarca y Alemania, este último es el país en donde se ha desarrollado la captación pluvial. También hay apoyos muy fuertes en Austria, Suiza y Bélgica.

Cada día crece más el interés por captar el agua de lluvia en países europeos como la República Checa, Eslovaquia, Polonia y Hungría.

1.2.2.1 Alemania

El gobierno local tiene particular interés en la captación de lluvia debido a que su promedio anual de lluvia es de 563 mm y 855 mm. El agua pluvial esta siendo utilizada para usos no potables como uso sanitario, lavado de áreas verdes. Además de que hay un ahorro importante de agua y de gastos en las tarifas, los ciudadanos que utilizan la captación de agua reciben incentivos gubernamentales, ellos no pagan el impuesto anual por descargar el escurrimientos pluvial a los drenajes también se cobran a las propiedades que descargan directamente los escurrimientos al drenaje local, lo que incentiva que el agua sea recolectada y conservada, de esta forma, las personas convierten sus zonas impermeables en zonas de captación de agua de lluvia.

Particularmente en Berlín como parte de una urbanización se instalaron sitios de captación en Potsdamer Platz, zona en la cual se almacena el agua en un tanque subterráneo con capacidad de 3,500 m³.

Otro proyecto en Luedecke-Strasse el agua captada en todos los techos se descarga en un drenaje de aguas pluviales y se dirige a un tanque con capacidad de 160 m³ junto con la esorrentía, el agua es tratada en varias etapas.

Los dos sistemas han permitido controlar las inundaciones urbanas, reducir el vertido de aguas contaminadas a los cauces de aguas naturales.

1.2.2.2. Suiza.

Este país se ha comprometido con el desarrollo sustentable y un manejo responsable, a pesar de que todavía cuenta con suministro abundante, lo ha llevado a implantar sistemas que captan el agua de lluvia.

1.2.2.3 Reino Unido.

A pesar de ser un país rodeado de agua esto no quiere decir que cuenta con el suministro necesario para satisfacer sus necesidades, lo que ha llevado a tener carencia del vital líquido, esto se debe al aumento de la población y la demanda de agua, además de la migración de diferentes ciudades, el recurso se ha ido agotando en zonas con mayor desarrollo urbano y mayor densidad poblacional. Por eso se han visto obligados a reducir el suministro de 150 litros a 80 litros por persona.

Aprovechar el agua de lluvia se ha visto como uno de los recursos alternativos más importantes por suministrar agua de calidad, en usos en donde requiera menos tratamiento, estos sistemas de captación se han aprovechado para:

- Suministro suplementario de agua para usos no potables como: lavado de ropa, descarga de excusados, riego de jardines y limpieza en general de superficies.
- Reducción de la carga en drenajes como medida de control de escurrimientos.
- Reducir la polución en fuentes de agua, superficiales y subterráneas, al evitar que los escurrimientos arrastren contaminantes y basuras.
- Aumentar las reservas de agua subterránea.

Inglaterra ha creado una asociación para la cosecha de agua, esta asociación ha luchado por promover leyes y negociar con el gobierno, para demostrar los beneficios de esta solución y aplicar nuevas tecnologías que permitan el aprovechamiento del recurso pluvial, en 2006 crearon lo que llamaron hogares sustentables, los cuales tienen la intención de disminuir el consumo per cápita y provisionar a las nuevas construcciones con sistemas de captación de agua y reducir los niveles de descarga.

1.2.3 Captación en Asia.

Este continente vive en total contradicción debido a que en tiempo de lluvias las inundaciones son bastante fuertes y en tiempo de sequías el líquido falta en muchas de las zonas áridas, las grandes ciudades como China, India y Japón, se

enfrentan a una fuerte escasez en el suministro, razón por la cual están viendo que el agua de lluvia es una solución determinante, además de los efectos por el cambio climático con lluvias más prolongadas y el derretimiento del Himalaya, está impulsando la captación de agua.

En la provincia Loess de Gansu en 1995 se inició el proyecto 121, implantado por el gobierno para apoyar a los agricultores que dependían totalmente de las precipitaciones, debido a que el agua subterránea era muy escasa, a los agricultores se les entregaban sistemas de captación de agua que consistían en canaletas y tanques de almacenamiento y planchas para recolectar lluvia. A partir de 2000, se construyeron un total de 2.183.000 tanques para recolectar el agua de lluvia con una capacidad total de 73,1 millones de m³ garantizando el suministro de agua potable para 1,97 millones personas y riego suplementario de 236.400 hectáreas de tierra.

A partir de ese momento se implantó en varias provincias de China las cuales adoptaron la técnica, mediante la creación de 5.6 millones de tanques con capacidad de 1.8 millones de m³ garantizando el suministro de agua potable.

1.2.3.1 Japón.

En Japón la temporada de lluvia comienza en Junio y termina en Octubre, con un promedio anual de 1,380 mm. En Tokio se promueve la recolección de agua de lluvia con un promedio de 750 edificios públicos y privados que utilizan sistemas para la recolección del recurso pluvial. Desarrollaron un sistema de retención a gran escala para establecer zonas de retención y almacenamiento.

En el coliseo de Sumo Ryogoku Kokugikan se aprovecha para recolectar agua ya que tiene una gran extensión, el agua recogida se dirige a un tanque de 1000 m³.

1.2.3.2 India.

En la india los sistemas de captación son muy económicos, es decir, son de poco costo, y ayudan a aumentar las reservas, por esta razón los gobiernos en los diferentes estratos buscan implementar leyes y buscar fondos para el desarrollo de estos proyectos y así aumentar la captación de lluvia en un 50 % de los fondos de desarrollo rural y así promover la cosecha de lluvia en el campo

La captación de agua en la India es una tradición muy antigua, en este país a la recolección de agua se le denomina (pallar), desde hace mucho se dedican al desarrollo de técnicas y soluciones para captar el agua en diferentes regiones, a partir de su herencia y su experiencia en la India se capta el agua por medio de azoteas, patios y pozos de infiltración, así captan el agua de los monzones a lo largo del año.

Los sistemas de captación de agua de lluvia en techos son obligatorios en las nuevas construcciones en 18 de los 28 estados de India. Por ejemplo:

Bangalore está implantando una disminución en los impuestos para las personas que ponen en marcha sistemas de captación de agua de lluvia en sus hogares. Según las autoridades locales, si se acumula el agua de en esta ciudad tendrían suministro para 6 meses.

En Delhi están desarrollando un programa que busca dar incentivos económicos y soporte técnico para todas aquellas personas o empresas que tengan el interés de implementar este tipo de sistemas y se está exigiendo en edificios gubernamentales.

Mumbai está desarrollando una serie de regulaciones para asegurar que el uso de sistemas para captar el agua de lluvia se aplique y a partir del 2002, se declaró obligatorio que las nuevas construcciones con un área de 1000 m² instalen este tipo de sistemas. Sin embargo, estas leyes no se han implementado con éxito por falta de monitoreo.

1.2.3.3 Singapur

En esta parte de Asia el 86 % de su población habita en edificios de gran altura debido a que la tierra es muy escasa y cara, por esto mismo, se están enfrentando a problemas muy serios de agua por la creciente demanda. Por lo que, se implementaron sistemas de captación, dado que el promedio de lluvia anual es de 2,400 mm y están buscando que el 50 % de su superficie sea aprovechada para captar el agua de lluvia.

Por esta razón comenzaron a recoger el agua de los techos de los edificios altos, impulsando que casi toda la superficie pudiera captar como aeropuertos, estacionamientos zonas industriales, escuelas y todo el espacio que se pudiera aprovechar, el agua es recogido y almacenado en cisternas para ser aprovechada en situaciones no potables, el inconveniente es que la mayor parte del agua es recolectada en zonas urbanas, así que aplican tecnologías para el control de contaminación.

El mayor esquema de captación agua se encuentra en el estuario Sungei, en la localidad de Sedar al noreste del país, con un área de captación de 3200 hectáreas, aquí el agua es recolectada y luego pasa por un sistema de purificación para distribuirla.

1.2.4 Captación en Australia.

En este país se encuentran con dos situaciones ponderantes, una es en zonas rurales donde la población es baja, pero como el agua debe recorrer grandes

distancias de tubería, provoca que su costo sea elevado y en los lugares más lejanos no haya suministro, una posible solución a esto es captar el agua de lluvia.

En el caso de las ciudades de Australia la crisis de agua esta en aumento, debido a la sobrepoblación y su fracaso en el aumento de las reservas aunado al cambio climático, está causando que las ciudades se queden sin suministro. Por este motivo el riego de jardines y el lavado de autos ha quedado a un lado, por lo que el aumento en la conciencia está llevando a que se implementen los sistemas de captación de agua incentivada por precios especiales y apoyos gubernamentales.

Ante la escasez de agua, en gran parte del país la captación de agua de lluvia se ha convertido en un requisito y la instalación de tanques para almacenar el recurso pluvial es obligatoria en las nuevas construcciones. En algunos estados de Australia se han dado grandes pasos para promover una legislación que lleve a la eficiencia en el uso de agua, por ejemplo:

1.2.4.1 Victoria

Desde julio de 2005, las nuevas casas y departamentos deben cumplir con los requisitos de gestión del agua de lluvia señalados en los 5 Standard: sistemas ahorradores de agua, tanque para captar agua pluvial que se puede utilizar en la descarga de excusados.

1.2.4.2 Sur de Australia

Las nuevas construcciones deben contar con un tanque para el almacenamiento de agua de lluvia conectado a la casa.

1.2.4.3 Sídney y Nuevo Sur Gales

Las Regulaciones del Índice para Construcciones y Sustentabilidad (BASIX por sus siglas en inglés) proponen un 40 % de reducción en el uso de agua de suministro público, para lo cual proponen la utilización de sistemas ahorradores y captación de agua de lluvia en tanques que se use para excusados y lavado de ropa. En los juegos olímpicos de Sídney 2000 se aplicaron sistemas de captación de agua de lluvia para su reúso en los excusados de la villa olímpica.

1.2.5 Captación en África.

El continente con mayor número de desiertos, cada vez más se utilizan sistemas de captación aunque enfrentan problemas como precipitación estacional y mucho más escasa que en otras partes del mundo además de menor número de zonas impermeables, costos elevados de los materiales por la dificultad para encontrarlos pero la falta de agua en muchas zonas hace que esta solución sea muy importante.

1.2.5.1 Kenia

Esta práctica se lleva a cabo en Kenia desde finales de 1970, se han construido miles de sistemas de captación promovidos por constructores locales llamados “fundis” que se encargan de diseñar distintas estrategias y retomar prácticas tradicionales para aprovechar el agua de lluvia.

Con una población de 25 millones de personas, solamente el 42 % de kenianos tiene acceso al agua, lo que significa que 15 millones están excluidos de un suministro seguro y adecuado. Esta situación es especialmente preocupante en la región de Laikipia, en donde la precipitación anual se estima en 400 mm, para esta comunidad se diseñó un programa para instalar tanques subterráneos con capacidad para almacenar 100 m³ de agua que servirían para proveer, durante 4 meses, de 10 litros por persona al día. La calidad del agua captada no es apta para beber, pero sirve para otros usos como limpieza y riego de cultivos, lo que ha permitido un aumento en la producción de vegetales, por lo tanto, un incremento en el ingreso de las familias.

1.2.5.2 Zimbabue

Este país es generalmente pobre en términos de recursos hídricos, dadas las condiciones de lluvia impredecible y muy alta pérdida por concepto de evaporación. De hecho, la precipitación anual se estima en alrededor de 650 mm, la cual ocurre fundamentalmente entre los meses de Noviembre y Marzo, con el resto del año virtualmente seco. Para hacer frente a esta situación, los pobladores han utilizado tradicionalmente una técnica de captación denominada Fanyajuu que, aunque originaria de Kenia, ha sido ampliamente utilizada. Ésta consiste en hacer canaletas de 50 a 60 cm de profundidad en la tierra que conducen a un sistema de almacenamiento que, a su vez, está conectado con cultivos locales para ser regados. Los sistemas de captación de agua de lluvia en este país, sean estos tradicionales o más sofisticados, se encuentran fundamentalmente relacionados con el uso agrícola ya que alrededor del 76 % de los habitantes consideran esta actividad como su principal fuente de ingresos.

1.2.6 Captación en México.

En los últimos años más del 77 % del agua utilizada proviene de fuentes subterráneas y dos de cada tres metros cúbicos que se extraen son por la sobreexplotación de los acuíferos. El hundimiento y las grietas de la capa que protege estos acuíferos son señales que hay que detener esta sobre explotación y renovar estas aguas subterráneas o disminuir los volúmenes extraídos.

En gran parte de nuestro territorio se tienen condiciones favorables para las recargas artificiales, como parte de las estrategias que se han llevado a cabo en materia de recarga de estos acuíferos se están construyendo pozos de absorción.

En años anteriores cuando la urbanización se aceleró notablemente hicieron algunos intentos, unos cuantos exitosos, para infiltrar agua pluvial en zonas previamente estudiadas para recuperar los niveles de agua y prevenir inundaciones especialmente en el poniente y en el sur de la ciudad, sin embargo, las obras fueron abandonadas, cuando la gente comenzó a urbanizar las zonas cercanas a los pozos y contaminar el agua de lluvia, la explotación de acuíferos llegó a niveles muy altos.

En la figura 1.2 se muestra una fotografía en la delegación Iztapalapa, un pozo de absorción y como fue rodeado por casas y comercios.



Figura 1.2 Pozo de absorción en Iztapalapa

Fuente: Luis Felipe Sánchez-Díaz, "Recarga natural, inducida y artificial en la Cuenca de México (Definiciones y Ejemplos), realizado para el actual estudio.2008.

Con el paso del tiempo se fueron retomando estas medidas de prevención ante la crisis de agua que se estaba viviendo al sur y al oriente del área metropolitana, poco a poco fueron evaluándose las estrategias para disminuir la contaminación que pudiera perjudicar al pozo y al acuífero mismo, así generaron programas a mayor escala. Algunos ejemplos se encuentran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Evaluación de experiencias de infiltración de agua pluvial en el Área Metropolitana de la Cuenca de México.

Método	Resultados
Desviación Rio Madalena a basaltos San Ángel (CHCVM-SRH: 1944-60)	Infiltración de 73.5 Mm ³ 4.6 Mm ³ /año
Desviación Rio Eslava hacia sumideros en basaltos del Xitle (CHCVM-SRH: 1953-54)	Alimentación de manantiales de Peña Pobre y Fuentes Brotantes
Infiltración de 6 lps, mediante 15-20 pozos de absorción de aguas pluviales y escurremientos (CHCVM-SRH: 1953-57)	Recuperación de nivel en piezómetros ubicados a 50m
Recarga en 3 pozos de absorción, con agua de presa Mixcoac (CHCVM-SRH: 1956-75)	Excelente infiltración debido a inyección a presión; recuperación de los niveles en pozos cercanos
56 pozos de absorción, con profundidad de 35 m, basaltos del Pedregal para drenaje pluvial de 260 has. (1970)	Unos funcionan hasta la fecha; otros fueron de tamaño insuficiente para área drenada, otros se azolvieron
Pozos de absorción bajo áreas verdes de unidades habitacionales (Ixtapaluca 1992-2008)	Se infiltra 60 lps de agua pluvial por cada pozo
126 pozos de absorción (Delegación Iztapalapa: 2001-8)	Por evaluar
Pozo de absorción para aguas pluviales (IEPSA-Médica Sur: 2005)	Taza de infiltración 16.08 lps
55 pozos de absorción (SACM/Delegación Tlalpan 2004-6)	Infiltración 100 lps por pozo
Construcción de 75 de 500 pozos de absorción programados (GDF/Secretaría del Medio Ambiente: 2007-12)	Se proyecta inyectar al final del periodo un caudal de 2.5 m ³ /s
3 pozos de absorción, con 10 cárcamos para captar agua pluvial. Xochimilco 2008	Por evaluar

Fuente: Luis Felipe Sánchez-Díaz, "Recarga natural, inducida y artificial en la Cuenca de México (Definiciones y Ejemplos), realizado para el actual estudio.2008.

En la actualidad, el Gobierno del Distrito Federal está haciendo una campaña decidida para infiltrar el agua de lluvia que escurre por las calles de la ciudad. Esta medida aportará soluciones a dos de los principales problemas hídricos de la ciudad la explotación de los mantos acuíferos que proporcionan el 70 % del suministro de agua y las inundaciones que se repiten año tras año y son cada vez más intensas.

El reto pendiente es tener un sistema adecuado de tratamiento para retirar la basura, aceites y tierra que arrastra el agua de lluvia antes de que ingrese en el pozo de infiltración, con lo cual se va a evitar que pase la contaminación, garantizando un agua de calidad y prolongar la vida útil del pozo.

1.2.6.1 Ciudad Universitaria

Hace algunos años, en la década de los noventa la Dirección General de Obras y Servicios de la UNAM, hicieron construcciones para el almacenamiento de agua pluvial con perforaciones de 50 m de profundidad, que posteriormente llamaron pozos de absorción, los cuales recargan el acuífero con una calidad de agua relativamente buena, sin embargo, hay que seguir trabajando para que esta agua de lluvia cumpla con los límites que impone la norma 015 de CONAGUA-2007 para la recarga artificial de agua.

Debido a que en un principio solo fueron hechos para disminuir los encharcamientos de Ciudad Universitaria, no se hicieron con las medidas necesarias para cumplir con los parámetros requeridos, para infiltrar agua de lluvia, aunado a que en aquellos años no se contaba con la normatividad necesaria para medir la calidad de agua.

Con el paso del tiempo se dieron cuenta de que se iban tapando las grietas por las que se escurría el agua pluvial, así que se decidió darles mantenimiento el cual es muy costoso, pero seguían dejando de lado el problema de calidad de agua, hasta que PUMAGUA entro en materia de calidad fue como se dieron a la tarea de medir la calidad de esa agua.

Existen varios pozos de infiltración en Ciudad Universitaria, en la figura 1.3 muestra la ubicación de los pozos.

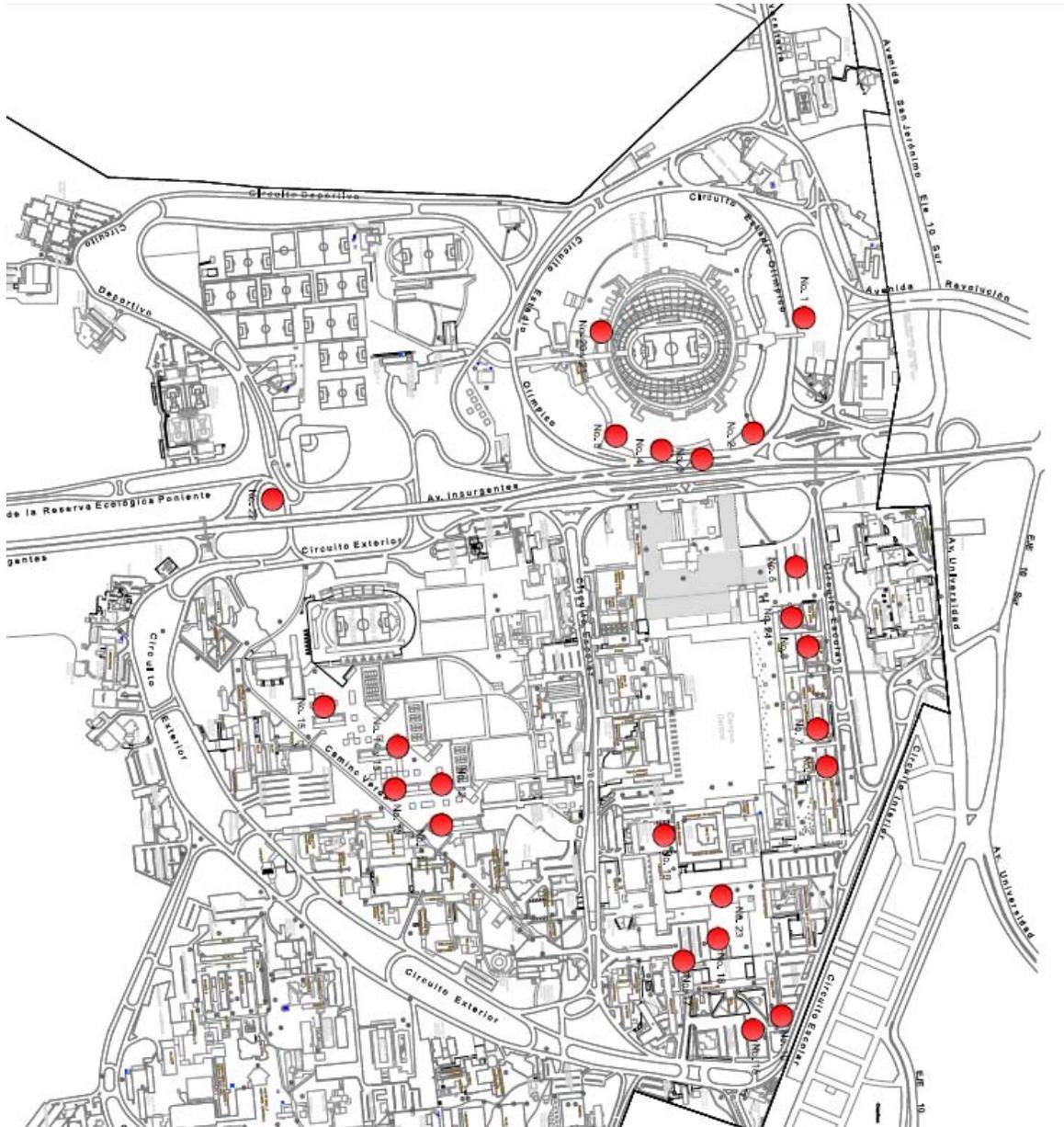


Figura 1.3 Plano de pozos de absorción en Ciudad Universitaria

Fuente: PUMAGUA, UNAM. 2014.

Para fines prácticos de la investigación se escogieron solo cinco puntos, los cuales se tomarán como referencia para los siguientes capítulos, los pozos que se utilizaron fueron: Medicina, Estadio, Economía, Campo de beisbol y Rectoría.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Legislación.

En México y en el mundo existen pautas de calidad y normas que regulan las condiciones fisicoquímicas y biológicas que debe tener el agua de recarga artificial, las normas especifican los pasos a seguir para llevar a cabo un proyecto determinado, Las normas que se deben de cumplir para la recarga artificial son:

- NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe sostenerse el agua para su potabilización.
- NOM-003-ECOL-1997 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicio al público.
- NOM-014-CONAGUA-2003 Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.
- NOM-015-CONAGUA-2007 Infiltración artificial de agua a los acuíferos nos señala las características y especificaciones de las obras y del agua.

Las normas aplican una serie de referencias, las cuales obligan a realizar procedimientos para el muestreo y el análisis de muestras.

La norma NOM-015-CONAGUA-2007 tiene por objetivos:

- Proteger la calidad de agua en los acuíferos.
- Aprovechar el agua pluvial y de escurrimientos superficiales para aumentar la disponibilidad de agua subterránea a través de la infiltración artificial.

Esta norma se aplica en todo el territorio nacional, para proyectos que planean la infiltración por medio de agua pluvial y escurrimiento al subsuelo con una capacidad mayor a los sesenta litros por segundo.

Las especificaciones utilizadas en el presente trabajo de esta norma son:

En el caso de obras y actividades para la infiltración de aguas pluviales o de escurrimiento superficial al suelo se atenderá a lo siguiente:

En terrenos que hubieran sufrido algún evento de contaminación, quien realice la obra deberá asegurarse que no está inscrito 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.

No se podrá realizar la disposición al suelo o subsuelo de aguas residuales crudas, o la mezcla de estas con aguas pluviales o de escurrimiento superficial.

Se podrá llevar a cabo la disposición de aguas que se refiere la presente, previendo que se tenga una limpieza de basura de la zona.

En el caso de la disposición de aguas pluviales o de escurrimiento superficial a la zona no saturada, adicionalmente a las anteriores, se aplicarán las siguientes:

La infiltración no deberá afectar la calidad del agua nativa.

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 tendrá los límites establecidos en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Límites máximos permisibles de contaminantes en la recarga de acuíferos

Contaminante	Unidad de medida	Límite	Método de prueba*	Método de muestreo
Grasas y Aceites	Mg/L	15	NMX-AA-005-SCFI-2000	NMX-AA-003-1980
Materia Flotante	Unidad	0	NMX-AA-006-SCFI-2000	
Sólidos Sedimentables	Mg/L	2	NMX-AA-004-SCFI-2000	
Sólidos Suspendedos Totales	Mg/L	150	NMX-AA-034-SCFI-2001	
Nitrógeno Total	Mg/L	40	NMX-AA-026-SCFI-2001	
Fósforo Total	Mg/L	20	NMX-AA-029-SCFI-2001	
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	No detectable	NMX-AA-042-1987	

Fuente: Nom-015-CONAGUA. 2007.

En términos del artículo 49 de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización se podrán utilizar otros métodos de prueba o los señalados en las Normas Mexicanas enunciadas.

Las pruebas a que se refiere la tabla anterior se deberán aplicar al sistema de tratamiento antes de su operación.

La distancia mínima entre el fondo del pozo y la superficie freática será de cinco metros.

El método de grasas se excluirá del presente trabajo, en conjunto se realizaran las pruebas de la Demanda Biológica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno.

2.2 Descripción de principales conceptos.

2.2.1 Agua freática.

Agua que se encuentra en el subsuelo, a una profundidad que depende de las condiciones geológicas, topográficas y climatológicas de cada región. La superficie del agua se designa como nivel de agua freática.

2.2.2 Infiltración.

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el subsuelo. Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, las propiedades del suelo, tales como la porosidad y la conductividad hidráulica, y el contenido de humedad presente en el mismo, así como también la duración de la lluvia y del patrón de drenaje en la cuenca. La pendiente de la superficie constituye un factor importante, puesto que las muy inclinadas favorecen la escorrentía superficial y si son menos fuertes retienen por más tiempo el agua favoreciendo la infiltración. Las pendientes moderadas ofrecen condiciones mejores para infiltración, que las enteramente planas, ya que estas desarrollan a menudo suelos herméticos, además, la textura del suelo juega entonces un papel muy importante en el proceso de infiltración puesto que está influida por la pendiente del terreno.

Una lluvia moderada de larga duración, favorece la infiltración. Por otra parte, las lluvias intensas saturan muy rápidamente la parte superficial del suelo, perdiéndose gran parte de estas en escorrentía superficial. Estas lluvias también compactan el suelo reduciendo su habilidad para absorber el agua.

2.2.3 Capacidad de infiltración.

La cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones se le denomina capacidad de infiltración, es el proceso por el cual el agua penetra en los estratos de la superficie del suelo y se mueve hacia el manto freático. El agua primero satisface la deficiencia de humedad del suelo y, después, cualquier exceso pasa a formar parte del agua subterránea.

Esta capacidad se expresa generalmente en litros por segundo por metro cuadrado de superficie permeable (lps/m²).

2.2.4 Indicadores.

En general los indicadores son aquella materia oxidable, que consume oxígeno. Sólidos en suspensión, que dificultan la actividad biológica de los seres vivos y la recarga de los acuíferos. Materias inhibitorias o tóxicas, que modifican o anulan la actividad biológica y/o se pueden acumular en la cadena trófica. Nutrientes como Nitrógeno y Fósforo, que intervienen en los procesos de eutrofización. Salinidad

que puede condicionar la transferencia de materia entre el entorno de las células. Otros como la temperatura de los vertidos y el contenido de grasas, la caracterización del agua residual se realiza con respecto a todo estos parámetros.

2.2.5 Tratamiento

Es un conjunto de estructuras y unidades en donde se remueven total o parcialmente los contaminantes contenidos en el agua.

Esto se logra mediante la utilización de diversos procesos, dispuestos en orden creciente de complejidad o combinados, así como la variante de estos para lograr requerimientos específicos de tratamiento a bajo costo y con alta eficiencia.

Se pueden identificar cuatro objetivos generales de tratamiento:

Evitar contaminación del cuerpo receptor.

Para producir mediante tratamiento, un efluente cuyas características permitan su reutilización.

Para cumplir con la normatividad vigente ambiental.

Para la protección de la flora y la fauna.

2.3 Métodos de recarga.

La recarga de un acuífero esta condicionada a factores de índole geológico, climático, morfológico, calidad de agua disponible y precipitación. La cantidad de causas que influyen una modalidad de recarga a otra pueden resultar muy variadas. Se establecerán los diferentes tipos de recarga los métodos se pueden dividir en dos grandes grupos: Obras de superficie y obras con profundidad.

2.3.1 Obras de superficie.

La principal característica de este tipo de obras es la creación de una lámina delgada.

Áreas de extensión de agua: El agua se puede extender por inundaciones o en forma de riego con grandes extensiones de terreno. En ocasiones en las zonas áridas las obras se unen con extensas unidades de recolección de agua que va escurriendo, a veces están hechas de decenas de km²

Escarificación de lechos: Se trata de un método sencillo y económico, consistente en arar el lecho del río, escarificando la superficie, colmatada por materiales finos y mejorando así la infiltración. En general dejando una velocidad buena para que la materia en suspensión se arrastre río abajo.

Zanjas filtrantes en cauces: Consiste en zanjas excavadas perpendicularmente al sentido del flujo, en el lecho del cauce, de escasa profundidad y cierta anchura, rellenas de cantos rodados, para favorecer la infiltración controlando la colmatación. La infiltración se favorece si, inmediatamente aguas abajo de la zanja, se realiza una represa o pequeño muro de piedras, que favorezca la retención del agua sobre la zanja.

Fosas: En este tipo de obras es importante la relación lateral con la del fondo, es decir, que domina la infiltración por los lados.

Balsas: Son obras que generalmente son alargadas. Poco profundas y de gran superficie, con fondo de arena, la infiltración se realiza por el fondo.

2.3.2 Obras de profundidad.

Este tipo de obras disponen de mucha mejor superficie para la recarga.

Drenes y galerías: Se fabrican en el fondo de un pozo por donde se introduce el agua.

Zanjas: Se excavan cerca del nivel freático y se llenan con grava.

Dolinas: Se puede utilizar este tipo de formaciones naturales son terrenos donde la sedimentación se compensa con la disolución de calcita.

Pozos: Pueden ser excavados o perforados con maquina, rellenos de grava, pueden variar los tamaños.

Pozos de absorción: Se caracterizan por no llegar al nivel de saturación, en general se excavan a pocos metros de la superficie.

2.4 Sistemas de recarga de agua pluvial.

Las obras de recarga de agua pluvial no están limitadas a inundaciones o a un pozo simple: La variedad de elementos topográficos, así como sus contracciones complican la forma de captar el agua por esa razón se convierten en un sistema compuesto por obras dedicadas a la captación, prefiltración, transporte y recarga.

Estos sistemas cumplen más de una función, por eso, la capacidad que tienen para eliminar los distintos tipos de contaminantes se debe estudiar teniendo en cuenta los sistemas unitarios de cada obra.

Los efluentes de estos sistemas se pueden utilizar según el grado de purificación que hayan tenido, para usos agrícolas, industriales, lavado de coches, o bien para recargar el acuífero.

2.4.1 Estanque de agua.

Son sistemas que cuentan con un estanque permanente o en su defecto una combinación de pantanos de gran extensión capaz de almacenar gran cantidad de agua, este sistema admite cinco variaciones de diseño. Así, dependiendo del tamaño y la disposición se podría construir un estanque húmedo convencional de buenas proporciones. Donde el agua se almacena en un primer tanque para mejorar el proceso de sedimentación para después pasarlo a un segundo tanque más pequeño o sistema de varios de estos tanques menores conectados entre sí para que puedan eliminarse los contaminantes.

2.4.2 Pantano.

Consiste en uno o varios pantanos o humedales superficiales diseñados principalmente para tratar agua de lluvia, aunque en ocasiones se incorporan sistemas de detención con áreas extensas.

2.4.3 Infiltración.

Son los sistemas que captan y almacenan el agua, mientras se va infiltrando. Con tratamiento previo.

2.4.4 Filtración.

Estos sistemas almacenan el agua temporalmente y lo van conduciendo por un lecho de arena, materia orgánica o algún otro medio para que pueda filtrarse. La escorrentía después de filtrada se almacena o se puede filtrar al suelo. Estos sistemas no están diseñados para almacenar por largo tiempo el agua, para ello se instalan sistemas independientes conectados, se pueden utilizar filtros de arena.

2.4.5 Sistemas de canal abierto.

Se trata de canales abiertos de vegetación diseñados para captar y tratar toda el agua por medio de celdas mediante el uso de diques de control.

2.5 Problema de colmatación.

Este problema se presenta en obras de recarga de profundidad y superficiales lo que afecta la capacidad de carga con el transcurso del tiempo, esto depende totalmente de la calidad de agua.

La colmatación es el proceso de acumulación de materia en las cercanías a la entrada del agua, disminuyendo la capacidad de infiltración, es un efecto

complejo, las causas no son bien conocidas debido a la cantidad de factores que influyen.

Si el pozo está colmatado, la infiltración depende directamente de la capa colmatada, por lo que la zona inferior no estará saturada. En ese caso la tasa de infiltración debería aumentar proporcionalmente con la altura del agua. Sin embargo, hay que tener en cuenta que al haber más altura la capa colmatada se comprime, volviéndose menos permeable, por lo tanto, la tasa de infiltración en la parte colmatada disminuye al aumentar la altura. Los lodos u otro tipo de materiales finos se volverán más impermeables que otros menos finos como arenas.

El tipo de agua y la forma en que llega afecta directamente en gran medida a la colmatación, las fuertes lluvias concentran mucha agua en poco tiempo por lo que arrastra gran cantidad de lodos.

2.6 Problema específico del agua de lluvia.

No se tiene al agua de lluvia cuando se desea dado que es en función del clima, esta agua llega en grandes caudales y en tiempos cortos. Tanto más llueva y más impermeable se encuentre el suelo más difícil se vuelve la infiltración.

Cuando circula por la superficie va erosionando el suelo y arrastrando partículas que se encuentran a su paso, en función de la velocidad del agua, la dureza, peso y tamaño van sedimentándose estos materiales en los diferentes obstáculos que se encuentran y en el fondo de los almacenamientos por eso se espera que el agua de lluvia tenga una gran cantidad de sólidos.

Por otro lado, va desgastando las partículas, el agua disuelve las sales y contaminantes orgánicos para lo cual se afecta la calidad del agua que se encuentra en vialidades y estacionamientos o en el terreno donde se encuentre antes de su infiltración.

2.7 Factores que controlan la calidad del agua

El resultado final no depende solamente de la composición mineral del agua al momento de infiltrarse, si no de varios factores. Por eso es que resulta difícil dar una descripción detallada aun así se explicaran algunos factores que influyen mayormente.

La calidad de agua que se infiltra: Se puede cuantificar mediante el grado de oxigenación, el contenido de materiales oxidantes y reductores la composición química y la temperatura e incluso las variaciones de estos factores en el tiempo.

La cantidad de sustancias que favorezcan o dificulten la acción de microorganismos es un factor primordial.

Forma de llegada: La retención en la superficie desempeña un papel importante en la modificación y mejora de la calidad del agua.

Naturaleza del terreno: Este factor condiciona la intensidad de reacciones de absorción, adsorción, cambio iónico y redox en relación con a actividad biológica. El estado de la superficie del terreno, morfología que presenta y los materiales que alberga condicionan el grado de renovación del oxígeno disponible y el aumento de la mineralización del agua.

Clima: Puede llegar a influir en la colmatación y en algunas reacciones químicas, sobre todo en la temperatura.

Tiempo de circulación de agua en el terreno: En este caso nos podemos encontrar con una calidad de agua variable debido al tiempo que tarda en llegar hasta el lugar de almacenamiento, esto es muy importante porque mientras más lejos este más contaminantes arrastra.

Duración de la recarga y operación: El mantener por largo tiempo en funcionamiento una instalación de recarga, incluso de como se aporta el agua, resulta en variaciones del suelo, como actividades biológicas, físicas y químicas

Procesos en la infiltración: Ocurre más frecuentemente en procesos superficiales donde el agua se acumula, donde crecen algas y retienen sustancias, pueden variar considerablemente el proceso de filtración. El mismo efecto de colmatación es uno de los procesos más influyentes a este respecto.

2.8 Parámetros indicadores de la calidad del agua

Se tiene que diferenciar entre los parámetros reales que indican la calidad del agua y los indicadores que utilizamos para medir esta calidad. En ocasiones no se puede medir el parámetro real porque puede ser muy costoso, mientras que por medio de otras medidas se puede llevar a cabo, de esta manera, nos podemos dar una idea lo suficientemente buena. Por ejemplo, el equipo que mide la turbiedad nos proporciona un dato sobre los Sólidos Suspendidos Totales. Esta determinación inicialmente se lleva a cabo por métodos gravimétricos que conllevan mayor tiempo.

Se estudiarán estos parámetros reales dado que son los que se hace referencia en la norma 015 de CONAGUA, es preciso decir que el recorrido que efectuara el agua a través del acuífero determinara la evolución que esta va a tener.

2.8.1 Sólidos disueltos.

Durante la recarga se produce aumento de los sólidos a causa de la incorporación continua de las sales del terreno, algunos minerales en especial los carbonatos, pueden influir negativamente en la calidad del agua, el pH afecta directamente la composición mineral del agua, ya que a pH alto domina la precipitación. Esto ayuda para disolver los carbonatos, esta acidez proviene del CO₂ que arrastra el agua de recarga o bien por oxidación de materia orgánica.

En menor grado existe una adición de nitratos al agua que provienen del suelo, además de una adición de sulfatos como una oxidación de sulfuros que puede haber en el terreno, las concentraciones altas están relacionadas con fertilizantes agrícolas.

Sin embargo, si se elimina el carbonato cálcico y el CO₂ la concentración de materia disuelta se puede llegar a una reducción en el contenido mineral en el agua.

Los parámetros que se pueden utilizar para medir el exceso de sales son la conductividad eléctrica y la concentración de materia disuelta como Na⁺, Mg²⁺, B, NO₃⁻).

2.8.2 Sólidos suspendidos totales.

Son constituidos por sólidos sedimentables, y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que son retenidos en un filtro. Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural, residual, de lluvia o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio, que posteriormente se seca a 103-105 °C hasta un peso constante. El incremento del peso del filtro representa el peso de los sólidos.

Si el material suspendido tapa el filtro y prologa la filtración, la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos totales pueden dar un estimativo de los sólidos suspendidos totales.

Este método es aplicable a aguas potables, superficiales, salinas, aguas residuales domésticas y lluvia, Los sólidos suspendidos son principalmente de naturaleza orgánica; están formados por algunos materiales más objetables, contenidos en el agua residual. La mayor parte de los sólidos suspendidos son desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas, que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua, las partículas de los materiales inertes adsorben sustancias orgánicas en la superficie.

2.8.3 Sólidos Sedimentables.

Los sólidos sedimentables son aquellos sólidos que se sedimentan cuando el agua se deja en reposo durante una hora. Se determinan volumétricamente mediante el uso del cono Imhoff.

Los sólidos sedimentables son los principales causantes de la turbiedad, debido a que producen dispersión de luz que atraviesa la muestra de agua; se indica la profundidad a que deja de ser visible una marca un objeto o un patrón.

La turbiedad es una medida importante en aguas, pues pequeñas partículas coloidales, pueden aportar gérmenes y patógenos. En los cursos naturales de agua, la turbiedad produce falta de penetración de luz natural y por tanto modifica la flora y fauna subacuáticas.

Las aguas naturales, residuales o residuales tratadas con altos contenidos en sólidos sedimentables, no pueden ser utilizadas en forma directa. La materia sedimentable se define como la cantidad de sólidos que en un tiempo determinado se depositan en el fondo de un recipiente en condiciones estáticas.

2.8.4 Nutrientes.

Los principales nutrientes que arrastra el agua a su paso antes de la escorrentía son el Nitrógeno y el Fosforo. Cada uno de estos elementos tiene su propio ciclo el cual se ve afectado dentro del acuífero. El nitrógeno se encuentra en grandes cantidades de forma molecular en la atmósfera, pero en forma de nutriente solo es accesible a un conjunto de formas de vida, como las cianobacterias y las azotobacteriáceas. Los organismos fotoautótrofos requieren por lo general nitrato (NO_3^-), los heterótrofos utilizan el nitrógeno ya reducido, en forma de radical amino ($-\text{NH}_2$), que es como principalmente se presenta en la materia viva.

Los autótrofos reducen el nitrógeno oxidado que reciben como nitrato (NO_3^-) a grupos amino ($-\text{NH}_2$). Para volver a contar con nitrato hace falta que los descomponedores lo extraigan de la biomasa dejándolo en la forma reducida de ion amonio (NH_4^+), proceso llamado amonificación; y que luego el amonio sea oxidado a nitrato, proceso llamado nitrificación ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$). Así cierra el esencial. Pero el amonio y el nitrato son sustancias extremadamente solubles, que son arrastradas fácilmente por la escorrentía y la infiltración.

Parte del Nitrógeno se queda fijado en la vegetación y restos de bacterias que se producen en la recarga la reacción del ion amonio a ion nitrato consume oxígeno, por lo que en aguas de recarga si tiene altos niveles del ion amonio lo más deseable sería eliminarlos en el pretratamiento, aunque por otro lado el ion nitrato es un oxidante que prolonga la acción del oxígeno, porque las reacciones

anaerobias de reducción de sulfatos y de metales pesados no aparecen mientras haya nitrato.

Cuando se oxida el nitrógeno aparece N_2 y N_2O , lo que representa una eliminación deseable del nitrógeno, por otro lado, esta reacción se produce por debajo de 0,5 mg/L, sin en cambio la respiración de bacterias aerobias con presencia en nitratos parece ser menor a 0,2 mg/L. En estas reacciones tienen un papel importante las bacterias que se encuentran en el terreno. Cuando el aporte es en forma de nitrato, este apenas sufre modificaciones cuando circula por el terreno siempre que no cambien el medio anaerobio.

Cuando el aporte es por amonio, o aparece por la reducción del nitrato, se produce un cambio iónico en el terreno, así también es fijado en ciertas arcillas lo que lleva a un retraso en su movimiento por lo que puede llevar a que se sature el terreno

Cuando el aporte es en forma de amonio, o este aparece como resultado de la reducción de nitrato, se puede producir un cambio iónico con el terreno, incluso puede ser fijado en la estructura de ciertas arcillas. Esta fijación produce un retraso en su movimiento, por lo que se puede llegar a saturar el terreno, de esta manera, no se elimina definitivamente. Sin en cambio este amonio puede ser removido si se cambia el potencial redox, por ejemplo si se vuelve a oxidar para convertirse en nitrato, pero pueden causar resultados indeseables si se aumenta el contenido de nitratos. En presencia de cloro libre el ion amonio forma cloraminas, para lo cual causa la inhibición de acciones bacterianas y pueden interferir en muchas reacciones que requieren una acción biológica en el terreno

El ciclo del Fósforo es mas sencillo. Al encontrarse el Fósforo sólido su ciclo es más sedimentario, lo que quiere decir que no pasa a la atmósfera ya que frecuentemente se encuentra en iones fosfatos y en general como ortofosfatos (PO_4^{3-}). Las plantas convierten estos fosfatos en componentes orgánicos que posteriormente serán alimento de herbívoros y carnívoros y volverán al suelo a través de excrementos animales.

En general los fosfatos se eliminan con cierta facilidad, precipitados como fosfatos insolubles (Fosfato cálcico, amónico-magnésico, férrico, alumínico). Si la eliminación es por absorción puede que el terreno se sature.

También es posible que se dé un cambio iónico por iones OH^- o que las bacterias lo fijen. Por otro lado, un aumento de pH puede dar lugar a la precipitación de fosfato cálcico, mientras que una disminución puede mantenerlo en solución y disolverlo.

Los nutrientes se miden mediante los indicadores de Nitrógeno Total, Fósforo Total y Potasio Total. Hay algunas variantes, como el Nitrógeno Total Kjeldahl (Este parámetro se utiliza sobre todo en estaciones depuradoras de aguas

residuales, refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas y el ión amonio (NH_4^+).

2.8.5 Compuestos orgánicos.

En general los compuestos orgánicos se oxidan en el terreno o se degradan en medio anaerobio, algunos compuestos orgánicos son fácilmente retenidos y descompuestos anaeróticamente en el terreno (indol, escatol, ácido palmítico). En este proceso se produce CO_2 y depende de la cantidad de materia orgánica presente, se pueden producir algunos ácidos fácilmente eliminables por percolación y también algunos ácidos volátiles, hay algunos ácidos, así como algunos ésteres y éteres naturales que no siempre se eliminan en el terreno, por lo que es recomendable eliminarlos durante el pretratamiento.

En el caso de los detergentes, se eliminan razonablemente en el terreno por presencia de oxígeno en especial los biodegradables. La eliminación en medio anaerobio es lenta por tanto menos eficaz, en caso de que la concentración de detergentes sea alta el medio se vuelve anaerobio por la demanda elevada de oxígeno.

La adición de cloro al agua ha aportado nuevos problemas de contaminación que resulta en la formación de compuestos organoclorados se forma por la sustitución de un alcano, un alqueno o algún hidrocarburo aromático de uno o más átomos de hidrógeno por átomos de cloro, Los más comunes dentro del grupo de compuestos organoclorados son pesticidas como el DDT, plásticos como el PVC, disolventes como el tetracloruro de carbono, refrigerantes como el CFC y otros compuestos como las dioxinas. Casi todos son sustancias muy tóxicas y muy estables y pueden permanecer en el aire, el agua y el suelo cientos de años, resistiendo los procesos de degradación físicos y químicos. Son muy solubles en grasas por lo que se depositan fácilmente en el tejido adiposo de los seres vivos

El comportamiento que presentan los compuestos organoclorados pesados difiere de los ligeros, algunos pesados continúan después de la primera filtración, mientras que los ligeros son eliminados en estas primeras etapas, el suelo juega un papel muy importante en la eliminación de los ligeros, ya que se eliminan con facilidad, en el resto del camino solo se espera una dilución o degradación.

Los principales indicadores de compuestos orgánicos son Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el Carbono Orgánico Total COT). La DBO mide la cantidad de materia que se puede degradar con medios biológicos, normalmente, se mide después de cinco días transcurridos se expresa en $\text{mg O}_2/\text{litró}$ este método se puede aplicar en cualquier tipo de agua que tenga materia orgánica

La DQO se mide una vez transcurridos 5 días y se expresa en mg O₂/litro. El valor obtenido es siempre superior a la DBO ya que se oxidan también por este método las sustancias no biodegradables. El Carbono Orgánico Total es un indicador medible al instante, por lo que sustituye a la DBO y a la DQO en situaciones urgentes, aunque no es tan exacto.

2.8.6 Materia flotante.

La materia flotante es todo aquel material que queda retenido en una malla entre 2,8 mm y 3,3 mm de abertura. La determinación de materia flotante en aguas residuales y aguas residuales tratadas, es de importancia para el control y tratamiento de descargas. La materia flotante debe estar ausente en el agua tratada.

2.8.7 Coliformes fecales.

Los coliformes fecales se denominan termotolerantes, por su capacidad de soportar temperaturas elevadas. Esta es la característica que distingue a los coliformes totales y fecales. Los coliformes fecales pertenecen a un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5 °C. Aproximadamente, el 95 % del grupo de los coliformes presentes en las heces, están formados por colonias de *Escherichia coli*. Como los coliformes fecales se encuentran exclusivamente en las heces de los animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal.

Debido a que un gran número de enfermedades son transmitidas por vía fecal-oral, utilizando como vehículo los alimentos y el agua, es necesario contar con microorganismos que funcionen como indicador de contaminación fecal.

El grupo coliforme es constante, abundante y casi exclusivo de la materia fecal, sin embargo, las características de sobrevivencia y la capacidad de multiplicarse fuera del intestino, también se observan en aguas potables, por lo que el grupo se utiliza también como indicador de contaminación fecal en el agua.

El grupo de bacterias coliformes totales, comprende todos los bacilos Gram negativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas, este grupo está conformado por cuatro géneros principalmente: *Enterobacter*, *Escherichia*, *Citrobacter* y *Klebsiella*.

2.9. Tratamiento.

2.9.1 Consideraciones Generales.

El objetivo de la NOM-015-CONAGUA-2007 es proteger la calidad del agua de los acuíferos y de escurrimientos superficiales, se aplica a personas que realicen obras de infiltración mediante disposición de aguas pluviales en construcciones que tengan capacidad mayor a 60 litros por segundo.

Establece que no se puede realizar infiltraciones en suelos contaminados ni en áreas con riesgo de deslaves a menos que se hagan trabajos para estabilizar los terrenos. Cabe mencionar que no se debe realizar disposición al suelo de aguas residuales crudas, ni la mezcla con aguas pluviales, la infiltración se llevara a cabo siempre y cuando se tenga limpia la zona de basura.

La profundidad máxima de aplicación de aguas al subsuelo debe ser de 5 m sobre el nivel freático, con el fin de no afectar la calidad de agua nativa, para ello se debe caracterizar el agua antes y mantener un monitoreo constante de la calidad de agua infiltrándose, en particular en proyectos de más de un pozo de infiltración y la distancia entre ellos sea de 500 m.

Así mismo los pozos deben contar con un dispositivo de cierre manual en la entrada de los mismos y se debe mantener cerrado cuando no se realice disposición de agua pluvial, cuando se presenten inundaciones o eventos accidentales de derrames de líquidos o sustancias contaminantes.

El agua no se debe descargar simplemente al acuífero sin un tratamiento previo, con el fin de garantizar la protección de los acuíferos (Fig. 2.1).

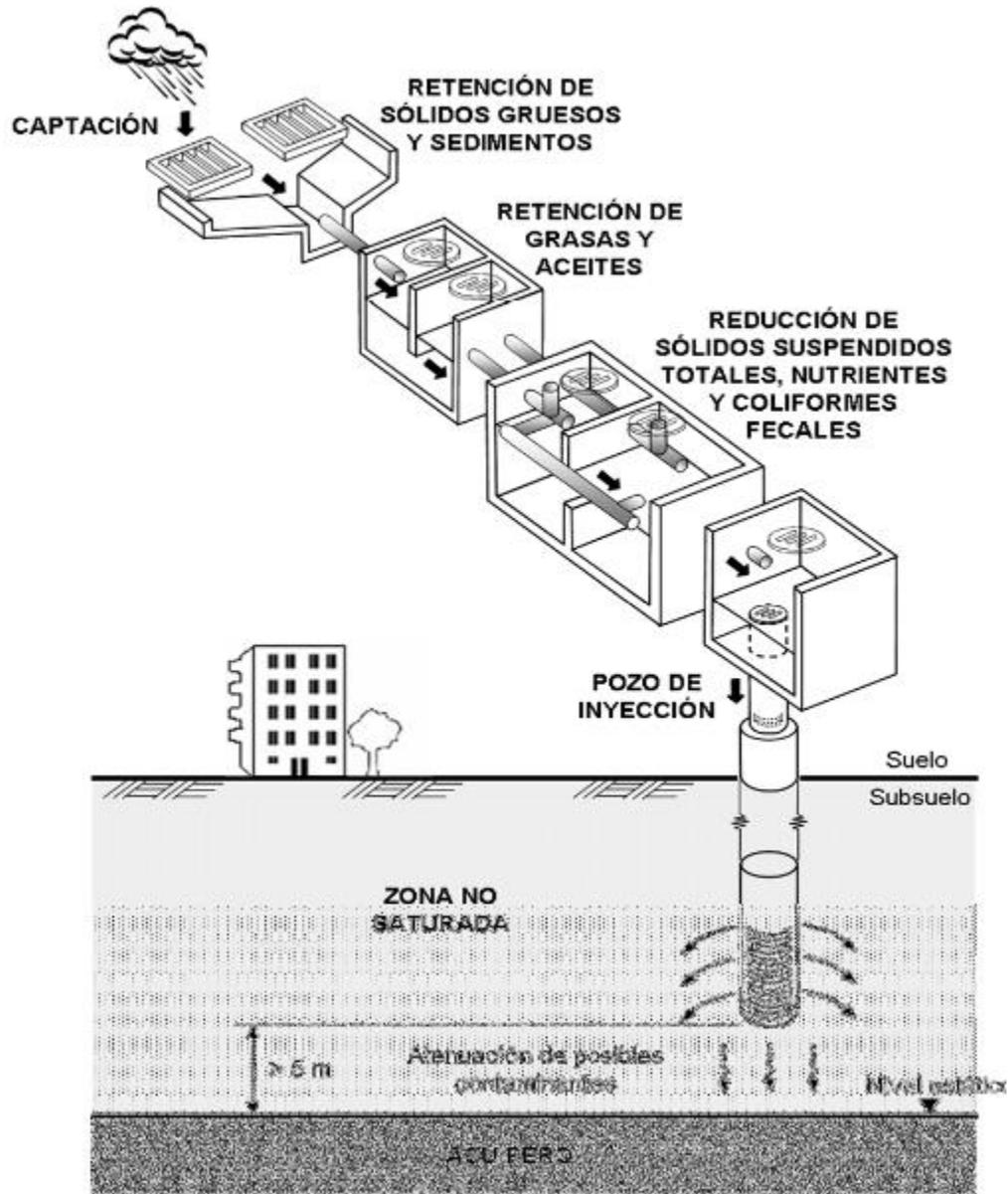


Figura 2.1 Tratamiento general de agua pluvial.

Fuente: Soto Navarro Pedro R, Vázquez Zúñiga José A. Normas oficiales mexicanas de recarga artificial de acuíferos con aguas residuales y de infiltración de aguas pluviales al suelo y subsuelo. 2012.

2.9.2 Tratamiento preliminar.

Aquí se mencionan los pasos que se van a seguir para la propuesta de tratamiento de agua pluvial de los pozos de Ciudad Universitaria.

2.9.2.1 Separación de grandes sólidos.

Cuando se prevé la existencia de sólidos de gran tamaño o de arenas en el agua, se debe incluir al principio de la instalación, el sistema de separación de sólidos consiste en un pozo situado a la entrada del colector, con el fin de concentrar los sólidos y las arenas decantadas en una zona específica, donde se pueden extraer de forma eficaz.

Este pozo se llama de gruesos, tiene una reja instalada que no es más que una serie de vigas de acero colocadas horizontalmente a la entrada de las zanjas de infiltración, que impiden la entrada de residuos grandes.

2.9.2.2 Desbaste.

Esta operación consiste en pasar el agua a través de una reja. De esta forma, se clasifica de acuerdo a la separación de los barrotes de la reja en:

Desbaste fino: Con separación libre entre barrotes de 10-25 mm.

Desbaste de gruesos: Con separación libre entre barrotes de 50-100 mm. En cuanto a los barrotes, estos deben tener espesores mínimos de 12-25 mm.

Reja de finos: entre 6-12 mm.

2.9.3 Tratamiento primario.

El primer tratamiento importante por el que pasan las aguas es generalmente la sedimentación de sólidos suspendidos donde en un tanque adecuado pasan alrededor de tres a cuatro horas o más que es el tiempo suficiente para que el 40 % o el 65 % de los sólidos se depositen en el fondo del tanque, el cual se extrae posteriormente. La sedimentación primaria es una operación unitaria, diseñada para concentrar y remover sólidos suspendidos orgánicos del agua residual.

Tipos de tratamiento primario.

Algunas de las características de tratamiento primario son:

- 1- El tratamiento primario más utilizado es la sedimentación simple.
- 2- El tratamiento reduce los esfuerzos en procesos posteriores.
- 3- La mayor parte de los sólidos presentes flocculan de manera natural.

Tanques de sedimentación tipo rectangular.

Los criterios de diseño para un tanque de sedimentación primaria se listan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Criterios de diseño para sedimentador tipo rectangular.

PARÁMETRO	INTERVALO	VALOR TIPICO
Tiempo de retención en h	1.5-2.5	2
Carga superficial en $m^3/m^2 d$		
Gasto medio	32-48	
Gasto máximo ext.	80-120	100
Carga sobre el vertedor	125-500	250
$m^3/m d$		
Rectangular (metros)		
Profundidad	3-5	3.6
Longitud	15-90	25-40
Ancho	3-24	6-10
Velocidad de la rastra	0.6-12 m/min	1

Fuente: Operación y mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. 2013.

En la figura 2.3 se muestra el esquema de un sedimentador convencional.

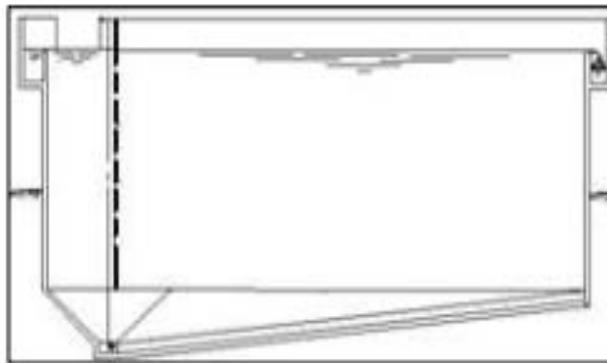


Figura 2.3 Sedimentador convencional.

Fuente: Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores, Organización Panamericana de la Salud 2005

CAPITULO 3

METODOLOGÍA

3.1 Evaluación de la calidad de agua

En este capítulo se describe cada uno de los métodos que se usaron para la recolección de muestras, el almacenamiento y las técnicas utilizadas para medir los niveles de contaminación del agua pluvial en Ciudad Universitaria

Consistió en diferentes muestreos a lo largo de la temporada de lluvias de los meses de Agosto, Septiembre y Octubre, se hicieron los análisis de los siguientes parámetros; Materia Flotante, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Sedimentables, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Coliformes Fecales. Analizados conforme a la norma NOM-015-CONAGUA-2007, además de la DBO₅ y de la DQO.

3.2 Procedimientos para evaluar la calidad de agua de lluvia.

3.2.1 Procedimiento para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

A) Recolección y preservación de las muestras.

Las muestras se colectaron en un frasco de polietileno de un litro, así mismo se analizaron en las dos horas posteriores a la recolección, si no se analizan dentro de las dos horas deberán refrigerarse a 4 °C por un periodo máximo de 48 horas.

B) Equipos y materiales.

Oxímetro: El cual cuenta con agitador.

Incubadora de DBO₅: Con control de temperatura a 20 °C.

Frascos Winkler de 300 mL.

Probeta de 30 mL, 100 mL.

Almohadillas de nutrientes marca HACH.

Agua de dilución.

C) Procedimiento.

Aclimatar las muestras a 20 °C. (En caso de ser necesario)

Se utilizaron 45 frascos Winkler, para las diluciones y 3 para los blancos, mismos que se lavaron con agua del grifo dos veces y posteriormente una con agua destilada para evitar que tengan contaminantes que obstruyan las mediciones.

Una vez secos los frascos se marcaron nueve para cada uno de los puntos de muestreo con una letra y número en específico para saber a que muestra

pertenecen, de igual forma se marcaron 3 con la dilución de 10 mL, 3 con la dilución de 30 mL, y 3 con la dilución a 100 mL, todo esto para tener un rango mayor de resultados y poder obtener un resultado correcto (Fig. 3.1).



Figura 3.1 Frascos Winkler previamente marcados.

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Al terminar de etiquetar los frascos, se preparó agua de dilución con las almohadillas de nutrientes marca HACH, se adicionaron 5 de estas almohadillas, debido a que están preparadas para 3 litros cada una, es decir, se preparó 15 litros de agua de dilución en un recipiente perfectamente limpio y libre de impurezas. Con agitación durante 30 minutos.

Transcurridos los 30 minutos de agitación se dejó reposar 30 minutos el agua de dilución.

Se limpió los materiales de vidrio a utilizar; pipetas, probetas, matraces, etc. También se limpió perfectamente el equipo que se utilizó para medir el oxígeno disuelto y su correspondiente electrodo.

Se calibró cada vez que se utilizó para evitar datos incorrectos.

Limpios y secos los frascos Winkler se tomó cada una de las muestras de los 5 pozos de absorción y se realizaron diluciones de 10 mL en tres frascos marcados anteriormente, otros tres frascos con la dilución de 30 mL y tres más con 100 mL de muestra respectivamente, dando como resultado 9 frascos por cada muestra.

Se obtuvieron un total de 45 frascos por las 5 muestras de los pozos. Y tres de los blancos.

Una vez que se tuvieron todos los frascos con las respectivas muestras y diluciones, se llenaron todos los recipientes Winkler a su máxima capacidad para que no queden burbujas de aire dentro, las cuales pueden interferir con la medición de oxígeno, se debe tener mucho cuidado de llenar los frascos lo más lentamente posible para no saturar de oxígeno el agua, así mismo se van a preparar otros tres frascos sólo con el agua de dilución (Fig. 3.2).



Figura 3.2 Frascos Winkler con muestra y agua de dilución.

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Determinación de Oxígeno Disuelto inicial.

Se determinó el oxígeno disuelto inicial en cada uno de los frascos. Se utilizó el equipo llamado Oxímetro (Fig. 3.3), con el electrodo previamente limpio se introdujo en el frasco, una vez dentro el electrodo se debe encender el agitador del equipo.

Cuando el equipo arroje una concentración de oxígeno constante es cuando se detendrá la medición y se anotaran los resultados en la bitácora.

El agitador del equipo se deberá apagar para poder sacar el electrodo del frasco Winkler.

Una vez retirado el electrodo se procedió a tapar y sellar perfectamente con papel parafilm el frasco para evitar errores de medición.



Figura 3.3 Oxímetro utilizado para medir el oxígeno disuelto.

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Incubación.

Después de haber medido el oxígeno inicial y sellar los frascos Winkler se procedió a ponerlos en la incubadora a 20 °C donde se mantuvieron durante 5 días (Fig. 3.4).



Figura 3.4 Incubadora.

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Determinación Oxígeno Disuelto final.

Al cabo de cinco días se sacaron los frascos de la incubadora y se colocaron en orden sobre la mesa de trabajo para continuar con la siguiente etapa experimental.

Se determinó el oxígeno final con el oxímetro a cada una de las muestras y a los blancos anotando correctamente los datos en la bitácora.

Esta medición se obtuvo siguiendo el mismo procedimiento para obtener el oxígeno disuelto inicial (Fig. 3.5).



Figura 3.5 Medición de oxígeno disuelto final.

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Cálculos.

$$DBO_5 \text{ (mg/L)} = OD_i \text{ mg/L} - OD_5 \text{ mg/L}$$

Donde:

OD_i mg/L es el oxígeno disuelto inicial, y

OD_5 mg/L es el oxígeno disuelto al quinto día.

3.2.2 Procedimiento para Demanda Química de Oxígeno (DQO)

A) Recolección y preservación de las muestras.

Se recolectaron en un frasco de polietileno de un litro, así mismo se analizaron en las dos horas posteriores a la recolección, las muestras se llevaron a temperatura ambiente antes de su análisis.

B) Equipo y materiales.

Reactor para digestión.

Viales para digestión marca HACH.

Equipo DR-3900 Espectrofotómetro.

C) Procedimiento.

Precaliente el reactor de digestión a 150 °C (Fig. 3.6).



Figura 3.6 Reactor de digestión.

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Se prepararon tres viales de digestión marca HACH para cada uno de los cinco pozos de absorción que fueron analizados, es decir, se utilizaron 15 viales para este experimento, más un vial que fue utilizado como blanco.

A cada vial se le agregó 2 mL de muestra con ayuda de una pipeta graduada, vaciando a un ángulo de 45 grados para evitar salpicaduras y pérdida del analito. Esto se repetirá para el resto de las muestras.

Se preparó el blanco agregando 2 mL de agua desionizada al vial dispuesto para tal efecto.

Una vez preparados los viales con las muestras se agitaron suavemente para homogeneizar.

Cuando se terminó de agitar los viales se colocaron en el reactor de digestión previamente calentado a 150 °C durante dos horas para que se lleve a cabo la reacción. Esto se llevó a cabo en la campana de extracción.

Transcurrido el tiempo de digestión se dejó enfriar al menos 20 minutos en el reactor, después se dejó reposar hasta llegar a temperatura ambiente.

Se preparó el espectrofotómetro DR 3900 para medir la concentración de la Demanda Química de Oxígeno. Utilizando la opción rango bajo del equipo

Una vez establecido el parámetro de rango bajo en el espectrofotómetro se limpió el vial que se estableció como blanco y se colocó en el equipo como se muestra en la figura 3.7.



Figura 3.7 Espectrofotómetro midiendo el blanco.

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Para medir el resultado de las demás muestras, se debe introducir cada uno de los viales en el espectrofotómetro y presionar el botón READ para que este mida la concentración.

3.2.3 Procedimiento para Nitrógeno Total.

A) Recolección y preservación de las muestras.

Se toma un mínimo de 2 L de muestra en un envase de polietileno. La muestra se preserva con ácido sulfúrico a un pH de 2, mantener a 4 °C el tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 7 días.

B) Equipos y materiales.

Digestor con sistema de extracción de humos.

Destilador con sistema de condensación.

Tubos buchi para el digestor.

Probetas de 10, 50 y 100 mL

Pipeta pasteur

Hidroxido de Sodio 6 N

Solución indicadora de ácido bórico

Solución de ácido sulfurico 0.02 M

Reactivo para digestión

Matraz Erlenmeyer

C) Procedimiento.

Este análisis se llevó acabo en dos etapas, la primera consistió en medir la concentración del nitrógeno orgánico y la segunda en medir el nitrógeno amoniacal ya que la suma de estas reacciones da como resultado el nitrógeno total.

Nitrógeno Orgánico

Se utiliza equipo BUCHI Digestor Unit K-424 (Figura 3.8) precalentado durante una hora hasta que alcance la temperatura adecuada para comenzar con la digestión del Nitrógeno Orgánico, aproximadamente 40 °C.



Figura 3.8 BUCHI Digestor Unit K-424

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Una vez que se tiene el equipo de digestión en condiciones se procede a preparar los tubos BUCHI donde se llevó a cabo la reacción para obtener el Nitrógeno Organico, a cada tubo se le agrego 30 mL de muestra y 20 mL de reactivo de digestión y un tubo de vidrio delgado de 10 cm de longitud para controlar la ebullición. Se cierran perfectamente los tubos con la tapa, como se muestra en la figura 3.9.



Figura 3.9 Equipo armado para comenzar digestión.

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Se realizó la digestión elevando poco a poco la temperatura hasta llegar a los 380 °C. Si la temperatura se aumenta súbitamente se corre el riesgo de que se contaminen las muestras por una ebullición violenta.

Al cabo de varias horas de calentamiento la presencia de vapores blancos, representa que la digestión se está llevando a cabo correctamente. Los vapores blancos continuaron desprendiéndose hasta que se terminó de digerir el contenido de los tubos BUCHI.

Cuando los vapores desaparezcan se suspende el calentamiento veinte minutos después, para asegurar que se terminó la digestión.

El volumen de la muestra también habrá disminuido considerablemente.

Transcurrido todo este proceso, los tubos se sacaron del digestor y se dejaron enfriar un poco, sin la tapa de cristal que los cubre y dentro de la campana de extracción para eliminar el remanente de los vapores blancos.

Después de ser enfriados los tubos se le agrego a cada uno 30 mL de agua destilada, para controlar la reacción, inmediatamente se agregan 6 mL de sosa 6 N para ajustar el pH mayor a 9.

Se prepararon varios matraces con 25 mL de ácido bórico y la mezcla de indicadores.

Cada una de las muestras serán conectadas al equipo de destilación del lado izquierdo como se muestra en la figura 3.10.

El matraz con la solución indicadora se colocó de lado derecho del equipo donde recibió el nitrógeno orgánico ya condensado.



Figura 3.10 Muestras conectadas al equipo de destilación.

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

El equipo de destilación se programó para que destile durante 8 minutos, al terminar la destilación el contenido matraz que recibe el destilado se pondrá de color verde, lo que indica la presencia de Nitrógeno Organico.

La muestra de agua pluvial quedo de color café como se puede observar en la figura 3.11.



Figura 3.11 Destilacion final.

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Se retiró el matraz y se tituló con la solución de ácido sulfúrico 0.02 N hasta el cambio de verde a morado.

Nitrógeno amoniacal.

Se agregó 25 mL de ácido bórico y la mezcla de indicadores a un matraz y conectarlo al equipo de destilación, como se realizó anteriormente.

Se colocan 30 mL de muestra, en uno de los tubos BUCHI y se le agrego 2 mL de sosa 6 N para ajustar pH mayor a 9 y se conectó al equipo de destilación. Transcurrido este tiempo se retiro el matraz.

De igual manera se programó el equipo para que destile durante 8 minutos, transcurrido este tiempo se retira el matraz y se tituló con ácido sulfúrico 0.02 N hasta que la solución vire de verde a morado.

Cálculos.

Usar la siguiente ecuación para calcular la concentración de Nitrógeno total.

$$\frac{\text{mgNtk}}{\text{L}} = \frac{(\text{A-B}) (\text{N}) (14) (1\ 000)}{\text{V}}$$

$$\frac{\text{mg NH}_3\text{-N}}{\text{L}} = \frac{(\text{A-B}) (\text{N}) (14) (1\ 000)}{\text{V}}$$

$$\frac{\text{mg N-ORG}}{\text{L}} = \frac{(\text{A-B}) (\text{N}) (14) (1\ 000)}{\text{V}}$$

$$\frac{\text{mgNtk}}{\text{L}} = \frac{\text{mg NH}_3\text{-N}}{\text{L}} + \frac{\text{mg N-ORG}}{\text{L}}$$

Donde:

A son los mL de ácido sulfúrico gastados en la titulación de la muestra.

B son los mL de ácido sulfúrico gastados en el blanco.

N es la normalidad del ácido sulfúrico.

V son los mL de muestra.

14 es el peso equivalente del nitrógeno.

3.2.4 Procedimiento para Sólidos Sedimentables.

A) Recolección y preservación de las muestras.

Se recolecto un volumen superior a 1 L en un frasco de polietileno de boca ancha, se mantuvo a 8 °C, el tiempo máximo de almacenamiento es de 7 días.

B) Equipos y materiales.

- Frasco de polietileno o vidrio con una capacidad mínima de 1,5 L. con tapa de boca ancha.
- Cono de sedimentación tipo Imhoff de vidrio o plástico.
- Base para cono Imhoff.
- Agitador largo.
- Reloj o cronómetro.

C) Procedimiento.

Se mezcló perfectamente la muestra a fin de asegurar la distribución de los sólidos en todo el líquido.

Se llenó el cono Imhoff hasta la marca de 1 L como se muestra en la figura 3.12. Dejar que sedimente durante 45 minutos.



Figura 3.12 Cono Imhoff.

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Trascurridos los 45 minutos, con ayuda de una espátula se desprendieron los sólidos que se quedaron adheridos en las paredes del cono para que continúen sedimentando por 15 minutos más.

Cálculos.

Tomar directamente la lectura de sólidos sedimentables del cono Imhoff. La concentración se mide hasta la altura donde llegan los sedimentos.

3.2.5 Procedimiento para Materia Flotante.

A) Recolección y preservación de las muestras.

Se recolecta un mínimo de 3 L de muestra. No se debe preservar la muestra, el tiempo máximo previo al análisis no aplica.

B) Equipos y materiales.

- Malla de acero inoxidable con abertura entre 2,8 mm y 3,3 mm.
- Recipiente de boca ancha, con un volumen que se encuentre entre 3 L y 5 L.
- Espátula.

C) Procedimiento.

Verter aproximadamente 3 litros de la muestra a través de la malla, teniendo mucho cuidado que la materia flotante quede sobre la malla.

Arrastrar con un agitador de vidrio hacia el exterior de la malla toda materia flotante.

Inmediatamente después de filtrar, se procede al examen de la malla.

Cálculos.

Depende de la presencia o ausencia de materia flotante retenida en la malla, si al revisar visualmente la malla se encuentran partículas retenidas, Reportar.

3.2.6 Procedimiento para Sólidos Suspendidos Totales.

A) Recolección y preservación de las muestras.

Se tomó un mínimo de 500 mL de muestra en envases de polietileno. Se preserva la muestra a 4 °C, el tiempo máximo de almacenamiento es de 7 días.

B) Equipo y materiales.

Bomba de vacío

Balanza analítica con precisión de 0,1 mg

Mufla eléctrica para operar a 500°C ± 50°C

Cápsulas de evaporación adecuadas al volumen de la muestra

Desecador, provisto con un desecante que contenga un indicador colorido

Crisol Gooch de poro fino con adaptador de hule para el equipo de filtración

Matraz Kitasato de 1 L de capacidad

Filtro de fibra de vidrio de tamaño adecuado al crisol Gooch utilizado con una porosidad de 2 µm o menor

Pinzas para crisol

Guantes para protección al calor

C) Procedimiento.

Preparación de crisoles Gooch

Se introdujo el filtro de fibra de vidrio en el crisol con la cara rugosa hacia arriba, mojar el filtro con agua para asegurar que se adhiera al fondo del crisol.

Los crisoles se introducen a la mufla a una temperatura de 550°C ± 50°C, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlos a la estufa a 103°C - 105°C aproximadamente 20 minutos.

Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador, Pesar los crisoles y repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtiene hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0,5 mg.

Determinación de los sólidos suspendidos totales (SST):

Medir con una probeta, un volumen adecuado de la cantidad seleccionada de muestra previamente homogeneizada la cual depende de la concentración esperada de sólidos suspendidos.

Filtrar la muestra a través del crisol Gooch, preparado anteriormente aplicando vacío, lavar el disco tres veces con 10 ml de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado.

Suspender el vacío y secar el crisol en la estufa a una temperatura de 103°C a 105°C durante 1 h aproximadamente. Sacar el crisol, dejar enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante.

Cálculos.

Calcular el contenido de sólidos totales de las muestras como sigue:

$$ST = \frac{(G1 - G) * 1\ 000}{V}$$

Donde:

ST son los sólidos totales, en mg/L.

G1 es el peso de la cápsula con el residuo, después de la evaporación, en mg.

G es el peso de la cápsula vacía, en mg a peso constante.

V es el volumen de muestra, en mL.

3.2.7 Procedimiento para Fósforo Total.

A) Recolección y preservación de las muestras.

Se toma un mínimo de 500 mL de muestra en envases de polietileno. Se preserva la muestra a 4 °C, el tiempo máximo de almacenamiento es de 28 días.

B) Equipo y materiales.

Reactor para digestión.

Kit para medir Fósforo total HACH (Reactivo PhosVer3, Hidróxido de sodio 1 N y viales de digestión)

Equipo DR-3900 Espectrofotómetro.

C) Procedimiento.

Precalear el equipo a 150 ° C por un periodo de una hora.

Se utilizaron tres viales por cada muestra para analizar, se añadieron 5 mL de agua que se extrajo del pozo de absorción a cada vial. Se agitó suavemente para homogeneizar

Inmediatamente se debe poner el vial en el reactor, durante 30 minutos, como se muestra en la figura 3.13, para que no haya errores con el tiempo se debe programar el temporizador girando la perilla hasta la posición de 30 minutos, cuando termine el tiempo de calentamiento el equipo se pagara.

Es importante preparar un blanco, para que el equipo DR-3900 espectrofotómetro tenga la referencia inicial. Se añadió 5 ml de agua destilada al vial que se usara.

La reacción se debe llevar a cabo dentro de la campana de extracción por seguridad, ya que si hay desprendimiento de gases, puede ser peligroso.



Figura 3.13 Viales colocados en digestor

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Al terminar el tiempo de reacción se colocan los viales en un bastidor como en la figura 3.14 y se le agregan 2 mL de la solución de hidróxido de sodio 1 N, la cual viene dentro del kit, se debe hacer con mucho cuidado para evitar pérdidas cuando se estén tomando las mediciones.

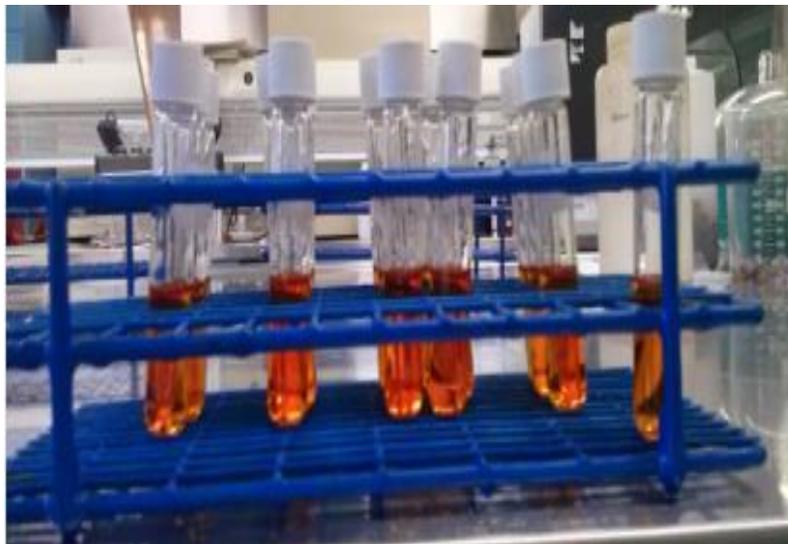


Figura 3.14 Viales colocados en bastidor

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

Cuando se termino de agregar la sosa se agrega el reactivo PhosVer3 al vial y se agita durante 30 segundos suavemente. Los resultados se medirán 8 minutos después

Se limpió el vial, que se dejó como blanco, insertando en el espectrofotómetro DR-3900 y presionando cero, la pantalla mostrara 0.00 mg/L PO_4^{3-} .

Hecho esto el equipo ya tendrá la referencia para las demás mediciones, así se podrán insertar los demás viales sin ningún problema para medir las demás concentraciones (Figura 3.15)



Figura 3.15 Espectrofotómetro para medir el Fósforo Total.

Fuente: Propia. Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Instituto de Ingeniería UNAM, 2014.

3.2.8 Procedimiento para Coliformes Fecales.

MÉTODO DE FILTRADO DE MEMBRANA

A) Recolección y preservación de las muestras.

El muestreo debe realizarse adecuadamente para asegurar que se detecten las variaciones estacionales y que los resultados sean representativos de la fuente de la muestra.

Se realizó un muestreo con un volumen aproximado de 300 ml para cada punto.

El análisis de la muestra debe hacerse lo antes posible después del muestreo. El tiempo máximo transcurrido entre el muestreo y el examen no deberá superar las 8 horas en el caso de las muestras de agua no potable y 30 horas en el caso de las muestras de agua potable. En caso de que el tiempo transcurrido entre el muestreo y el análisis exceda las 8 horas, para obtener mejores resultados se mantendrá la muestra a 10°C o por debajo de esta temperatura, pero no congelar. Si el muestreo y el transporte de las muestras no se realizan adecuadamente, los resultados obtenidos serán inexactos.

B) Equipo y materiales.

Incubadora: debe ser equipada con un termostato para que la temperatura dentro de la incubadora sea de $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ con capacidad suficiente para permitir la circulación del aire alrededor de todos los materiales a incubar.

Baño de agua: equipada con termostato, un agitador de baja velocidad para promover la circulación del agua y mantener la temperatura uniforme en todos los puntos. La temperatura del baño de agua debe ser de $44.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$.

Balanza analítica con sensibilidad de al menos de 0.1 g a 150 g

Parrilla de agitación con calentamiento

Autoclave para esterilizar a una temperatura de 121°C a 15 libras de presión

Equipo porta membranas Millipore compuesto por:

- ✓ Embudo filtración porta membrana con placa.
- ✓ Vaso bridado de 250 ml.
- ✓ Matraz kitasato de 1000 ml con oliva de vidrio.
- ✓ Tapón de silicona azul con orificio.
- ✓ Pinza metálica para sujetar el soporte

Pinza muelle para 47 mm Millipore

Cajas Petri de plástico desechable de 60X15 s/ceja, s/división.

Encendedor

Mechero de Bunsen.

Pipetas serológicas de 1 mL.

Pipetas serológicas de 10 mL.

Vaso de precipitados de 1000 mL.

Vaso de precipitados de 500 mL.

Vaso de precipitados de 50 mL.

Propipeta o pipeteador automático

Agitadores magnéticos

Bolsas de plástico con cierre hermético (Ziploc)

Bolsas de polipapel

Membranas MF, ésteres de celulosa, tamaño de poro 0,45 micras, blanca, cuadrículada, diámetro 47 mm.

Botellas Corning dilución leche graduada, con tapa y boca ancha. (La cantidad dependerá del número de diluciones que se necesiten realizar)

Matraz volumétrico de 1L

Reactivos.

Ácido rosólico.

Hidróxido de sodio.

Fosfato de potasio monobásico.

Cloruro de magnesio.

Etanol absoluto.

Agua destilada.

Agar MFC.

Preparación de reactivos y medios de cultivo

A) Ácido rosólico

Pesar 1.0 g de ácido rosólico y disolverlo en 100 ml de hidróxido de sodio 0.2N en un matraz volumétrico.

B) Hidróxido de sodio (NaOH) 0.2 N.

Pesar 0.8 g de hidróxido de sodio, colocar en un matraz volumétrico y completar un volumen de 100 ml con agua destilada.

Hidróxido de sodio (NaOH) 1 N.

Pesar 4 g de hidróxido de sodio, colocar en un matraz volumétrico y completar un volumen de 100 ml con agua destilada.

C) Agua de dilución

Solución patrón A

Fosfato monopotásico (KH_2PO_4).....34 g

Agua destilada.....500 mL

Disolver el fosfato monopotásico en 500 mL de agua destilada. Ajustar el pH a 7.2 ± 0.5 con solución de hidróxido de sodio 1 N, completar el volumen a un litro con agua destilada esterilizar en autoclave a 121°C durante 15 minutos y almacenar en refrigerador.

Solución patrón B

Cloruro de magnesio (MgCl_2).....38 g
Agua destilada.....1000 mL

Disolver el cloruro de magnesio en un litro de agua destilada. Esterilizar en autoclave a 121°C durante 15 minutos, almacenar en refrigerador.

Preparación del agua de dilución

Agregar 1.25 mL de la solución patrón "A" y 5 ml de la solución patrón "B" a un matraz volumétrico de 1L y aforar con agua destilada. Distribuir en las botellas para dilución cantidades que aseguren un volumen de 99 ± 2 ml, cerrar el frasco colocando un pedazo de papel aluminio entre la tapa y el frasco, luego esterilizar durante 15 minutos a 121°C .

D) Agar M-FC

Si se cuenta con medios deshidratados, preparar siguiendo las instrucciones de los fabricantes, de lo contrario se prepararan a partir de sus ingredientes básicos. Rehidratarse el agar en agua destilada y agregar 10 ml de ácido rosólico al 1 % en NaOH al 0.2N.

Calentar sin hervir hasta su completa disolución. Distribuir en cajas Petri estériles de 5 a 7 ml de medio, en un ambiente estéril, dejar enfriar y mantener en refrigeración si es que no se utilizaran en el momento.

C) Procedimiento.

Aclimatar las muestras de agua a analizar, así como las cajas Petri con medio de cultivo a utilizar, si es que se encuentran en refrigeración.

- Si es necesario hacer diluciones, se deberá seguir el siguiente procedimiento:

Técnica de dilución

1. Lávese las manos.
2. Limpiar el área de trabajo y encender el mechero para trabajar en un área estéril
3. Abrir una botella de agua de dilución esterilizada.
4. Agitar enérgicamente el recipiente que contiene la muestra, aproximadamente 25 veces y abrir el recipiente.

5. Utilizar una pipeta de transferencia esterilizada para colocar con la pipeta la cantidad necesaria de muestra en el agua de dilución.
6. Tapar la botella de agua de dilución y agitar enérgicamente 25 veces.
7. Si se necesitan más diluciones, repita los pasos 3 a 5 utilizando pipetas esterilizadas y limpias y botellas adicionales de agua de dilución.

En la figura 3.16 se muestra la forma como se puede realizar las diluciones, así como, la forma de llevar a cabo la técnica de filtración de membrana.

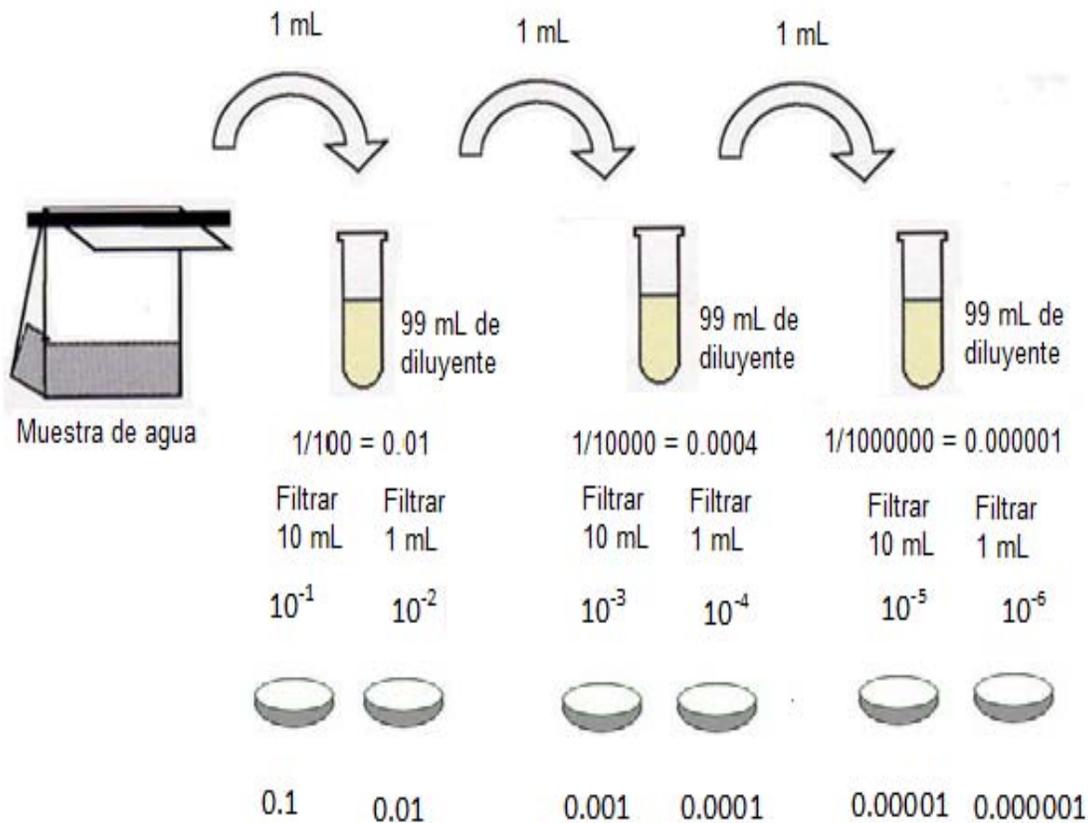


Figura 3.16 Procedimiento para la realización de diluciones y filtración de membrana

Fuente: Tomado y modificado de http://virus.usal.es/web/demo_microali/Saureus/SaureusPlaca.html 2013

A) Armar el equipo de filtración y colocar una membrana filtrante estéril sobre el soporte poroso, utilizando las pinzas muelle esterilizadas previamente por flámeo.

B) Colocar el embudo superior y asegurarlo con la pinza metálica para sujetar el soporte.

C) Vaciar de 20 a 30 ml de agua de dilución estéril para humedecer la membrana, agitar la muestra y añadir el volumen que se ha elegido como óptimo según el tipo de agua y aplicar vacío.

D) Después de que la muestra ha pasado a través del filtro, enjuagar el embudo con 20 a 30 mL de agua de dilución estéril y cerrar el vacío.

E) Desarmar la unidad de filtración, y con ayuda de las pinzas muelle flameadas con alcohol retirar la membrana con la muestra ya filtrada y depositarla en una caja Petri con el medio de cultivo.

- ✓ Colocar la membrana en cajas que contengan medio m FC.
- ✓ La cuadrícula debe quedar en la parte superior de la membrana como referencia de que es la cara que contiene a las bacterias y para facilitar posteriormente el conteo.
- ✓ Asegúrese de que no queden burbujas atrapadas entre el cojinete o medio y la membrana.

F) Las cajas Petri con las membranas son colocadas en posición invertida para la incubación y acomodadas en bolsas de plástico con cierre hermético a prueba de agua para el caso de los coliformes fecales, y para los coliformes fecales solamente se colocan en la incubadora.

G) Sumergir las bolsas de plástico en un baño de agua a 44.5 ± 0.2 °C durante 24 ± 2 horas. La bolsa de plástico deberá quedar debajo de la superficie del agua durante toda la incubación.

H) Las colonias típicas de coliformes fecales en agar m FC son pequeñas, redondas y presentan una coloración azul en la superficie. Las colonias de coliformes no fecales toman un color gris o crema.

Las colonias de coliformes totales en agar mendo tienen un color rojo oscuro, con un brillo metálico en la superficie. Las colonias sin brillo pueden ser rosadas, rojas, blancas o incoloras y se consideran como no coliformes.

Cálculos

Los resultados se reportarán como unidades formadoras de colonias por cada 100ml (UFC/100ml). Con la siguiente fórmula:

$$\text{UFC} / 100 \text{ mL} = \frac{\text{número de colonias contadas}}{\text{número de mL de muestra filtrada}} \times 100$$

3.2.9 Statgraphics

El Statgraphics es un paquete para el análisis de datos estadísticos que combina una amplia gama de procedimientos analíticos con gráficos interactivos para proporcionar un entorno integrado de interpretación de resultados, que se puede aplicar en proyectos ambientales. Incluye funciones estadísticas avanzadas, capaces de proporcionar rigurosos análisis propios de los profesionales estadísticos más exigentes y experimentados y al mismo tiempo ofrece un interfaz muy intuitivo, con funciones de asistencia exclusivas, de tal forma que proporciona la simplicidad suficiente para permitir a un analista inexperto realizar procedimientos complejos.

Para los fines de este trabajo de tesis statgraphics se utilizó para el análisis de datos de aguas pluviales

Análisis estadístico.

En la elección y diseño de los procesos que deben construir un sistema de tratamiento se consideran como factores importantes el desempeño y la consistencia con el cumplimiento de las normas de vertimiento. Para ello se necesita crear un sistema de tratamiento diseñado para producir efluente con concentraciones menores o iguales a los límites permitidos.

La elección y diseño de procesos puede hacerse de dos maneras, una es adoptar factores de seguridad arbitrarios y la otra es realizar un análisis estadístico de los datos para buscar una relación funcional entre la calidad y la probable frecuencia de ocurrencia, conocido como concepto de confiabilidad. La confiabilidad de un sistema se puede definir como la probabilidad que tiene un sistema para alcanzar los criterios de desempeño establecidos.

Debido a las variaciones en la calidad del efluente tratado, el sistema de tratamiento se debe diseñar para que produzca un efluente con concentraciones promedio o por debajo de los límites

Capítulo 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.1 Resultados.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la metodología experimental anterior en la cual se evaluó la calidad del agua de lluvia, de los meses de Agosto, Septiembre y Octubre para los pozos que se habían establecido: Rectoría, Medicina, Béisbol, Economía y Estadio. De igual manera se presenta el análisis estadístico que el programa Statgraphics arrojó, con ayuda de estos resultados se hará la propuesta para el tren de tratamiento.

4.3.1. Resultados y análisis estadístico del pozo de absorción de Rectoría.

El pozo de absorción de rectoría tiene aceptables los parámetros de DBO₅, SST, Sólidos sedimentables el Nitrógeno y el fósforo de acuerdo con la norma 015-CONAGUA-2007. Los valores de Sólidos Suspendidos Totales, fueron disminuyendo con el paso del tiempo, posiblemente porque las primeras lluvias arrastran la mayoría de contaminantes, permaneciendo casi constante a partir de Septiembre, cabe mencionar que los niveles de contaminación se mantuvieron por debajo de lo que indica la norma a excepción de las coliformes, la materia flotante y la DQO.

La Materia flotante presentó niveles por arriba de lo establecido en la norma, 4 unidades por encima de lo establecido provocando que los pozos se vayan colmatando poco a poco. El pasó de la materia flotante, sólidos suspendidos y de sólidos sedimentables permite que dejen de funcionar correctamente los pozos de absorción.

De manera similar los resultados de las Coliformes Fecales mostraron que los niveles son muy altos siendo de 10000 UFC/100 mL el mínimo, lo que demuestra que el agua está fuertemente contaminada por Coliformes. Esto es debido a que el agua circula por las calles antes de ser infiltrada.

Para la DBO₅ y la DQO existen criterios que maneja la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), los cuales se tomaron como referencia para el análisis de resultados. Estos criterios se muestran en la tabla 4.1

Tabla 4.1 Escala de clasificación de calidad de agua para DBO₅ y DQO de acuerdo a la CONAGUA.

Criterio	Clasificación
DBO ₅ ≤ 3	Exelente
3 < DBO ₅ ≤ 6	Buena calidad
6 < DBO ₅ ≤ 30	Aceptable
30 < DBO ₅ ≤ 120	Contaminada
DBO ₅ > 120	Fuertemente contaminada
Criterio	Clasificación
DQO ≤ 10	Exelente
10 < DQO ≤ 20	Buena calidad
20 < DQO ≤ 40	Aceptable
40 < DQO ≤ 200	Contaminada
DQO > 120	Fuertemente contaminada

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2015.

De acuerdo con la CONAGUA para la DBO₅ la calidad de agua que se está infiltrando es aceptable ya que en ninguno de los puntos paso de 10 mg/L. Esto es muy bueno ya que no habrá problemas de eutrofización dentro de los pozos. Con respecto a la DQO la clasificación es de agua contaminada. Aunque no es una concentración alta si es preocupante ya que puede haber otro tipo de contaminantes que no fueron analizados. En la tabla 4.2 se muestra la DBO₅, DQO, SST, C. fecales y materia flotante.

Tabla 4.2 Resultados de DBO₅, DQO, SST, C. Fecales y M. Flotante del pozo de Rectoría.

Fecha	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	Coliformes fecales UFC/100mL	Materia flotante Unidad
7 de Agosto	7	57.25	87.23	20000	8
28 de Agosto	6	77.25	97.33	10000	2
12 de Septiembre	8	67.67	48	10000	2
26 de Septiembre	8	61.33	68	40000	5
10 de Octubre	8	64.67	59	40000	3
23 de Octubre	7	45	54	10000	2

Fuente: Propia. Resultados de análisis de agua pluvial del pozo de Rectoría. 2014.

Capítulo 4. Resultados y Análisis Estadístico

En la tabla 4.3 se muestran los resultados que con ayuda del programa Statgraphics se obtuvieron, la media es la que se utilizó para hacer la propuesta de tratamiento. Como se puede observar claramente estos parámetros no presentan una fuerte contaminación. Los resultados se utilizaron confiablemente para la propuesta de tratamiento del pozo de Rectoría ya que no hay desviación estándar que pueda afectar, nos podemos dar cuenta con la curtosis que está dentro de los rangos aceptables es decir que se encuentran de -2 a +2.

Tabla 4.3 Resultados de STATGRAPHICS para DBO₅, DQO, SST y M. Flotante del pozo de Rectoría.

Parámetro	DBO ₅	DQO	SST	M. Flotante
Mínimo	6	45	48	2
Máximo	8	77.25	97.33	8
Suma	44	373.17	413.5	22
Puntos	6	6	6	6
Media	7.33	62.19	68.92	3.66
Mediana	7.5	63	63.5	2.5
Desviación estándar	0.81	10.8	19.5	2.42
Sesgo Estandarizado	-0.85	-0.38	0.62	1.46
Curtosis Estandarizada	-0.15	0.47	-0.67	0.73
Valor de norma Xs	30	40	150	0

Fuente: Propia. Análisis estadístico con programa Statgraphics del pozo de Rectoría, 2015

En el caso del Nitrógeno total y Fósforo total los resultados obtenidos mostraron valores debajo de los límites máximos permisibles manteniéndose constantes a lo largo de todos los muestreos, lo que indica que no habrá eutrofización ni proliferación de algas que pueda afectar la calidad del agua.

La concentración de sólidos sedimentables también estuvo dentro de los límites y de igual manera se mantuvieron constantes sin sobrepasar un miligramo por litro.

Tabla 4.4 Resultados de Sólidos Sedimentables, Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Rectoría.

Fecha	S. Sedimentables mg/L	Nitrógeno total mg/L	Fósforo total mg/L
7 de Agosto	1	6.21	0.81
28 de Agosto	0.2	5.51	0.79
12 de Septiembre	0.3	6.16	0.52
26 de Septiembre	0.1	7.56	0.84
10 de Octubre	0.1	7.28	1.1
23 de Octubre	0.1	6.72	0.93

Fuente: Propia. Resultados de análisis de agua pluvia del pozo de Rectoría I. 2014.

En la tabla 4.5 se muestran los demás resultados que se obtuvieron con Statgraphics, el resultado de las Coliformes fecales fue el único que no cumplió con la norma sobrepasando por mucho el valor establecido, el cual es de cero, esto si es alarmante ya que es un valor muy alto.

El análisis para los sólidos sedimentables se desvía un poco de la idealidad ya que la curtosis presenta una ligero aumento en su valor superior, cabe mencionar que no es muy importante ya que los valores son muy bajos. Se puede decir que es el más bajo de todos los pozos.

Tabla 4.5 Resultados de STATGRAPHICS para Sólidos Sedimentables, C. Fecales, Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Rectoría.

Parámetro	S. Sedimentables	C.Fecales	Nitrógeno	Fósforo
Mínimo	0.1	10000	5.51	0.52
Máximo	1	400000	7.56	1.1
Suma	1.8	130000	44.43	4.99
Puntos	6	6	6	6
Media	0.3	156667	6.57	0.83
Mediana	0.15	60000	6.46	0.82
Desviación estándar	0.35	191485	0.76	0.19
Sesgo Estandarizado	2.18	0.844	-0.002	-0.43
Curtosis Estandarizada	2.4	-0.96	-0.55	0.8
Valor de norma Xs	30	0	40	20

Fuente: Propia. Análisis estadístico con programa Statgraphics del pozo de Rectoría, 2015

4.3.2 Resultados y análisis estadístico del pozo de absorción de Medicina.

Este pozo se encuentra más contaminado debido a que está en paso peatonal muy transitado, muchos alumnos transitan a diario cerca de este pozo, tirando basura como botellas de plástico, colillas de cigarro, bolsas, entre otras cosas, además que se encuentra rodeado de algunos árboles los cuales tiran hojas contaminando el pozo de absorción.

Este pozo tiende a colmatarse por la cantidad de sólidos y materia flotante, lo que ha provocado que la infiltración disminuya y los trabajos de limpieza cada año son más difíciles ya que se extraen cantidades importantes de basura y tierra. Por esta razón es que los Sólidos Suspendidos Totales y la Materia Flotante superan los límites de la norma 015-CONAGUA-2007.

También es importante observar que las Coliformes Fecales están muy por arriba de los límites, lo que es alarmante porque puede afectar el agua del acuífero.

En general los resultados de la DBO₅ se mantuvieron entre los criterios de buena calidad y aceptable, en cuanto a la DQO fue decreciendo los valores pasando de un agua contaminada a aceptable. Este comportamiento que se observa de estos valores quizás se deba a que se le dio mantenimiento al pozo al culminar la época de lluvias.

Tabla 4.6 Resultados de DBO₅, DQO, SST, C. Fecales y M. Flotante del pozo del Medicina.

Fecha	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	Coliformes fecales UFC/100mL	Materia flotante Unidad
7 de Agosto	6	154.33	598.33	40000	62
28 de Agosto	5	134.33	493	50000	19
12 de Septiembre	10	66.5	134	100000	16
26 de Septiembre	6	46.7	104	30000	6
10 de Octubre	6	92	53	300000	11
23 de Octubre	4	25	41	20000	16

Fuente: Propia. Resultados de análisis de agua pluvial del pozo de Medicina. 2014.

Capítulo 4. Resultados y Análisis Estadístico

En la tabla 4.7 se muestran los resultados que se obtuvieron con Statgraphics, al igual que en el pozo anterior la media para Sólidos Suspendidos Totales y Materia Flotante es alta. Esto quiere decir que el tratamiento para este pozo se basara mayormente en estos dos contaminantes.

Ya que la curtosis muestra buen comportamiento a la normalidad podemos decir que estos resultados son confiables para el análisis.

Tabla 4.7 Resultados del STATGRAPHICS para DBO₅, DQO, SST y M. Flotante del pozo de Medicina.

Parámetro	DBO ₅	DQO	SST	M. Flotante
Mínimo	4	25	41	6
Máximo	10	157.33	598.33	62
Suma	37	518.86	1423.33	130
Puntos	6	6	6	6
Media	6.16	86.47	237.22	21.66
Mediana	6	79.25	119	16
Desviación estándar	2.04	50.36	243.58	20.28
Sesgo Estandarizado	1.57	0.27	0.96	2.16
Curtosis Estandarizada	1.7	-0.76	-0.7	2.5
Valor de norma Xs	30	40	150	0

Fuente: Propia. Análisis estadístico con programa Statgraphics del pozo de Medicina, 2015

Los resultados de Nitrógeno total y del Fósforo total, al igual que en el pozo anterior se mantuvieron muy bajos como se muestra en la tabla 4.8, esto es de esperarse ya que no hay fuentes cercanas de estos contaminantes como podría ser una zona de cultivo donde se usen fertilizantes. Esto es muy importante ya que se puede decir que el campus de Ciudad Universitaria está prácticamente libre de estos dos contaminantes.

En el caso de sólidos sedimentables la concentración fue disminuyendo con el paso del tiempo, gracias a que se le dio mantenimiento durante la temporada de lluvias, ver tabla 4.8.

Tabla 4.8 Resultados de Sólidos Sedimentables, Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Medicina.

Fecha	S. Sedimentables mg/L	Nitrógeno total mg/L	Fósforo total mg/L
7 de Agosto	2.1	5.4	0.57
28 de Agosto	1.5	4.57	0.55
12 de Septiembre	1.8	5.23	0.41
26 de Septiembre	0.5	6.16	1.09
10 de Octubre	0.2	7.28	0.98
23 de Octubre	0.4	3.64	0.88

Fuente: Propia. Resultados de análisis de agua pluvial del pozo de Medicina. 2014.

Para los resultados de este pozo la curtosis y el sesgo indican que no hay variación significativa en la normalidad, es decir, que la media se puede utilizar confiablemente para los Sólidos Suspendidos, Nitrógeno total y Fósforo total los cuales mantuvieron valores de contaminación muy bajos, por el contrario, las coliformes mantienen resultados muy altos siendo las únicas que sobrepasan por mucho los valores de la norma, además de que tienen una desviación significativa en la curtosis y en el sesgo, ver tabla 4.9

Tabla 4.9 Resultados de STATGRAPHICS para Sólidos Sedimentables, C. Fecales Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Medicina.

Parámetro	S. Sedimentables	C.Fecales	Nitrógeno	Fósforo
Mínimo	0.2	20000	3.64	0.41
Máximo	2.1	300000	7.28	1.09
Suma	6.5	540000	36.76	4.48
Puntos	6	6	6	6
Media	1.08	90000	5.38	0.74
Mediana	1	45000	5.31	0.72
Desviación estándar	0.81	106583	1.25	0.27
Sesgo Estandarizado	0.15	2.109	0.23	0.06
Curtosis Estandarizada	-1.28	2.273	0.08	-1.08
Valor de norma Xs	30	0	40	20

Fuente: Propia. Análisis estadístico con programa Statgraphics del pozo de Medicina, 2015

4.3.3 Resultados y análisis estadístico del pozo de absorción de Béisbol.

Este pozo presenta problemas de colmatación por la zona donde se encuentra ya que se arrastran gran cantidad de hojas y tierra de los alrededores, además de basura que baja por las pendientes.

El principal problema es que el agua ya no se infiltra por las grietas por donde escurre el agua hacia el subsuelo, debido a la gran cantidad de basura que entra en este pozo y por la tierra estas grietas se encuentran taponadas, por esta razón Obras y Conservación de la UNAM pretende clausurar este pozo, ya que la única solución que les presentaron fue de hacer excavaciones más profundas, corriendo el riesgo de que lleguen a niveles muy cercanos al acuífero.

Este problema se está presentando en los demás pozos, a pesar de que se les da mantenimiento cada año, poco a poco va disminuyendo la tasa de infiltración. Por eso es que se fue despertando el interés de hacer un tratamiento previo para que el agua que entra en el pozo tenga la mejor calidad posible.

Como se puede observar en la tabla 4.10 al inicio de las lluvias los resultados de los análisis muestran una tendencia alta, que aunque va disminuyendo con el paso del tiempo, no quiere decir que el agua sea de buena calidad. Una explicación posible a esta disminución es que muchos de los contaminantes se hayan infiltrado poco a poco que se asentaron en el fondo del pozo, esto no es seguro, ya que a lo largo de los muestreos jamás se vio el fondo del pozo de absorción.

Aunque los resultados de los parámetros analizados son muy similares a los anteriores algunos van disminuyendo en la temporada de lluvias. Existen otros problemas de salud como la proliferación de mosquitos por los tiempos de estancamiento largos.

Dentro del pozo se encuentran grandes cantidades de materia flotante al principio de las lluvias, arrastra botellas de plástico, colillas de cigarro, hojas de los arboles aledaños a la zona y otros materiales.

Los Sólidos Suspendidos Totales se mantienen en niveles altos la mayoría del tiempo lo que implica que pueden ser los causantes del taponamiento de las grietas.

Capítulo 4. Resultados y Análisis Estadístico

En la tabla 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13 muestran los resultados obtenidos en las pruebas y el análisis estadístico que se obtuvo con el programa Statgraphics, a pesar de los esfuerzos que se realizaron para dar mantenimiento a este pozo con el tiempo dejó de funcionar correctamente.

Por esa razón no se llevo a cabo el análisis y el tratamiento no se propuso, sin en cambio en el siguiente capítulo se especificará como se debe clausurar correctamente un pozo de absorción.

Tabla 4.10 Resultados de DBO₅, DQO, SST, C. Fecales y M. Flotante del pozo de Béisbol.

Fecha	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	Coliformes fecales UFC/100mL	Materia flotante Unidad
7 de Agosto	9	162.5	550	50000	62
28 de Agosto	12	145.5	600	30000	57
12 de Septiembre	10	69	104	30000	3
26 de Septiembre	6	46.7	106	40000	4
10 de Octubre	6	95.33	80	30000	1
23 de Octubre	6	36	54	10000	8

Fuente: Propia. Resultados de análisis de agua pluvial del pozo de Beisbol. 2014.

Tabla 4.11 Resultados del STATGRAPHICS para DBO₅, DQO, SST y M. Flotante del pozo de Béisbol.

Parámetro	DBO ₅	DQO	SST	M. Flotante
Mínimo	6	36	54	1
Máximo	12	162.5	600	62
Suma	49	555.03	1494	135
Puntos	6	6	6	6
Media	8.16	92.5	249	22.5
Mediana	7.5	82.16	105	6
Desviación estándar	2.56	52.07	253.71	28.794
Sesgo Estandarizado	0.58	0.43	0.96	0.954
Curtosis Estandarizada	-0.74	-0.89	-0.88	-0.899
Valor de norma Xs	30	40	150	0

Fuente: Propia. Análisis estadístico con programa Statgraphics del pozo de Beisbol, 2015

Tabla 4.12 Resultados de Sólidos Sedimentables, Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Béisbol.

Fecha	S. Sedimentables mg/L	Nitrógeno total mg/L	Fósforo total mg/L
7 de Agosto	6	3.76	0.92
28 de Agosto	8	4.57	0.88
12 de Septiembre	1.3	3.92	0.92
26 de Septiembre	0.3	5.88	1.09
10 de Octubre	0.3	7.28	1.08
23 de Octubre	0.25	6.72	0.85

Fuente: Propia. Resultados de análisis de agua pluvial del pozo de Beisbol. 2014.

Tabla 4.13 Resultados de STATGRAPHICS para Sólidos Sedimentables, C. Fecales Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Béisbol.

Parámetro	S. Sedimentables	C.Fecales	Nitrógeno	Fósforo
Mínimo	0.25	10000	3.76	0.85
Máximo	8	50000	7.28	1.09
Suma	16.15	190000	37.87	5.74
Puntos	6	6	6	6
Media	2.69	31666.7	5.35	0.95
Mediana	0.8	30000	5.22	0.92
Desviación estándar	3.41	13291.6	1.48	0.1
Sesgo Estandarizado	1.05	-0.44	0.21	0.68
Curtosis Estandarizada	-0.51	0.667	-1.09	-0.89
Valor de norma Xs	30	0	40	20

Fuente: Propia. Análisis estadístico con programa Statgraphics del pozo de Beisbol, 2015

Los resultados obtenidos fueron buenos, el proponer un tratamiento no mejora la condición del pozo.

4.1.4 Resultados y análisis estadístico del pozo de Economía.

Este pozo tiene las mejores condiciones de operación ya que todos los años se le da mantenimiento. La razón de que se hagan estos trabajos es porque protege la biblioteca de inundaciones. Sí, no se hace el mantenimiento al pozo, el agua pluvial tiende a entrar al edificio.

Las muestras que se tomaron de este pozo fueron a 30 metros aproximadamente, porque el agua se infiltra muy rápido y a pesar de que se llegaba lo más temprano posible para la recolección de muestras no se encontraba agua en la cisterna como en los demás pozos.

En comparación con los demás pozos es el que cuenta con la mejor calidad de agua que se infiltra a excepción de las Coliformes fecales, ya que estas últimas a veces resultaban las más altas de todos los muestreos realizados.

Los valores de la DBO₅ son bajos en todos los muestreos realizados, se encuentra dentro de calidad aceptable de acuerdo con lo que establece CONAGUA, de la misma manera la DQO se mantuvo en calidad aceptable durante los tres meses.

Los sólidos suspendidos en un principio sobrepasaron los 150 mg/L, pero después del tercer análisis se observó una disminución de los mismos, La Materia Flotante solo eran pedazos de madera y hojas de árboles, por el contrario, de otros pozos que tenía basura dentro de los pozos.

Las Coliformes Fecales se mantuvieron en niveles relativamente altas al inicio de los muestreos siendo las más altas de todos los análisis, quizás se deba a que se continuaba infiltrando agua a pesar de que no estuviera lloviendo, una explicación probable es que provenga de algún sanitario o donde se use para lavar objetos, lo que provocó el aumento de Coliformes. Los datos obtenidos para estos parámetros se muestran en la tabla 4.14.

Tabla 4.14 Resultados de DBO₅, DQO, SST, C. Fecales y M. Flotante del pozo de Economía

Fecha	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	Coliformes fecales UFC/100mL	Materia flotante Unidad
7 de Agosto	3	35.5	165	120000	5
28 de Agosto	2	22.5	195	100000	3
12 de Septiembre	6	21	140	10000	12
26 de Septiembre	5	26	24	30000	29
10 de Octubre	5	25.33	12	20000	10
23 de Octubre	5	15	41	20000	0

Fuente: Propia. Resultados de análisis de agua pluvial del pozo de Encomia. 2014.

Capítulo 4. Resultados y Análisis Estadístico

Continuando con el análisis se puede observar una vez más que el sesgo y la curtosis no tienen desviaciones significativas, es decir, la media se puede utilizar confiablemente. De acuerdo con los resultados con la DBO₅ y la DQO no hay mayor problema porque se encuentran en niveles bastante buenos para los Sólidos Suspendidos y Materia Flotante se propondrá el sistema de tratamiento. Lo anterior se muestra en la tabla 4.15.

Tabla 4.15 Resultados del STATGRAPHICS para DBO₅, DQO, SST y M. Flotante del pozo de Economía.

Parámetro	DBO ₅	DQO	SST	M. Flotante
Mínimo	2	15	12	0
Máximo	6	35.5	195	29
Suma	26	145.33	577	59
Puntos	6	6	6	6
Media	4.333	24.22	96.16	9.83
Mediana	5	23.91	90.5	7.5
Desviación estándar	1.505	6.78	79.7	10.38
Sesgo Estandarizado	-0.84	0.59	0.13	1.52
Curtosis Estandarizada	-0.324	0.76	-1.13	1.3
Valor medio Xs	30	40	150	0

Fuente: Propia. Análisis estadístico con programa Statgraphics del pozo de Encomia, 2015

Al igual que los resultados anteriores los Sólidos Sedimentables, el Fósforo y el Nitrógeno se mantuvieron bastantes bajos durante los tres meses que duraron las pruebas, en general es un pozo limpio, debido a que el mantenimiento de este pozo es dos veces al año (ver tabla 4.16).

Tabla 4.16 Resultados de Sólidos Sedimentables, Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Economía.

Fecha	S. Sedimentables mg/L	Nitrógeno total mg/L	Fósforo total mg/L
7 de Agosto	0.8	3.86	0.32
28 de Agosto	0.4	3.36	0.27
12 de Septiembre	0.4	2.61	0.31
26 de Septiembre	0.1	5.88	0.59
10 de Octubre	0.84	4.57	0.48
23 de Octubre	0.3	4.29	0.5

Fuente: Propia. Resultados de análisis de agua pluvial del pozo de Encomia. 2014.

Capítulo 4. Resultados y Análisis Estadístico

La media de los sólidos sedimentables, el nitrógeno y el Fósforo se pueden utilizar confiablemente ya que la curtosis y el sesgo están dentro de los rangos -2 a 2 que representa que no hay variaciones que afecte la media.

La media de los sólidos sedimentables, nitrógeno y fósforo se encuentran dentro de lo establecido por la norma (ver tabla 4.17), no habrá mayor preocupación por estos contaminantes. Por el contrario, las Coliformes Fecales son los valores más altos de todos los pozos. Esto si es alarmante ya que podría afectar el acuífero a largo plazo.

Tabla 4.17 resultados de STATGRAPHICS para Solidos Sedimentables, C. Fecales Nitrógeno total y Fósforo total del pozo de Economía.

Parámetro	S. Sedimentables	C.Fecales	Nitrógeno	Fósforo
Mínimo	0.1	10000	2.61	0.27
Máximo	0.84	120000	5.88	0.59
Suma	2.84	300000	27.04	2.47
Puntos	6	6	6	6
Media	0.47	50000	4.09	0.41
Mediana	0.4	25000	4.07	0.4
Desviación estándar	0.29	47328.6	1.11	0.12
Sesgo Estandarizado	0.32	0.967	0.45	0.28
Curtosis Estandarizada	-0.66	-0.71	0.31	-1
Valor medio Xs	2	0	40	20

Fuente: Propia. Análisis estadístico con programa Statgraphics del pozo de Encomia, 2015

4.1.5 Resultados y análisis estadístico del pozo de absorción del Estadio.

Como se puede observar en la tabla 4.18 los dos primeros análisis fueron valores altos para la DQO, sólidos suspendidos totales y materia flotante, este pozo también presentaba problema de estancamiento de lodos, una vez hecha la limpieza bajaron en los cuatro análisis restantes. En cuanto a la Materia Flotante, los valores se fueron a cero lo que quiere decir que se le extrajo la basura existente.

Las Coliformes Fecales estuvieron presentes a pesar de que no es una zona muy transitada manteniéndose entre los valores de 10000 a 40000 UFC/ 100 mL y la DBO₅ se mantuvo prácticamente constante a lo largo de los tres meses que duraron las pruebas.

Tabla 4.18 Resultados de DBO₅, DQO, SST, C. Fecales y M. Flotante del pozo del Estadio

Fecha	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	SST mg/L	Coliformes fecales UFC/100mL	Materia flotante Unidad
7 de Agosto	7	151.75	146.32	40000	58
28 de Agosto	8	131.75	166.67	60000	100
12 de Septiembre	6	42.67	17	10000	0
26 de Septiembre	5	30.3	60	40000	4
10 de Octubre	6	92	53	30000	6
23 de Octubre	4	25	41	20000	0

Fuente: Propia. Resultados de análisis de agua pluvial del pozo del Estadio. 2014.

Los contaminantes no tienen desviaciones que presenten alteraciones en el sesgo y la curtosis por ende la media puede ser utilizada en el tratamiento. La media de la DBO₅ indica que se encuentra en valor de calidad de agua aceptable. Estos resultados se muestran en la tabla 4.19.

La DQO mantuvo la tendencia de los demás pozos, arrastrando los contaminantes que se encuentran en el suelo al principio de las lluvias, acumulándose en el interior del pozo, pero, una vez hecha la limpieza disminuyeron las concentraciones.

Capítulo 4. Resultados y Análisis Estadístico

Para la materia flotante se propondrá un sistema de remoción ya que la media supero por mucho el valor de norma.

Por otro lado, los Sólidos Suspendidos totales, la concentración se mantuvo dentro de los valores de norma, pero aun así para prevenir los estancamientos y colmatación progresiva se propondrá la remoción de este contaminante.

Tabla 4.19 Resultados del STATGRAPHICS para DBO₅, DQO, SST y M. Flotante del pozo del Estadio.

Parámetro	DBO ₅	DQO	SST	M. Flotante
Mínimo	4	25	17	0
Máximo	8	151.75	166.67	100
Suma	36	473.47	483.99	168
Puntos	6	6	6	6
Media	6	78.91	80.66	28
Mediana	6	67.33	56.5	5
Desviación estándar	1.41	54.5	60.87	41.742
Sesgo Estandarizado	0	0.4	0.75	1.368
Curtosis Estandarizada	-0.15	-1.07	-0.75	0.273
Valor medio Xs	30	40	150	0

Fuente: Propia. Análisis estadístico con programa Statgraphics del pozo del Estadio, 2015

Como era de esperarse algunos valores de los sólidos sedimentables estuvieron muy por arriba de lo establecido por la norma debido al estancamiento de lodo que presentaba, después de la limpieza los valores no sobrepasaron 0.2 mg/L, esto es 10 veces menos del límite establecido. A igual que todos los pozos en valor de nitrógeno y de fósforo fueron muy bajos. Esto es muy bueno ya que el sistema no necesitara tratamientos complicados.

Tabla 4.20 Resultados de Sólidos Sedimentables, Nitrógeno total y Fósforo total del pozo del Estadio

Fecha	S. Sedimentables mg/L	Nitrógeno total mg/L	Fósforo total mg/L
7 de Agosto	7	4.3	0.66
28 de Agosto	10	5.51	0.56
12 de Septiembre	0.1	3.64	1.39
26 de Septiembre	0.1	6.3	0.68
10 de Octubre	0.1	6.07	1.02
23 de Octubre	0.2	4.57	0.56

Fuente: Propia. Resultados de análisis de agua pluvial del pozo del Estadio. 2014.

Capítulo 4. Resultados y Análisis Estadístico

De la misma manera en que los demás pozos fueron analizados, la media podrá utilizarse confiablemente debido a que el sesgo y la curtosis están dentro de los valores deseados. Como se muestran los datos obtenidos en la tabla 4.21.

Tabla 4.21 Resultados de STATGRAPHICS para Sólidos Sedimentables, C. Fecales Nitrógeno total y Fósforo total del pozo del Estadio.

Parámetro	S. Sedimentables	C.Fecales	Nitrógeno	Fósforo
Mínimo	0.1	10000	3.64	0.56
Máximo	10	60000	6.3	1.39
Suma	17.5	200000	35.26	4.87
Puntos	6	6	6	6
Media	2.91	33333.3	5.06	0.81
Mediana	0.15	35000	5.04	0.67
Desviación estándar	4.42	17511.9	1.05	0.33
Sesgo Estandarizado	1.16	0.24	-0.12	1.37
Curtosis Estandarizada	-0.35	-0.007	-0.91	0.48
Valor medio Xs	2	0	40	20

Fuente: Propia. Análisis estadístico con programa Statgraphics del pozo del Estadio, 2015

Una vez que se terminó el análisis de todos los pozos se procederá al tratamiento que cada uno de ellos necesita, o en su caso el de Beisbol que se especificará como se debe clausurar correctamente.

Capítulo 5

DISEÑO DE TRATAMIENTO

5.1 Diseño de tratamiento.

En este capítulo se presenta la propuesta de diseño para los pozos de absorción La cual será diseñada a partir de los contaminantes que estuvieron fuera de rango altos en las pruebas de laboratorio realizadas.

El diseño consistió en proponer sedimentadores primarios, para garantizar la remoción. Además de rejillas de desbaste fino para que la materia flotante ni algún otro tipo de sólidos entren al sistema.

Para hacer el diseño el sistema se obtuvo el gasto pluvial, para una microcuenca, una vez obtenido este dato se procedió al diseño del sistema de tratamiento.

5.1.1 Cálculo de gasto pluvial y diseño de tratamiento para el pozo de Rectoría.

Para obtener el gasto de diseño se determinaron algunos parámetros como son; el coeficiente de escurrimiento, la intensidad de lluvia, se realizó el ajuste de la intensidad de lluvia para fines de diseño, posteriormente se obtuvo el cálculo del gasto pluvial mediante el Método Racional Americano.

A) Determinación del coeficiente de escurrimiento.

Es un valor ponderado de los coeficientes típicos de escurrimiento para las variadas superficies que esta en contacto con el agua de lluvia, por esta razón se considera que la superficie en contacto es un material impermeable, por ende, se utilizó un coeficiente de escurrimiento $C = 0.70$ para una microcuenca.

B) Calculo de intensidad de lluvia.

Para el siguiente dato se utilizó la siguiente expresión.

$$I(tr, d) = \frac{60Hp(tr, d)}{tc}$$

I = Intensidad de lluvia en mm/hr

H_p = Altura de Precipitación en mm.

60 = Factor de conversión en horas.

t_c = Tiempo de concentración en minuto.

Para fines de diseño el tiempo de duración será igual a la duración efectiva ($t_c = 60$ minutos)

Para utilizar la ecuación es necesario determinar la intensidad de lluvia base, para una duración de 60 minutos y un tiempo de retorno de 5 años, lo cual es lo recomendado para zonas de alta densidad y el promedio de tormentas en el valle de México. Para ello se utilizó la grafica del Manual de Hidráulica Urbana mostrada en la figura 5.1.

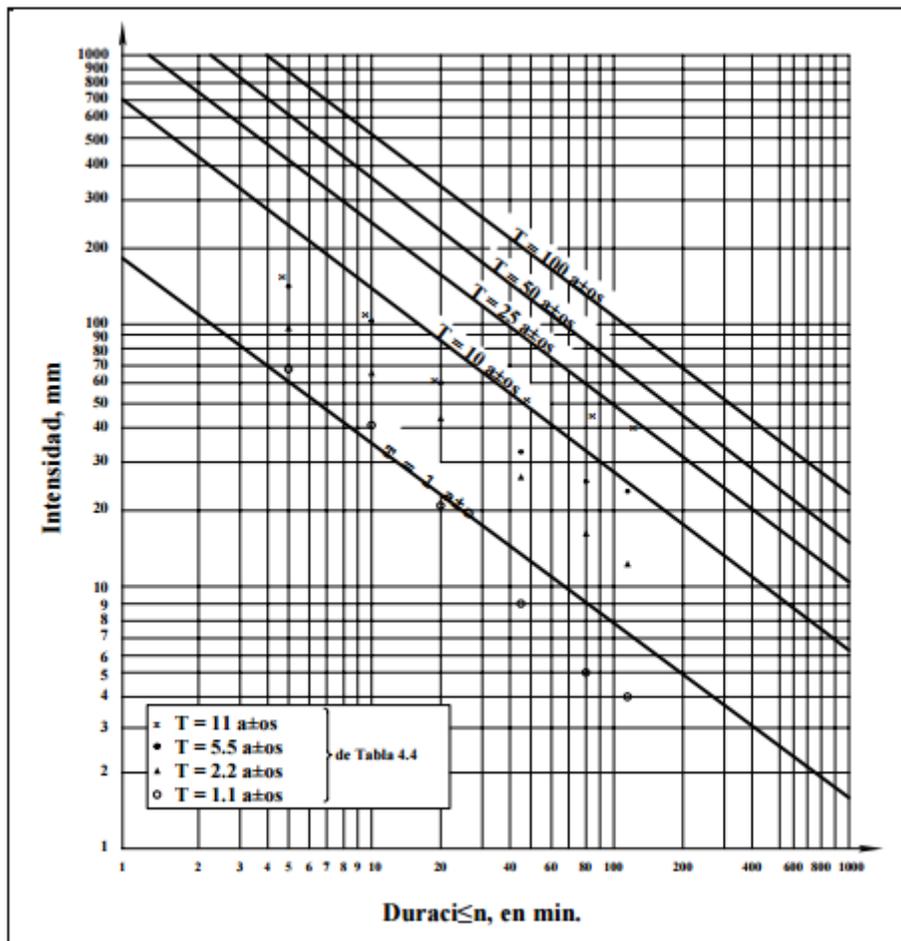


Figura 5.1 Curvas intensidad de la lluvia-duración-período de retorno (i-d-Tr)

Fuente: Comisión Nacional del agua, Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. 2007.

Con la ayuda de esta gráfica se determinó la precipitación pluvial base, calculada para 60 minutos y 5 años de periodo de retorno, dando como resultado lo siguiente:

$$H_{pbase} = 32mm$$

C) Ajuste de intensidad de lluvia.

La cual se debe ajustar a los parámetros de diseño con la siguiente expresión:

$$H_p(5,60) = H_{pbase} \times F_{rt} \times F_d \times F_A$$

Donde:

$H_p(5,60)$ = Lluvia asociada a un periodo de 5 años y sesenta minutos.

H_{pbase} = Lluvia media asociada a un periodo de retorno de cinco años y sesenta minutos.

F_{rt} = Factor de ajuste por periodo de retorno.

F_d = Factor de ajuste por duración.

F_A = Factor de ajuste por área menor a 10 km².

Sustituyendo valores:

$$H_p(5,60) = 32.00 \times 1.00 \times 1.20 \times 1.00$$

$$H_p(5,60) = 38.4$$

El siguiente paso es aplicar la ecuación de intensidad de lluvia que se mencionó anteriormente.

$$I(5,60) = \frac{60(38.4)}{60}$$

$$I_{(5,60)} = 38.4$$

D) Cálculo de gasto pluvial.

Para calcular el gasto pluvial se utilizara el Método Racional Americano.

$$Q = 2.778 \times C \times i \times A$$

Donde:

Q = Gasto pluvial en lps.

2.778 = Constante para conversión de unidades.

C = Coeficiente de escurrimiento, adimensional.

I = Intensidad de lluvia en mm/hr.

A = Área de captación en microcuena en Ha.

Para garantizar el adecuado funcionamiento, se considera el área total de la microcuena. La cual se muestra en la figura 5.2.



Figura 5.2 Área de captación de agua pluvial del pozo de Rectoría.

Fuente: Google Earth,

<https://www.google.com.mx/maps/place/Universidad+Nacional+Aut%C3%B3noma+de+M%C3%A9xico,+Ciudad+Universitaria/@19.3228363,-99.1887661,17z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x85ce00071fca0bad:0x9989fa5b4f526717> 2016

Por tanto:

$$Q = 2.778 \times 0.70 \times 38.4 \times 0.6$$

$$Q = 45.6 \text{ lps.}$$

Tabla 5.1 Datos para el caudal de diseño del pozo de Rectoría.

CAUDAL DE DISEÑO				
DESCRIPCIÓN		Und	Cálculos	Criterio
COEFICIENTE DE ESCURRIENTO	C	adim	0.7	De tablas
INTENSIDAD DE LLUVIA BASE	i	mm/hr	32	De tablas
INTENSIDAD DE LLUVIA	I	mm/hr	38.4	Ajustada
AREA	A	Ha	0.6	
CONSTANTE DE AJUSTE DE UNIDADES		adim	2.778	
CAUDAL DE DISEÑO	Q	lps	44.8	$Q=C*i*A$

Fuente: Propia. Caudal del pozo de Rectoría. 2016

Ya que se tiene el gasto pluvial se procede a la propuesta de tratamiento.

E) Propuesta de tratamiento del pozo de Rectoría.

Para este pozo se diseñara un tratamiento preliminar en conjunto con un tratamiento primario, en el caso de las coliformes fecales y la DQO, no se propuso tratamiento ya que el suelo cumple con su función de filtro impidiendo que patógenos y sustancias nocivas ingresen al acuífero, esto se puede asegurar ya que PUMAGUA ha hecho análisis de coliformes fecales y otras sustancias en los pozos de extracción y no se ha presentado el problema de patógenos en el agua.

Además de mejorar la calidad del agua pluvial, con estos tratamientos se podrán proteger los pozos para que no se sigan tapando las grietas por donde se infiltra el agua, así como paso en el pozo del campo de Beisbol que ya no funciona.

Como se puede observar en la figura 5.3, en la rejilla se acumula basura y hojas de arboles las cuales son arrastradas por el agua pluvial, por esta razón se debe modificar el espacio entre los barrotes.



Figura 5.3 Rejilla por donde entra el agua pluvial al pozo de Rectoría.

Fuente: Propia. Foto de rejilla del pozo de Rectoría, 2016.

El tratamiento preliminar consistirá en rejillas que se ubicaran a la entrada de las canaletas de agua pluvial, se deben sustituir las que se encuentran actualmente.

La reja tendrá una separación entre barrotes de 6 mm para evitar que entre basura y materia flotante al sistema.

El tratamiento posterior que se le dará al pozo consistirá en un sedimentador primario.

Para el diseño algunos de los parámetros se asumirán. Los cuales son:

Longitud de entrada del sedimentador (L_1), altura del sedimentador (H), pendiente en el fondo (S), velocidad de paso en orificio (V_0), diámetro de orificio (D), sección del canal de limpieza (A_2), velocidad de sedimentación (VS).

Los parámetros que se calcularon fueron los siguientes:

Área superficial de la zona de decantación (AS).

$$AS = \frac{Q}{VS}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño.

VS = Velocidad de sedimentación.

Sustituyendo valores:

$$AS = \frac{0.045}{0.00017} = 263.55 \text{ m}^2$$

Longitud de la zona de sedimentación (L).

$$4L^2 = AS$$

Donde:

AS = Área superficial.

Sustituyendo valores:

$$L = \sqrt{\frac{263.55}{4}} = 8.12 \text{ m}$$

Longitud total del sedimentador (LT).

$$LT = L1 + L2$$

Donde:

L1 = Longitud de entrada del sedimentador.

L2 = Longitud en la zona de sedimentación.

Sustituyendo valores:

$$LT = 0.8 + 8.12 = 8.92 \text{ m}$$

Ancho del sedimentador (B).

$$B = L1 * 4$$

Donde:

L1= Longitud de sedimentador.

Sustituyendo valores:

$$B = 8.12 * 4 = 32.47 \text{ m}$$

Velocidad horizontal de flujo (VH).

$$VH = \frac{100 * Q}{B * H}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño.

B = Ancho de sedimentador.

H = Altura de sedimentador.

Sustituyendo valores:

$$VH = \frac{100 * 0.045}{32.47 * 3} = 0.046 \text{ cm/s}$$

Tiempo de retención (T_o).

$$T_o = \frac{AS * H}{3600 * Q}$$

Donde:

AS = Área superficial.

H = Altura de sedimentador.

Q = Caudal de diseño.

Sustituyendo valores:

$$T_o = \frac{263.55 * 3}{3600 * 0.046} = 4.9 \text{ hr}$$

Altura máxima en la tolva de lodos (H1).

$$H1 = H + S * L2$$

Donde:

H = Altura de sedimentador.

S = Pendiente del fondo.

Sustituyendo valores:

$$H1 = 3 + 0.6 * 8.12 = 8.31 \text{ m}$$

Altura en el agua del vertedero de salida (H2).

$$H2 = \left(\frac{Q}{1.84 * L2} \right)^{(2/3)}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño.

L2 = Longitud de la zona de sedimentador.

Sustituyendo valores:

$$H2 = \left(\frac{0.046}{1.84 * 8.12} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.02 \text{ m}$$

Área total de orificios (A₀).

$$A_0 = \frac{Q}{V_0}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño.

V₀ = Velocidad de paso en orificios.

$$A_0 = \frac{0.046}{0.1} = 0.448 \text{ m}^2$$

Área de cada orificio (a_0).

$$a_0 = 0.785 * D^2$$

Donde:

D = Diámetro de orificio.

Sustituyendo valores:

$$a_0 = 0.785 (0.025)^2 = 0.00049 \text{ m}^2$$

Número de orificios (n).

$$n = \frac{A_0}{a_0}$$

Donde:

A_0 = Área total de orificios.

a_0 = Área de cada orificio.

Sustituyendo valores.

$$n = \frac{0.456}{0.00049} = 913$$

Altura de la cortina cubierta con orificios (h).

$$h = H - \left(\frac{2}{5}\right) * H$$

Donde:

H = Altura del sedimentador.

$$h = 3 - \left(\frac{2}{5}\right) * 3 = 1.8 \text{ m}$$

Número de orificios a lo ancho (B).

$$N1 = 31$$

Número de orificios a lo alto (B).

$$N2 = 30$$

Espaciamiento entre orificios (a).

$$a = \frac{h}{N2}$$

Donde:

h = Altura de la cortina cubierta con orificios.

N2 = Número de orificios a lo alto.

Sustituyendo valores:

$$a = \frac{1.8}{30} = 0.06 \text{ m}$$

Tiempo de vaciado en la unidad (T1).

$$T1 = \frac{(60 * AS * H^{(1/2)})}{4850 * A2}$$

Donde:

AS = Área superficial.

H = Altura de sedimentador.

A2 = Sección del canal de limpieza.

Sustituyendo valores:

$$T1 = \frac{(60 * 263.55 * 3^{(1/2)})}{4850 * 0.02} = 282 \text{ min}$$

Caudal de diseño en la tubería de desagüe (q).

$$q = \frac{1000 * LT * B * H2}{60 * T1}$$

Donde:

LT = Longitud total del sedimentador.

B = Altura del sedimentador.

H2 = Altura de agua en el vertedero de salida.

T1 = Tiempo de vaciado en la unidad.

Sustituyendo valores:

$$q = \frac{1000 * 8.92 * 32.47 * 0.020}{60 * 282} = 51.27 \text{ L/s}$$

La tabla 5.2 es un resumen de los cálculos que se realizaron, de esta manera se pueden ver mas claramente los resultados obtenidos, de como se diseño el sedimentador primario. Es la base para retirar los solidos suspendidos y solidos sedimentables que tanto afectan a los pozos de absorción de Ciudad Universitaria. Son los causantes que los pozos dejen de funcionar con el paso del tiempo y que el agua deje de infiltrarse correctamente.

Tabla 5.2 Datos y cálculos para el sedimentador del pozo de Rectoría.

DISEÑO DE SEDIMENTADOR				
DESCRIPCION		Und	Cálculos	Criterio
CAUDAL DE DISEÑO, Qmd	Q	lps	44.8	
CAUDAL DE DISEÑO, Qmd	Q	m3/s	0.045	
LONGITUD DE ENTRADA AL SEDIMENTADOR	L1	mts	0.8	Asumido
ALTURA DEL SEDIMENTADOR	H	mts	3	Asumido
PENDIENTE EN EL FONDO	S	dec.	0.6	Asumido
VELOCIDAD DE PASO EN C/. ORIFICIO	Vo	m/s	0.1	Asumido
DIAMETRO DE C/. ORIFICIO	D	mts	0.025	Asumido
SECCION DEL CANAL DE LIMPIEZA	A2	m2	0.02	Asumido
Velocidad de sedimentacion	VS	m/s	0.00017	De tablas
Area superficial de la zona de decantación	AS	m2	263.55	$AS=Q/VS$
Longitud en la zona de sedimentación	L2	mts	8.12	$L2=(AS/4)^{(1/2)}$
Longitud total del sedimentador	LT	mts	8.92	$LT=L1+L2$
Ancho de sedimentador	B	adim	32.47	$B=L2*4$
Velocidad horizontal del flujo, $VH < 0.55$	VH	cm/s	0.046	$VH=100*Q/(B*H)$
Tiempo de retención de la unidad	To	hr	0.005	$To=(AS*H)/(3600*Q)$
Altura máxima en la tolva de lodos	H1	mts	8.35	$H1=H+(S)*L2$
Altura de agua en el vertedero de salida	H2	mts	0.020	$H2=(Q/1.84*L2)^{(2/3)}$
Area total de orificios	Ao	m2	0.448	$Ao=Q/Vo$
Area de cada orificio	ao	m2	0.00049	$ao=0.7854*D^2$
Número de orificios	n	adim	913	$n=Ao/ao$
Altura de la cortina cubierta con orificios	h	mts	1.8	$h=H-(2/5)*H$
Número de orificios a lo ancho, B	N1	adim	31	
Número de orificios a lo alto, H	N2	adim	29.44	
Espaciamiento entre orificios	a	mts	0.0611	$a=h/N2$
Tiempo de vaceado en la unidad	T1	min	282	$T1=(60*AS*(H)^{(1/2)))/(4850*A2)$
Caudal de diseño en la tub. de desagüe	q	l/s	51.27	$q=(1000*LT*B*(H2))/(60*T1)$

Fuente: Propia. Calculo de Sedimentador de Rectoría. 2016

Para llevar a cabo el diseño del sedimentador se deben considerar los datos mostrados en la tabla 5.2, para cumplir con los objetivos del presente trabajo.

5.1.2 Cálculo de gasto pluvial y diseño de tratamiento para el pozo de Medicina.

Para fines prácticos ya no se explicara cada ecuación debido a que son las mismas para el gasto pluvial y el sedimentador.

A) Cálculo de gasto pluvial.

Las medidas de la microcuenca que se utilizaran para el cálculo del gasto pluvial son de 110 metros y 60 metros como se muestra en la figura 5.3.

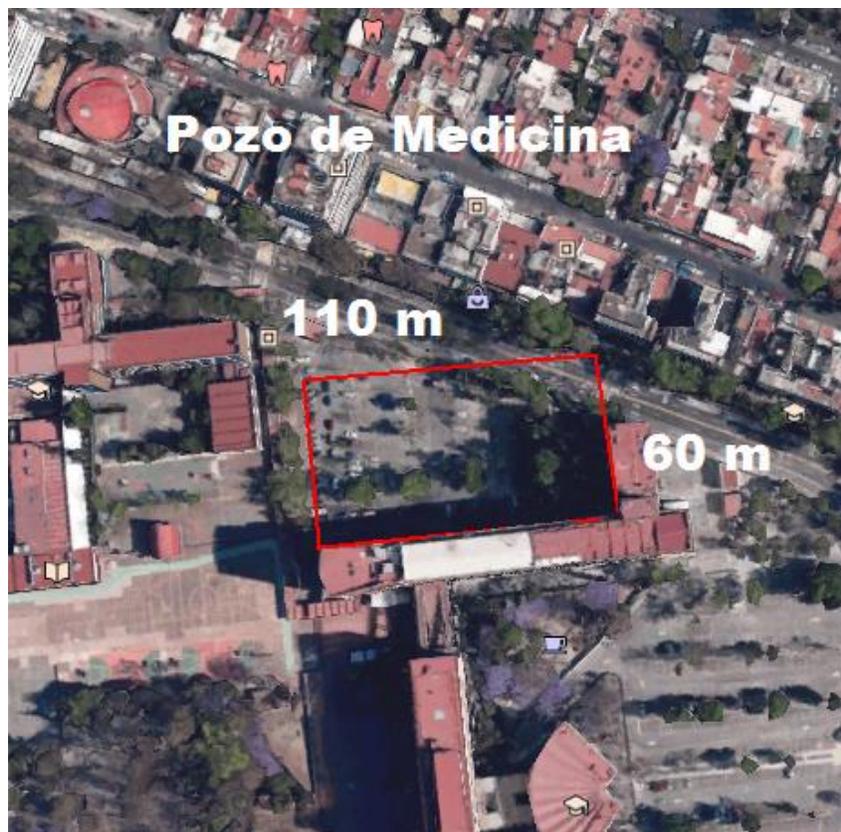


Figura 5.3 Área de captación de agua pluvial del pozo de Medicina.

Fuente: Google Earth,
<https://www.google.com.mx/maps/place/Universidad+Nacional+Aut%C3%B3noma+de+M%C3%A9xico,+Ciudad+Universitaria/@19.3228363,-99.1887661,17z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x85ce00071fca0bad:0x9989fa5b4f526717>. 2016

Después que se obtuvieron las medidas de la microcuenca, se procede a calcular el gasto pluvial, el cual se realiza de la misma manera que el pozo anterior.

El coeficiente de escurrimiento será el mismo por ser zona pavimentada, la intensidad de lluvia ajustada no cambiara debido a que se cálculo para la zona de la Ciudad de México.

La siguiente tabla muestra los resultados de una forma concreta, el caudal que se utilizara será de 49.3 L/s.

Tabla 5.3 Datos para el caudal de diseño del pozo de Medicina.

DESCRIPCIÓN	CAUDAL DE DISEÑO			
		Und	Cálculos	Criterio
COEFICIENTE DE ESCURRIENTO	C	adim	0.7	De tablas
INTENSIDAD DE LLUVIA BASE	i	mm/hr	32	De tablas
INTENSIDAD DE LLUVIA	I	mm/hr	38.4	Ajustada
AREA	A	Ha	0.66	
CONSTANTE DE AJUSTE DE UNIDADES		adim	2.778	
CAUDAL DE DISEÑO	Q	lps	49.3	$Q=C*i*A$

Fuente: Propia. Caudal del pozo de Medicina. 2016.

Ya que se tiene el cálculo del caudal de diseño se procede a efectuar el tratamiento necesario para este pozo; consiste en el cambio de rejillas y calcular el sedimentador para las condiciones de operación de este pozo.

5.2.2 Propuesta de tratamiento del pozo de Medicina.

A este pozo también se le deberán cambiar las rejillas por donde el agua pluvial ya que tienen espaciamientos muy grandes lo que permite el paso de Materia Flotante al interior del pozo, como se puede observar en la figura 5.4 existen problemas de arrastre de basura.



Figura 5.4. Rejilla por donde entra el agua pluvial al pozo de Medicina

Fuente: Propia, Foto de rejilla del pozo de Medicina. 2016

Capítulo 5. Diseño de tratamiento

El tratamiento preliminar consistirá en rejillas que se ubicaran a la entrada de las canaletas de agua pluvial, se deben sustituir las que se encuentran actualmente.

La reja tendrá una separación entre barrotes de 6 mm para evitar que entre basura y materia flotante al sistema.

El tratamiento posterior que se le dará al pozo consistirá en un sedimentador primario. La tabla 5.4 muestra los resultados obtenidos mediante los cálculos necesarios. Para la construcción del sedimentador se debe seguir los datos mostrados en la tabla 5.4, ya que este tratamiento puede retirar hasta el 60 % de los sólidos.

Tabla 5.4 Datos y cálculos para el sedimentador del pozo de Medicina.

DISEÑO DE SEDIMENTADOR				
DESCRIPCION		Und	Cálculos	Criterio
CAUDAL DE DISEÑO, Qmd	Q	lps	49.3	
CAUDAL DE DISEÑO, Qmd	Q	m3/s	0.049	
LONGITUD DE ENTRADA AL SEDIMENTADOR	L1	mts	0.8	Asumido
ALTURA DEL SEDIMENTADOR	H	mts	3	Asumido
PENDIENTE EN EL FONDO	S	dec.	0.6	Asumido
VELOCIDAD DE PASO EN C/. ORIFICIO	Vo	m/s	0.1	Asumido
DIAMETRO DE C/. ORIFICIO	D	mts	0.025	Asumido
SECCION DEL CANAL DE LIMPIEZA	A2	m2	0.02	Asumido
Velocidad de sedimentacion	VS	m/s	0.00017	De tablas
Area superficial de la zona de decantación	AS	m2	289.91	$AS=Q/VS$
Longitud en la zona de sedimentación	L2	mts	8.51	$L2=(AS/4)^{(1/2)}$
Longitud total del sedimentador	LT	mts	9.31	$LT=L1+L2$
Ancho de sedimentador	B	adim	34.05	$B=L2*4$
Velocidad horizontal del flujo, $VH < 0.55$	VH	cm/s	0.048	$VH=100*Q/(B*H)$
Tiempo de retención de la unidad	To	hr	0.005	$To=(AS*H)/(3600*Q)$
Altura máxima en la tolva de lodos	H1	mts	8.59	$H1=H+(S)*L2$
Altura de agua en el vertedero de salida	H2	mts	0.020	$H2=(Q/1.84*L2)^{(2/3)}$
Area total de orificios	Ao	m2	0.493	$Ao=Q/Vo$
Area de cada orificio	ao	m2	0.00049	$ao=0.7854*D^2$
Número de orificios	n	adim	1004	$n=Ao/ao$
Altura de la cortina cubierta con orificios	h	mts	1.8	$h=H-(2/5)*H$
Número de orificios a lo ancho, B	N1	adim	32	
Número de orificios a lo alto, H	N2	adim	31.38	
Espaciamiento entre orificios	a	mts	0.0574	$a=h/N2$
Tiempo de vaceado en la unidad	T1	min	311	$T1=(60*AS*(H)^{(1/2)})/(4850*A2)$
Caudal de diseño en la tub. de desagüe	q	l/s	51.05	$q=(1000*LT*B*(H2))/(60*T1)$

Fuente: Propia. Cálculo de sedimentador del pozo de Medicina. 2016

Capítulo 5. Diseño de tratamiento

Los sedimentadores primarios son los más utilizados para la remoción de sólidos y dentro de costos son los más baratos, por eso es que en el presente trabajo se sigue la tendencia para utilizar este tipo de tratamiento. Cambiando las dimensiones del mismo ya que unos pozos de absorción tienen mayor área de captación que otros.

5.1.3 Propuesta para clausurar correctamente el pozo de Beisbol.

Como se menciona anteriormente este pozo se clausurará debido a que el agua no se infiltra, además de que puede causar problemas de salud por el estancamiento de agua y proliferación de mosquitos. Debido a que ya no se le da mantenimiento a este pozo.

El sellado adecuado del pozo implica que este perfectamente limpio, además de que se aislé totalmente el acceso al acuífero. Las operaciones que se llevan a cabo en la clausura de pozos son básicamente la extracción de los elementos introducidos en el terreno y el relleno del espacio abierto con materiales que no tengan interacción con el medio e impidan el flujo de agua al acuífero.

Las condiciones para clausurar el pozo serán las siguientes.

- 1.- Retirar los elementos dentro del pozo, que pudieran deteriorarse, es obligatorio retirar mínimo 3 metros de la tubería para poder hacer un tapón sanitario.
- 2.- Una vez realizados los trabajos para retirar los elementos ajenos se debe bombear el agua sucia en caso de que haya y se debe desinfectar con una solución de hipoclorito.
- 3.- Llenar el pozo con materiales inertes, se puede rellenar con cemento para lograr que no interactúe el agua superficial y la del acuífero.
- 4.- Las tuberías por donde entra el agua pluvial también deberán rellenarse para evitar que se acumule el agua dentro de ellas.

Con estos sencillos pasos se deberá clausurar definitivamente el pozo de absorción del campo de beisbol.

5.1.4 Cálculo de gasto pluvial y diseño de tratamiento para el pozo de Economía.

Las ecuaciones de cálculo también fueron las mismas para este pozo.

A) Cálculo de gasto pluvial.

La microcuenca del pozo de Economía esta situada el estacionamiento de profesores, en la figura 5.5 se puede observar su ubicación y las medidas para obtener el caudal de diseño

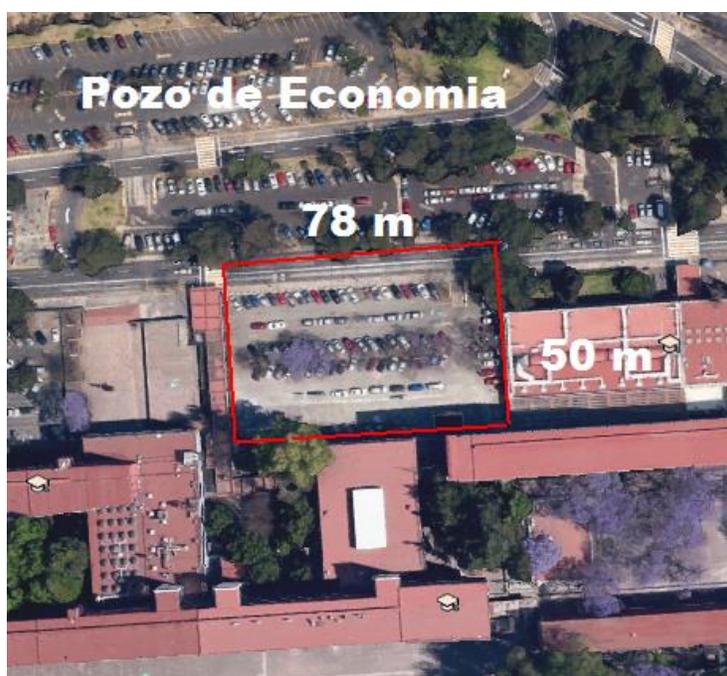


Figura 5.5 Área de captación de agua pluvial del pozo de Economía.

Fuente: Google Earth,

<https://www.google.com.mx/maps/place/Universidad+Nacional+Aut%C3%B3noma+de+M%C3%A9xico,+Ciudad+Universitaria/@19.3228363,-99.1887661,17z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x85ce00071fca0bad:0x9989fa5b4f526717>. 2016

El coeficiente seguirá siendo el mismo de 0.7 para zonas asfaltadas, la intensidad de lluvia ajustada para una hora y tiempo de retorno de 5 años ajustada será de 38.4 mg/L, el caudal de diseño para el tratamiento en el pozo de Economía será de 29.1 L/s.

El resumen de resultados se muestra en la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Datos para el caudal de diseño del pozo de Economía.

DESCRIPCIÓN	CAUDAL DE DISEÑO			Criterio
		Und	Cálculos	
COEFICIENTE DE ESCURRIENTO	C	adim	0.7	De tablas
INTENSIDAD DE LLUVIA BASE	i	mm/hr	32	De tablas
INTENSIDAD DE LLUVIA	I	mm/hr	38.4	Ajustada
AREA	A	Ha	0.39	
CONSTANTE DE AJUSTE DE UNIDADES		adim	2.778	
CAUDAL DE DISEÑO	Q	lps	29.1	$Q=C*i*A$

Fuente: Propia. Caudal del pozo de Economía. 2016

Ya que se tiene el caudal se procede especificar las rejillas y el sedimentador.

B) Propuesta de tratamiento de agua pluvial del pozo de Economía.

Este pozo es el más limpio de todos, como se puede observar en la figura 5.6, alrededor de la rejilla no hay basura, la materia flotante que arrastra el agua es por los arboles que están cerca



Figura 5.6. Rejilla por donde entra el agua pluvial al pozo de Economía.

Fuente: Foto de rejilla del pozo de Economía, 2016

Las rejillas que se tienen actualmente tienen espaciamientos que permiten el paso de basura y materia flotante, se cambiarán por las correctas que son de 6 mm de distancia entre barrotes, es una solución bastante sencilla y económica, previniendo que se sature de materia indeseable.

El tratamiento posterior que se le dará al pozo consistirá en un sedimentador primario.

Capítulo 5. Diseño de tratamiento

La tabla 5.6 muestra los resultados obtenidos mediante los cálculos necesarios. Para construir el sedimentador se deben considerar los datos mostrados en la tabla 5.6, ya que este tratamiento puede retirar hasta el 60 % de los sólidos.

Tabla 5.6 Datos y cálculos para el sedimentador del pozo de Economía.

DISEÑO DE SEDIMENTADOR				
DESCRIPCION		Und	Cálculos	Criterio
CAUDAL DE DISEÑO, Qmd	Q	lps	29.1	
CAUDAL DE DISEÑO, Qmd	Q	m3/s	0.029	
LONGITUD DE ENTRADA AL SEDIMENTADOR	L1	mts	0.8	Asumido
ALTURA DEL SEDIMENTADOR	H	mts	3	Asumido
PENDIENTE EN EL FONDO	S	dec.	0.6	Asumido
VELOCIDAD DE PASO EN C/. ORIFICIO	Vo	m/s	0.1	Asumido
DIAMETRO DE C/. ORIFICIO	D	mts	0.025	Asumido
SECCION DEL CANAL DE LIMPIEZA	A2	m2	0.02	Asumido
Velocidad de sedimentación	VS	m/s	0.00017	De tablas
Area superficial de la zona de decantación	AS	m2	171.31	AS=Q/Vs
Longitud en la zona de sedimentación	L2	mts	6.54	$L2=(AS/4)^{(1/2)}$
Longitud total del sedimentador	LT	mts	7.34	LT=L1+L2
Ancho de sedimentador	B	adim	26.18	B=L2*4
Velocidad horizontal del flujo, VH<0.55	VH	cm/s	0.037	$VH=100*Q/(B*H)$
Tiempo de retención de la unidad	To	hr	0.005	$To=(AS*H)/(3600*Q)$
Altura máxima en la tolva de lodos	H1	mts	7.41	$H1=H+(S)*L2$
Altura de agua en el vertedero de salida	H2	mts	0.017	$H2=(Q/1.84*L2)^{(2/3)}$
Area total de orificios	Ao	m2	0.291	Ao=Q/Vo
Area de cada orificio	ao	m2	0.00049	ao=0.7854*D^2
Número de orificios	n	adim	593	n=Ao/ao
Altura de la cortina cubierta con orificios	h	mts	1.8	$h=H-(2/5)*H$
Número de orificios a lo ancho, B	N1	adim	25	
Número de orificios a lo alto, H	N2	adim	23.73	
Espaciamiento entre orificios	a	mts	0.0759	a=h/N2
Tiempo de vaceado en la unidad	T1	min	184	$T1=(60*AS*(H)^{(1/2)})/(4850*A2)$
Caudal de diseño en la tub. de desagüe	q	l/s	52.37	$q=(1000*LT*B*(H2))/(60*T1)$

Fuente: Propia. Cálculo de sedimentador del pozo de Economía. 2016

Las dimensiones de los sedimentadores van cambiando de acuerdo al caudal de diseño y al tamaño de la microcuenca.

5.1.5 Cálculo de gasto pluvial y diseño de tratamiento para el pozo del Estadio.

Este pozo también contara con su sedimentador y cambio de rejillas de entrada de agua pluvial.

A) Cálculo de gasto pluvial.

El área de captación del estadio se muestra en la figura 5.74, las medidas de la microcuenca son de 86 metros y 144 metros respectivamente.



Figura 5.7 Área de captación de agua pluvial del pozo de Estadio.

Fuente: Google Earth,
<https://www.google.com.mx/maps/place/Universidad+Nacional+Aut%C3%B3noma+de+M%C3%A9xico,+Ciudad+Universitaria/@19.3228363,-99.1887661,17z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x85ce00071fca0bad:0x9989fa5b4f526717> 2016

Con estas medidas ya podemos calcular el caudal de diseño, el cual se muestra en la tabla 5.7, junto con el coeficiente de escurrimiento e intensidad de lluvia ajustada que son los mismos para los demás pozos.

Tabla 5.7 Datos para el caudal de diseño del pozo del Estadio.

CAUDAL DE DISEÑO				
DESCRIPCIÓN		Und	Cálculos	Criterio
COEFICIENTE DE ESCURRIENTO	C	adim	0.7	De tablas
INTENSIDAD DE LLUVIA BASE	i	mm/hr	32	De tablas
INTENSIDAD DE LLUVIA	I	mm/hr	38.4	Ajustada
AREA	A	Ha	1.23	
CONSTANTE DE AJUSTE DE UNIDADES		adim	2.778	
CAUDAL DE DISEÑO	Q	lps	91.8	$Q=C*I*A$

Fuente: Propia. Caudal del pozo del Estadio. 2016

Ya con el caudal de diseño se realizó con el cálculo del sedimentador.

B) Propuesta de tratamiento de agua pluvial del pozo de Estadio.

Como se puede ver en la figura 5.8 una de las rejillas por donde entra el agua pluvial del estadio, se nota que están expuestas a la entrada de basura y materia flotante.



Figura 5.8. Rejilla por donde entra el agua pluvial al pozo del Estadio.

Fuente: Google Earth,
<https://www.google.com.mx/maps/place/Universidad+Nacional+Aut%C3%B3noma+de+M%C3%A9xico,+Ciudad+Universitaria/@19.3228363,-99.1887661,17z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x85ce00071fca0bad:0x9989fa5b4f526717> 2016

Capítulo 5. Diseño de tratamiento

Como en los pozos anteriores se deberán cambiar las rejillas donde entra el agua pluvial a las canaletas por unas más finas, que serán igual de 6 mm de espaciamiento entre barrotes. El tratamiento posterior que se le dará al pozo consistirá en un sedimentador primario.

La tabla 5.8 muestra los resultados obtenidos mediante los cálculos necesarios. Para la construcción del sedimentador se deben considerar los datos obtenidos y que se listan en la tabla 5.8, ya que este tratamiento puede retirar hasta el 60 % de los sólidos.

Tabla 5.8. Datos y cálculos para el sedimentador del pozo del Estadio.

DISEÑO DE SEDIMENTADOR				
DESCRIPCION		Und	Cálculos	Criterio
CAUDAL DE DISEÑO, Q _{md}	Q	lps	91.8	
CAUDAL DE DISEÑO, Q _{md}	Q	m ³ /s	0.092	
LONGITUD DE ENTRADA AL SEDIMENTADOR	L1	mts	0.8	Asumido
ALTURA DEL SEDIMENTADOR	H	mts	3	Asumido
PENDIENTE EN EL FONDO	S	dec.	0.6	Asumido
VELOCIDAD DE PASO EN C/. ORIFICIO	V _o	m/s	0.1	Asumido
DIAMETRO DE C/. ORIFICIO	D	mts	0.025	Asumido
SECCION DEL CANAL DE LIMPIEZA	A2	m ²	0.02	Asumido
Velocidad de sedimentacion	V _S	m/s	0.00017	De tablas
Area superficial de la zona de decantación	A _S	m ²	540.28	A _S =Q/V _S
Longitud en la zona de sedimentación	L2	mts	11.62	L2=(A _S /4) ^(1/2)
Longitud total del sedimentador	L _T	mts	12.42	L _T =L1+L2
Ancho de sedimentador	B	adim	46.49	B=L2*4
Velocidad horizontal del flujo, V _H <0.55	V _H	cm/s	0.066	V _H =100*Q/(B*H)
Tiempo de retención de la unidad	T _o	hr	0.005	T _o =(A _S *H)/(3600*Q)
Altura máxima en la tolva de lodos	H1	mts	10.45	H1=H+(S)*L2
Altura de agua en el vertedero de salida	H2	mts	0.025	H2=(Q/1.84*L2) ^(2/3)
Area total de orificios	A _o	m ²	0.918	A _o =Q/V _o
Area de cada orificio	a _o	m ²	0.00049	a _o =0.7854*D ²
Número de orificios	n	adim	1871	n=A _o /a _o
Altura de la cortina cubierta con orificios	h	mts	1.8	h=H-(2/5)*H
Número de orificios a lo ancho, B	N1	adim	44	
Número de orificios a lo alto, H	N2	adim	42.52	
Espaciamiento entre orificios	a	mts	0.0423	a=h/N2
Tiempo de vaceado en la unidad	T1	min	579	T1=(60*A _S *(H) ^(1/2))/(4850*A2)
Caudal de diseño en la tub. de desagüe	q	l/s	49.88	q=(1000*L _T *B*(H2))/(60*T1)

Fuente: Propia. Calculo de sedimentador del pozo del Estadio. 2016.

Con el cálculo de este sedimentador se terminan los trabajos para los tratamientos de los diferentes pozos a excepción del de Beisbol, que se hizo la propuesta para clausurarlo.

5.2 Generalidades en los pozos de absorción.

Diagrama de proceso

En la figura 5.9 se muestra el diagrama general del tratamiento primario para los 5 pozos de absorción de Ciudad Universitaria que fueron analizados. Con los datos obtenidos para el sedimentador y este diagrama general se podrá llevar a cabo la construcción.

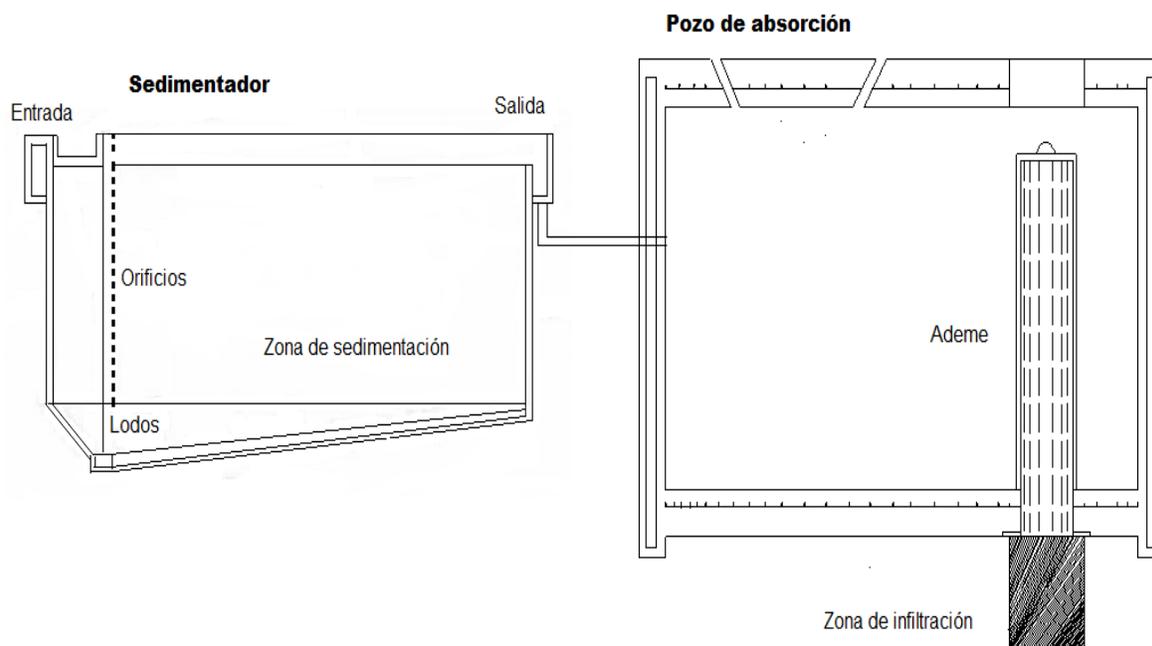


Figura 5.9. Diagrama general de tratamiento de los pozos de absorción en Ciudad Universitaria.

Fuente: Propia, Sedimentador y pozo de absorción. 2016.

Disposición de lodos.

Los lodos que se acumulan en la zona de sedimentación y en la zona de lodos del sedimentador serán debidamente retirados para su estabilización y disposición final.

Se podrán retirar los lodos con ayuda de pala y baldes, hacia un contenedor para su estabilización, la cual consistirá en agregar cal en agua y vertida en el contenedor.

Capítulo 5. Diseño de tratamiento

La mezcla de cal y lodo se puede efectuar manualmente, debe ser suficiente la agitación para mezclar y distribuir la cal uniformemente. Con la estabilización se obtiene:

- Aumento en la sequedad.
- La destrucción de gérmenes patógenos y parásitos.
- La supresión de olores.
- Mejoramiento de la estructura: Producto seco, granuloso, fácilmente manejable y almacenable.

La dosificación utilizada varia entre 50 y 200 kgs por tonelada de lodo.

Una vez que se estabilicen los lodos, se enviaran para su disposición final en tambos.

Capítulo 6

CONCLUSIONES

Conclusiones.

La evaluación de la calidad de agua de los cinco pozos de absorción analizados en Ciudad Universitaria con base a la norma NOM-015-CONAGUA-2007 que establece los límites máximos permisibles de contaminación para agua de lluvia que se infiltra al acuífero, permitió conocer el estado en que se encuentran. Lo que nos lleva a las siguientes conclusiones.

1.- Los pozos de absorción fueron seleccionados como representativos de una microcuenca debido a su ubicación. Gracias a ello se pudo hacer un muestreo representativo del agua pluvial que ingresaba a los pozos de absorción.

2.- De acuerdo con la norma NOM-015-CONAGUA-2007 se realizaron los análisis fisicoquímicos. Lo que demostró que en las primeras lluvias se concentran la mayor parte de los contaminantes, y que después de darles mantenimiento a los pozos de absorción, las concentraciones de contaminación baja, pero no lo suficiente como para garantizar la calidad de agua infiltrada.

3.- Para los parámetros que no cumplieron con la norma NOM-015-CONAGUA-2007 se propone tratamiento utilizando rejillas y un sedimentador primario, es importante señalar que el suelo funciona como retenedor de microorganismos patógenos como las coliformes fecales. De esta manera, se espera que la calidad del agua mejore, además de proteger los pozos de la colmatación.

4.- En cuanto al pozo de absorción del campo de Beisbol se decidió clausurarlo debido a que ya no se infiltra agua, porque se taparon las grietas por donde circulaba el agua pluvial, el tratamiento ayudara a los demás pozos para que no les suceda lo mismo y se tengan que cerrar.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía.

Belmudez José. (2007). Proyecto del pozo de infiltración TL-079 del programa de infiltración para recarga del acuífero del Distrito Federal. Tesis. Proyecto final de carrera. UNAM.

Capítulo 11. Tratamiento primario. Sedimentación primaria. PP. 45-58.

Cázares Jorge. (2014). Calidad de agua de reusó en Ciudad Universitaria. Tesis. Proyecto final de carrera. UNAM.

Comisión Estatal del Agua. (2013). Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el Proceso de Lodos Activados. México.

CONAGUA. (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. México.

CONAGUA. (2011). La recarga Artificial de Acuíferos en México. Jornadas técnicas. Instituto de Ingeniería. UNAM.

CONAGUA. (2015). Escala de clasificación de calidad del agua Demanda Bioquímica de Oxígeno. México.

CONAGUA: (2015). Escala de clasificación del agua Demanda Química de Oxígeno. México.

Cordero Adrián. Sistema de potabilización de agua de lluvia para consumo humano en la ciudad de México. Tesis. Proyecto final de carrera. UNAM.

Cortez Javier. (2012). Recarga artificial de acuíferos mediante pozos de infiltración. Tesis. Proyecto final de carrera. Universidad de Chile.

Flores María. (2008). Evaluación de la Calidad de agua en el río Magdalena. Tesis. Proyecto final de carrera. Facultad de Química UNAM.

Gobierno Federal. SEMARNAT. (2013). Estadísticas del agua en México. México

Gómez Eugenio. (2013). Sistemas de recarga-recuperación. Mesa redonda. Torre de Ingeniería. UNAM.

Herce Santiago. (2010). Captación pluvial en la facultad de ciencias, una alternativa para el abastecimiento de agua. Tesis. Proyecto final e carrera. UNAM.

NMX-AA-003-1980 Aguas residuales, muestreo.

NMX-AA-004-SCFI-2013 Análisis de agua, medición de sólidos sedimentables en aguas tratadas, métodos de prueba.

NMX-AA-006-1scfi-2010 Análisis de agua, determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas, métodos de prueba.

NMX-AA-026-SCFI-2010 Análisis de agua, medición de nitrógeno total kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

NMX-AA-034-SCFI-2001 Análisis de agua, determinación de sólidos y sales disueltas e aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Métodos de prueba.

NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos, características y especificaciones de las obras y el agua.

Olivos Omar. (2010). Tratamiento de aguas. Tesis. Proyecto final de carrera. Universidad Alas Peruanas.

Organización Panamericana de la Salud. (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Lima.

Rosas Carlos. (2013). Diagnóstico de la infiltración de agua pluvial en Ciudad Universitaria mediante los pozos de absorción. Tesis. Proyecto final de carrera. Facultad de Ingeniería UNAM.

Sánchez María. (2010). Sistema de filtración de tratamiento de aguas lluvias. Tesis. Proyecto final de carrera. Universidad católica de Risaralda.

Soto Pedro, Vázquez José. (2012). Normas Oficiales Mexicanas de Recarga de Acuíferos con Aguas Residuales y de Infiltración de Aguas Pluviales al Suelo y Subsuelo. Congreso Nacional de Hidráulica. Acapulco México.

Sukia Jon. (200.) Recarga de acuíferos mediante agua de lluvia. Tesis. Proyecto final de carrera Universidad Politécnica de Catalunya.

USEPA, Phosver 3 whit Acid Persulfate Digestion Method 0.06 mg/l PO₄³⁻.

Velázquez Jesús. (2012). Aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la ciudad de México. Tesis. Proyecto final de maestría. Facultad de Ingeniería, UNAM.