



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“TRATAMIENTO, REUSO DE AGUA GRIS Y CAPTACIÓN
DE AGUA PLUVIAL EN UNA VIVIENDA DE INTERÉS
SOCIAL”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:
GABRIEL ALFREDO HERRERA LOYOLA

ASESOR:
DR. MIGUEL ÁNGEL DOMÍNGUEZ CORTAZAR

Santiago de Querétaro, Qro. Febrero 2011



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

Tratamiento, reuso de agua gris y captación de agua pluvial en una vivienda de interés social.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Civil

Presenta:

Gabriel Alfredo Herrera Loyola

Dirigido por:

Dr. Miguel Ángel Domínguez Cortazar

SINODALES

Dr. Miguel Ángel Domínguez Cortazar
Presidente

Firma

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos
Sinodal

Firma

Dr. Nabil Mobayed Khodr
Sinodal

Firma

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López
Sinodal

Firma

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Febrero de 2011
México

AGRADECIMIENTOS

No encuentro las palabras precisas para agradecer a cada una de las personas que me hicieron lograr esta meta, quisiera mencionar a todos, pero comencare con Dios, te doy gracias por darme la vida, salud, mi familia y todas las buenas y malas amistades.

En especial a mis padres estas personas tan importantes en mi vida, ellos me ensaaron a ser y a hacer todo lo que soy, me hicieron creer en mis sueos, fijarme metas, alcanzar mis objetivos y a gozar de mis victorias... GRACIAS POR SU APOYO: Gloria Loyola Pérez y Gabriel Herrera de la Rosa.

De igual manera quiero agradecer a mi hermana que siempre ha sido una especie de guía, que en los buenos y malos momentos siempre ha estado conmigo, a mis abuelitos, tíos y primos que en todo momento me han hecho saber de su apoyo incondicional.

Por otro lado a mis amigos de cada etapa de mi vida, a mis compañeros de la facultad que siempre estuvimos juntos en la hora de estudiar como en los momentos de diversión en especial a Luis Cuevas, Noé Suárez, Arturo Aguado, Macario Mondragón, Luis Acevedo, Miguel Garay, Elier García, Alberto Boyain, Iván Zarate y Juan Estrada.

Asimismo agradecerle mis maestros que con su paciencia, sabiduría y consejos orientaron mis pasos para lograr la culminación de mi formación académica.

Al profesor Raúl Pineda, maestro de la facultad de ciencias naturales que apoyo en la elaboración del proyecto de titulación. De gran importancia quiero mencionar a mi asesor el doctor Miguel Ángel Domínguez Cortazar que me guió en la elaboración de la tesis

ÍNDICE

Capítulo I.- Introducción	1
Capítulo II.- Definición del problema	3
Capítulo III.- Normatividad en materia de calidad del agua.	8
3.1 Normas Oficiales Mexicanas	8
3.2 Normas a cumplir.	8
3.2.1 Norma oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997	9
3.2.2 Norma oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.	15
Capítulo IV. Agua de lluvia	18
4.1 Introducción	18
4.2. Precipitaciones anuales en el mundo, México y Querétaro	18
4.3 Calidad del agua de lluvia	23
4.3.1 Factores que afectan la calidad del agua de lluvia	24
4.4 Características físico-química y bacteriológica del agua de lluvia en México y el mundo	25
4.5 Características físico-química y bacteriológica del agua de lluvia en Querétaro.	28
Capítulo V. Sistema de captación de agua pluvial en techos (SCAPT)	32
5.1 Introducción	32
5.2 Ventajas y desventajas de SCAPT	32
5.3 Factibilidad	33
5.3.1 Factores Técnicos	33
5.3.2 Factores Económicos	33
5.3.3 Factores Sociales	34
5.4 Componentes de un sistema de captación de agua pluvial.	34
5.4.1 Captación	35
5.4.2 Recolección y Conducción	36
5.4.3 Interceptor	37

5.4.4 Almacenamiento	38
5.4.5 Filtración	39
5.5 Aplicación de un sistema de captación de agua pluvial en techos (SCAPT) en la zona urbana de Querétaro.	40
5.5.1 Zona de estudio	40
5.5.2 Métodos y materiales	43
5.6 Resultados	48
Capítulo VI. Agua residual	53
6.1 Definición del agua residual	53
6.2 Aguas grises	53
6.3 Características del agua residual.	54
6.3.1 Características físicas	54
6.3.2 Características químicas inorgánicas	58
6.3.3 Características químicas de compuestos orgánicos agregados.	61
6.3.4 Característica de la materia orgánica agregada en aguas residuales.	62
6.3.5 Características biológicas	62
6.3.6 Microorganismos presentes en aguas residuales.	63
Capítulo VII. Sistema de tratamiento y reuso del agua gris	64
7.1 Introducción	64
7.2 Sistemas de tratamiento de agua residual	64
7.3 Reuso del agua gris	66
7.4 Uso de humedales para tratamiento de agua gris	66
7.5 Funcionamiento del humedal del agua gris	67
7.6 Consideraciones para el tamaño de un humedal para el agua gris	68
7.7 Procedimiento para el diseño de un humedal	68
7.8 Dimensionamiento del humedal	71
7.8.1 Temperatura mínima del ambiente del sitio propuesto	71
7.8.2 Determinación de DBO del flujo de entrada	72
7.8.3 Concentración de DBO del flujo de salida.	73
7.9 Resultados	74
Capítulo VII. Conclusiones y recomendaciones	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Límites máximos permisibles de contaminantes	12
Tabla 3.2 Características del Agua gris, potable y residual	13
Tabla 3.3 Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros	14
Tabla 3.4 Límites permisibles de organismos coliformes totales y fecales	15
Tabla 3.5 Límites permisibles de características químicas	16
Tabla 3.6 Límites permisibles de características físicas y organolépticas	17
Tabla 3.7 Límites permisibles de las características radiactivas	17
Tabla 4.1 Características físico-químicas y bacteriológicas del agua de lluvia almacenada en un cisterna "Rotoplas".	28
Tabla 5.1 Coeficientes de escurrimiento	45
Tabla 5.2 Precipitación promedio mensual	49
Tabla 5.3 Demanda mensual	50
Tabla 5.4 Abastecimiento de agua pluvial	51
Tabla 5.5 Abastecimiento vs. Demanda	51
Tabla 7.1 Temperatura mínima y media registradas en la zona de estudio	71
Tabla 7.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno	72
Tabla 7.3 Límites máximos permisibles de contaminantes según: Norma oficial mexicana NOM-003-ECOL-1997	73
Tabla 7.4 Porosidad efectiva	75
Tabla 7.5 Consumo de agua para una y cinco personas	77
Tabla 7.6 Simbología	77
Tabla 7.7 Escenarios de consumo de agua	78
Tabla 7.8 Volúmenes de Materiales	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 2.1 Proyección del agua per cápita en México	4
Figura 4.1 Mapa de Precipitación Promedio Anual	23
Figura.5.1 Sistema de captación de agua pluvial	35
Fig.5.2 Conductores	37
Figura 5.3 Interceptor de primeras aguas	38
Figura 5.4 Croquis de localización comunidad San José el Alto	41
Figura 5.5 Programa arquitectónico de casa de interés social	42
Figura 5.6 Área de influencia de estaciones meteorológicas en Querétaro	43
Figura 5.7 Canaleta PVC	48
Figura 7.1 Sistema subterráneo típico de humedales.	67
Figura 7.2 Vista en planta del humedal	79
Figura 7.3 vista lateral del humedal.	80

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente y debido a la naturaleza del ciclo hidrológico, el agua ha sido considerada como un recurso natural no renovable. Sin embargo, el crecimiento poblacional aunado al incremento insostenible del volumen de explotación de este recurso, ha provocado un desequilibrio entre oferta y demanda a tal grado que el agua potable debe considerarse hoy en día como un recurso natural no renovable.

A la par del problema de sobre-explotación del recurso hídrico y el agotamiento de las fuentes convencionales de suministro, existe también cada vez mayor conciencia social sobre la magnitud del problema. En la medida que esta conciencia sea mayor en los distintos sectores de la sociedad, mayor será el impacto de aquellas contribuciones que buscan incidir en el problema de agotamiento del agua potable.

Para afrontar esta problemática existen en la actualidad distintos enfoques, dos de ellos se encuentra en la captación y aprovechamiento del agua pluvial y en el reuso de las aguas grises. Ambos se pueden aplicar tanto en ambientes urbanos como rurales y representan una solución para abastecer en cantidad y calidad la carencia de agua en regiones con escasez.

La recolección y uso del agua pluvial, así como el tratamiento y reuso de las aguas grises, sin duda tienen mayor impacto social en las zonas rurales que no cuentan con ambos servicios; sin embargo, en las zonas urbanas también se pueden implementar y su impacto ambiental será mayor si se adoptan reglamentariamente técnicas de este tipo en las nuevas construcciones.

Por la cantidad de nuevas construcciones las de interés social son las que mayor impacto pueden tener en la búsqueda de una utilización más eficiente del agua. Por ello, este trabajo aborda el tema del aprovechamiento doméstico del agua pluvial y el reuso del agua gris en viviendas de interés social. Así, en el capítulo II se presenta la problemática de la escasez y la disponibilidad del agua potable que se tiene en algunas zonas del mundo, en México, y en la ciudad de Querétaro.

El capítulo III muestra las normas que se tienen que tomar en cuenta, en cada una de ellas se muestran los límites máximos permisibles, tanto para el agua de lluvia, como para el agua tratada dependiendo del uso que se le dé a esta última. El capítulo IV aborda la calidad del agua de lluvia y la cantidad de precipitación que ocurren en algunas partes del mundo, en México; y particularmente en la ciudad de Querétaro.

En el capítulo V se presenta la metodología para diseñar un sistema de captación de agua pluvial en techos (SCAPT) y se presenta un caso de aplicación para la zona urbana del municipio de Querétaro.

Por su parte, en el capítulo VI se presenta la revisión de conceptos básicos del agua gris y de sus características. Se incluye la metodología empleada para diseñar un humedal que permita la reutilización del agua tratada, y el diseño del mismo se presentan en el capítulo VII, finalmente en el capítulo VIII se presentan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

CAPÍTULO II

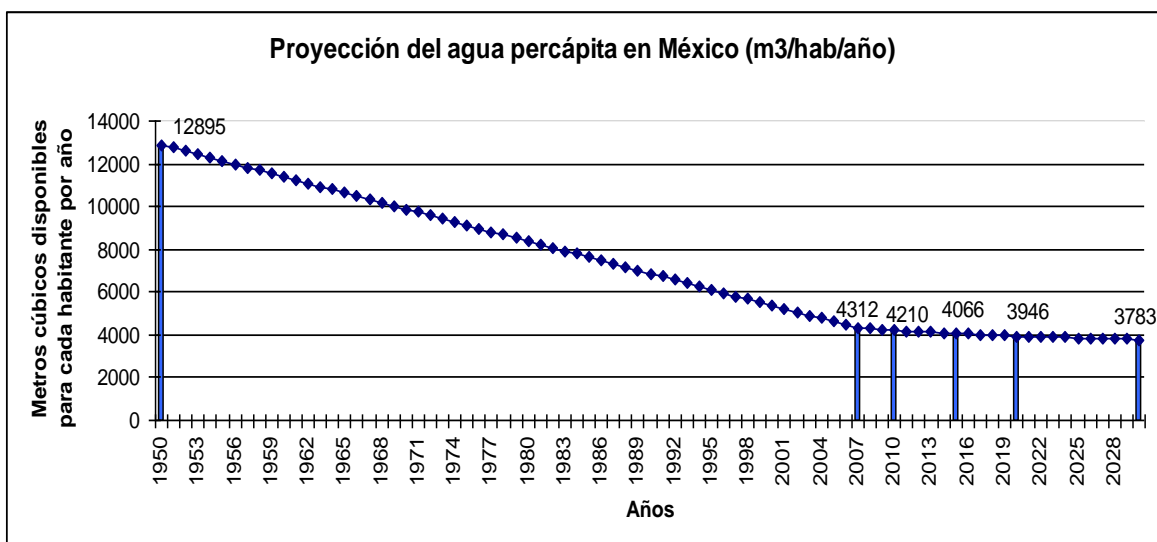
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El agua es fundamental para todas las formas de vida conocida. Los recursos naturales se han vuelto escasos con la creciente población mundial y su disponibilidad en varias regiones habitadas es la preocupación de muchas organizaciones gubernamentales.

En la Tierra se encuentra el agua de la siguiente manera: el 97 % es agua salada, la cual se encuentra principalmente en los océanos y mares; sólo el 3 % es dulce. De esta última, un 1 % está en estado líquido, el 2 % restante se encuentra en estado sólido.

Actualmente existen más de 28 países que se pueden considerar con problemas de escasez de agua, pues cuentan con una dotación menor a los 1,000 m³ por habitante al año, cifra considerada como crítica en cuanto a oferta del recurso se refiere; México se encuentra en un nivel medio con una disponibilidad de agua de 5,000 m³ por habitante al año. (Uriarte, 2002).

Las fuentes de agua dulce están en acelerada vía de extinción. Hay cambios de clima y de suelo, inundaciones, sequías y desertización. Pero es la acción humana la más drástica, estas acciones se traducen en una disminución en la disponibilidad de agua. En México, la disponibilidad per cápita era de 12,895 m³/hab/año en la década de los años 50, para el 2007 su valor se redujo a 4,312 y se espera que para el 2030 sea de 3,783 m³/hab/año (figura 2.1).

Figura. 2.1 Proyección del agua per-cápita en México (m^3 /hab/año)Fuente: (<http://www.conagua.gob.mx>)

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en 1990, 20 países sufrían escasez de agua, en 1996 ya eran 26 (230 millones de personas). El número de países con problemas de agua puede elevarse a 41 en el año 2020. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) calcula que de aquí al año 2027, aproximadamente un tercio de los habitantes del mundo sufrirá escasez de agua. Las razones para ello son evidentes: la mayor demanda sobre los recursos de agua dulce provocada por las crecientes poblaciones humanas; el empeoramiento de la calidad de los recursos acuíferos existentes debido a la contaminación y las necesidades creadas por la dinámica de expansión industrial y agrícola.

Además del problema de la disponibilidad, se presenta la dificultad del acceso al agua potable. El acceso se mide por el número de personas que pueden obtener el recurso con razonable facilidad y se expresa como un porcentaje de la población total. Se trata de un indicador de salud de la población y la capacidad de un país para conseguir agua, purificarla y distribuirla. Los países con menor índice de acceso al agua potable (menos del 50% de la población), por lo general están

situados en África y Asia. Por el contrario, los países con mayor disponibilidad (más del 70% de la población), están situados en Europa, América del Norte y partes de Asia y América del Sur. Hay algunos países, sobre todo en el Centro de Sudamérica, Asia y África, donde el porcentaje de la población que tiene acceso a agua potable varía en un rango del 50 al 70%.

<http://www.worldbank.org/depweb/spanish/modules/environm/water/map.htm>

Ante una situación de escasez del agua, la amenaza se cierne sobre tres aspectos fundamentales del bienestar humano: la producción de alimentos, la salud, y la estabilidad política y social, como una consecuencia de esto, no es difícil imaginar que se lleguen a generar guerras por el uso del líquido vital. En México, el 63% del agua utilizada proviene de fuentes superficiales y el restante 37% proviene de acuíferos. El intenso crecimiento demográfico y la migración interna a regiones semiáridas y áridas han provocado una sobreexplotación de los recursos hídricos que según la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), alcanza casi el 40% del total de este recurso.

En el caso del estado de Querétaro, el abasto del agua potable mediante pozos de extracción que opera la Comisión Estatal de Aguas (CEA), ha disminuido gradualmente debido a los altos niveles de abatimiento que sufren los acuíferos, como consecuencia de la sobre-explotación del agua subterránea. El agua potable que se consume en la capital del estado de Querétaro en su totalidad proviene de los acuíferos que en estos momentos se encuentran sobreexplotados. La mancha urbana ha crecido notablemente en los últimos años, provocando que la filtración del agua sea más lenta e insuficiente, debido a que los asfaltos y construcciones actúan como impermeabilizantes. Por otra parte, el rápido crecimiento del área metropolitana de Querétaro, con tasas anuales de crecimiento por arriba de la tasa nacional, ha provocado que la demanda de agua sea más alta que la oferta natural de este recurso. Debido a la escasa recarga natural en los acuíferos de la región, se ha reducido la cantidad de agua subterránea disponible (fuente principal de suministro de agua), esto se traduce en problemas como: la escasez frecuente de agua en algunas zonas de la ciudad, la caída sistemática de los niveles estáticos

del acuífero (aproximadamente 3.3 m/año), el hundimiento de terrenos y la contaminación del agua subterránea. Bajo estas condiciones, el uso de modelos actuales de consumo no sustentables, así como la escasa disponibilidad de agua, podrían convertirse en el corto plazo en factores limitantes para el crecimiento económico de la región.

El problema no solo se acota al agua potable, ya que en la actualidad sólo el 30% de las aguas servidas reciben algún tipo de tratamiento. La CONAGUA estima que el 52% del total de los recursos hídricos superficiales está muy contaminado, mientras que el 39% está contaminado de forma moderada y sólo el 9% es de calidad aceptable.

Como parte de la solución a este problema, se observa que es importante maximizar el uso del agua, dándole varios usos antes de desecharla por el drenaje. Un ejemplo puede ser el tratamiento del agua gris, con el fin de poder reutilizarla en el excusado. Si se aumenta el número de usuarios del agua de lluvia, así como el reuso del agua gris, se puede reducir la demanda de los suministros de agua convencionales, por lo que si captamos toda el agua que se precipita en el año, se minimizará considerablemente el consumo de agua potable. De esta manera la oferta será mayor y la presión sobre los acuíferos, será mayor.

La necesidad de incrementar la oferta de agua nos lleva a la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento. Lo que se propone en este trabajo es buscar incidir en este problema a través de un doble aprovechamiento del agua, el agua pluvial captada "in situ" y la reutilización del agua gris tratada, el proyecto se enfoca principalmente en viviendas de interés social. Se considera que al replicar esta propuesta en cada vez un mayor número de ellas, se estará incidiendo de manera más significativa en el uso eficiente del agua, y particularmente en el aprovechamiento del agua de lluvia como fuente complementaria de abastecimiento en regiones de gran escasez.

La idea fundamental es que el agua que se usa en el lavabo, regadera, lavado de ropa y lavado de trastes, la cual se denomina agua gris, se le pueda dar un tratamiento por medios naturales, y de este manera se pueda reutilizar para el uso del excusado.

Los sistemas que se utilizarán para la captación del agua pluvial y el tratamiento del agua gris deberán de ser económicos, para que estos puedan ser rentables para el constructor y los consumidores. También se plantean sistemas de manejo simple para poder ser utilizados por cualquier tipo de persona, incluso podrán ser automatizado para que ese sistema sea autónomo.

El procedimiento consiste en recolectar el agua gris por medio de tuberías para poder llevarla al siguiente paso, en donde se le dará un tratamiento por medio de un sistema llamado humedal. Básicamente, un humedal puede ser natural o artificial, en este caso se propone un humedal artificial subsuperficial que permita el tratamiento de las aguas grises por biofiltración, está constituido por tres capas: la primera es de tierra en donde se encontrarán plantas, una segunda capa de grava y por último una capa de arena. El agua gris se hace pasar por gravedad por la capa de grava en donde las plantas por medio de sus raíces tendrán la oportunidad de nutrirse con los contaminantes del agua gris; como última etapa, el agua pasa por la capa de arena en donde se filtrará, para posteriormente ser recolectada y enviada a un tinaco en donde podrá ser reutilizada en el excusado o para el riego de áreas verdes.

Para la captación del agua pluvial, la idea es recolectar el agua que se precipite sobre el techo de la vivienda. Por medio de la pendiente de esta área, llegará a una canaleta que la conducirá hacia un tubo para posteriormente llevarla a una cisterna subterránea, en donde se mezclará con el agua potable.

CAPÍTULO III

NORMATIVIDAD EN MATERIA DE CALIDAD DEL AGUA

Existen diferentes normas que se deben cumplir cuando se utiliza el agua tratada, éstas nos indican los límites máximos permisibles de contaminantes que se pueden aceptar, todo depende del uso que se le quiera dar al agua en cuestión.

3.1 Normas Oficiales Mexicanas

NOM-001-ECOL-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-002-ECOL-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

NOM-003-ECOL-1997 establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

NOM-127-SSA1-1994 establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya en todo el territorio nacional.

(<http://www.semarnat.gob.mx>)

3.2 Normas a cumplir.

NOM-003-ECOL-1997 y NOM-127-SSA1-1994 son las normas que se utilizarán en el siguiente trabajo y que a continuación se describen.

3.2.1 Norma oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997

a) Objetivo y campo de aplicación

En la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997) se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo conducción o transporte de la misma.

b) Definiciones:

Aguas residuales: las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas crudas: son las aguas residuales sin tratamiento.

Aguas residuales tratadas: son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

Contaminantes básicos: son aquellos compuestos o parámetros que pueden ser removidos o estabilizados mediante procesos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, material flotante, demanda bioquímica de oxígeno₅ y sólidos suspendidos totales.

Contaminantes patógenos y parasitarios: son los microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997) sólo se consideran los coliformes fecales medidos como NMP o UFC/100 ml (número más probable o unidades formadoras de colonias por cada 100 mililitros) y los huevos de helminto medidos como h/l (huevos por litro).

Entidad pública: los gobiernos de los estados, del Distrito Federal, y de los municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua.

Lago artificial recreativo: es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas con acceso al público, para paseos en lancha, prácticas de remo y canotaje donde el usuario tenga contacto directo con el agua.

Lago artificial no recreativo: es el vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas que sirve únicamente de ornato, como lagos en campos de golf y parques a los que no tiene acceso el público.

Límite Máximo Permisible: valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido por el responsable del suministro de agua residual tratada.

Promedio mensual (P.M.): es el valor que resulta del promedio de los resultados de los análisis practicados a por lo menos dos muestras simples en un mes.

Para los coliformes fecales es la media geométrica; y para los huevos de helminto, demanda bioquímica de oxígeno₅, sólidos suspendidos totales, metales pesados y cianuros y grasas y aceites, es la media aritmética.

Reuso en servicios al público con contacto directo: es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997)

se consideran los siguientes reusos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.

Reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional: es el que se destina a actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental y que su acceso es restringido, ya sea por barreras físicas o personal de vigilancia. En lo que corresponde a la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997) se consideran los siguientes reusos: riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

c) Especificaciones

Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en la Tabla 3.1.

La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006.

El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles establecidos en la columna que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola.

Las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que reusen en servicios al público, tienen la obligación de realizar el monitoreo de las aguas tratadas en los términos en la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997) y de conservar al menos durante los últimos tres años los registros de la información resultante del muestreo y análisis, al momento en que la información sea requerida por la autoridad competente.

d) Muestreo

Los responsables del tratamiento y reuso de las aguas residuales tratadas, tienen la obligación de realizar los muestreos como se establece en la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-003.

Para los coliformes fecales, materia flotante, demanda bioquímica de oxígeno₅, sólidos suspendidos totales y grasa y aceites, al menos 4 (cuatro) muestras simples tomadas en días representativos mensualmente.

Para los huevos de helminto, al menos (dos) muestras compuestas tomadas en días representativos mensualmente

Para los metales pesados y cianuros, al menos 2 (dos) muestras simples tomadas en días representativos anualmente.

Tabla 3.1 Límites máximos permisibles de contaminantes

TIPOS DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y aceites m/l	DBO ₅ mg/l	SST/mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

Tabla 3.2 Características del Agua gris, potable y residual

	AGUA TRATADA		AGUA POTABLE	AGUA RESIDUAL	
	LÍMITES PERMISIBLES				
Organismos coliformes totales	240NMP/100 ml		2 NMP/100 ml	1,000 y 2,000 NMP/100ml	
	P.M.	P.D.		P.M.	P.D.
Arsénico	0.2 mg/l	0.4 mg/l	0.05 mg/l	0.2 mg/l	0.4 mg/l
Cadmio	0.2 mg/l	0.4 mg/l	0.005 mg/l	0.2 mg/l	0.4 mg/l
Cianuro	2 mg/l	3 mg/l	0.07 mg/l	2 mg/l	3 mg/l
Cobre	4 mg/l	6 mg/l	2 mg/l	4 mg/l	6 mg/l
Cromo	1 mg/l	1.5 mg/l	0.05 mg/l	1 mg/l	1.5 mg/l
Mercurio	0.01 mg/l	0.02 mg/l	0.001 mg/l	0.01 mg/l	0.02 mg/l
Zinc	10 mg/l	20 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	20 mg/l
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	5.0-10.0		6.5-8.5	5.0-10.0	
Grasas y Aceites (2)	15		0	15	25
Materia Flotante	ausente		0	ausente	ausente
Sólidos Suspendidos Totales	20 mg/l		0	75 mg/l	125 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	20 mg/l		0	75 mg/l	150mg/l

Tabla 3.3 Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuros

PARÁMETROS (*)	RIOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
(miligramos por litro)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuro	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

3.2.2 Norma oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

a) Límites permisibles de características bacteriológicas

El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la Tabla 3.4.

Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes deben establecer los agentes biológicos nocivos a la salud a investigar.

Tabla 3.4 Límites permisibles de organismos coliformes totales y fecales

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml
	2 UFC/100 ml
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml
	Cero UFC/100 ml

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

b) Límites permisibles de características químicas

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3.5. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

Tabla 3.5 Límites permisibles de características químicas

CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE	CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.2	Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Arsénico	0.05	Clordano (total de isómeros)	0.3
Bario	0.7	DDT (total de isómeros)	1
Cadmio	0.005	Gamma-HCH (lindano)	2
Cianuros (como CN-)	0.07	Hexaclorobenceno	0.01
Cloro residual libre	0.2-1.50	Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Cloruros (como Cl-)	250	Sólidos disueltos totales	1000
Cobre	2	Metoxicloro	20
Cromo total	0.05	2,4 - D	50
Dureza total (como CaCO ₃)	500	Plomo	0.025
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001	Sodio	200
Fierro	0.3	Sulfatos (como SO ₄ =)	400
Fluoruros (como F-)	1.5	Zinc	5
Manganeso	0.15	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.5
Mercurio	0.001	Trihalometanos totales	0.2
Nitratos (como N)	10		
Nitritos (como N)	0.05		
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.5		
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5		

c) Límites permisibles de características físicas y organolépticas

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 3.6

Tabla 3.6 Límites permisibles de características físicas y organolépticas

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

d) Límites permisibles de características radiactivas

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3.7. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

Tabla 3.7 Límites permisibles de las características radiactivas

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1

e) Observancia de la Norma

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que distribuya agua para uso y consumo humano.

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas en coordinación con la Comisión Nacional del Agua, en sus respectivos ámbitos de competencia.

CAPÍTULO IV

EL AGUA DE LLUVIA

4.1 Introducción

En este capítulo se presenta una revisión bibliográfica de las precipitaciones registradas tanto en el mundo, como en México y Querétaro, de la misma manera se mencionan las razones de contaminación y la calidad de esta misma, se presentan datos estadísticos de potencial de captación de agua de lluvia en la ciudad de Querétaro.

4.2. Precipitaciones anuales en el mundo, México y Querétaro

La precipitación pluvial depende principalmente del clima y la temperatura, además de que resulta influenciada en forma notable por los cambios de altitud (más que por latitud). Las regiones del mundo con la mayor precipitación pluvial se localizan en las zonas tropicales cercanas al ecuador terrestre, debido a las altas temperaturas y a las grandes cantidades de vapor de agua existentes en la atmósfera (Uriarte, 2002).

Según datos del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica de la Universidad Autónoma Metropolitana, el continente americano cuenta con muy diversos tipos de clima debido a su extensión en latitud y las características de su relieve. La vertiente oeste de las montañas Rocallosas, en los Estados Unidos de Norteamérica detiene los vientos húmedos del Pacífico que al chocar contra ellas provocan abundantes lluvias que superan los 1,500 mm anuales de California, el este de las Rocallosas, protegido de los vientos oceánicos por sus altas mesetas, tiene un clima seco y escasas precipitaciones, menos de 200 mm anuales, lo que explica la existencia de desiertos. Al norte, hay una faja costera en la cual la lluvia media anual es superior a los 1,000 mm; al oriente de esta faja se observa una reducción brusca en la lluvia a menos de 500 mm y hasta menos de 125 mm, en el

llamado Desierto Americano. En la zona oriental de Estados Unidos desde la Florida hasta el límite con Canadá, la precipitación media anual es superior a 1,000 mm.

En Centroamérica, en la región occidental, el paso del clima continental de California a otro tropical es más notable y la cantidad de lluvia más escasa. Las islas antillanas están bajo la influencia de los vientos alisios, que producen fuertes lluvias en las vertientes de barlovento, mientras que las de sotavento son muy secas. América del sur goza de temperaturas uniformes y elevadas, y lluvias muy abundantes (de 1,000 a 2,000 mm anuales) Las mayores precipitaciones se registran el litoral de Guayanas y la cuenca interior del Amazonas (de 2,000 a 3,000 mm anuales). Sin embargo, en la zona patagónica, el clima es suave y las lluvias escasas pues no sobrepasan los 250 mm anuales.

En Europa, la característica principal del régimen pluvial de las costas del Mediterráneo es su abundancia, a veces excesiva, de las lluvias de invierno y extremadamente reducida en los meses de verano. Generalmente la lluvia de invierno y extremadamente reducida en los meses de verano. Generalmente la lluvia es más abundante en las costas occidentales, y excede en algunos lugares los 1.520 mm anuales; la lluvia disminuye hacia el oriente y, en las partes altas de los Alpes y del Cáucaso, la precipitación es menor de 500 mm. Existe una región lluviosa bien definida en la península Escandinava, donde se registran mas de 1,520 mm anuales en la parte occidental de Noruega y otra relativamente seca al oriente de Suecia, con 500 mm o menos.

En Asia, la región desértica puede considerarse, en principio una prolongación del Sahara, un rosario de desiertos se extiende desde el Arabia hasta el de Gobi, en todos ellos las precipitación son inferiores a 250 mm. En contraste con este tipo desértico, encontramos el Asia monzónica, cuya característica fundamental la constituyen las lluvias, el resto del espacio monzónica comparte las características lluviosas de este tipo de clima, las lluvias

son ya moderadas, sin llegar a 1,000 mm anuales, presentando una media de unos 600 mm.

En África, la mayor parte goza de un clima cálido, salvo en las partes altas de las montañas; ahí la cantidad y periodicidad de las precipitaciones determinan las distintas zonas climáticas. La zona tropical lluviosa tiene un clima cálido húmedo en su mayor parte, con un área de influencia que se mueve alternativamente al norte y sur del Ecuador; en la costa occidental, la precipitación disminuye hasta los 300 mm anuales. Otras regiones húmedas se encuentran, en forma aislada, en las laderas de las montañas de Usambaru oriental y en Konde, donde las precipitaciones ascienden a más de 1,200 mm anuales, e inclusive las máximas llegan a ser superiores de 2,000 mm anuales en la región de la costa de Guinea. En la calurosa zona sahariana, que incluye al sector mediterráneo, las lluvias son escasas. En la zona meridional, cuya pluviosidad disminuye conforme se avanza del norte al sur y cuenta con amplias zonas desérticas como el Kalahari y el Namib, las precipitaciones medias anuales llegan a ser de 250 a 550 mm anuales. La zona realmente desértica es de poca extensión ya que no abarca más que la llanura costera (Namib). Kalahari es una estepa que, aunque yace muerta durante la temporada de sequía, después de las primeras lluvias cubre de verdor; ese clima también se encuentra en Somalia y las costas de Kenia y Tanzania, donde las precipitaciones sólo alcanzan los 250 mm anuales. Finalmente, el resto del continente, que comprende las zonas de transición de las regiones mencionadas anteriormente, tiene precipitaciones medias anuales de 1,000 mm aproximadamente.

En Australia, pluviométricamente hay diferencias relativas en regiones no áridas; las lluvias son más intensas al norte (más de 2,000 mm anuales en la península de Cabo York) que al sur (Brisbane, que apenas supera los 1,000 mm) y más al este (Sidney presenta alrededor de los 1,200 mm) que al oeste (Perth recibe unos 900 mm). Mención aparte merece Canberra y Melbourne (con solo unos 600 mm anuales) y Adelaida (con unos 500 mm, prácticamente el único rincón no desértico de Australia Meridional).

En México los factores geográficos y geofísicos determinan las condiciones del clima y de la lluvia en las diversas regiones geográficas que conforman la República Mexicana, sobresaliendo por su magnitud zonas áridas y semi-áridas de tipo desértico. Existen grandes diferencias en la distribución de la lluvia de unas regiones a otras. La zona mas lluviosa, con precipitaciones superiores a 1,500 mm, comprende las pendientes montañosas de las porciones central y sur del país que se inclinan al Golfo de México. La cantidad de lluvia aumenta más en esta región por la presencia de perturbaciones ciclónicas que tienen su origen en el mar de las Antillas; durante el invierno, los nortes que se originan por el desplazamiento hacia el sur de masa de aire polar, producen precipitaciones abundantes en el sur de Veracruz, Tabasco y Campeche debido a que recogen humedad del Golfo de México.

Hay cuatro áreas con precipitación mayor a 3,500 mm al año: la región situada en la Larenas de la sierra de Teziutlán y Zacapoaxtla; la situada en las sierra de Ixtilan y Mixes; la parte de la Sierra de Tuxtlas que mira hacia el Golfo de México; y la vertiente boreal de las montañas del norte de Chiapas. Hay también en esta vertiente dos pequeñas zonas con precipitación menor de 1,500 mm: la sierra de Naolinco y la Sierra de Tuxtlas situada en la llanura costera del Golfo. La porción noreste de la llanura costera del golfo de México, recibe entre 500 y 1,200 mm de lluvia al año.

La precipitación es mas abundante, en general, en la zona del Golfo que en el lado del Pacífico, Mientras que la costa del Golfo tiene una gran extensión de precipitaciones mayores de 2,000 mm, en la del Pacífico no recibe más de esta cantidad sino en sitios aislados. Hay sin embargo, otra zona de lluvia muy abundantes (mayor de 3,500 mm) situada en esta vertiente, la de la porción sureste de la Sierra Madre de Chiapas.

Las cuencas interiores del sur, tales como la Depresión Central de Chiapas, la cuenca del Balsas y las cuencas altas de los ríos Verde, Mixteco,

Tlapaneco, Tehuantepec y Papaloapan, reciben menos de 1,000 mm de lluvia al año, y en algunos sitios menos de 600 mm.

La parte de la Altiplanicie Mexicana recibe en promedio 1,000 mm de lluvia al año. A principios del otoño la precipitación es influenciada por la presencia de ciclones tanto del Golfo como del Pacífico; la vertiente sur del Eje Volcánico presenta así de 1,200 a 1,500 mm de lluvia al año. La parte norte de la Altiplanicie es una zona de escasa precipitación, la zona más árida, con menos de 300 mm de lluvia al año, que se extiende desde la frontera con los Estados Unidos hasta las inmediaciones del paralelo 24° de latitud norte.

La parte más seca del país es la porción noroeste de la llanura costera del Pacífico; hay áreas como la próxima al Río Colorado con menos de 50 mm de lluvia al año. La península de Baja California es otra de las porciones del país con escasa precipitación, ya que tiene menos de 300 mm al año, excepto las partes más altas de las sierras, donde probablemente caen entre 400 y 600 mm al año. Sobre las partes más elevadas de las montañas del centro, oeste y sur del país, la precipitación es, en general, superior a los 1,000 mm al año, las principales lluvias se presentan en verano. La península de Yucatán, recibe menos precipitación que la parte de llanura costera del Golfo contigua a ella; su precipitación decrece de 1,500 mm en el sur, a 500 mm en el noroeste.

La precipitación promedio anual en el estado de Querétaro corresponde a 625 mm, la temporada de lluvia se consideran del mes de Mayo a Octubre con un 87% de éstas, en donde, Julio es el mes con mayor precipitación (118 mm). Municipios al sur como Amealco de Bonfil, Jalpan de Serra, San Joaquín y Pinal de Amoles registran precipitaciones de 800 a 900 mm, en el centro, los municipios de Tolimán y Cadereyta de Montes se tienen datos de precipitaciones de 300 a 500 mm, como se muestra en la figura 4.1. Por otro lado, la precipitación media anual en la ciudad de Querétaro alcanza valores de 549 mm. (INEGI, 2010)

Figura 4.1 Mapa de Precipitación Promedio Anual
Fuente: (INEGI, 2010)



4.3 Calidad del agua de lluvia

Estudios recientes sobre la calidad del agua pluvial captada en la superficie de techumbres demuestran con certeza que el agua recolectada es relativamente limpia. En muchas regiones, ésta puede ser tratada de manera diferente a la captada en superficies de tierra o áreas pavimentadas, estos se basa en la toma de datos de contaminantes convencionales tales como: sedimento, nutrientes, materia orgánica y bacterias. (Uriarte, 2002)

La percepción de que el agua captada en techos es una fuente relativamente segura de agua limpia, puede no siempre ser verdadera cuando se considera superficies de áreas industriales, sitios de captación cercanos a fuentes de contaminantes, o bien cuando se utilizan materiales no aptos para su colección.

4.3.1 Factores que afectan la calidad del agua de lluvia

Factores atmosféricos

La calidad de agua de lluvia puede ser influenciada por factores del lugar donde cae, así como por emisiones industriales localizadas o factores locales del lugar que afectan su pureza. Si el agua de lluvia cae en lugares no industrializados, su calidad es superior a la del agua que cae en ciudades dominadas por grandes industrias, o en regiones agrícolas donde el polvo de las cosechas es una constante. Por tanto, dependiendo del lugar donde se localice el sistema, la calidad del agua de lluvia puede variar como consecuencia de la contaminación del aire causada por distintos factores tales como: fábricas de cemento, bancos de grava, polvo de cosecha y grandes concentraciones de emisiones vehiculares.

Es sabido que la lluvia que cae a través del aire, disuelve el dióxido de carbono (CO_2) que esta presente en el aire y se convierte levemente en acida, (Guía Texas captación de agua de lluvia; Austin Texas, 1997). La lluvia ácida tiene un pH menor a 5.65, y es producido por ácido carbónico en equilibrio con dióxido de carbono atmosférico y por incrementos de óxido de sulfuro y nitrógeno como consecuencia de la quema de combustibles fósiles. Así, en muchas áreas urbanas industrializadas, la atmosfera ha sido frecuentemente contaminada a tal grado que el agua de lluvia se vuelve peligrosa si se bebe sin ningún tratamiento (Thomas Y Greene, 1993); los metales pesados como el plomo son un riesgo potencial, especialmente en áreas con gran densidad de trafico de automóviles o en vecindad con grandes industrias (Yaziz, 1989 y Thomas Greene, 1993).

Factores locales

La contaminación de agua de lluvia también ocurre después de hacer contacto con la superficie de captación, durante su conducción y almacenamiento. En efecto, una vez que la lluvia hace contacto con la superficie del techo de colección, lava muchos tipos de bacterias, moho, algas y otros contaminantes como polvo, ramas de árboles y excremento de pájaros, así como también residuos, producto del material con el que esta construido el techo y el canal de conducción. Otro factor importante en la contaminación es el almacenamiento de la misma ya que es ahí donde se da la principal causa de contaminación microbiológica. Algunos estudios revelan que la calidad del agua de lluvia, comparada con los límites permisibles de *E. coli* y otros organismos patógenos, se incrementan cuando es almacenada (OMS, 1993). Esto es debido a que el agua almacenada en condiciones anaeróbicas (sin presencia de oxígeno), favorece la proliferación de bacterias.

4.4 Características físico-química y bacteriológica del agua de lluvia en México y el mundo

En Africa, Mayo y Mashauri (1991) realizaron estudios de calidad microbiológica (coliformes totales y fecales), química (pH y dureza total) y física (turbidez y color); las muestras de agua fueron de una cisterna de agua de lluvia en la Universidad de Dar es Salaam, en Tanzania, entre octubre de 1988 y diciembre de 1989. Los resultados muestran que el 86% de las muestras estuvieron libres de coliformes fecales; sin embargo, el *Streptococci* fecal fue reportado en 53% de las muestras y, en el 45% de las mismas, los coliformes totales dieron positivo. Cerca del 54% de los consumidores pusieron objeciones al sabor del agua. El rango de pH estuvo entre 9.3 y 11.7, encima de los límites estándares.

En Australia, un estudio extensivo sobre la calidad del agua almacenada en tanques domésticos de agua pluvial fueron analizados por Fuller (1981) en el

sur de Australia. Las muestras fueron de tres diferentes áreas (en las regiones de Vineyard y Orhard: siete ciudades, áreas industriales en cuatro ciudades, y áreas residenciales en dos ciudades); se seleccionaron tanques de fierro y galvanizado de 10 a 25 m³. Los resultados de los parámetros microbiológicos, metales pesados (Pb, zinc, Cd), pesticidas y otros análisis físico-químicos (temperatura, pH, sólidos suspendidos, sólidos disueltos totales y salinidad) fueron los siguientes: en 12 de 42 tanques, se registraron hasta 500 coliformes totales por cada 100 mL; el contenido de plata, como indicador de contaminación fue de 1000 mg/L. En cuanto a metales pesados, sólo un tanque reportó concentración alta de cadmio (0.018 mg/L); y unos cuantos se excedieron en contenido de plomo (0.061 y 0.072) mg/L; se detectó zinc en concentraciones alrededor de 15 mg/L. Resultó nulo o insignificante la presencia de pesticidas y sólidos en suspensión, aunque hubo dos casos que excedieron los 100 mg/L, en sólidos disueltos totales (SDT). El pH fluctuó entre 6.1 y 9.2.

En Asia, en Tailandia, se midieron parámetros físico-químicos (Ph, color, turbidez, hierro, manganeso, plomo y cadmio) se efectuaron análisis bacteriológicos (*T. coli*, *F. coli*). Por lo que se refiere a los parámetros físico-químicos, más del 83% de las muestras resultaron satisfactorias, excepto en el 40% de ellas excedieron los límites para el contenido de plomo. En términos de *E. coli*, más del 76% de las muestras excedieron los límites estándares de la OMS.

En tres villas de la provincia de Capiz, en Filipinas, un estudio mostró sólo el 24% de los 25 tanques de ferrocemento excedieron el valor límite de la OMS para *T. coli*.

En Singapur, se midió el agua de lluvia en la Universidad Tecnológica de Nanyang durante seis años, Los parámetros químicos fueron aceptables, excepto el pH resultó bajo, *T. coli* y *F. coli* también excedieron los límites permisibles. En otras investigaciones, entre 1974 y 1983, el monitoreo reportó un rango del pH entre 4.8 y 5.5 en once estaciones de mediciones de Singapur.

En China, los niveles de fluoruro, en fuentes de agua potable tradicionales, fueron de 24 a 40 mg/L, mientras que en el agua de lluvia fue alrededor de 0.78 mg/L.

Finalmente en India, Sh P.K Sirvanandan (1999) reportó un análisis químico de agua de lluvia en el área de Admilathura. Ahí colectaron y analizaron químicamente once muestras de todas las villas, y los parámetros estudiados fueron: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, cloro, dureza total, dureza como calcio, magnesio alcalinidad total, bicarbonatos y carbonatos. Los resultados indican que, en general, la calidad química del agua corresponde al grado de potable.

En México, prácticamente no hay reportes de calidad del agua de lluvia en cuanto a su potabilidad. Entre los escasos estudios, se tienen mediciones de pH, realizadas por la Secretaría del Medio Ambiente del D.F., para evaluar su acidez en la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM). A continuación se presentan estas mediciones, publicadas en los informes anuales de calidad de aire y precipitación ácida del Valle de México. En estos se presentan los indicadores del año 2000, así como los años previos 1997, 1998 y 1999.

http://www.sma.df.gob.mx/publicaciones/aire/aire_lluvia00/informe2000.htm.

Estos indicadores se obtuvieron de cinco estaciones representativas de la ZMVM: Cerro Tepeyac (TEP), ubicada en la zona noreste; Tlanepantla (TLA) en la zona noreste; Plaza de Santa Catalina (PSC) en la zona centro; Centro de Educación Ambiental Acuexcómatl (CEA) en la zona sureste y Lomas (LOM) en la zona sureste. Los valores registrados han mostrado un desempeño histórico adecuado y tienen más del 75% de muestreos de año con sus respectivas determinaciones de iones.

El promedio ponderado anual de pH, como indicador de tendencias, muestra un comportamiento creciente de 1997 al 2000 en las cinco estaciones analizadas. Prácticamente, en la mayor parte de las estaciones, los valores se

encontraron entre 4.0 y 5.0 unidades, lo que indica niveles ácidos mientras que, en los dos últimos años, la mayoría de las estaciones tuvieron dentro del intervalo de 5.0 a 5.6 unidades.

Es interesante mencionar que en el año 2000, mas del 75% de las muestras tomadas tuvieron valores con tendencias a la alcalinidad. En el análisis comparativo de cada año, se observó que las estaciones localizadas hacia el sur de la ZMVM, presentan consistentemente valores del pH con tendencia a la acidez. El caso mas notable fue la estación LOM, que en 1997 tuvo valores de pH por debajo de 5.0 unidades en 50% de los muestreos, lo cual es un reflejo del efecto de la contaminación atmosférica sobre el agua de lluvia.

4.5 Características físico-química y bacteriológica del agua de lluvia en Querétaro.

En la tabla 4.1 se muestran resultados obtenidos del análisis realizado por el CIDETEC, en un experimento llevado a cabo en las instalaciones de la U., así como los límites máximos permisibles para que el agua sea considerada como potable para consumo humano. Los resultados del análisis corresponden a la lluvia almacenada en una cisterna "Rotoplas". (Uriarte, 202)

Tabla 4.1 Características físico-químicas y bacteriológicas del agua de lluvia almacenad en un cisterna "Rotoplas". (Uriarte, 2002).

Determinación	Resultado	Limites Máximos Permisibles
Arsénico	<0.002 mg/L	0.05 mg/L
Aluminio	0.05 mg/L	0.2 mg/L
Cadmio	<0.00014 mg/L	<0.005 mg/L
Mercurio	0.00028 mg/L	0.001 mg/L
Plomo	<0.025 mg/L	0.025 mg/L
Fierro	0.59 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	<0.048 mg/L	0.15 mg/L
Sodio	0.88 mg/L	200 mg/L

Zinc	<0.033 mg/L	5.0 mg/L
Cobre	<0.024 mg/L	2.0 mg/L
Bario	<0.036 mg/L	0.70 mg/L
Cromo	<0.024 mg/L	0.05 mg/L
Cianuro	0.001 mg/L	0.07 mg/L
Nitrógeno amoniacal	0.65 mg/L	0.5 mg/L
Turbiedad	8 FTU	5 FTU
Sabor	Agradable	Agradable
Olor	Agradable	Agradable
Color	28 UptCo	20 UptCo
Sólidos disueltos	44.75 mg/L	100 mg/L
Sulfatos	6 mg/L	400 mg/L
Fluoruros	0.12 mg/L	1.50 mg/L
N-nitratos	<0.066 mg/L	10 mg/L
N-nitritos	< 0.0034 mg/L	0.05 mg/L
Saam	0.48 mg/L	0.5 mg/L
Cloruros	<0.16 mg/L	250 mg/L
pH	6.6	6.5 - 8.5
Dureza total (como CaCO ₃)	14.75 mg/L	500 mg/L
Cloro libre residual	0.04 mg/L	0.2 - 1.5 mg/L
Fenoles	0.187 mg/L	0.001 mg/L
Aldrin/dieldrin	<0.018 mg/L	0.03 mg/L
Clordano	<0.0014 mg/L	0.3 mg/L
Ddt	<0.105 mg/L	1 mg/L
Heptacloro y su epóxido	<0.0012 mg/L	0.03 mg/L
Metoxicloro	<0.0006 mg/L	20 mg/L
Hexaclorobenceno	<0.001 mg/L	0.01 mg/L
Thihalometanos totales	<0.0099 mg/L	0.2 mg/L
Lindano	<0.0011 mg/L	2 mg/L
24-d	<0.0012 mg/L	50 mg/L
Coliformes totales	210 NMP/100mL	2NMP/100mL
Coliformes fecales	23 Nmp/100mL	No detectable

Algunos de los parámetros obtenidos rebasan a los máximos permisibles como es el Hierro, el nitrógeno amoniacal, el color, fenoles, coliformes totales y coliformes fecales, por lo que es necesario agregar filtros con la finalidad de disminuir estos parámetros. (Uriarte, 2002)

El fierro rebasa el límite en el agua, seguramente porque la canaleta de conducción que Uriarte utilizó en su trabajo era de lámina galvanizada, está se sustituirá por una elaborada de PVC, con la finalidad de disminuir este parámetro y costo.

Por lo que se refiere a color, el agua de lluvia presenta generalmente un color con tendencia al amarillo y probable razón por la que este recurso no resulte tan agradable para su consumo; sin embargo, los valores que se reportan están apenas por encima de la norma. (Uriarte, 2002)

En el caso de los fenoles, los valores rebasan significativamente los límites máximos permisibles. Dos hipótesis son adoptadas para este caso. La primera y la mas importante es que tales elementos provienen del material impermeabilizante con el cual ha sido recubierta la superficie de captación. Este material esta compuesto por asfalto catalítico plastificado con un refuerzo central de fibra de vidrio y gravilla pintada de color rojo en la parte superior y el fenol es un elemento empleado en la fabricación de pinturas (Jiménez B., 2001) y afecta de manera significativa la calidad del agua de lluvia. La segunda hipótesis es que el sitio de captación se encuentra ubicado a 30 m de la avenida 5 Febrero, que tal vez sea la vía más transitada en de la ciudad. Así, la presencia de fenoles pudiera tener también una influencia directa de la contaminación provocada por el paso de los vehículos, muchos de ellos para transporte de carga y pasajeros. (Uriarte, 2002).

Finalmente, la presencia de coliformes totales y fecales en el agua de lluvia fue atribuida al polvo, la tierra y a las defecaciones de pajaros, mismos que se acumulan con el paso de tiempo sobre las superficies de captación. Esta es

probablemente la principal desventaja del uso de estos sistemas de captación de agua para consumo humano. Por ello, es aconsejable que dichos sistemas cuenten con dispositivos de lavado, conocidos como “first flushing”, los cuales utilizan las primeras lluvias de la temporada para lavar las superficies de captación, a fin de almacenar el agua sólo después de las dos o tres primeras precipitaciones (Uriarte, 2002).

CAPÍTULO V

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL

5.1 Introducción

En el siguiente capítulo revisaremos los sistemas de captación de agua pluvial, que es un medio fácil de obtener agua para consumo humano o uso agrícola.

En muchos lugares del mundo con alta o media precipitación, en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo humano se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento. En estos sistemas, el agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso. En la captación del agua de pluvial con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (Sistema de Captación de Agua Pluvial en Techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación, minimiza la contaminación del agua, Para uso agrícola, se requieren de mayores superficies de captación, por lo que se requiere de superficies permeables extensas para colectar la mayor cantidad de agua posible.

A manera de ejemplo, en este capítulo también se analizara un caso de estudio con el fin de mostrar el dimensionamiento de un sistema de recolección pluvial para una vivienda de interés social, suponiendo que el agua recolectada tendrá un uso domestico.

5.2 Ventajas y desventajas de SCAPT

La captación de agua de lluvia para consumo humano presenta las siguientes ventajas: alta calidad físico química del agua de lluvia, sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas, empleo

de mano de obra y materiales locales, no requiere energía para la operación del sistema, fácil de mantener, comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.

A su vez las desventajas de este método de abastecimiento de agua son las siguientes: alto costo inicial que puede impedir su implementación por parte de las familias de bajos recursos económicos, y la cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.

5.3 Factibilidad

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

5.3.1 Factores Técnicos

Los factores técnicos a tener presente son la producción y la demanda de agua. La producción u oferta de agua; está relacionada directamente con la precipitación durante el año y con las variaciones estacionales de la misma. Por ello, en el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia es altamente recomendable trabajar con datos suministrados por la autoridad competente y normalmente representada por la oficina meteorológica del país o de la región donde se pretende ejecutar el proyecto. Por su parte, la demanda agua depende de las necesidades del interesado y puede estar representada solamente por el agua para consumo humano, o puede llegar a tomar en cuenta agua para todas las necesidades básicas como son preparación de alimentos, higiene personal, lavado de vajillas y de ropa e inclusive riego de jardines. (UNATSABAR, 2001)

5.3.2 Factores Económicos

Existe una relación directa entre la oferta y la demanda de agua, las cuales se reducen con el área de captación y el volumen de almacenamiento,.

Amaos factores están íntimamente ligadas con el aspecto económico, lo que habitualmente resulta una restricción para la mayor parte de los interesados, lo que imposibilita acceder a un sistema de abastecimiento de esta naturaleza. En la evaluación económica es necesario tener presente que en ningún caso la dotación de agua debe ser menor a 20 litros de agua por familia y por día, la misma que permite satisfacer sus necesidades básicas elementales, debiendo atenderse los aspectos de higiene personal y lavado de ropa por otras fuentes de agua. Así mismo, los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua en la salud de las personas beneficiadas por el servicio de agua (UNATSABAR, 2001).

5.3.3 Factores Sociales

En la evaluación de las obras de ingeniería a nivel comunitario, siempre se debe tener presente los factores sociales, representados por los hábitos y costumbres que pueden afectar la sustentabilidad de los sistemas propuestos. Al efecto, el profesional responsable del estudio debe discutir con la comunidad las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta, buscando que la propia comunidad seleccione lo que más le conviene emplear. Este análisis debe considerar la conveniencia de adoptar soluciones individuales y colectivas, el tipo de material empleado en la fabricación de sus techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar o sus alrededores y el grado de participación de la comunidad en la implementación del proyecto (UNATSABAR, 2001).

5.4 Componentes de un sistema de captación de agua pluvial.

Un sistema de captación de agua de lluvia consiste en la recolección y el almacenamiento de agua para cualquier uso. Un sistema básico de captación de agua está compuesta por: captación, recolección y conducción, interceptor y almacenamiento. Como se muestra en figura 5.

Figura.5.1 Sistema de captación de agua pluvial
Fuente: (UNATSABAR, 2001).



5.4.1 Captación

La captación está conformada por el techo de la edificación, el mismo que debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo se debe considerar solamente la proyección horizontal del techo.

Los materiales empleados en la construcción de techos para la captación de agua de lluvia son lámina galvanizada lisa u ondulada, tejas de arcilla, paja, etc.

La lámina es liviana, fácil de instalar y necesita pocos cuidados, pero puede resultar costosa en algunos lugares donde se intente proyectar este sistema.

Las tejas de arcilla tienen buena superficie y suelen ser más baratas, pero son pesadas, y para instalarlas se necesita de una buena estructura, además que para su elaboración se necesita de una buena fuente de arcilla y combustible para su cocimiento.

La paja por ser de origen vegetal, tiene la desventaja que libera lignina y tanino, lo que le da un color amarillento al agua, pero que no tiene mayor impacto en la salud de los consumidores siempre que la intensidad sea baja. En todo caso puede ser destinada para otros fines diferentes al de consumo, como riego, agua para ganado, lavado de ropa, higiene personal, limpieza de servicios sanitarios, etc.

5.4.2 Recolección y Conducción

Este componente es una parte esencial que conducirá el agua recolectada por el techo directamente hasta el tanque de almacenamiento. Está conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo. Como se muestra en figura 5.2.

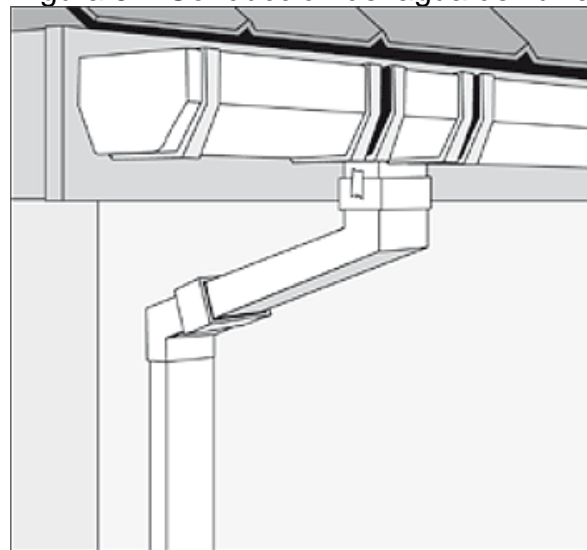
El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Al efecto se puede emplear materiales, como el bambú, madera, metal o PVC.

Las canaletas de metal son las que más duran y menos mantenimiento necesitan, sin embargo son costosas. Las canaletas confeccionadas a base de bambú y madera son fáciles de construir pero se deterioran rápidamente. Las canaletas de PVC son más fáciles de obtener, durables y no son muy costosas. Las canaletas se fijan al techo con: alambre, madera y clavos.

Por otra parte, es muy importante que el material utilizado en la unión de los tramos de la canaleta no contamine el agua con compuestos orgánicos o

inorgánicos. Esto es particularmente importante en el caso de que la canaleta llegue a captar materiales indeseables, tales como hojas, excremento de aves, etc. El sistema debe tener mallas que retengan estos objetos para evitar que obturen la tubería instalada o el dispositivo de descarga de las primeras aguas.

Figura.5.2 Conducción del agua de lluvia



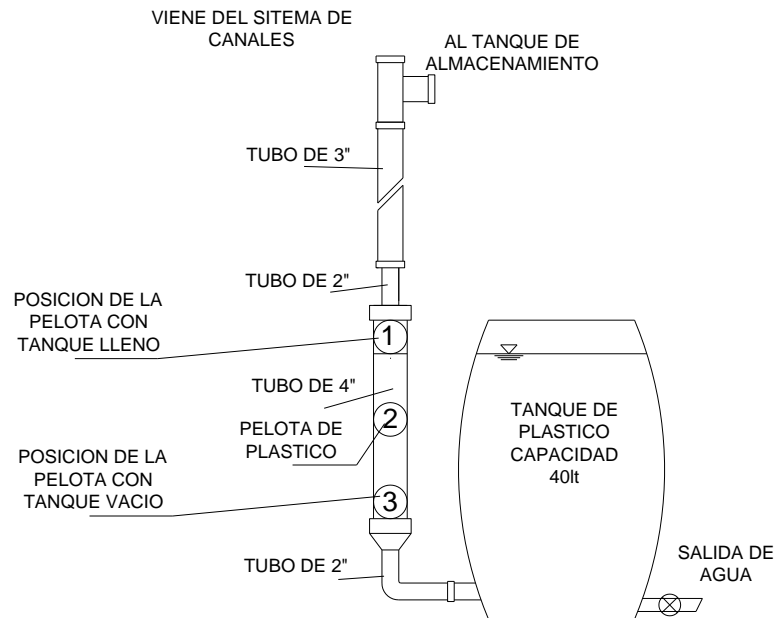
5.4.3 Interceptor

Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentran en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo se pretende minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m^2 de techo.

El volumen de agua resultante del lavado del techo debe ser recolectado en un tanque de plástico. Este tanque debe diseñarse en función del área del

techo para lo cual se podrán emplear recipientes de 40, 60, 80 ó 120 litros, y para áreas mayores de techo se utilizarían combinaciones de estos tanques para captar dicho volumen. Como se muestra en la figura 5.3.

Figura 5.3 Interceptor de primeras aguas
Fuente: (UNATSABAR, 2001).



En la posición 3, la pelota de plástico permanece sin moverse, es decir, el tubo de 4" está vacío, después, en la posición número 2 el tubo de 4" se está llenando, y como consecuencia la bola de plástico comienza a ascender, por último, en la posición número 1 se manifiesta cuando el tubo de 4" está lleno, la bola de plástico tapa la entrada haciendo que el agua cambie de dirección y se dirija al tanque de almacenamiento

5.4.4 Almacenamiento

Es la obra destinada para el almacenamiento del volumen de agua de lluvia recolectada y necesaria para el consumo diario de las personas beneficiadas con este sistema, en especial durante el período de sequía, este componente

puede ser de madera, ferrocemento, tabique o un tinaco marca Rotoplas, cuyo costo de éste último es de \$818.00 pesos.

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

1. Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración,
2. No debe tener más de 2 metros de altura, para minimizar las sobrepresiones,
3. Dotado de tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar,
4. Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias,
5. La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
6. Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje. Esto último para los casos de limpieza o reparación del tanque de almacenamiento. En el caso de tanques enterrados, deberán ser dotados de bombas de mano.

5.4.5 Filtración

La filtración es un proceso de separación de fases de un sistema heterogéneo, que consiste en pasar una mezcla a través de un medio poroso o filtro, donde se retiene la mayor parte de los componentes sólidos de la mezcla.

Filtros:

Los filtros se pueden clasificar, de acuerdo con la naturaleza de la fuerza que causa la filtración, en filtros de gravedad, de presión y de vacío. También se clasifican, según sus características mecánicas, en filtros de platos y marcos, de tambor rotatorio, de discos, de lecho de arena y de pre-capas, entre otros.

Filtros de gravedad

Son los más antiguos y también los más sencillos; entre ellos, los filtros de lecho de arena, instalados en las plantas depuradoras de agua de las ciudades, que funcionan con un excelente rendimiento. Están formados por tanques o cisternas que tienen en su parte inferior una rejilla o falso fondo sobre el que hay una capa de arena o grava de igual tamaño.

Filtros de presión o de vacío

Son los más usados en la industria, con preferencia a los de gravedad. La fuerza impulsora es suplida por presión o vacío y es muchas veces mayor que la de la gravedad, lo que permite más altos rendimientos de filtración. El tipo más común de filtros de presión es el filtro prensa, del que hay diferentes tipos. Dispone de una elevada superficie filtrante en poco espacio, por lo que su eficacia es muy grande.

5.5 Aplicación de un sistema de captación de agua pluvial en techos (SCAPT) en la zona urbana de Querétaro.

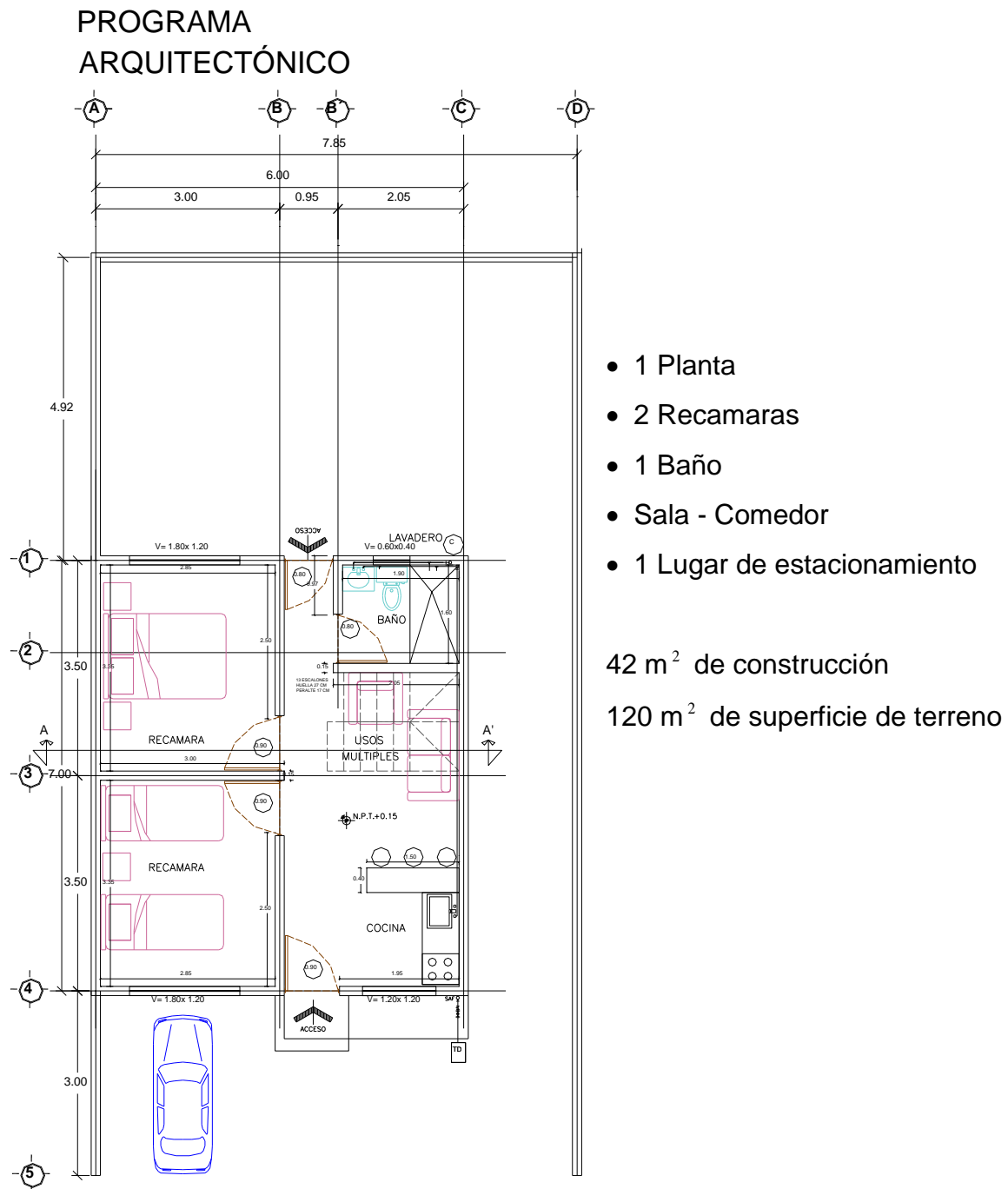
5.5.1 Zona de estudio.

La vivienda de interés social que será utilizada como objeto de estudio es una casa tipo rural del “programa “PAC RURAL”, se encuentra ubicada en la colonia Nueva España s/n., San José el Alto, Querétaro, como se muestra en la figura 5.4, se ubica a una latitud de 20.65° norte y a una longitud de 100.37° oeste.

Figura 5.4 Croquis de localización comunidad San José el Alto

Fuente: (<http://maps.google.com.mx>)

La casa está diseñada en un terreno de 120 m^2 , de los cuales 42 m^2 son de construcción, cuenta con una sola planta en la que se distinguen dos recamaras, un baño, cocina y un salón de usos múltiples. Como se muestra en la figura 5.5.



- 1 Planta
- 2 Recamaras
- 1 Baño
- Sala - Comedor
- 1 Lugar de estacionamiento

42 m² de construcción

120 m² de superficie de terreno

Figura 5.5 Programa arquitectónico de una casa típica de interés social

5.5.2 Métodos y materiales

Se presentan a continuación las etapas de cálculo del sistema de captación en techos (SCAPT).

- Registros de precipitación

Los registros de precipitación diaria es el insumo de entrada para este tipo de cálculo. Los datos son obtenidos de la Comisión Nacional de Agua en su página de Internet (<http://www.ceaqueretaro.gob.mx>), debido a que existen diferentes estaciones meteorológicas utilizaremos los polígonos de Thiessen para definir la estación que se ocuparan. Esta definición puede hacerse de manera manual o mediante los programas de SIG. En este caso se determinaron los polígonos, con el programa ArcMap como se muestra en la figura 5.6, al suponer el punto de interés con dichos polígonos resulta que la estación meteorológica 00022063 Querétaro (DGE) con latitud norte $20^{\circ} 34'13''$ y longitud oeste $-100^{\circ} 22'11''$, es la elegida para los cálculos correspondientes.



Figura 5.6 Área de influencia de estaciones meteorológicas en Querétaro

Metodología para el diseño de un sistema de captación de agua pluvial.

Antes de emprender el diseño de un sistema de captación de agua pluvial, es necesario tener en cuenta los aspectos siguientes:

1. Precipitación en la zona. Se debe conocer los datos pluviométricos de por lo menos de los últimos 10 años,
2. Tipo de material del que está o va a estar construida la superficie de captación,
3. Número de personas beneficiadas
4. Demanda de agua.

Criterios de diseño

Este método conocido como: “Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento” toma como base los datos de precipitación de los 10 ó 15 últimos años en la zona de estudio. Se determina la cantidad de agua que es capaz de recolectarse por metro cuadrado de superficie de techo y a partir de ella se determina a) el área de techo necesaria y la capacidad del tanque de almacenamiento, o b) el volumen de agua y la capacidad del tanque de almacenamiento para una determinada área de techo. (UNATSABAR, 2001).

Los datos complementarios para el diseño son:

1.- Número de usuarios

2.- Coeficiente de escurrimiento, representa la cantidad de agua que escurre en relaciona a la que llueve. Se han llevado experimentos para determinar su valor en distintos material algunos de ellos se muestran en la tabla 5.1

Tabla 5.1 Coeficientes de escurrimiento
Fuente: (CEA, 2007)

Coeficiente de escurrimiento	
Tipo de área	Coeficiente "Ce"
Residencial	
Áreas unifamiliares	0.30 – 0.50
Unidades múltiples separadas	0.40 – 0.60
Unidades múltiples conectadas	0.60 – 0.75
Áreas departamentales	0.50 – 0.70
Techos	0.75 – 0.95
Lamina metálica	0.9
Tejas de arcilla	0.80 – 0.90
Madera	0.80 – 0.90
Paja	0.60 – 0.70
Comercial	
Centro de la ciudad	0.70 – 0.95
Fuera del centro de la ciudad	0.50 – 0.70
Techos	0.75 – 0.95
Industrial	
Ligera	0.50 – 0.80
Pesada	0.60 – 0.90
Techos	0.75 – 0.95
Calles	
Asfalto	0.70 – 0.95
Concreto	0.80 – 0.95
Adoquín	0.70 – 0.85
Aceras y andadores	0.75 – 0.85
Terrecerías	0.25 – 0.60
Parques, jardines, prados	
Suelo arenoso plano < o = a 2%	0.05 - 0.10
Suelo arenoso pendiente de 2 a 7%	0.10 – 0.15
Suelo arenoso pendiente de 7% o mayor	0.15 – 0.20
Suelo arcilloso plano < o = a 2%	0.13 – 0.17
Suelo arcilloso pendiente 2 a 7%	0.18 – 0.22
Suelo arcilloso pendiente de 7% o mayor	0.25 – 0.35
Áreas no urbanizadas	0.10 – 0.30
Áreas de monte o bosque según su pendiente y características del suelo	0.01 – 0.20

Procedimiento de diseño del sistema de captación de agua de lluvia

1.- Determinación de la precipitación promedio mensual

A partir de la precipitación de los últimos 10 ó 15 años, se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados. Este valor puede ser expresado en términos de milímetros de precipitación por mes, o su equivalente en litros por metro cuadrado, y por mes que es capaz de colectarse en la superficie horizontal del techo, su valor puede obtenerse con:

$$P_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n} \quad (5.1)$$

Donde n es el número de años evaluados; P_i es valor de precipitación mensual del mes “ i ” (mm); P_{pi} es la precipitación promedio mensual del mes “ i ” de todos los años evaluados (mm).

2.- Determinación de la demanda

A partir de la dotación asumida por persona, se calcula la cantidad de agua que se necesita para atender las necesidades de la familia o familias a ser beneficiadas en cada uno de los meses, para su cálculo puede emplearse la expresión:

$$D_i = \frac{(Nu)(Nd)(Dot)}{1000} \quad (5.2)$$

Donde Nu es el número de usuarios que se benefician del sistema; Nd es el número de días del mes en cuestión; Dot , la dotación (lt/persona/día); D_i , demanda mensual (m^3)

3.- Determinación del volumen del tanque de abastecimiento

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitación de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se

procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes, esto se obtiene através de la expresión:

$$A_i = \frac{(P_{pi})(C_e)(A_c)}{1000} \quad (5.3)$$

Donde P_{pi} es la precipitación promedio mensual (litros/m²); C_e , coeficiente de escurrimiento; A_c , área de captación (m²); A_i , agua recolectada correspondiente al mes “ i ” (m³).

Ahora bien, partiendo de los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual, así como de la oferta mensual de agua de lluvia, (ecuaciones 5.2 y 5.3) se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos, mes a mes, iniciando por el mes de mayor precipitación u oferta de agua. A continuación se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de cada uno de los meses de la oferta y la demanda respectivamente.

Las áreas de techo que conduzcan a diferencias acumulativas negativas en alguno de los meses del año, se descartan en razón de que el área supuesta no es capaz de captar la cantidad de agua demandada por los interesados.

El área mínima de techo corresponde al análisis que proporciona una diferencia acumulativa próxima a cero (0) y el volumen de almacenamiento corresponde a la mayor diferencia acumulativa. Áreas de techo mayor al mínimo darán mayor seguridad para el abastecimiento de los interesados.

El acumulado de la oferta y la demanda en el mes “ i ” podrá determinarse a través de la expresiones siguientes:

$$A_{ai} = A_{a(i=1)} + \frac{(P_{p_i})(C_e)(A_c)}{1000} \quad (5.4)$$

$$D_{ai} = D_{a(i-1)} + Nu + Nd_i + Dd_i \quad (5.5)$$

Donde A_{ai} es el volumen acumulado al mes “ i ”; D_{ai} , demanda acumulada al mes “ i ”. El volumen requerido para cada mes será entonces:

$$V_i = A_i - D_i \quad (5.6)$$

Donde V_i es el volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes “ i ” (m^3); A_i , volumen de agua que se captó en el mes “ i ” (m^3); D_i , volumen de agua demandada por los usuarios para el mes “ i ” (m^3).

5.6 Resultados

- Sistema de captación.

Para el caso en estudio se parte de un área de captación de 42 (véase figura 5.5), metros cuadrados, que es el techo de la vivienda de interés social, por tanto $A_c=42m^2$, se considera además que el material del techo es de concreto reforzado, por lo que $C_e=0.9$ (véase tabla 5.1).



Figura 5.7 Canaleta PVC

- Sistema de Recolección.

Para el sistema de recolección se propone utilizar tubos PVC cortados por la mitad como canaletas, debido a su bajo costo (véase figura 5.7).

- Interceptor

Se estima que para lavar la superficie de recolección se ocupa un litro por cada metro cuadrado de área de captación, debido a que ésta tiene una extensión de 42 m^2 , utilizaremos un interceptor de 40 litros de capacidad. (Véase figura 5.3)

- Tanque de almacenamiento

a) Determinación de la precipitación promedio mensual

Se obtuvieron datos de precipitación media mensual de la Comisión Nacional del Agua en su página de Internet (*smn.cna.gob.mx*), para la estación meteorológica 00022063 Querétaro (DGE) Qro, los datos se muestran en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Precipitación promedio mensual

Mes	Precipitación promedio mensual (Ppi) (1971-2000) (mm)
Enero	15.1
Febrero	7.6
Marzo	3.9
Abril	13.1
Mayo	44.8
Junio	98.5
Julio	128.7
Agosto	80
Septiembre	70.9
Octubre	38.1
Noviembre	9.4
Diciembre	11.2

b) Determinación de la demanda mensual

Utilizando la formula 5.2, se determinan los valores de la demanda mensual. En el manual para las instalaciones de agua potable, agua tratada, drenaje sanitario y drenaje pluvial de los fraccionamientos de las zonas urbanas del estado de Querétaro emitido por la Comisión Estatal de Aguas (CEA, 2007), se establece una dotación de 200 lt/persona/día. Debido a perdidas por fugas en el

sistema de conducción del agua que se maneja, existen pérdidas de aproximadamente 20%, por este motivo, se estima una dotación diaria (Dot) equivalente a 160 lt/persona/día.

A manera de ejemplo, el cálculo de la demanda sería:

Para el mes de Enero $Di = \frac{(5)(31)(160)}{1000} = 24.8 \text{ m}^3$ y, para los meses restantes, su

cálculo se muestra en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 Demanda mensual

Mes	Numero de días por mes	Demanda mensual $Di \text{ (m}^3\text{)}$	Mes	Numero de días por mes	Demanda mensual $Di \text{ (m}^3\text{)}$
Enero	31	24.8	Julio	31	24.8
Febrero	28	22.4	Agosto	31	24.8
Marzo	31	24.8	Septiembre	30	24
Abril	30	24	Octubre	31	24.8
Mayo	31	24.8	Noviembre	30	24
Junio	30	24	Diciembre	31	24.8

c) Determinación del volumen del tanque de abastecimiento

Debido a que el coeficiente de escurrimiento para techos de concreto puede variar de 0.75 a 0.95, se adoptó un valor de $Ce=0.9$, así para una superficie de recolección de $Ac=42 \text{ m}^2$, el cálculo del volumen recolectado para cada mes resulta de ecuación 5.3.

A manera de ejemplo, para el mes de Enero $Ai = \frac{(15.1)(0.9)(42)}{1000} = 0.57 \text{ m}^3$, y para

los meses restantes, su cálculo se muestra en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Abastecimiento de agua pluvial

Mes	Precipitación promedio mensual (1971-2000) (mm)	Abastecimiento de agua pluvial (m ³)	Mes	Precipitación promedio mensual (1971-2000) (mm)	Abastecimiento de agua pluvial (m ³)
Enero	15.1	0.57	Junio	98.5	3.72
Febrero	7.6	0.29	Julio	128.7	4.86
Marzo	3.9	0.15	Agosto	80	3.02
Abril	13.1	0.5	Septiembre	70.9	2.68
Mayo	44.8	1.69	Octubre	38.1	1.44
Junio	98.5	3.72	Noviembre	9.4	0.36
Julio	128.7	4.86	Diciembre	11.2	0.42

Tabla 5.5 Abastecimiento vs. Demanda

Mes	Abastecimiento de agua pluvial (m ³)	Demanda mensual Di (m ³)	Abastecimiento vs Demanda	% de Aprovechamiento mensual
Julio	4.86	24.8	-19.94	19.6
Agosto	3.02	24.8	-21.78	12.18
Septiembre	2.68	24	-21.32	11.17
Octubre	1.44	24.8	-23.36	5.81
Noviembre	0.36	24	-23.64	1.5
Diciembre	0.42	24.8	-24.38	1.69
Enero	0.57	24.8	-24.23	2.3
Febrero	0.29	22.4	-22.11	1.29
Marzo	0.15	24.8	-24.65	0.6
Abril	0.5	24	-23.5	2.08
Mayo	1.69	24.8	-23.11	6.81
Junio	3.72	24	-20.28	15.5
Volumen total captado al año	19.7			

Finalmente la comparación entre el volumen recolectado y la demanda correspondiente a cada mes, permite la determinación del volumen del tanque de almacenamiento, como se observa en la tabla 5.5, la demanda mensual varía de 22 a 25 m³, esto es en función del número de días que contiene cada mes. Por otra parte, comenzando en el mes de mayor precipitación, que corresponde al mes

de Julio, en el cual se presenta una captación de 4.86 m^3 ; si se compra con la demanda de agua potable requerida de 24.8 m^3 para éste mes, se necesitarán 19.94 m^3 de agua potable para lograr abastecer la demanda. Debido a que el volumen de captación de agua pluvial en el mes en el que se presentó mayor cantidad de lluvia no cubrió la cuota necesaria, entonces, en ningún mes se alcanza a cubrir la demanda mensual, esta situación obedece a la escasa superficie de recolección que presenta la vivienda analizada, por lo que no es necesario construir un tanque de almacenamiento, debido a esto, el agua recolectada se almacena en el tanque de agua potable. No obstante, toda el agua recolectada representaría un ahorro de 19.5 m^3 por año, esto es, 54 litros cada día. En el mes de Julio que es el mes en el que existe mayor recolección, se observa en la tabla 5.54 que se existe un ahorro de 19.6% de agua potable.

CAPÍTULO VI

AGUA RESIDUAL

En este capítulo se presentan los aspectos fundamentales del agua gris y el agua residual, sus características físicas, químicas y biológicas; y la diferencia que existe entre éstas.

6.1 Definición de agua residual

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo particulares. Un tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

A las aguas residuales también se les llama aguas servidas, fecales o cloacales. Son residuales, cuando han sido usadas y constituyen un residuo, no sirve para el usuario directo. El termino resulta del hecho de que han sido transportadas mediante cloacas. La diferencia entre aguas servidas y aguas residuales es en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el sistema de alcantarillado e incluyen a veces las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.

6.2 Aguas grises

Las aguas grises o aguas usadas son las aguas generadas por los procesos de un hogar, tales como el lavado de utensilios y de ropa, las regaderas. Se distinguen de las aguas cloacales (contaminada con desechos del retrete y

llamadas aguas negras), porque no contienen bacterias *Escherichia coli*. Las aguas grises son de vital importancia, porque pueden ser de mucha utilidad en el campo del regadío ecológico.

Las aguas grises generalmente se descomponen más rápido que las aguas negras y tienen mucho menos nitrógeno y fósforo. Sin embargo, son aguas que pueden contener algún porcentaje de aguas negras y pueden incluir patógenos de varias clases.

Las aguas grises recicladas de la bañera o tina de baño pueden ser utilizadas en los retretes, lo que ahorraría grandes cantidades de agua. Los pioneros en la depuración de éstas aguas fueron los israelitas, que llevan 15 años investigando sistemas de reaprovechamiento de aguas usadas. Sin embargo, las aguas grises sin tratar no pueden ser utilizadas para la descarga del excusado ya que generan malos olores y manchas si se deja de fluir más de un día.

6.3 Características del agua residual.

Las características encontradas en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicas, químicas y biológicas (Crites, Tchobanoglous, 2000).

6.3.1 Características físicas

Las principales características físicas de un agua residual son su contenido de sólidos, distribución de partículas por tamaño, turbiedad, color, transmitancia/absorbancia, olor, temperatura, densidad y conductividad (Crites, Tchobanoglous, 2000).

a) Sólidos

El agua contiene una variedad de materiales sólidos que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. En la caracterización de las aguas

residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar los sólidos en la muestra.

b) Distribución de partículas según su tamaño

La medición de los sólidos suspendidos totales (SST) se denomina parámetro agrupado. En un esfuerzo por conocer más acerca de las partículas que componen los SST en aguas residuales, la medida del tamaño de la partícula es un análisis que permite establecer la distribución de las partículas y resulta de gran importancia al evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento. Dado que la eficiencia de la desinfección con cloro o radiación UV también depende del tamaño de las partículas, la determinación de este parámetro es cada vez más importante, en especial si se tiene en cuenta la tendencia a reutilizar con mayor frecuencia los efluentes tratados.

c) Turbiedad

La turbiedad, como una medida de las propiedades de dispersión de la luz de las aguas, es otro parámetro usado para indicar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales tratadas con relación al material residual en suspensión coloidal. La medición de la turbiedad se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones. Suspensiones de "formacina" se emplean como patrones primarios de referencia. Los resultados de las mediciones de turbiedad se dan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

d) Color

El color en las aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por sólidos suspendidos se llama color aparente mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero. Éste último se obtiene sobre una muestra filtrada. Dado que la medida depende del tamaño del poro del filtro, se debe especificar el tipo de filtro usado y el tamaño del poro. El color de una muestra de agua residual se determina comparando el color de la muestra y el

color producido por soluciones de diferente concentración de cloroplatinato de potasio (K_2PtCl_6). Una unidad de color corresponde al color generado por 1.0 mg/L de platino.

e) Transmitancia / Absorbancia

La transmitancia, definida como la capacidad de un líquido de transmitir luz de una longitud de onda específica a través de una solución de espesor conocido, se calcula a partir de la siguiente relación:

$$\% \text{ de transmitancia } T = \left(\frac{I}{I_0} \right) 100 \quad (3.1)$$

Donde I = intensidad final de la luz (radiación) transmitida después de pasar a través de una solución de espesor conocido e I_0 = intensidad inicial de luz (radiación) incidente.

f) Olor

La determinación de olor es cada vez más importante en la medida en que el público se ha interesado más por la propia operación de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. El olor de un agua residual fresca es en general inofensivo, pero una gran variedad de compuestos malolientes son liberados cuando se produce la degradación biológica bajo condiciones anaerobias de las aguas residuales. El principal compuesto de olor indeseable es el sulfuro de hidrógeno (olor a huevo podrido).

Los olores pueden ser medidos mediante métodos sensoriales e instrumentales. La medición sensorial de olores empleando el sentido del olfato de los humanos puede generar información importante en niveles de detección muy bajos. Por ello, con frecuencia el método sensorial se usa para medir olores en plantas de tratamientos.

g) Temperatura

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos.

h) Densidad

La densidad del agua residual, (ρ_w), se define como su masa por unidad de volumen y se expresa como slug/pie³ en medidas del sistema inglés y como g/L o kg/m³ en medidas del sistema internacional (SI). La densidad es una característica física de gran importancia a la hora de establecer la formación potencial de corriente densidad en sedimentadotes, humedales artificiales y otras unidades de tratamiento. La densidad del agua residual doméstica que no contiene cantidades significativas de desecho es prácticamente de igual valor a la del agua a una misma temperatura.

i) Conductividad

La conductividad eléctrica (CE) del agua es la medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Como la corriente eléctrica es transportada por iones en solución, el aumento en la concentración de iones provoca un aumento en la conductividad. Por tanto, el valor de la medida de CE es usado como un parámetro sustituto de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT). En la actualidad, el parámetro más importante para determinar la posibilidad de un agua para riego es la CE. Es así como la salinidad de determinada agua la posibilidad de uso de un agua para riego se establece mediante la medición de su conductividad eléctrica. Ésta se expresa en

micromhos por centímetro ($\mu\text{S/m}$) en unidades del sistema inglés y como milisiemens por metro (mS/m) en unidades del SI. Debe anotarse que $10\ \mu\text{mho/cm}$ equivalen a 1mS/m .

6.3.2 Características químicas inorgánicas

Los componentes químicos de las aguas residuales son con frecuencia clasificados en inorgánicos y orgánicos. Los primeros incluyen: 1) elementos individuales como calcio (Ca), Cloruro (Cl), Hierro (Fe), Cromo (Cr) y Zinc (Zn) y, 2) una amplia variedad de compuestos como nitratos (NO_3) y sulfatos (SO_4). Por su parte, los componentes orgánicos de mayor interés en las aguas residuales se clasifican como agregados e individuales. Los constituyentes orgánicos agregados comprenden un número de compuestos que no pueden ser distinguidos en forma separada, resultan de gran interés en el tratamiento, vertimiento y reutilización de aguas residuales, al igual que los componentes orgánicos específicos. (Crites, Tchobanoglous, 2000).

Los componentes químicos inorgánicos de interés comprenden nutrientes, elementos no metálicos, metales y gases. Entre los nutrientes inorgánicos están amoníaco libre, nitrógeno orgánico, nitritos, nitratos, fósforo orgánico y fósforo inorgánico.

a) Potencial de Hidrógeno, pH

El nivel de acidez a la alcalinidad del agua se acostumbra a medir a través del pH (potencial de hidrógeno). En efecto la expresión usual para medir la concentración del ion hidrógeno en una solución está en términos del pH, éste se define como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno y su expresión es la siguiente:

$$pH = -\log_{10}(H^+) \quad (3.2)$$

Éste parámetro se mide generalmente en forma instrumental empleando un pH metro. También se emplean soluciones y papeles indicadores que cambian de color a diferentes valores de pH.

El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre 5 y 9. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos. Si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello, la mayoría de los afluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser descargados dentro de los límites específicos de pH.

b) Nitrógeno

Dado que el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento biológico, reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. Cantidades traza de otros elementos, como el hierro, también son necesarios para el crecimiento biológico, pero el nitrógeno y el fósforo son en la mayoría de los casos los nutrientes más importantes. La concentración de nitratos en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/L como N, dependiendo del grado de nitrificación y denitrificación del tratamiento.

c) Fósforo

El fósforo también es importante en el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que su crecimiento puede resultar incontrolado, se hacen esfuerzos para limitar el crecimiento de algas en las aguas superficiales, los esfuerzos se enfocan hacia el control de la cantidad de compuestos de fósforo y provenientes de descargas residuales domésticas, industriales y de los escurrimientos naturales. Las aguas residuales municipales, por ejemplo, pueden contener entre 4 y 12 mg/L de fósforo expresado como P.

d) Alcalinidad

La alcalinidad del agua se define como su capacidad de neutralizar ácidos. En aguas residuales, la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos

$[OH^-]$, carbonatos $[CO_3^{-2}]$ y bicarbonatos $[HCO_3^-]$ de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio, o de ion amonio.

e) Cloruros

La concentración de cloruros en aguas residuales es un parámetro importante relacionado con su reutilización. Los cloruros en aguas naturales provienen de los cloruros lixiviados de las rocas y los suelos con los que ellas hacen contacto. En áreas costeras, las concentraciones de cloruros pueden prevenir de la intrusión de las aguas salinas y salobres.

f) Azufre

El ion sulfato se encuentra en forma natural tanto en las aguas de abastecimiento como en las aguas residuales. El azufre es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas, y por eso se libera cuando ocurre la degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen biológicamente a sulfuros bajo condiciones anaerobias y pueden formar sulfuro de hidrogeno (H_2S) al combinarse con el hidrógeno.

g) Metales

Los metales resultan de interés en el tratamiento, reutilización y vertimiento de afluentes y lodos tratados. Todos los organismos vivos requieren para su adecuado crecimiento elementos como hierro, cromo, cobre, zinc, cobalto en cantidades diferentes (cantidades macro y micro). Aunque las cantidades macro y micro de metales son esenciales para un normal desarrollo de la vida biológica, estos elementos pueden llegar a ser tóxicos cuando se presentan en cantidades elevadas. Cuanto más se utilicen las aguas residuales tratadas para riego agrícola y de zonas verdes, se debe determinar para una gran variedad de metales para estimar los efectos adversos que pueden ocurrir. La determinación de éstos elementos se puede realizar por absorción atómica, plasma acoplado por inducción o colorimétricamente.

1. Metales disueltos son aquellos metales presentes en muestras no acidificadas que pasan a través de un filtro de membrana de $0.45 \mu\text{m}$.
2. Metales suspendidos son aquellos metales presentes en muestras sin acidificar, que son retenidas en un filtro membrana $0.45 \mu\text{m}$.
3. Metales totales que responden a la suma de los metales disueltos y metales suspendidos o la concentración de metales determinados en una muestra sin filtrar después de la digestión.
4. Metales extractables en ácido son aquellos que permanecen en solución después de que una muestra sin filtrar se trata con un ácido mineral diluido en caliente.

h) Gases

La determinación de gases disueltos tales como amoníaco, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno se realiza para ayudar en la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Las mediciones de oxígeno disuelto y amoníaco se realizan para controlar y monitorear los procesos de tratamiento biológico aerobios. La presencia de sulfuro de hidrógeno se determina no solo por ser un gas tóxico y de mal olor, sino porque su formación puede causar corrosión en alcantarillados de concreto.

6.3.3 Características químicas de compuestos orgánicos agregados.

La materia orgánica en aguas residuales se constituye básicamente por proteínas (40 a 60 por ciento), carbohidratos (25 a 50 por ciento), y grasas y aceites (8 a 12 por ciento). La urea, el mayor constituyente de la orina, es otro de los componentes orgánicos importante que hace parte de las aguas residuales frescas. Dada su rápida descomposición no es usual encontrarla en otro tipo de aguas (Crites, Tchobanoglous, 2000).

6.3.4 Característica de la materia orgánica agregada en aguas residuales.

Los análisis de compuestos orgánicos agregados se hacen para caracterizar aguas residuales no tratadas, para estimar el desempeño de los procesos de tratamiento y estudiar su comportamiento en las fuentes receptoras. En la actualidad, los métodos de laboratorio comúnmente usados para medir cantidades de materia orgánica (en general mayores a 1 mg/L) en aguas residuales incluyen: 1) la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO), 2) la demanda química de oxígeno y 3) el carbono orgánico total.

1) Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO),

La DBO es el método usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de las aguas residuales. Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuara hasta que el desecho se haya consumido.

2) Demanda química de oxígeno.

La prueba de la DQO es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato de medio ácido.

3) Carbono orgánico total.

La prueba COT es usada para medir el carbono orgánico total presente en una muestra acuosa. Los métodos para la prueba del COT utilizan oxígeno y calor, radiación ultravioleta, oxidantes químicos o alguna combinación de éstos para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono.

6.3.5 Características biológicas

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, y por el papel activo y fundamental de las bacterias y otros

microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica, bien sea en el tratamiento natural o en plantas de tratamiento de aguas residuales.

6.3.6 Microorganismos presentes en aguas residuales.

Los principales grupos de organismos en las aguas residuales están conformados por bacterias, hongos, algas, protozoos, plantas, animales y virus.

a) Bacterias

Muchas clases de bacterias inofensivas colonizan el tracto intestinal del hombre y son frecuentemente expulsadas en las heces. Los individuos infectados con algún tipo de enfermedad excretan en sus heces bacterias patógenas, contaminando así las aguas residuales domésticas con una gran variedad de organismos tanto patógenos como inofensivos.

b) Protozoos

Los protozoarios son de gran interés debido a su impacto sobre individuos con deficiencias en su sistema inmunológico, como es el caso de niños pequeños, personas de edad avanzada, individuos con cáncer o aquellas personas víctimas del síndrome de inmunodeficiencia adquirida (sida)

c) Helmintos

Los más importantes parásitos helmínticos que pueden encontrarse en aguas residuales son las lombrices intestinales, como la lombriz estomacal, la tenia solitaria, los gusanos intestinales y la lombriz filiforme.

d) Virus

Más de 100 clases diferentes de virus entéricos capaces de transmitir algún tipo de infección o enfermedad son excretadas por el hombre. Los virus entéricos se reproducen en el tracto intestinal de personas infectadas y son posteriormente expulsados en las heces.

CAPÍTULO VII

SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y REUSO DEL AGUA GRIS

7.1 Introducción

En el presente capítulo revisaremos los sistemas de tratamiento de agua residual, además se estudiará el sistema de humedal que es un sistema de tratamiento del agua gris por un medio natural.

En este capítulo también se analizará el caso de estudio ya presentado anteriormente con el fin de determinar el tamaño del humedal para darle tratamiento a las aguas grises generadas en una vivienda de interés social, la casa está diseñada en una área de 120 m², de terreno, consta con 42 m² de construcción y cuenta con una sola planta en la que se distinguen dos recamaras, un baño, cocina y un salón de usos múltiples (véase figura 5.3), la cual se encuentra en la colonia Nueva España s/n San José el Alto, Querétaro como se muestra en la figura 5.5, como hipótesis se considera que en la vivienda se encuentran viviendo 5 personas.

7.2 Sistemas de tratamiento de agua residual

El tratamiento de aguas residuales es un proceso de tratamiento de aguas que incorpora procesos físicos químicos y biológicos, los cuales tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua lo suficientemente limpia (o efluente tratado), para ser reutilizable o su vertido a cuerpos de agua, el residuo sólido o fango también puede resultar utilizable en la elaboración de compostas.

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Pueden ser tratados dentro del sitio en el cual

es generan (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o recogido y llevado mediante una red de tuberías y eventualmente bombas a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetos a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones y controles). Recursos industriales de aguas residuales, a menudo requieren procesos de tratamiento especializado.

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales es alcanzado por la separación física inicial de sólidos de la corriente de aguas domésticas o industriales, seguido por la conversión progresiva de materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida, el agua tratada puede experimentar una desinfección adicional mediante procesos físicos o químicos. Este efluente final puede ser descargado o reintroducidos de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial o subsuelo) etc. Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada.

Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

- Tratamiento primario (asentamiento de sólidos)
- Tratamiento secundario (tratamiento biológico de sólidos flotantes y sedimentados)
- Tratamiento terciario (pasos adicionales como lagunas, micro filtración o desinfección)

7.3 Reuso del agua gris

Las aguas grises son aquellas que vienen del lavado de trastos, baño (no excusado), y en general las que se mezclan con jabones y detergentes.

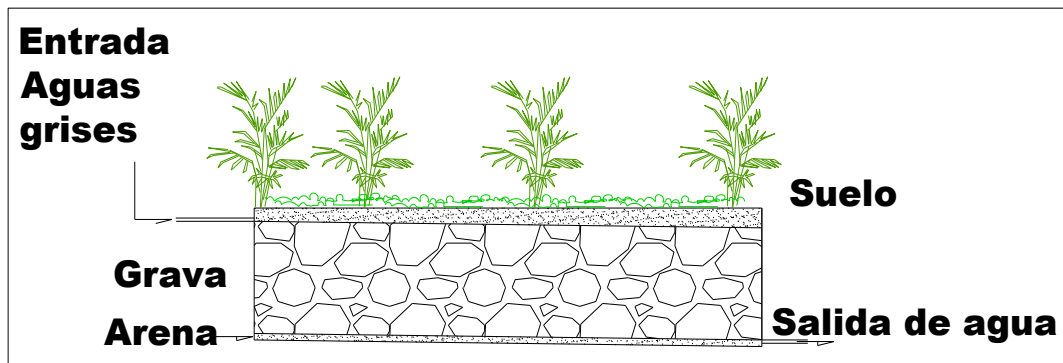
Estas aguas pueden ser reutilizadas, hasta cierto punto, y dependiendo de los procesos con los que los que se recicla, desde cisternas de excusados, riego agrícola, riego de áreas verdes, construcción de viviendas, el uso tendrá que hacerse de inmediato debido a que el agua gris genera olores y manchas desagradables, esto resulta importante si se pretende utilizarlas en el uso del abastecimiento del excusado.

7.4 Uso de humedales para tratamiento de agua gris

Se entiende como un humedal artificial a los cuerpos de agua de baja profundidad que retienen temporalmente el agua y que pueden ser diseñados con diferentes fines, por ejemplo el formar un hábitat para diversas especies vegetales y animales, generar jardines acuáticos decorativos, o bien funcionar como sistemas depuradores de aguas pluviales, entre otros. Los humedales pueden ser contruidos de tal forma que el agua se ve en la superficie (superficiales) o bien cuya superficie de agua se encuentre por debajo de un lecho de piedras y prácticamente el agua no se ve (subsuperficiales) (Dayna Yacum, 2006).

Un humedal construido para el tratamiento de las aguas residuales por biofiltración es aquel que se constituye eliminar una cantidad significativa de contaminantes de las aguas grises antes de que se reutilice la misma.

Figura 7.1 Sistema subterráneo típico de humedales.
Fuente: (Dayan Yacum, 2006)



7.5 Funcionamiento del humedal para agua gris

El agua que es descargada en un humedal construido para el tratamiento biológico de las aguas grises será filtrada por procesos mecánicos y biológicos por las plantas en el sistema y los microbios que viven alrededor de las raíces de la planta. (Dayan Yacuom, 2006)

En los humedales subterráneos de flujo, las aguas grises fluyen por el sistema bajo la superficie de tierra, lo cual elimina el riesgo de estancamiento y crecimiento de mosquitos. El sistema consiste en una capa delgada (5 cm) de arena cubierta por una capa gruesa (45-75cm) de grava de tamaño pequeño-medio, y con una capa delgada (5 cm) de tierra. Las plantas que sobreviven bien en los humedales naturales y construidos (las aneas, las cañas, etc) son plantados en la capa superficial del suelo y las raíces crecen en el sustrato de grava.

Las aguas grises entran al humedal por gravedad y son filtradas primero por procesos mecánicos. La eficiencia de la eliminación varía, pero generalmente en el humedal se puede eliminar una buena porción de los contaminantes de las aguas grises. El efluente de un sistema debe ser monitoreado para determinar la eficiencia aproximada de eliminación.

7.6 Consideraciones para el tamaño del humedal para agua gris

Para determinar el tamaño de un sistema biológico grande de filtración, se debe primero determinar la temperatura mínima del ambiente del sitio propuesto (°C), la cantidad de DBO producido actualmente, y el nivel de DBO deseado para el agua que salga del sistema. Se puede probar el cálculo con la profundidad variando de 55 a 85 centímetros para encontrar un tamaño apropiado. Por ejemplo, si hay una restricción en el área de terreno disponible para el humedal construido, una profundidad de 85 cm aminorará la huella del sistema. Estos cálculos están basados en la reducción de DBO, pero pueden estar adaptados para la reducción del nitrato por modificar los factores en el cálculo de la constante de [velocidad de reacción]. Típicamente, los niveles de nitrógeno en las aguas grises son mucho menos que en las aguas negras, y se debe concentrar más en la reducción de DBO. (Dayan Yacuom, 2006).

7.7 Procedimiento para el diseño de un humedal de agua gris

(Dayan Yacuom, 2006)

1) Calcular la constante de velocidad de reacción (K_r).

Las expresiones de velocidad de reacción se usan para describir la conversión de los residuos en los procesos de tratamiento de aguas residuales y su transformación después de ser liberados al medio ambiente. La constante de velocidad de reacción a la temperatura adecuada (20°C) que utiliza la ecuación varía dependiendo del sistema. Un rango de valores ha sido utilizado en libros que indican el diseño de humedales construidos de flujos subterráneos. Un valor K (coeficiente cinético de reacción) más grande indica la descomposición más rápida de DBO. En el libro por Crites y Tchobanoglous (2000), una fuente de información bien establecida, estima un (k_{20}) de 1.1 día⁻¹, mientras Tchobanoglous y Burton (1991) estima un (k_{20}) de 1.35 día⁻¹ para humedales construidos para el tratamiento de aguas negras. Un estudio en Suecia (Olsen et

al 1967) demostró que la velocidad de reacción para humedales de las aguas grises fue 4.5 veces más alto que la velocidad de reacción para humedales para tratar las aguas negras debido a la disponibilidad más abundante de materia orgánica no procesada. Estos valores son basados en el desempeño del humedal, y no pueden ser obtenidos exactamente hasta que el sistema es construido y monitoreado. Se recomienda utilizar un valor conservador (bajo) por esta figura porque mucho del tratamiento depende de la actividad de los microorganismos en el humedal, que no puede ser determinado antes de la construcción. Más investigación es necesaria para mejor caracterizar la velocidad de reacción y parámetros de diseño ideales.

$$K_r = K_{(Temp)} (1.06^{(T-20)}) \quad (7.1)$$

Donde T es la temperatura mínima mensual del ambiente.

2) Calcular el tiempo de detención t (día), es decir el tiempo que el agua debe quedarse en el sistema para alcanzar el nivel de DBO deseado, esto se obtiene con la ecuación:

$$t = \frac{-\ln\left(\frac{C}{C_0}\right)}{K_r} \quad (7.2)$$

Donde C es la concentración de DBO del agua que entra; C_0 , es la concentración de DBO del agua que sale

3) Verificar la tasa de carga orgánica, $\left(\frac{gDBO}{m^2 dia}\right)$, con la ecuación siguiente. Este número indicará la masa de DBO por área por día que el sistema recibirá. En general, su valor no debe exceder $11.2 \left(\frac{gDBO}{m^2 dia}\right)$.

$$gDBO = \frac{C(dw)\eta}{t} \quad (7.3)$$

Donde dw corresponde a la profundidad del sustrato de: $0.4 < dw > 0.85\text{m}$; t , tiempo de detención; y η , Porosidad efectiva.

4) Determinar el área de terreno (A_s) necesaria para la cama del humedal construido de flujo subterráneo (m^2).

$$A_s = \frac{Q_{ave}(t)}{\eta dw} \quad (7.4)$$

Donde Q_{ave} es el flujo diario medio a través del humedal.

5) Finalmente calcular las dimensiones del humedal del tratamiento (m), se utiliza la expresión siguiente:

$$w = \left[\frac{A_s}{Ra} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7.5)$$

Donde w es el ancho del humedal y Ra la proporción longitud ancho

La longitud, L , del humedal construido (m) puede ser calculado por la expresión:

$$L = \frac{A_s}{w} \quad (7.6)$$

El cálculo del gasto de entrada de agua gris en el humedal está basado en el uso del agua en la regadera, en el lavamanos, en la cocina, en el uso del lavadero y lavadora, esto ocurrirá en una vivienda y dependerá de los usos y

costumbres de quienes la habitan, el agua gris una vez tratada será reusada para el riego del jardín y para el wc

7.8 Dimensionamiento del humedal

Los datos que se requieren para el dimensionamiento del humedal son los siguientes: T , La temperatura mínima mensual del ambiente del sitio propuesto ($^{\circ}\text{C}$); C , concentración de DBO del agua que entra; C_0 , concentración de DBO del agua que sale.

7.8.1 Temperatura mínima del ambiente del sitio propuesto

Tabla 7.1 Temperatura mínima y media registradas en la zona de estudio.
Fuente: (<http://www.ceaqueretaro.gob.mx>)

Mes	Temperatura mínima $^{\circ}\text{C}$	Temperatura media $^{\circ}\text{C}$
Enero	7.3	15
Febrero	7.8	16.2
Marzo	9.8	18.6
Abril	12	20.7
Mayo	14.3	22.4
Junio	14.6	21.9
Julio	13.9	20.3
Agosto	13.7	20.1
Septiembre	13.3	19.4
Octubre	11.2	18.5
Noviembre	9	17
Diciembre	7.6	15.5
Temperatura Anual	11.2	18.8

Los datos de temperatura mensual mínima y media obtenidos de la estación 00022063 Querétaro (DGE) se presentan en la tabla 7.1. La temperatura mínima mensual registrada para el mes de Enero corresponde a la temperatura más baja, para el calculo se tomara está (7.3°C), debido a que con esta temperatura se presenta el estado mas crítico. Por otro lado, lo correspondiente a la temperatura media anual se obtiene un valor de 18.8°C , se puede decir que el

valor es próximo a la temperatura ideal para la ecuación (20°C), debido a esto, se puede utilizar el valor de $k_{20} = 1.1 \text{ día}^{-1}$.

7.8.2 Determinación de DBO del flujo de entrada.

A manera de ejemplo, se tomaron 8 muestras de agua gris generada por el consumo de agua en la cocina, lavadero, lavabo y regadera; dos para cada uno de éstos. Las muestras fueron tomadas el día 15 de Octubre de 2008, a las primeras 4 muestras se le midió el Oxígeno Disuelto (OD) el mismo día, las otras 4 fueron envueltas en papel aluminio y colocadas en una incubadora a una temperatura de 20°C . Posteriormente, el día 20 de Octubre de 2008 se extrajeron las muestra de la incubadora y se obtuvieron lecturas del oxígeno disuelto después de 5 días (OD_5). Como se puede apreciar en la tabla 7.2 la mayor cantidad de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se presenta en la muestra de agua gris generada en la cocina. Debido a esto, una muestra de agua producida en la cocina se mando a analizar a la facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Querétaro, el día 19 de Noviembre de 2008 se obtuvo el resultado de esta prueba, éste corresponde a la DBO con un valor de 1,182.95 mg/L, el cuál será ocupado en el análisis.

Tabla 7.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno

Muestra	OD Entrada (mg/l)	OD Salida (mg/l)	D1-D2	DBO5 (mg/l)
Cocina	4.53	2.63	1.9	1138
Lavadero	4.53	2.64	1.89	1132
Lavabo	4.48	2.84	1.64	982
Regadera	4.17	2.4	1.77	1060

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que se muestra en la tabla 7.2, se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\text{DBO}(\text{mg/l}) = (\text{D1} - \text{D2}) / P \quad (7.7)$$

Donde D1 es el Oxígeno Disuelto de entrada, D2, es el Oxígeno Disuelto de salida y P, corresponde a la fracción volumétrica decimal de la muestra

empleada. Para determinar el valor P se utiliza una regla de tres debido a que el volumen total de la muestra equivale a 300 ml, esto es el 100%, la fracción de volumen empleado corresponde a 0.5 ml, éste corresponde a 0.167%. Donde P tomará un valor de 0.00167.

7.8.3 Concentración de DBO del flujo salida.

Tabla 7.3 Limites máximos permisibles de contaminantes según: Norma oficial mexicana NOM-003-ECOL-1997.

TIPOS DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y aceites m/l	DBO ₅ mg/l	SST/mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

Debido a que el agua tratada está destinada a ser reusada en el riego de jardines y wc, se consideró que éste reuso es equivalente al servicio que marca la norma como servicio en contacto directo con el publico por lo que el DBO_5 , admisible es de 20 mg/l como se muestra en la tabla 7.3.

7.9 Resultados:

Las etapas y cálculos realizados para el dimensionamiento del humedal fueron:

- 1) Velocidad de reacción (K_r)
- 2) Tiempo de detención (t)
- 3) Obtener la porosidad
- 4) Proponer espesor del humedal
- 5) Verificar el parámetro ($gDBO$)
- 6) Determinar el área
- 7) Ancho del humedal (w)
- 8) Longitud del humedal (l)
- 9) Pendiente 0.5%

1) Velocidad de reacción (K_r)

Como se menciona anteriormente se utilizará la temperatura mínima mensual menor, la cual corresponde al mes de Enero ($T = 7.3^{\circ}C$), (Véase tabla 7.1). De la fórmula 7.1 sustituir valores.

$$K_r = 1.1(1.06^{(7.3-20)})$$

$$K_r = 0.525 \text{ dia}^{-1}$$

2) Tiempo de detención (t)

Mediante la fórmula 7.2 se sustituyen valores:

$$t = \frac{-\ln\left(\frac{20}{1182.95}\right)}{525}$$

$$t = 7.77 \text{ dias}$$

3) Obtener la porosidad (η)

Tabla 7.4 Porosidad efectiva

Sustrato	Tamaño efectivo d(mm)	Porosidad efectiva
Arena (media)	1	0.3
Arena (gruesa)	2	0.32
Arena con grava	8	0.35
Grava (media)	32	0.4
Grava (gruesa)	128	0.45

La elección del valor de la porosidad se fundamenta a partir del diámetro del material se realizó una regla de tres con los datos sustraídos de la tabla 7. 4.

Se ocupara grava de $\frac{3}{4}$ es decir de 20 mm de diámetro, a continuación se presenta una regla de tres, en donde, para el valor de 8 mm de diámetro le corresponde un valor de porosidad de 0.35, mientras que para un valor de 32 mm le corresponde un valor de porosidad equivalente a 0.4; la diferencia en cuanto a los diámetros corresponde a 24 mm y en cuanto a la porosidad corresponde a 0.05. Entre el valor de 8 mm y el de 20 mm existen 12 mm de diferencia, esta diferencia corresponde a 0.025, únicamente se suman estos 0.025 a 0.35, lo que resulta un valor de porosidad de 0.375 para un diámetro de 20 mm.

$$\begin{array}{ll}
 8 \text{ mm es a } 0.35 & 24 \rightarrow 0.05 \\
 20 \text{ mm es a } \eta & 12 \rightarrow x \\
 32 \text{ mm es a } 0.4 & x = 0.025 \\
 \eta = 0.375 &
 \end{array}$$

4) Proponer espesor del humedal (d_w)

El rango de valores para el parámetro d_w es $0.4\text{m} < d_w < 0.85\text{m}$, se seleccionó un valor de 0.85m , en razón del espacio disponible para el humedal

5) Tasa de carga orgánica g_{DBO}

De la fórmula 7.3 sustituir valores:

$$g_{DBO} = \frac{(20)(0.85)(0.375)}{7.77}$$

$$g_{DBO} = 0.820 g_{DBO} / m^2 dia^{-1}$$

$$L_{org} < 0.820 g_{DBO} / m^2 dia^{-1}$$

$$\checkmark \quad 0.708 < 11.2$$

Este valor resulta dentro del límite permisible

6) Determinar el área (A_s)

La ecuación para A_s depende también del caudal diario promedio que circula por el humedal, por tanto resulta necesario el calculo de este caudal.

6.1) Determinar flujo diario medio (Q_{ave})

La Comisión Estatal de Aguas (CEA) menciona que una persona necesita una dotación de 200 lt/hab/día en el estado de Querétaro. Con este dato obtener se puede obtener el volumen de aguas vertidas al drenaje, suponiendo que el 20% de la dotación se pierde debido a fugas en las tuberías, lavado de autos y riego de jardines; por tanto el 80% restante es el agua vertida, lo que corresponde a 160 lt/hab/día . De este consumo el 11% se utiliza en la cocina, el 16.7% en el lavado de ropa, el 9.27% en el uso del lavabo, 18.53% en la regadera, en total se estima en 55.5% el agua gris, el resto

(44.45%) será usado en el WC (Crites, Tchobanoglous, 200). En la tabla 7.3 se observa el consumo del agua potable en cada uno de los diferentes usos que se le da en una vivienda, tanto para una como para cinco personas.

Atendiendo a las distintas combinaciones de operación de la vivienda, en la tabla 7.4 demuestra el estado más crítico, el cual ocurre cuando hay mayor flujo, este se presenta cuando se consume simultáneamente el agua para cinco habitantes en la cocina y en el lavado de ropa, el lavabo y la regadera se utiliza solo por una persona a la vez. El flujo medio diario corresponde entonces a 266.08 lt/día.

Tabla 7.5 Consumo de agua para una y cinco personas

USO	Consumo (lt/día) por una persona	Consumo (lt/día) por 5 personas
Cocina	17.6	88
Lavabo	14.83	74.15
Regadera	29.65	148.25
Lavado de ropa	26.72	133.6

Tabla 7.6 Simbología

	Consumo (lt/día) por una persona	Consumo (lt/día) por 5 personas
SÍMBOLO	x	xx

Tabla 7.7 Escenarios de consumo de agua

Escenario	Cocina	Lavabo	Regadera	Lavado de ropa	Q total (lt/día)	Área (m ²)	w	l
1	xx	x	x	xx	266.08	7.01	1.53	4.6
2	xx	x		xx	236.43	6.23	1.44	4.3
3	xx	x	x		132.48	3.49	1.08	3.2
4		x	x	xx	178.08	4.69	1.25	3.8
5	xx		x	xx	251.25	6.62	1.49	4.5

$$Q_{ave} = 266 \text{ lt} / \text{dia} = 0.266 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

De donde entonces se calcula el área del humedal; el cual resulta de sustituir en la formula 7.4:

$$A_s = \frac{(0.266)(7.77)}{(0.375)(0.85)}$$

$$A_s = 6.5 \text{ m}^2$$

7) Ancho del humedal

Con la formula 7.5 determinamos el ancho del humedal w . La proporción de longitud/ancho, se estipula por recomendación de $R_A = 2 : 1$

$$w = \left[\frac{6.5}{2} \right]^{1/2} \quad w = 2 \text{ m} \quad (\text{Véase figura 7.2})$$

8) Longitud del humedal

Sustituir en la formula 7.6, para determinar la longitud del humedal:

$$l = \frac{6.5}{2} \quad l = 3.25 \text{ m} \quad (\text{Véase figura 7.2})$$

9) Pendiente

Se propone la pendiente de 1%

Volumen de materiales

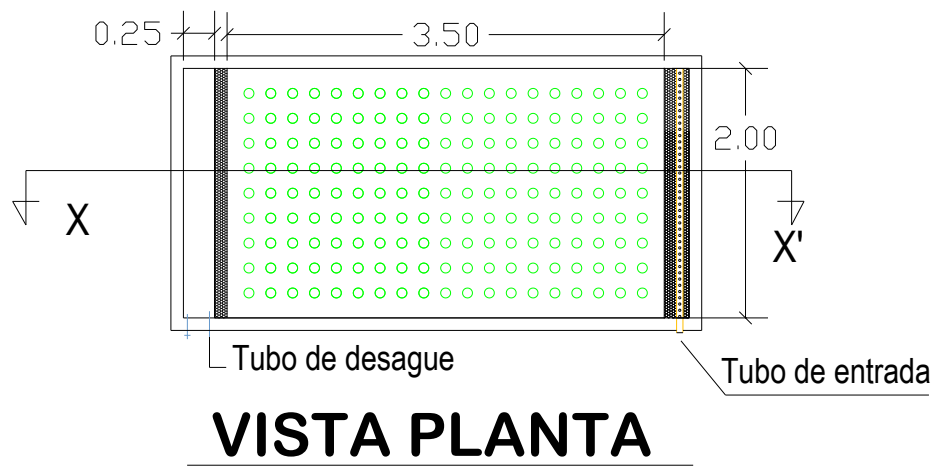
$$V = (dw)(w)(l) \tag{7.8}$$

Donde w corresponde al ancho (m), l , es la longitud (m) y dw , el espesor del estrato del humedal (m)

Tabla 7.8 Volúmenes de Materiales

Material	Largo l (m)	Ancho w (m)	Altura h1 (m)	Volumen (m3)
Arena	3.25	2	0.05	0.325
Grava	3.25	2	0.75	4.875
Tierra	3.25	2	0.05	0.325

Figura 7.2 Vista en planta del humedal



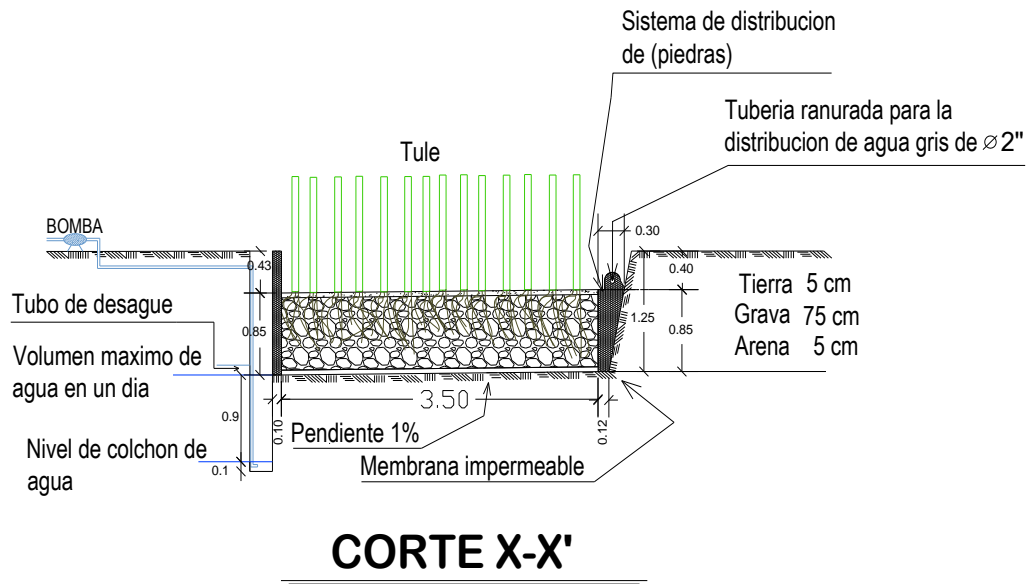


Figura 7.3 vista lateral del humedal.

La planta seleccionada para sembrar en el humedal es el tule, ésta posee un tallo redondo de verde intenso, que alcanza entre 1 y 3 metros de altura, con largas hojas similares a las del pasto, y racimos de pálidas y parduscas flores radialmente simétricas, además posee la capacidad de nutrirse con los contaminantes de aguas residuales y a su vez sanearla.

Una familia de 5 integrantes gasta 800 litros diarios de agua potable, si utilizamos el sistema de tratamiento de agua gris se estarán ahorrando 356 litros que son los litros que 5 personas ocupan en las descargas del WC, se tiene que se reutilizan los 444 litros que se generan del tratamiento del agua gris, quedando 88 litros para regar el jardín, si a esto le aumentamos los 54 litros que se ahorran por la captación de agua pluvial, se genera un ahorro de aproximadamente 404 litros diarios, si ahorro de 410 litros al día, lo que nos da un 51.25% de ahorro por día, esto sería 149.65 metros cúbicos por año en una vivienda, si nosotros tuviéramos 1000 viviendas con las mismas características estaríamos hablando de 149650 metros cúbicos de ahorro por cada año.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A manera de conclusión se puede demostrar que el uso eficiente del agua en una vivienda de interés social conduce no solamente a ahorros significativos del volumen del agua utilizado sino también aún ahorro económico. Para ilustrar esto, considérese que la vivienda está habitada por cinco personas, con un consumo total de 800 litros por día. De ello 356 corresponden al uso del wc, volumen que no puede ser tratado ni reusado por el sistema propuesto. Sin embargo, los 444 litros diarios restantes que provienen del uso de lavabo, cocina, regadera y lavado de ropa, corresponden a aguas grises que pueden ser tratadas y reusadas através del humedal.

De este volumen, se reutiliza en el uso de wc 356 litro diarios, en tanto que los 88 litros restantes podrán reutilizarse en el riego de plantas y jardines. Por tanto, el consumo de agua potable pasaría de 800 a 444 litros diarios, representando por este concepto un ahorro del 44.5%. En el año, se ahorraría un volumen de 129,940 m³. Si además incorporamos el volumen pluvial captado en el sistema SCAPT (19.7 m³/ año, véase tabla 5.5) el ahorro total sería de 149.4 m³ por año, lo que representaría un ahorro total de agua equivalente al 51% del consumo total de la vivienda.

Por otra parte, aunque el ahorro económico pudiera no ser significativo, debido al precio unitario de cada metro cúbico de agua (entre 5 y 6 pesos, según la CEA), a largo plazo dicho ahorro permitiría amortizar el costo total del sistema de captación pluvial y reuso del agua gris. Éste costo se estimo en \$ 7,605.00 a precio del año 2010, por lo que se requerirá de 8 años para amortizar la inversión inicial.

Finalmente, resulta interesante mencionar que por cada 100 vivienda equipadas con este tipo de sistemas, el ahorro en agua potable sería del orden de los 15,000 metros cúbicos por año resulta entonces que el impacto global en la disparidad del agua de la ciudad sería muy significativo si tomamos en cuenta la cantidad de viviendas de este nivel que se construyen año con año. Si consideramos además que dichas viviendas tienen un costo mínimo de \$300,000.00, la inversión inicial por concepto de sistemas propuestos, representa apenas el 2.5% del costo total, por lo que resulta factible proponer el empleo de estos sistemas en cada nueva por construirse.

REFERENCIAS:

- Manual para las instalaciones de Agua Potable, Agua Tratada, Drenaje Sanitario y Drenaje Pluvial de los Fraccionamientos y Condominios de las Zonas Urbanas del Estado de Querétaro.
- NORMA oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.
- Acevedo, Mata,(1990), “Caracterización fisicoquímica del agua”, UAQ
- Crites, Tchobanoglous, (2000), “Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones, Mac Graw Hill.
- ADBO et al., 1997; Cleveland et al., 1996; Kolb and Wilder, 1997.
<http://www.fim.utp.ac.pa/Revista/vol4/Tejedor.html>
- Bannerman, R. 1993. Sources of urban stormwater pollutants defined in Wisconsin. Technical note 15. Watershed Protection Techniques.
- Comisión Estatal de Aguas, Gobierno del Estado de Querétaro, 1999. “Plan hidráulico del Estado de Querétaro: agua potable y saneamiento”
- Departemen of Civil, 1999, Suveying and Enviromental Enginerring, University Newcatle, Australia.
- Fondo de las Naciones Unidas, “Estado de la población mundial”, 1998.
http://www.ccvn.org.mx/gestion.htm_

- Grupo del Banco Mundial, “Acceso al agua potable”, 1998
<http://www.worldbank.org/depweb/spanish/modules/enverionm/water/map.htm>
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), Servicio Metereológico Nacional.
<http://smn.cna.gob.mx>
- Guía de diseño para captación del agua de lluvia, Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural. (UNATSABAR), (2001) Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente Organización Panamericana de la Salud Oficina Sanitaria Panamericana - Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, 2001
- Dayna Yacum, (2006), Manual de diseño: Humedal construido para el tratamiento de las aguas grises por biofiltración, Bren School of Environmental Science and Management, University of California, Santa Barbara.
- <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/futuros1.pdf>
- http://www.oeidrus-portal.gob.mx/oeidrus_qro/precipitacion/pdfs/MEMORIADECALCULO.pdf
- <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/qro/precipit.cfm?c=444&e=22>
- <http://www.ceaqueretaro.gob.mx/users/ceaqro/publicaciones/Manual2007/tablas.pdf>
- <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/qro/NORMAL22063.TXT>