



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN URBANISMO
FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM
CAMPO DE CONOCIMIENTO: ECONOMÍA, POLÍTICA Y AMBIENTE

PÉRDIDA DEL PATRIMONIO HÍDRICO EN LA CIUDAD DE MÉXICO;
CASO DE ESTUDIO
"VASO REGULADOR SAN LUCAS, DELEGACIÓN XOCHIMILCO;
UNA PROPUESTA DE CATALOGACIÓN PARA SU RESCATE"

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN URBANISMO

PRESENTA:
ARQ. ALFREDO SÁNCHEZ CUIEL

TUTOR PRINCIPAL: DR. HERMILO SALAS ESPÍNDOLA
FACULTAD DE ARQUITECTURA DE LA UNAM

TUTORES: MTRO. FRANCISCO MORALES SEGURA
MTRA. FLORIÁN MARTÍNEZ PERDOMO
DR. MARCOS RODOLFO BONILLA GONZÁLEZ
MTRA. LUCIA IBARRA CRUZ

MÉXICO D. F., ENERO DE 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

México D. F., Enero de 2015

PÉRDIDA DEL PATRIMONIO HÍDRICO EN LA CIUDAD DE MÉXICO;
CASO DE ESTUDIO
“**VASO REGULADOR SAN LUCAS**, DELEGACIÓN XOCHIMILCO;
UNA PROPUESTA DE CATALOGACIÓN PARA SU RESCATE”

Tesis para obtener el grado de Maestría en Urbanismo

Alumno: Arq. Alfredo Sánchez Curiel
Director de Tesis: Dr. Hermilo Salas Espíndola

Programa de Maestría y Doctorado en Urbanismo

Enero de 2015

Director de Tesis: Dr. Hermilo Salas Espíndola

Tutores: Mtro. Francisco Morales Segura
Mtra. Florián Martínez Perdomo
Dr. Marcos Rodolfo Bonilla González
Mtra. Lucia Ibarra Cruz

Dedicatoria

A veces, en nuestra vida, existen condiciones que nos dificultan llevar a cabo nuestros planes o proyectos, pese a nuestro interés por concluirlos o realizarlos.

Quiero dedicar esta investigación a:

Mi familia; mi madre y hermanos quienes me han apoyado siempre.

Mi hijo, quien con su presencia, me ha forjado la tenacidad para continuar dando lo mejor de mi espíritu y vida.

Mi persona, por la gran tenacidad y paciencia, que me permitieron aguantar sin desesperarme y construir, sin claudicar, el escenario y condiciones para llevar al éxito esta importante meta académica.

Agradecimientos

Quiero agradecer al Dr. Hermilo Salas Espíndola, su apoyo y dedicación en la construcción de este trabajo académico, sin el cual no hubiese sido posible concluir con éxito.

Gracias a mis profesores; profesionales que vertieron en las clases los conocimientos que se traducen en mi aprendizaje.

También debo agradecer a mis compañeros y amigos quienes apoyaron y compartieron conmigo los momentos que lentamente fueron construyendo esta gran etapa de la maestría en urbanismo.

Prologo

La investigación que desarrollé para obtener el grado de **maestría en urbanismo**, en el **Programa de Maestría y Urbanismo de la Facultad de Arquitectura de la UNAM**, se relaciona fundamentalmente con el **Vaso Regulador San Lucas**, ubicado en la delegación Xochimilco. Este sitio se encuentra dentro de mi universo de interés por varios motivos: por la ubicación y cercanía con mi domicilio; por la relación que mantiene con el agua, un tema urgente por atender además de interesante; por el creciente problema que éste lugar ha venido representando para la población y por el impacto que el sitio representa para la zona, ciudad y región en términos urbanos y ambientales.

Mi domicilio se ubica en una zona cercana al **Vaso Regulador**, vivir aquí me ha permitido ser testigo de los cambios que este lugar ha experimentado a través del tiempo. Hoy en día mi formación académica me permite tener una visión de lo que acontece en el sitio, y con los estudios de maestría he podido percibir la complejidad de la situación que prevalece en el lugar de mi caso de estudio. Haciendo uso de este perfil académico, más allá de percibir la profundidad y dificultad de la situación, hago un ejercicio para generar un camino y estrategia que permitan, transformar esta debilidad real en fortaleza social, ambiental y urbana.

Durante mi investigación pude comprobar que existe muy poca información del **Vaso Regulador San Lucas**; el lugar no ha sido objeto de muchas investigaciones desarrolladas de manera científica. Esto reforzó mi justificación para desarrollar mi tesis, generando que uno de mis objetivos sea la aportación de conocimiento científicamente respaldado, en torno al **Vaso Regulador San Lucas**. Existe mucho material en calidad de denuncias, quejas y de reportes periodísticos que solamente intentan dar cuenta de las condiciones del lugar sin aportar nada objetivo o de fondo, que pueda explicar verazmente las condiciones del **Vaso Regulador San Lucas** o permita dilucidar una solución a la condición real que presenta actualmente.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue elaborar una estrategia para catalogar dentro de los programas, planes y decretos que existen, al Vaso Regulador San Lucas (Delegación Xochimilco de la Ciudad de México) como elemento de importancia en el ciclo hídrico de la zona lacustre de Xochimilco. Esta catalogación se propuso después de analizar las condiciones del sitio de estudio y de la evolución histórica, evidenciando la falta de atención al lugar, desde su creación (1946) a la actualidad (2014).

Mediante la investigación histórica documental y con los levantamientos de información del lugar, se pudo conocer detalladamente las condiciones del Vaso Regulador y el cambio que sufrió a través del tiempo. Estos cambios incluyen la extinción de la vocación del sitio, misma que integraba entre otras, la función tributaria de suministrar agua de lluvia (en su mayoría) a la zona chinampera de Xochimilco, zona catalogada como Patrimonio Cultural de la Humanidad.

Esta propuesta de catalogación se basa en la tesis de la viabilidad de recuperar la vocación del Vaso Regulador San Lucas para restituir la captación de agua de lluvia y canalizarla hacia la zona chinampera (entre otras funciones). Esto ayudaría a fortalecer y preservar la actividad chinampera de la zona lacustre de Xochimilco, y además a generar acciones en beneficio del entorno hídrico y ecológico de la zona sur de la Ciudad de México.

En conclusión mi estudio, comprobó que la pérdida de la vocación del Vaso Regulador San Lucas es consecuencia directa de dos factores principales: El desmedido y desordenado proceso de urbanización en la zona y el estrés hídrico de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Abstract

The objective of this research was to develop a strategy for cataloging the San Lucas Regulator Dam (Delegation Xochimilco of Mexico City) within programs, plans and ordinances that currently exist, as an element of importance in the water cycle of the lake area of Xochimilco. This categorization was proposed after analyzing site conditions and the study of the historical evolution, demonstrating the lack of attention to the place since its inception (1946) to the present (2014).

Through historical research documentary and with information gathered on-site could know in detail the conditions and changing San Lucas Regulator Dam suffered over time. These changes include the extinction of the vocation of the site, which integrated among others, the tributary function in the supply of rainwater (mostly) to Xochimilco chinampas zone, area listed as World Cultural Heritage.

This proposal is based on cataloging the thesis of the feasibility of recovering the vocation of San Lucas Regulator Dam for (among other functions) return capture rainwater and channel it into the chinampas zone. This will help further strengthen and preserving the activity on the chinampas in the Xochimilco lake zone, generate more action on behalf of water and ecological environment in the south of Mexico City.

In conclusion, my study found that the loss of vocation San Lucas Regulator Dam is a direct result of two main factors: the excessive and disordered urbanization of the area and water stress in the Metropolitan Area of the Valley of Mexico.

ÍNDICE

I. Antecedentes	1
II. Justificación	2
III. Objetivos	2
• General	
• Específicos	
IV. Pregunta de Investigación	3
V. Hipótesis	5

Introducción

Capítulo 1 Marco Conceptual	8
1.1. Precipitación Pluvial	
1.2. Sistemas de captación, almacenamiento y aprovechamiento de agua de lluvia	
1.3. Características de suelos y mantos freáticos	
1.4. Procesos de filtración de agua a los mantos acuíferos	
1.5. Tratamiento de aguas residuales	
1.6. Usos de agua tratada para mejoramiento ambiental en la zona urbana	
1.7. Patrimonio Hídrico	
1.8. Vocación del VRSL	
1.9. Un caso de rescate “Parque Ecológico Xochimilco PEX”	
Capítulo 2 Inundaciones en la Ciudad de México (1900-1940) y acciones de mitigación	47
2.1. Inundaciones en la Ciudad de México (1900-1940)	
2.2. Construcción del sistema de vasos reguladores	
2.3. Vasos reguladores	
2.4. Sistema para el desalajo del agua residual de la Ciudad de México	

Capítulo 3 Vaso Regulator San Lucas Xochimilco (VRSL), delegación Xochimilco	82
3.1. Vaso Regulator San Lucas Xochimilco (VRSL)	82
3.1.1. Ubicación y descripción del VRSL	
3.1.2. Medio Físico	
3.1.3. Entorno Urbano	
3.1.4. Entorno Social	
3.2. Factores de impacto en la pérdida de la vocación del Vaso Regulator San Lucas (VRSL)	102
3.2.1. Función de origen del VRSL	
3.2.2. Urbanización en la zona circundante	
3.2.3. Consecuencias de la urbanización	
3.2.4. Sobre explotación de los mantos acuíferos en la Zona Metropolitana del Valle de México	
3.3. Marco Jurídico del Vaso Regulator San Lucas	104
3.3.1. Ley de Aguas Nacionales	
3.3.2. Jefatura de Gobierno: Decreto por el que se crea la Autoridad de la Zona Patrimonio Mundial Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, como un Órgano de apoyo a las actividades de la Jefatura de Gobierno en las Delegaciones Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta de la Ciudad de México	
3.3.3. Sistema de Aguas de la Ciudad de México: Aviso por el cual se da a conocer el Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, Visión 20 Años, (PGIRH)	
3.3.4. La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional conocida como Convenio Ramsar, 1971	
3.3.5. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental, (1988).	
3.3.6. Programa Delegacional de Desarrollo Urbano (Xochimilco) 2012-2015	
3.3.7. Programa de Certificación de edificaciones sustentables Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal; Noviembre de 2008.	
3.3.8. Ley de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático y Desarrollo Sustentable del Distrito Federal; Junio 16 de 2011.	

Capítulo 4 Estrategias para el rescate del lugar	116
4.1. Catalogación como patrimonio mundial	116
4.2. Incorporación al polígono del Plan Maestro Unesco Xochimilco	117
4.2.1. Líneas estratégicas (agua)	
4.3. SEDATU, Programa HABITAT 2014	120
4.4. Propuesta para incorporar el Vaso Regulador San Lucas (por el vínculo funcional) al decreto presidencial de mayo de 1992, que por la importancia ambiental de esta región, se declararon los ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco áreas naturales protegidas (ANP) a partir de lo dispuesto en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (1988)	124
Conclusiones	136
Bibliografía	140
Índice de tablas	144
Índice de figuras	144

I.- Antecedentes

La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el abasto de agua a la población, se logrará armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso, mediante el uso eficiente del agua. México, un país rico en recursos naturales, obtiene el agua que consume su población de ríos, arroyos y **acuíferos del subsuelo**; estos acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias.

En la Ciudad de México, el agua de lluvia se pierde en gran proporción debido a que no toda se infiltra al subsuelo, una parte se evapora y otra se canaliza hacia el drenaje, donde se contamina y resulta costoso el potabilizarla o tratarla para ser reutilizada. Además, no es conveniente utilizar esta agua para recargar artificialmente los acuíferos, pues estos terminarían contaminándose. De lo anterior, resulta el considerar que sería muy benéfico captar el agua de lluvia e infiltrarla antes de que se contamine o se pierda por la evaporación. Un sistema de captación de agua en el Distrito Federal, se desarrolló mediante la construcción de vasos reguladores en los años 40, con la finalidad de regular la captación de agua pluvial y evitar inundaciones. Estos elementos de captación fueron construidos en lugares geográficamente aptos, cuyo relieve y ubicación permitieron desarrollar estratégicamente una red de vasos reguladores captadores de agua de lluvia, dentro de los cuales podemos mencionar el caso del Vaso Regulador San Lucas (VRSL).

La problemática actual del Vaso Regulador San Lucas (VRSL) es consecuencia de la actividad constante de la población al arrojar basura y desperdicios de diversos tipos; simultáneamente y desde hace más de 20 años recibe el drenaje del Reclusorio Sur (La Jornada, 2012); así como las descargas de aguas residuales de las colonias y pueblos vecinos, canalizadas a través de los ríos San Lucas y Santiago.

La condición del Vaso Regulador es consecuencia de la combinación de varios factores: El abandono y desinterés del los gobiernos para atender la función y condición del Vaso Regulador San Lucas a partir de su construcción (1947); de los cambios en el funcionamiento natural del Vaso Regulador San Lucas a través del tiempo, derivados de la sobre explotación de los mantos acuíferos que a su vez responde a la constante demanda para abasto de agua potable a la zona urbana que se expande hacia lugares que han funcionado como áreas de filtración muy útiles para el ciclo hidrológico en la zona y ciudad; además de la contaminación provocada por la zona urbana circundante sobre el ecosistema inmediato del Vaso Regulador.

La investigación se enfoca en proponer un rescate de la función del **Vaso regulador San Lucas** aportando elementos en las estrategias que deben aplicarse para lograr dar solución a este problema. Estas estrategias se pueden definir en tres grandes áreas: captación de agua pluvial; tratamiento de aguas residuales y re-uso del agua para beneficios ambientales, sociales y urbanos.

Esta investigación aborda tres etapas de estudio:

- La primera consiste en llevar a cabo una revisión documental histórica que definan las características del Vaso Regulador desde la construcción, su funcionamiento a lo largo de los últimos setenta años y la condición actual.
- Una segunda etapa que busca identificar los factores de impacto en la pérdida de la vocación del lugar.
- La tercera etapa define las estrategias de acción para catalogar el Vaso Regulador San Lucas como un sitio de importancia (hídrica y ambiental) a nivel local, estatal y nacional.

II.- Justificación

El Vaso regulador San Lucas (VRSL) construido en el sexenio de Miguel Alemán Valdés (1946-1952), proyectado para captar el agua de lluvia de la zona sur-este de la Ciudad de México. Su vocación de captación fue conservada durante 30 años, hacia 1980 se hicieron evidentes cambios en el lugar que revirtieron la función de origen del VRSL.

Actualmente la condición que presenta el Vaso Regulador es muy diferente a la de sus inicios. Se presume que la captación de agua de lluvia es mucho menor que la que captaba en los años de la construcción porque no existe agua contenida al interior del vaso; solo circula agua negra por el lugar generando lagunas al interior del sitio; además es lugar de acumulación de basura y residuos sólidos.

Derivado de las constantes quejas ciudadanas; reclamos de vecinos del lugar y denuncias de Asociaciones Civiles, la Comisión nacional de Derechos Humanos ha realizado RECOMENDACIONES administrativas para que la Secretaría de Gobierno y de Medio

Ambiente del Distrito Federal, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y la Delegación Xochimilco, atiendan el problema ambiental que se percibe en el Vaso Regulador San Lucas.

Existe un extenso material periodístico que a manera de denuncias y exigencia solamente intentan dar cuenta de las condiciones del lugar. Eso no basta; por ser testigo de la situación del lugar, por mi perfil profesional y por mi gusto e interés en el tema del agua, puedo ver en este Vaso Regulador y su condición actual, una oportunidad para aplicar mis conocimientos y aptitudes como urbanista para lograr aportar una alternativa que pudiese transformar esta debilidad en fortaleza social, ambiental y urbana.

III.- Objetivos

- General:
 - a. Identificar los factores de impacto que han modificado la función de origen del VRSL y proponer una estrategia para su recuperación.
- Específicos:
 - a. Describir los cambios en la vocación del Vaso regulador San Lucas (VRSL).
 - b. Describir los factores que generaron los cambios en la vocación del VRSL.
 - c. Definir acciones para catalogar el Vaso Regulador San Lucas dentro de planes, programas y decretos que existen en niveles internacionales, nacionales y locales, a fin de canalizar recurso para su recuperación.

IV.- Pregunta de Investigación

¿Es viable la recuperación de la Función de Origen del **Vaso Regulador San Lucas**, como parte de un estudio de impacto urbano – ambiental para definir su importancia en el ciclo hidrológico de la zona?

V.- Hipótesis

La vocación del **Vaso Regulador San Lucas** se perdió en el transcurso del tiempo, como una consecuencia del desarrollo urbano en la zona circundante; su recuperación es posible con un proyecto de rescate del patrimonio hídrico, y una catalogación del lugar en términos hídricos, ambientales y urbanos.

Introducción

El agua es una sustancia cuyas moléculas están compuestas por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Se trata de un líquido inodoro (sin olor), insípido (sin sabor) e incoloro (sin color), aunque también puede hallarse en estado sólido (hielo) o en estado gaseoso (vapor). El agua es el componente que aparece con mayor abundancia en la superficie terrestre (cubre cerca del 71% de la corteza de la Tierra). Forma los océanos, los ríos y las lluvias, además de ser parte constituyente de todos los organismos vivos. La circulación del agua en los ecosistemas se produce a través de un ciclo que consiste en la evaporación o transpiración, la precipitación y el desplazamiento hacia el mar (FAO, 2005).

La escasez de agua es un problema que tiene lugar en todas partes del planeta. Alrededor de un 20% de la población mundial reside en zonas donde no hay suficiente agua, y otro 10% se acerca a dicha situación. Por otro lado, un 25% debe enfrentar la falta de recursos por parte de su país para realizar el transporte de agua desde los acuíferos y ríos. Para muchos, la escasez de agua se ha convertido en uno de los puntos a resolver más urgentes del siglo XXI, en parte a causa del consumo desmedido que tuvo lugar durante los cien años anteriores, cuyo ritmo duplicó el de natalidad. Si bien no es correcto decir que la Tierra entera sufre de falta de agua, el número de zonas que carece de este recurso vital crece de manera preocupante. Como es sabido, la acción de nuestra especie es, en gran parte, responsable de este fenómeno: la cantidad de agua potable presente en el mundo entero es suficiente para abastecernos a todos; sin embargo, dada la irregularidad con la que se distribuye y el enorme desperdicio por parte de un gran porcentaje de la población, su gestión se vuelve insostenible (FAO, 2005).

Por lo general, la hidrología se vale de la relación entre agua y población para medir la escasez (FAO 2005). Cuando el suministro anual de agua a una región disminuye en 1000 metros cúbicos por persona se habla de **estrés hídrico**, igualmente cuando la demanda de agua es más importante que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. El estrés hídrico provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos secos, etc.) y de calidad (eutrofización, contaminación de la materia orgánica, intrusión salina, etc.) (FAO, 2005).

En otras palabras, la escasez de agua tiene lugar cuando no se puede satisfacer la demanda de dicho recurso, sea por su cantidad o por su calidad. Es importante recordar que no solo se utiliza para beber, sino que el ser humano le ha dado otros usos, que también entran en la ecuación. Por esta razón, la escasez es un concepto relativo, un fenómeno que puede surgir

de una demanda excesiva en un entorno que bien podría abastecer las necesidades reales, o de la falta del mínimo necesario para la vida de sus usuarios (FAO, 2005).

El agua en la Ciudad de México

En México la disponibilidad promedio se estimó en 4547 m³ para el año 2004, cifra que lo coloca en el noveno lugar de disponibilidad en el contexto internacional, aunque, de acuerdo con las categorías establecidas por los organismos internacionales es considerado como un país con baja disponibilidad natural de agua. Si bien la disponibilidad promedio de agua por habitante es un indicador útil cuando se realiza una comparación internacional, éste no refleja la realidad cuando se analiza la variabilidad en su distribución espacial y temporal en el territorio mexicano. En el Distrito Federal viven siete de cada diez habitantes del país. Las proyecciones demográficas para los siguientes 25 años indican que continuará un incremento sostenido de las zonas urbanas y con ello el riesgo de mayores problemas de acceso y abastecimiento de agua.

El agua que se utiliza en el D.F proviene de tres fuentes: 71% de aguas subterráneas, 26.5% del Río Lerma y Cutzamala y 2.5% del Río Magdalena, de esta forma la principal fuente de abastecimiento la constituyen los mantos acuíferos. Para atender la demanda de agua potable de los habitantes de la ciudad de México se suministra un caudal promedio de 32 m³/s. El 67 por ciento del caudal suministrado se obtiene de fuentes subterráneas; 55 por ciento del acuífero del Valle de México y 12 por ciento del Valle de Lerma, ubicado en el Estado de México a 70 Km de la gran ciudad. En tanto que el caudal restante se obtiene de fuentes superficiales, 3 por ciento de manantiales ubicados en la zona sur-poniente de la ciudad y 30 por ciento del sistema Cutzamala, ubicado en los estados de México y Michoacán, a una distancia de 124 Km de la ciudad (CONAGUA, 2006).

El déficit hidráulico ha inducido a la sobreexplotación de los acuíferos, lo cual es resultado de un mayor volumen de extracción de agua del subsuelo con respecto de la cantidad que se infiltra. Anualmente el acuífero se recarga con cerca de 700 millones de metros cúbicos, pero son extraídos 1 300 millones, es decir por cada litro de agua de recarga se extrae casi el doble. Los procesos de deforestación, la expansión urbana hacia sitios de recarga de acuíferos y la canalización de las aguas pluviales al drenaje indican que este desequilibrio se profundizará. Además, las expectativas de una explotación más racional y de la recarga del acuífero resultan todavía inciertas (CONAGUA, 2006).

Precipitación pluvial en el D. F.

La ZMVM presenta un régimen anual definido de precipitación entre los meses de mayo a octubre, debido a la intensidad y frecuencia de fenómenos meteorológicos sinópticos en las costas del Pacífico y Atlántico mexicanos. Las lluvias se presentan en verano, la precipitación total anual es variable: en la región seca es de 600 mm y en la parte templada húmeda (Ajusco) es de 1 200 mm anuales. Los otros meses son de sequía, aunque pueden tener lugar lluvias aisladas, éstas no constituyen un régimen definido. Cabe mencionar que por su gran extensión, la ZMVM presenta un esquema de precipitación no uniforme. Por otro lado el avance de la mancha urbana ha puesto en peligro a todos los ecosistemas que existieron en el valle de México. Los primeros en padecer la depredación del género humano fueron los lagos. En la Zona Metropolitana del Valle de México existe una red de estaciones pluviométricas pertenecientes al Sistema de Aguas de la Ciudad de México, de la cual se tomaron datos registrados durante el año 2005 para caracterizar la precipitación pluvial (CONAGUA, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional CGSMN 2003).

La distribución de la precipitación acumulada nos permite tener una representación estacional con respecto a la lluvia tal que el mes de enero corresponde a lo ocurrido en el invierno; el mes de abril a la primavera; julio para el verano, y octubre para el otoño. La precipitación acumulada para el mes de enero es donde se aprecia la mayor cantidad de agua precipitada (10 a 14 mm) y se concentró en el poniente de la ZMVM, hacia las montañas; mientras que en el resto de la misma se acumularon alrededor de 2 a 6 mm durante todo el mes.

La precipitación acumulada en el mes de abril, en comparación con el mes de enero; es tal que se observan dos núcleos de precipitación con rangos de 30 a 60 mm (mayor acumulación) en el occidente de la ZMVM. En el resto de la misma los valores se incrementaron también hasta alcanzar los rangos de 6 a 24 mm. **La precipitación acumulada en el mes de julio, indica que en el sur y suroeste de la ZMVM se presentaron las mayores acumulaciones (180 a 300 mm);** también se aprecian valores altos (120 a 210 mm) en la región central de la misma. Por otro lado, los valores de precipitación acumulados más bajos (entre 30 y 120 mm) se concentraron en el norte de la ZMVM.

La distribución de la precipitación acumulada durante el mes de octubre, muestra dos regiones bien definidas: una se localiza en la porción central cubriendo una extensa área con dos núcleos de precipitación de valores altos (105 a 135 mm); mientras que la otra se distingue en

el suroeste con las mayores acumulaciones (135 a 180 mm). La distribución anual de precipitación no uniforme. En la zona sur y poniente se registró durante el 2005 más del doble que en la región oriente, esencialmente debido al efecto orográfico. En la porción centro, el acumulado fue escaso en la medida de que se presentó un núcleo que abarca desde los 50 hasta los 250 mm. (CONAGUA, CGSMN 2003).

Inundaciones

El problema de las inundaciones en el Valle de México es de antaño y, en correspondencia, añeja ha sido la capacidad de los ingenieros para encontrar soluciones al respecto. En 1604, la ciudad sufrió grandes inundaciones que persistieron durante meses, dado que, en la cuenca cerrada, la única salida del agua era por evaporación. Se decidió entonces construir una salida artificial para drenar los excedentes hacia la cuenca del río Tula. Para ello se intentó construir el canal de Huehuetoca y cruzar el parte aguas mediante un túnel de cerca de 7 km de longitud, bajo el sitio conocido como Nochistongo, que descargaría al río Tula. El crecimiento de la población se hizo explosivo a partir de 1930, para el que se calcula que la ciudad estaba habitada por un millón de personas, que se incrementaron a dos millones en 1940, tres en 1950 y más de cinco en 1960.

A lo largo de esos años se construyeron miles de kilómetros de diversos conductos para el drenaje y **se inició la construcción del sistema de presas para la regulación** de las avenidas en el poniente de la ciudad. En 1971 se introdujeron las primeras disposiciones legales en materia ambiental para mejorar el control de la contaminación del agua. En 1972 entró en vigor la Ley Federal de Aguas cuyo objeto era reforzar el marco legal para la administración del recurso, principalmente mediante la introducción de mecanismos para regular su uso, entre los que se incluían los sistemas de captación pluvial y se desarrollaron obras con aguas superficiales por medio de pequeñas captaciones, así como subterráneas, que formaban parte del Programa Nacional de Perforación de Pozos

Sistema de drenaje de la CD. De México

Entre 1954 y 1967 se construyeron nuevamente miles de kilómetros de colectores, plantas de bombeo con capacidad acumulada de más de 100 m³/s, el interceptor del poniente, el entubamiento de los ríos Churubusco, de la Piedad, Consulado, etcétera, pero estas obras y otras muchas que se describen en las "Memorias del Drenaje Profundo", seguían resultando insuficientes por el crecimiento acelerado de la población, de la mancha urbana y, sobre todo, por el hundimiento de la ciudad. Se inició entonces, en 1967, una nueva solución: El Sistema

de Drenaje Profundo. Esta obra constaba, en el proyecto original, de dos interceptores de 5 m de diámetro y 18 km de longitud conjunta, con una profundidad que varía de 30 a 50 m. Los interceptores descargan al Emisor Profundo, de 6.5 m de diámetro y 50 km de longitud. La obra, considerada por muchos como "definitiva", se inauguró en 1975 (Dominguez, M, 2000).

El Vaso Regulador San Lucas

De las montañas del sur bajan los ríos San Luis, San Lucas, San Gregorio, Santiago y San Buenaventura. Normalmente conducen escurrimientos escasos, porque sus cuencas están en formaciones basálticas muy permeables. Sólo el río San Buenaventura, ocasionalmente, conduce crecientes importantes, debido a precipitaciones intensas combinadas con deshielos del volcán del Ajusco (Domínguez, M, 2000). La problemática actual del VRSL incluye un aumento en las zonas periféricas, de asentamientos urbanos lo que provoca un cambio en la magnitud y la velocidad de los escurrimientos. Adicionalmente en los últimos 50 años se construyeron nuevas vialidades, y se construyó el Reclusorio sur, que descarga sus aguas residuales en el lugar, lo que genera una situación de abandono y deterioro constante. La solución a este problema, es a largo plazo, tomando en cuenta que, si no se detiene el crecimiento de la población en la zona aledaña al VRSL, la solución será cada vez más difícil y costosa, no sólo con relación con las inundaciones, sino con todos los servicios, dentro de los que destaca el abastecimiento de agua potable y el problema del transporte (Dominguez, M, 2000).

Las regiones de Xochimilco y Tláhuac, principalmente, son la cuna de la diversidad biológica en la que los cuerpos de agua juegan un papel importante y que requieren de una restauración urgente debido a las intensas presiones del crecimiento de la mancha urbana y al cambio de uso de suelo. (Gerardo Ceballos, investigador del Instituto de Ecología de la UNAM.)

Capitulo 1. Marco conceptual

1.1. Precipitación Pluvial

El agua además de ser el elemento que dio origen a la vida y la mantiene, regula el clima del planeta y permite la existencia de los ecosistemas y de la humanidad; es por esto que resulta muy importante conocer el ciclo del agua o ciclo hidrológico. El ciclo hidrológico es el movimiento constante del agua en el planeta, desde los océanos a la atmosfera y su ascenso y descenso en sus formas sólida, líquida y gaseosa. Desde que el agua existe en nuestro

planeta, siempre se ha mantenido la misma cantidad. El ciclo del agua consta de cinco etapas: Evaporación, transpiración, condensación y precipitación; la precipitación es la que se relaciona directamente con esta investigación.

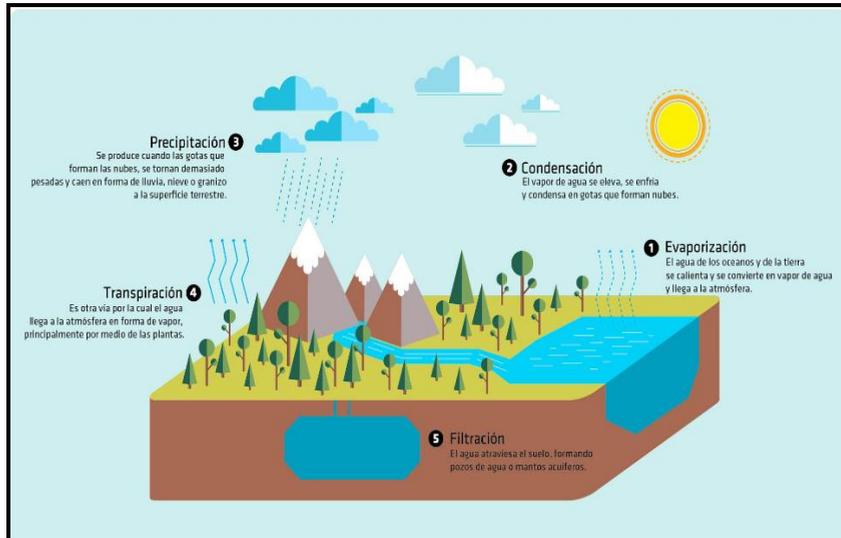


Figura 1. Esquema del Ciclo Hidrológico
Fuente CENAPRED 2008

La precipitación ocurre cuando el agua condensada en las nubes cae de nuevo a la superficie terrestre en forma de lluvia, granizo o nieve. Al precipitarse, el agua puede caer en el océano o el suelo. Si cae en el mar, regresa al ciclo directamente por medio de la evaporación. El agua que cae al suelo regresa al ciclo de diversas maneras: Puede alojarse en la superficie del suelo y quedar retenida en depresiones; a esto se le llama almacenamiento en lagunas o lagunaje (CONAGUA, 2005) y gran parte de esa agua regresa a la atmósfera en forma de vapor.

La escorrentía es un proceso que puede ser superficial, hipodérmico o subterráneo. La **escorrentía** superficial se da cuando el agua de lluvia se desliza sobre la superficie del terreno hasta alcanzar un océano; es lo que sucede con el agua que fluye en corrientes y ríos. La hipodérmica se da cuando el agua que logra infiltrarse se queda en una profundidad cercana a la superficie; la subterránea se da cuando el agua llega a la zona saturada y con el paso del

tiempo regresa a un cuerpo de agua superficial. La filtración se da cuando el agua atraviesa el suelo y ocupa los espacios vacíos, formando pozos de agua o mantos acuíferos (Ver figura 2).

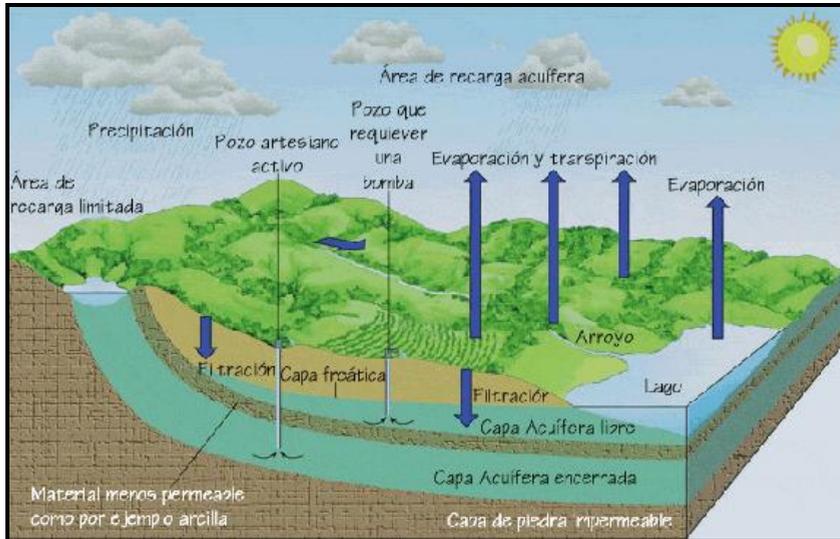


Figura 2. Precipitación y captación de agua
Fuente CENAPRED 2008

La lluvia (del latín pluvia) es un fenómeno atmosférico iniciado con la condensación del vapor de agua contenido en las nubes. Según la definición oficial de la Organización Meteorológica Mundial, la lluvia es la precipitación de partículas de agua líquida de diámetro mayor de 0.5 mm, o de gotas menores pero muy dispersas.

Si no alcanza la superficie terrestre no sería lluvia sino virga, y si el diámetro es menor, será llovizna. Las gotas de agua no tienen forma de lágrima, redondas por abajo y puntiaguda por arriba, como se suele pensar. Las gotas pequeñas son casi esféricas, mientras que las mayores están achatadas. Su tamaño oscila entre los 0.5 y los 6.35 mm, mientras que su velocidad de caída varía entre los 8 y los 32 km/h, dependiendo de su volumen (FAO, 2013).

En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. Esto incluye lluvia, llovizna, nieve, cinarra (precipitación en forma sólida, con el tamaño de los gránulos de hielo que no sobrepasa el milímetro y con una forma alargada) granizo; pero no la virga (hidrometeoro que cae de una nube mas se evapora antes

de alcanzar el suelo), ni neblina ni rocío. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad (FAO, 2013).

La lluvia depende de tres factores: presión, temperatura y, en especial, radiación solar. En las últimas décadas se ha producido un fenómeno que causa lluvias con mayor frecuencia cuando la radiación solar es menor, es decir, por la noche. La lluvia no cae en la misma cantidad alrededor del mundo, e incluso, en diferentes partes de un mismo país. La precipitación pluvial se mide en milímetros (mm), que equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable.

Como ya se menciona la precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico porque es responsable de depositar agua fresca en el planeta. Es generada por las nubes cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua creciente (o pedazos de hielo) que se forman caen a la Tierra por gravedad. Se puede inducir a las nubes a producir precipitación, rociando un polvo fino o un químico apropiado (como el nitrato de plata) dentro de la nube, generando las gotas de agua e incrementando la probabilidad de precipitación (FAO, 2013). En la presente investigación, el tema central es la captación de agua de lluvia, como función de origen del VRSL; la captación de agua pluvial y la filtración de agua a los mantos acuíferos fue el objetivo de su conformación.

Durante el ciclo hidrológico, el agua condensada en las nubes alcanza una masa crítica, se hace más pesada que el aire que la circunda y "precipita". Según el mecanismo por el cual dichas masas de aire son obligadas a ascender se pueden clasificar las precipitaciones según sean: frontales, convectivas u orográficas.

- Precipitación frontal: ocurre cuando dos masas de aire de distintas presiones, tales como la fría (más pesada) y la cálida (más liviana) chocan una con la otra.
- Precipitación convectiva: se produce, generalmente, en regiones cálidas y húmedas cuando masas de aire cálidas, al ascender en altura se enfrían, generándose de esta manera la precipitación.
- Precipitación orográfica. Efecto Foëhn: cuando una masa de aire húmedo circula hacia una masa montañosa se eleva hasta llegar a la cima de la montaña. Al ascender se enfría y el agua que contiene se condensa, por lo que se producen las precipitaciones y

la masa de aire pierde humedad. Al pasar a la otra ladera de la montaña, el aire seco desciende y se calienta; se genera un viento seco y cálido que puede producir deshielo.

La medición de la precipitación se efectúa por medio de pluviómetros o pluviógrafos; los segundos son utilizados principalmente cuando se tratan de determinar precipitaciones intensas de corto periodo. Para que los valores sean comparables en las estaciones pluviométricas, se utilizan instrumentos estandarizados. El instrumento para medir la altura de las precipitaciones pluviales fue inventado por Castelli en 1641. Un milímetro de lluvia recolectado en un pluviómetro equivale a un litro por metro cuadrado. A partir de 1980 se populariza cada vez más la medición de la lluvia por medio de un radar meteorológico, los que generalmente están conectados de manera directa con modelos matemáticos que permiten así determinar la lluvia y los caudales en tiempo real.

La lluvia, en su caída, se distribuye de forma irregular: una parte será aprovechada para las plantas, otra hará que los caudales de los ríos se incrementen por medio de los barrancos y escorrentías que, a su vez, aumentarán las reservas de pantanos y de embalses; la mayor parte se infiltrará a través del suelo y discurriendo por zonas de texturas más o menos porosas formará corrientes subterráneas que irán a parar, o bien a depósitos naturales con paredes y fondos arcillosos que constituirán los llamados yacimientos o pozos naturales, o acabarán desembocando en el mar. En el caso del VRSL, este funcionaba como un cuerpo receptor y de filtración de agua pluvial. Otra parte del agua se evaporará antes de llegar a la superficie por acción del calor (FAO, 2013).

Las precipitaciones acuosas se clasifican en:

- Llovizna: es cuando apenas se alcanzan a ver las gotas. En una llovizna la pluviosidad es casi insignificante y se ve como si las gotas flotaran en forma pulverizada. Popularmente se le llama “garúa”, “orvallo”, “sirimiri”, “calabobos”.
- “Chispear”: se usa para describir un término medio entre una llovizna y una lluvia débil. En comparación con la primera de éstas, la pluviosidad es mayor y las gotas también aumentan de tamaño.

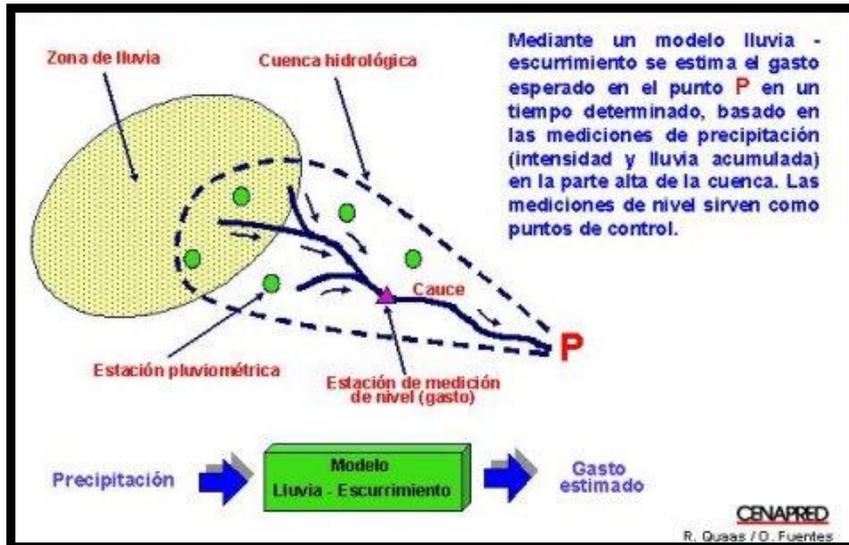


Figura 3 Escorrentía y medición pluvial
Fuente CENAPRED 2008

- Lluvia: propiamente dicha, va de débil a moderada, sin alcanzar la intensidad de una tormenta.
- Chubasco: el viento, las gotas y la intensidad aumentan.
- Tormenta: puede ser débil o intensa; su pluviosidad es alta y las gotas son grandes y el viento, intenso; incluye la posibilidad de que se precipite granizo.
- Tromba: es más fuerte que la tormenta. Tiene viento intenso, gotas grandes, pluviosidad suficientemente alta para inundar y causar estragos. Esta lluvia tiene la capacidad de crear granizo sumamente grande y con posibilidad de aparición de tornados. Las trombas tienen vórtices de viento, como una especie de "ojo".

La lluvia se califica con respecto a la cantidad de precipitación por hora (mm/h):

- Débiles: cuando su intensidad es ≤ 2 mm/h.
- Moderadas: > 2 mm/h y ≤ 15 mm/h.
- Fuertes: > 15 mm/h y ≤ 30 mm/h.
- Muy fuertes: > 30 mm/h y ≤ 60 mm/h.

Las precipitaciones son importantes porque ayudan a mantener el balance atmosférico. Sin precipitaciones, todas las tierras del planeta serían desiertos. Las precipitaciones ayudan a las siembras y nos proporcionan agua para beber. Sin embargo, las precipitaciones también pueden ser dañinas. Demasiada lluvia puede ocasionar inundaciones severas y daños en el campo y en zonas urbanas.

Ante el cambio climático global, el Instituto Nacional de Ecología (INE) advierte que la alteración en el ciclo hidrológico llevará a que en México haya menos lluvia y temperaturas más elevadas que agravarán las de, por sí, ya difíciles condiciones del sector hídrico en el territorio nacional. En un análisis por sectores de los impactos del cambio climático, el INE precisa que los periodos de sequía tienen como efecto una reducción en la disponibilidad de agua, mientras que eventos de precipitación extrema pueden causar inundaciones y afectaciones en los sistemas de distribución de agua potable. “El cambio climático proyecta un ciclo hidrológico más intenso en todo el planeta por lo que se espera que las sequías sean más intensas y prolongadas, y se presente un mayor número de eventos de precipitación fuerte.” Los escenarios de verano para 2020 y 2050 indican aumentos de entre 1 y 3 °C y disminuciones en la precipitación media anual de entre 5 y 10 por ciento (FAO, 2005).

Muchas obras de ingeniería civil requieren un adecuado conocimiento de las precipitaciones pluviales. En efecto, dimensionar correctamente el drenaje garantizaría la vida útil de una carretera, una vía férrea, un aeropuerto. El conocimiento de las precipitaciones pluviales extremas y el dimensionamiento adecuado de los órganos extravasores de las represas garantizará su seguridad, la de las poblaciones y demás estructuras que se sitúan aguas abajo de la misma. El conocimiento de las lluvias intensas, de corta duración, es muy importante para dimensionar el drenaje urbano y así evitar inundaciones en los centros poblados (FAO, 2005).

Anualmente, México recibe del orden de 1.51 billones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, el 72.5% se evapora y regresa a la atmósfera, el 25.6% escurre por los ríos o arroyos y el 1.9% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos. En nuestro país existen grandes variaciones de la disponibilidad a lo largo del año. La mayor parte de la lluvia ocurre en el verano, mientras que el resto del año es relativamente seco. Por otro lado, algunas regiones del país tienen precipitación abundante y baja densidad de población, mientras que en otras ocurre exactamente lo contrario. El 67.3% de la precipitación normal mensual cae entre los meses de junio y septiembre (CONAGUA 2004).

En el Distrito Federal el clima en invierno, es caliente y seco en el mes de abril y mayo no es extremo ni presenta grandes cambios dado que cuenta con una temperatura media anual de entre 10 y 17 grados centígrados. La precipitación pluvial promedio en el Distrito Federal es de entre 586.9 a 1,343.7 milímetros dado que en Tacubaya es de 787.7, en el guarda es de 1,343.7 y en San Juan de Aragón es de 586.9 milímetros (CONAGUA, 2007)

En cuanto a la precipitación pluvial, en la ZMVM, la máxima registrada entre 1990 y 2001 fue de 118.6 mm en la estación Ajusco (6 de septiembre de 1990). El promedio indica que la mayor cantidad de lluvia se presenta en la parte occidental del Distrito Federal, al pie de la sierra Ajusco-Chichinautzin. Esta situación se presenta por el flujo de viento de verano, durante las lluvias más intensas y reforzada por el levantamiento mecánico del aire que golpea una montaña, rebota y asciende; debido a la humedad suficiente, ésta se condensa formando nubes y produce la precipitación, cabe señalar que el complejo orográfico mencionado está cerca de la zona donde se ubica el VRSL, lo que nos habla de que las características del entorno favorecen su uso como cuerpo de captación de escurrimiento pluvial., (CONAGUA 2004).

El promedio anual máximo de precipitación es de 1 356.1 mm, según datos de la estación El Guarda, registrados entre 1958 y el 2000 y, en el año más lluvioso, esta estación alcanzó 2 873 mm de lluvia acumulada. En contraste, la precipitación del año más seco fue de 361.5 mm en la estación San Juan de Aragón. Para el año 2000 la precipitación total mensual en seis estaciones meteorológicas seleccionadas alcanza un máximo de 490 mm, en la estación El Guarda en el mes de junio y el promedio mensual más alto es de 283.6 mm en la misma estación en el mes de julio para un periodo de 43 años (de 1958 al 2000). La humedad relativa, parámetro meteorológico de la cantidad de vapor de agua que predomina en la ZMVM, es muy importante por su incidencia directa en las reacciones químicas que se dan en el aire; por ejemplo, al entrar en contacto el bióxido de nitrógeno (NO₂) con el aire húmedo, se origina el ácido nítrico que es un componente de la lluvia ácida. El porcentaje de humedad relativa representa el déficit de saturación o de presión de la atmósfera. En el periodo de 1992 a 2001, los promedios de humedad relativa media son menores en las cercanías del centro de la Ciudad de México, en un rango de 46% a 49%, pasando en la región central al 52% e incrementándose el porcentaje en forma de anillos irregulares concéntricos hacia los límites de la ZMVM. Un comportamiento espacial semejante se tiene para los promedios de humedad

relativa máxima y mínima en una estrecha relación con las variaciones de la precipitación y la temperatura. La tendencia de la humedad relativa anual en la ZMVM, en el periodo mencionado, refleja un incremento de 6.7% en los primeros tres años y una disminución a partir de 1994 y hasta 1999, donde asciende hasta promediar 52% en el año 2001. La tendencia muestra un decremento anual de 1.2%. (INEGI. 2002)

1.2. Sistemas de captación, almacenamiento y aprovechamiento de agua de lluvia

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en su informe sobre los usos y el valor social resalta la importancia de implementar mecanismos para captar, almacenar y utilizar el agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano, y así hacer frente a la escasez de agua. El aprovechamiento eficiente del agua de lluvia, no es nuevo, ya que se practica desde hace 5000 años. A lo largo de distintas épocas, culturas en todo el mundo desarrollaron métodos para recoger y utilizar el recurso pluvial, sin embargo con el progreso de los sistemas de distribución entubada, estas prácticas se fueron abandonando. Ahora ante el reto que supone el aumento de la población y la escasez del suministro, tanto en las zonas urbanas como rurales, la captación de agua de lluvia y nuevos sistemas para su correcta gestión, vuelven a verse como una solución para ahorrar y aumentar las reservas de agua (FAO 2013).

De acuerdo a la FAO (2005) en países como Inglaterra, Alemania, Japón o Singapur, el agua de la lluvia se aprovecha en edificios que cuentan con el sistema de recolección, para después utilizarla en los baños o en el combate a incendios, lo cual representa un ahorro del 15% del recurso. Otros ejemplos son En la India se utiliza principalmente para regadío, pero cada vez se desarrollan más políticas encaminadas a la captación en ciudades como Bangalore o Delhi. En la República Popular de China se resolvió el problema de abastecimiento de agua a cinco millones de personas con la aplicación de tecnologías de captación de agua de lluvia en 15 provincias después del proyecto piloto "121" aplicado en la región de Gainsu. En Bangladesh se detuvo la intoxicación por arsénico con la utilización de sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico. En Brasil hay un programa para la construcción de un millón de cisternas rurales para aumentar el suministro en la zona semiárida del noreste. En las Islas del Caribe (Vírgenes, Islas Caicos y Turcas), Tailandia, Singapur, Inglaterra, EUA y Japón entre otros, existe un marco legal y normativo que obliga a la captación de agua de lluvia de los techos. En Israel se realiza micro-captación de agua de lluvia para árboles frutales como almendros y pistachos. Y en los Estados Unidos y Australia, la captación de agua de lluvia se

aplica principalmente para abastecer de agua a la ganadería y al consumo doméstico. En algunos estados de ambos países se ha desarrollado regulaciones e incentivos que invitan a implementar estos sistemas.

En México, se presentan problemáticas como la escasez del agua, el agotamiento de los acuíferos y la vulnerabilidad de fuentes externas, el agua de lluvia representa un recurso accesible, abundante y casi puro. Sin embargo, este recurso, literalmente “caído del cielo”, continúa siendo poco apreciado en la exploración de alternativas. Además, el volumen de agua pluvial que no es absorbido ha crecido enormemente con la urbanización de la Cuenca, a tal grado que, actualmente se expulsa más agua pluvial de la Cuenca de la que se logra recargar en sus principales acuíferos. La gestión del agua pluvial en el interior de la cuenca requiere contar con un sistema amplio para captar las intensas lluvias que suelen presentarse entre mayo y octubre, en cualquier dirección de la cuenca, principalmente en el sur. Los extensos lagos fueron los mejores reguladores, por su capacidad de distribuir los repentinos volúmenes de lluvia hacia una amplia superficie (UAM, 2013). El rescate del VRSL, representa una solución ante este panorama, ya que sus características físicas y de ubicación lo hacen convertirse en una zona clave para la captación de agua pluvial.

Las chinampas construidas por los habitantes originales del sur de la Cuenca permitían la convivencia con estos ritmos hídricos naturales. Cuando cambió la relación con la cuenca lacustre y se empezó a drenar los lagos y expulsar las lluvias, el impacto de los picos de lluvia se hizo cada vez más fuerte y se inició un círculo vicioso que ha seguido hasta la fecha. En la actual búsqueda de una gestión equilibrada, la recuperación de las zonas lacustres y chinamperas resulta vital, no sólo para almacenar las aguas pluviales, sino para amortiguar el impacto de las lluvias intensas. Las tareas de gestión hídrica requeridas para aprovechar las aguas pluviales, proponen la recuperación de los 622 Mm³/año de agua actualmente expulsados, con la captación y almacenamiento de 337 Mm³/año en lagos y vasos para su potabilización y uso directo, 62 Mm³/año en las chinampas y zonas ecológicas, y 86 Mm³/año en los acuíferos (UAM, 2013).

De acuerdo a los especialistas, se podría reducir el rezago en abastecimiento de agua en el país si se aprovecharan los métodos de captación y gestión del agua de lluvia. Si se captara toda la lluvia en los techos y en algunos suelos, se podría ahorrar de 10% a 15% del agua que se consume en los hogares. Si se aprovechara el 3% de la lluvia que cae cada año en el país,

alcanzaría para suministrar de agua no potable para usos como limpieza o sanitarios a 13 millones de personas, para que 50 millones de animales pudieran beber o para regar 18 millones de hectáreas de cultivo (Ver Figura 4) (CONAGUA 2005).

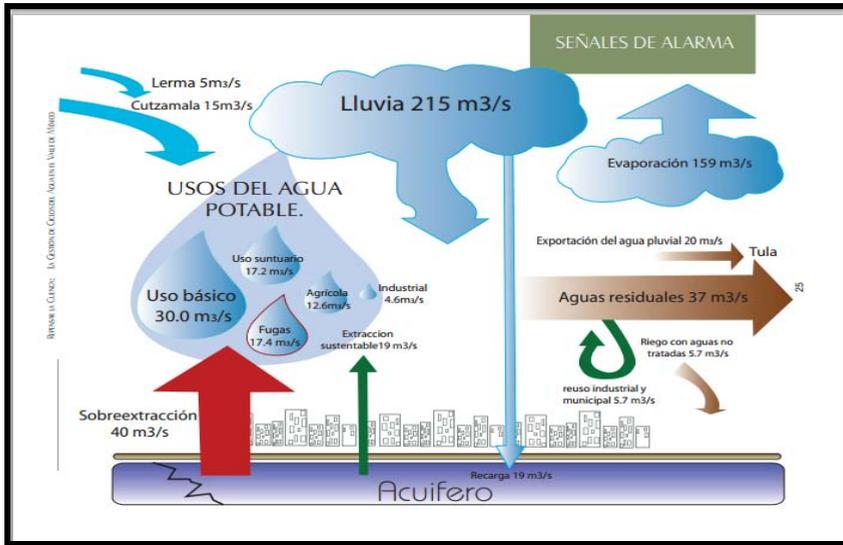


Figura 4. Esquema hidrúlico de la ZMVM
Fuente CONAGUA 2009

Actualmente en algunas áreas rurales se realiza la cosecha de agua de lluvia, pero en las zonas urbanas que son atendidas por servicios municipales, tienden a olvidar este recurso. La cosecha de lluvia es una solución muy importante para las grandes urbes en donde se está gastando más agua de la que se dispone. Un problema que se viene agravando además con las transformaciones que está produciendo el cambio climático. Para poder captar agua de lluvia es necesario que las superficies expuestas a la precipitación pluvial permitan su escurrimiento, ya sea porque la superficie es impermeable o porque su capacidad de absorción es inferior a la de infiltración en terrenos con pendiente, como ocurren con el VRSL, el cual tiene una ubicación que favorece el escurrimiento, y si ha disminuido es debido a los nuevos asentamientos humanos circundantes (UAM, 2013).

En los centros urbanos, las áreas expuestas a la lluvia son mayoritariamente impermeables (techos, calles y estacionamientos), por lo que la captación se puede realizar con inversiones

relativamente pequeñas. La conducción de los escurrimientos a los cuerpos de almacenaje se efectúa por medio de canalones en techos (liga a drenajes sifónicos), tuberías de lámina y/o PVC y canaletas con o sin rejillas en los pisos. (FAO 2013).

De acuerdo con la FAO, un sistema de captación pluvial, comprende los siguientes elementos:
Área de captación: Lugar donde se almacenan los escurrimientos de agua de lluvia, antes de realizar su disposición final. Por lo general se utilizan superficies como los techos de las casas, escuelas, almacenes, etc., que deben estar impermeabilizados. También se puede captar el agua que escurre de calles o estacionamientos por medio de canales.

Estructura de captación: Recolectan las aguas en los sistemas de alcantarillado pluvial, se utilizan sumideros o bocas de tormenta como estructuras de captación, aunque también pueden existir descargas domiciliarias donde se vierta el agua de lluvia que cae en techos y patios.

Sistema de conducción: El sistema de conducción se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento. El material utilizado debe ser liviano, resistente, fácil de unir entre sí y que no permita la contaminación con compuestos orgánicos o inorgánicos.

Dispositivo de retiro de contaminantes y filtración: Antes de conducir el agua a la infraestructura de almacenamiento se recomienda colocar un dispositivo que retire y filtre los contaminantes que puede arrastrar el agua a su paso por las superficies, como pueden ser sedimentos, metales, grasas y basuras. De esta forma el agua llegará sin residuos tóxicos al lugar de almacenamiento.

Tanques de almacenamiento: Se trata de tinacos o sistemas modulares en donde se conserva el agua de lluvia captada, se pueden situar por encima o por debajo de la tierra. Deben ser de material resistente, impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración y estar cubiertos para impedir el ingreso de polvo, insectos, luz solar y posibles contaminantes. Además, la entrada y la descarga deben de contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales; deben estar dotados de dispositivos para el retiro de agua. Deben ser de un material inerte, el hormigón armado, de fibra de vidrio, polietileno y acero inoxidable son los más recomendados.

Tanques tormenta: Un tanque de tormentas es una infraestructura de alcantarillado consistente en un depósito dedicado a capturar y retener el agua de lluvia, sobre todo cuando hay precipitaciones muy intensas, para disminuir la posibilidad de inundaciones en los casos en que la capacidad de escurrido del agua es menor que el volumen de lluvia. Tiene además la función de hacer una pre-depuración al evitar que las primeras lluvias, que son las más contaminadas, se viertan directamente a sistemas naturales acuáticos. Estos dispositivos destinados a laminar los caudales máximos de una avenida, son particularmente importantes en las áreas donde se ha producido una impermeabilización masiva de las cuencas por lo general a causa de la urbanización. Son particularmente importantes en el caso de que la red de alcantarillado sea un sistema unitario, es decir que conduce, mezclándolas, las aguas negras y las aguas pluviales (FAO 2013).

Vertedor: Es la estructura de una obra hidráulica de almacenamiento a través de la cual se descargan los volúmenes que exceden la capacidad del embalse, con objeto de evitar fallas por desbordamiento.

De acuerdo con la FAO (2013) los beneficios de la captación de agua de lluvia son:

Económicos

- El agua de lluvia es un recurso gratuito y fácil de mantener. Relativamente limpio que se puede utilizar en actividades que no requieran de su consumo.
- Reducción en las tarifas de agua potable entubada por la disminución en su uso, ya sea en sanitarios, para lavar (superficies, vehículos o ropa), riego de jardines o cultivos, entre otras posibilidades

Medioambientales

- Recargar los acuíferos abatidos.
- Conservación de las reservas de agua potable (ríos, lagos, humedales)
- Fomenta una cultura de conservación y uso óptimo del agua

Sociales

- Disminuir el volumen de agua lluvia que entra al sistema de drenaje combinado (sanitario y pluvial), evitando que se sature y reduciendo las inundaciones y el

- volumen de descargas de aguas negras. Aumentando su disponibilidad para otros usos.
- Reducir la utilización de energía y de químicos necesarios para tratar el agua de lluvia en la ciudad, disminuyendo también el gasto que genera mover y tratar el agua negra del drenaje a distancias lejanas.
 - Aminorar el volumen de agua potable usada en aplicaciones no potables (sanitarios) o de consumo humano (regar jardín).

Aun cuando las ventajas son numerosas, es necesario indicar también que los sistemas de captación de agua de lluvia cuentan con algunas desventajas tales como:

- Dependier directamente de la cantidad de precipitación presentada en la zona.
- La instalación de sistemas adecuados representa una inversión inicial que tarda unos años en amortizarse.
- Se debe tener cuidado con posible contaminación del agua por materia orgánica o animales, razón por la que debe pasar por un proceso de limpieza antes de ser almacenada en un lugar seguro y bien cerrado.
- Y aunque en algunos lugares se considere como agua potable, no es recomendable, ya que depende de las condiciones de cada lugar y de los lugares por los que escurre.

Las propiedades físicas y químicas del agua de lluvia son generalmente superiores a las que presentan fuentes de agua subterránea que pueden ser más duras debido a los minerales que se encuentran en el subsuelo. El agua de lluvia es en teoría pura, sin embargo al caer se escurre a través de superficies arrastrando contaminantes que pueden ser tóxicos. Por ejemplo, en estudios realizados por Organización Mundial de la Salud (OMS) se ha comprobado que en algunos techos tanto de zonas urbanas como rurales, se han registrado valores altos en plomo que se puede atribuir a la composición de los materiales con los que han sido elaborados. También algunos análisis han detectado niveles altos de coliformes totales y coliformes fecales, contaminación que puede ser producida por el excremento de las aves, roedores, etc. (FAO 2013).

Además en zonas urbanas con alto nivel de contaminación en el aire, la situación empeora ya que la atmósfera se contamina de los elementos como: 79% de nitrógeno, 21% de oxígeno y en

menor cantidad otros gases o contaminantes naturales y/o producto de la actividad humana. A esto hay que sumarle que en las ciudades las superficies por las que escurre como calles o techos, tienen niveles más altos de químicos, hidrocarburos, basuras y otros contaminantes.

Por esta razón, si se quiere aprovechar el recurso pluvial en zonas urbanas, se recomienda que el líquido pase por un proceso que retire sedimentos y grasas primero y si se quiere una mayor calidad puede pasar por un proceso de filtrado que retire a mayor profundidad los contaminantes. Una vez se ha pasado por este proceso el agua debe ser almacenada en un lugar seguro y bien sellado.

Sin embargo, si se quiere utilizar para consumo humano se recomienda que pase por un proceso de potabilización. Además, en algunas ciudades se ha registrado lluvia con un alto nivel de ácidos, resultado de la contaminación de la atmósfera por las emanaciones industriales y de los vehículos, en estas situaciones se debe revisar la calidad del aire (FAO 2013).

Por otro lado se tiene que considerar que en las ZMVM, se presenta el fenómeno de la "Lluvia ácida", la cual se define como la lluvia que tiene valores de pH inferiores a los considerados normales. El pH es una escala que va de 0 a 14 y nos indica que tan ácida o alcalina es una sustancia. El agua pura tiene un valor de pH de 7, que se considera neutro; valores de pH menores a 7 son ácidos, como el jugo de limón que tiene un pH de 2.3 y valores superiores a 7 se consideran alcalinos, por ejemplo, la sangre humana con un valor de 7.3. (FAO 2013).

Este fenómeno se produce principalmente debido a la quema de combustibles que lanzan a la atmósfera gases de dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x), los cuales reaccionan químicamente con el vapor de agua y otras sustancias de la atmósfera para formar ácidos sulfúrico (H₂SO₄) y nítrico (HNO₃), dos ácidos fuertes que cuando caen a la superficie mezclados con el agua de lluvia producen una disminución en el pH de la lluvia por debajo de 5.0, lo cual es conocido como lluvia ácida (FAO 2013).

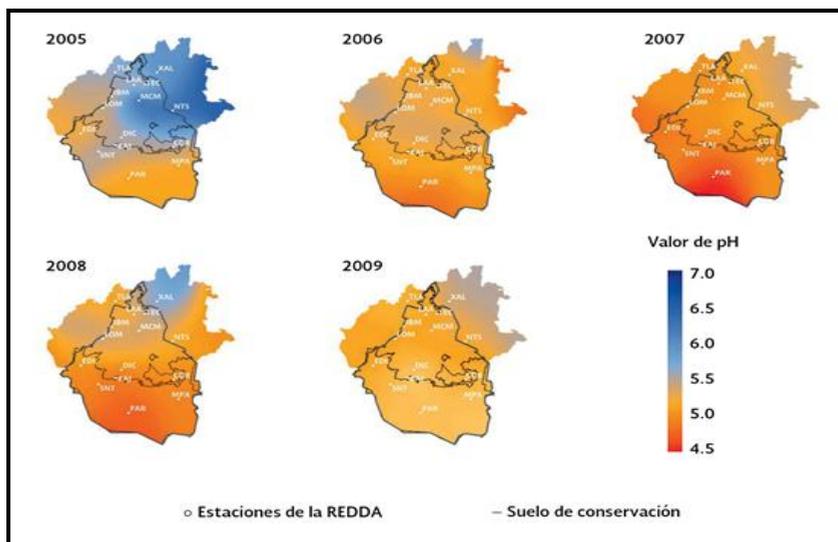


Figura 5. Lluvia ácida en la ZMVM
Fuente FAO 2009

La lluvia ácida puede tener efectos indirectos sobre la salud, ya que las aguas acidificadas pueden disolver metales y sustancias tóxicas de los suelos, rocas, conductos y tuberías y posteriormente transportarlos hacia los sistemas de agua potable. Debido a esta situación y a que el escurrimiento pluvial arrastra contaminantes y aceites de superficies como suelos y tejados, el agua de lluvia debe pasar por un mínimo proceso de filtración y limpieza para uso humano y para ayudar a que no contamine ecosistemas naturales (GOBDF, 1999).

1.3. Características de suelos y mantos freáticos

El suelo es un material constituido por el esqueleto de partículas sólidas rodeado por espacios libres (vacíos) en general ocupados por agua y aire. Para poder describir completamente las características de un depósito de suelo es necesario expresar las distintas composiciones de sólido, líquido y aire, en términos de algunas propiedades físicas. La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados. En el suelo se distinguen tres fases (FAO 2005):

- Sólida: formada por partículas minerales del suelo, incluyendo la capa sólida adsorbida.
- Líquida: generalmente agua (específicamente agua libre), aunque pueden existir otros líquidos de menor significación.
- Gaseosa: comprende sobre todo el aire, si bien pueden estar presentes otros gases, por ejemplo: vapores de sulfuro, anhídridos carbónicos, etc.

La capa viscosa del agua adsorbida, que presenta propiedades intermedias entre la fase sólida y la líquida, suele incluirse en esta última pues es susceptible de desaparecer cuando el suelo es sometido a una fuerte evaporación (secado). Algunos suelos contienen, además, materia orgánica (residuos vegetales parcialmente descompuestos) en diversas formas y cantidades.

Pese a que la capa adsorbida y el contenido de materia orgánica son muy importantes desde el punto de vista de las propiedades mecánicas del suelo, no es preciso considerarlos en la medición de pesos y volúmenes relativos de las tres fases principales. Sus influencias se tomarán en cuenta más fácilmente en etapas posteriores del estudio de ciertas propiedades de los suelos. Las fases líquida y gaseosa conforman el Volumen de Vacíos, mientras que la fase sólida constituye el Volumen de Sólidos. Un suelo está totalmente saturado, cuando todos sus vacíos están ocupados únicamente por agua; en estas circunstancias consta, como caso particular, de sólo dos fases: la sólida y la líquida. Muchos suelos bajo la napa, están saturados.

Entre estas fases es preciso definir un conjunto de relaciones que se refieren a sus pesos y volúmenes, las cuales sirven para establecer la necesaria nomenclatura y para contar con conceptos mensurables, a través de cuya variación puedan seguirse los procesos ingenieriles que afectan a los suelos. En los laboratorios de Geotecnia puede determinarse fácilmente el peso de las muestras húmedas, el peso de las muestras secadas al horno, y el peso específico de los suelos.

De acuerdo a la FAO (2005), existen los siguientes tipos de suelos:

- Suelos granulares: Aquellos en los que los rangos de valores de relación de vacíos y porosidad que se encuentran comúnmente en los suelos granulares dependen de la organización de las partículas en el esqueleto del suelo. En condiciones extremas

pueden ilustrarse considerando un suelo ideal con partículas esféricas de tamaño uniforme.

- Suelos cohesivos: Estos suelos generalmente poseen una proporción de vacíos mucho más alta que la que es posible en suelos granulares. Esto se debe a la actividad electroquímica asociada con las partículas de mineral de arcilla, que dan lugar a la formación de estructuras muy abiertas del tipo "panel de abejas" o similar.
- Arenoso: tiene una estructura pobre, poca fertilidad y no retiene agua
- Arenoso-arcillosos: una estructura pobre y buena fertilidad
- Arcilloso: es de secado lento y retienen mucha agua.
- Subsuelo ácido: pueden ser tóxicos para algunos cultivos.

Las características de los suelos son (FAO, 2005):

➤ Humedad (ω)

Se define el Contenido de Agua o la Humedad de un suelo, como la relación entre el peso del agua contenida en el mismo y el peso de la fase sólida

➤ Saturación

Se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua. En los suelos bien drenados es un estado temporal ya que el exceso de agua drena de los poros grandes por influencia de la gravedad para ser reemplazada por aire.

➤ Grado de saturación

La proporción de vacíos ocupada por el agua se expresa en términos del Grado de Saturación, y se define como la relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos. Varía entre 0 % (suelo seco) y 100 % (suelo totalmente saturado).

➤ Contenido de aire

Grado de Aireación, expresa la proporción de aire presente en un elemento de suelo. Es una magnitud de escasa importancia práctica respecto a las anteriores.

1.4. Procesos de filtración de agua a los mantos acuíferos

De manera natural el agua procedente de las precipitaciones comienza a ser absorbida y a moverse hacia el interior del suelo definiéndose como "agua de infiltración". Conforme sigue lloviendo (o continuamos regando) el agua va ocupando todos los poros y se va moviendo hacia abajo por el perfil del suelo. La que se mueve por los poros de mayor tamaño

(macroporos de más de 10 micras de diámetro) es arrastrada por la fuerza de la gravedad y es conocida como agua de gravitación. Esta agua, si llueve mucho o los riegos son excesivos, atraviesa el perfil del suelo hasta llegar a las capas freáticas profundas. En el caso de que se encuentre con obstáculos, como una capa impermeable en los horizontes inferiores del suelo (generalmente una capa rica en arcillas u horizontes endurecidos: “cretas”) y si la pendiente es débil o nula, se forma una capa de agua suspendida temporal. Esta capa saturada de agua se mantiene sólo durante los períodos húmedos, agotándose en los secos. Se trata de las conocidas charcas, Hay que resaltar que las características geográficas del VRSL, lo hacen un lugar idóneo para la filtración de agua al manto freático profundo (UAM, 2010).

La mayor parte del agua de gravitación, la denominada de flujo rápido, drena durante las primeras horas a través de las grietas y poros más grandes (mayores de 50 micras de diámetro). Otra parte, la de flujo lento, puede tardar varios días en descender a través de los macroporos de menor tamaño (entre 50 y 10 micras) Al cabo de unos días, cuando ya ha drenado el agua de gravitación, el suelo presenta una determinada humedad o capacidad de retención de agua. Este agua es la que se queda en los poros más pequeños (micro-poros menores de 10 micras de diámetro). Se queda retenida por las fuerzas de adsorción que aparecen entre las partículas y las delgadas capas de agua que se encuentran en estos micro-poros (es la misma fuerza que hace que las gotas de agua que se queden pegadas a los cristales y la que permite que el agua suba por los tubos de pequeño diámetro o capilares). Esta agua retenida, después de que ha drenado el agua gravitacional, la podemos dividir en: agua capilar y agua ligada (FAO 2005).

El agua capilar es la fracción del agua retenida por el suelo que puede ser absorbida por las raíces de las plantas, mientras que el agua ligada forma una capa tan fina alrededor de las partículas del suelo y está tan fuertemente unida a ellas que no puede ser aprovechada por las plantas (CIDECALLI,2004).

Una vez que la lluvia llega a la superficie de la tierra se puede infiltrar, correr como flujo sobre la superficie de la tierra o acumularse en las hojas de las plantas o encharcarse, desde donde se evapora nuevamente hacia la atmósfera. Por lo general ocurre una combinación de estos procesos. La lluvia que se infiltra integra el agua del suelo parte de la cual puede ser usada por las plantas para la transpiración, otra parte vuelve a la atmósfera a través de la evaporación

desde la superficie del suelo y otra -si hay suficiente infiltración- puede pasar más abajo de la zona radical como agua subterránea (CIDECALLI,2004).

El agua subterránea se mueve en forma lateral y lentamente hacia el mar para completar el ciclo hidrológico pero parte de esta en su camino filtrará hacia arroyos, ríos y lagos. De esta forma el agua subterránea mantiene el nivel del agua en los pozos y la continuidad de las corrientes de agua durante los períodos secos (conocidos como flujo de base). El agua de lluvia que escurre sobre la tierra se mueve rápidamente aguas abajo hacia los cursos de agua contribuyendo a flujos máximos que siempre son motivo de preocupación. La escorrentía no es solamente un desperdicio del agua de lluvia que podía haber contribuido a la producción de cultivos y a reabastecer las aguas subterráneas sino que además, frecuentemente, causa inundaciones o daña los caminos y las tierras agrícolas, erosiona el suelo que a su vez es depositado en el curso de los ríos y estanques aguas abajo (FAO 2005).

El agua subterránea deriva del agua de lluvia que se ha infiltrado en el suelo y drenado más abajo de la zona radical; es el agua en exceso de la cantidad necesaria para los cultivos y otra vegetación y sobrepasa la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Como ya se menciono el agua subterránea se mueve muy lentamente a través de los materiales del subsuelo en dirección del curso de drenaje dominante. Si la parte superior de la misma, la capa freática, no se sumerge por debajo del nivel del lecho de la corriente, el agua aparece en surgentes que alimentan las corrientes de agua y sus tributarios. Este proceso ocurre durante todo el año y de esta manera el agua subterránea actúa como amortiguador para mantener el flujo básico de la corriente y los niveles de agua en los pozos durante los períodos secos (FAO 2005).

En los suelos con capas de subsuelo relativamente impermeables ubicadas por debajo de capas más o menos permeables, se pueden desarrollar capas de agua por encima del agua subterránea debido a que son retenidas por esas capas impermeables. El agua retenida en esas capas es conocida como interflujo, se mueve lentamente en forma lateral y puede emerger en cursos de agua o en surgentes a menores elevaciones. No contribuye directamente al agua subterránea. La presencia de agua subterránea o de una capa de agua retenida está indicada por suelos saturados, por lo general con una dominancia de suelos de color gris claro, gris azulado, azulado o verdoso. Estos colores son típicos de ciertos

compuestos de hierro que solo se encuentran en lugares de aguas estancadas donde falta oxígeno (FAO, 2002).

La cantidad de agua de lluvia que percola más allá del límite inferior de la zona radical hacia el agua subterránea dependerá de la cantidad de agua usada para la transpiración por los cultivos o la vegetación. En un tipo determinado de suelo y clima, los bosques transpiran más agua que las tierras de pastoreo las cuales, por lo general, usan más agua que los cultivos. El alto consumo de agua de los bosques es debido, en general, a su mayor tasa de transpiración, al período más largo de transpiración en comparación con el de los cultivos y a las raíces más profundas que permiten la absorción de agua desde mayores profundidades. Los cambios en el uso de la tierra pueden, por lo tanto, afectar la cantidad de agua transportada y con ello la cantidad de agua que llega al agua subterránea. El reemplazo de los bosques con pasturas o cultivos anuales puede aumentar el drenaje profundo y de esta manera proporcionar más flujos básicos a las corrientes de agua. Los cambios en el manejo del suelo también pueden afectar la cantidad de drenaje profundo que reabastece el agua subterránea (CIDECALLI 2010).

Los cambios en el uso del suelo y los asentamientos irregulares, sobre todo en zonas de conservación inciden de manera negativa en la proporción de agua de lluvia perdida como escorrentía, ya que reduce el flujo de base e incrementa los flujos máximos y la incidencia de las inundaciones. El manejo del suelo puede afectar en forma importante la escorrentía, la evaporación directa de la superficie del suelo, la cantidad de humedad del suelo disponible para las plantas dentro del alcance de sus raíces y la profundidad a la cual pueden penetrar las raíces. La cantidad de agua que llega a cualquiera de esos destinos depende de la condición física del suelo y su influencia sobre la infiltración y la escorrentía y de las condiciones atmosféricas, ya que estas afectan la evaporación y la transpiración (CIDECALLI, 2004).

Las formaciones geológicas subyacentes, junto con los procesos de meteorización y de levantamiento del suelo, afectan el proceso de filtración. Tienen influencia sobre la inclinación o la poca profundidad de las pendientes, sobre la sinuosidad de las corrientes de agua o sus cambios abruptos de dirección. El agua recogida por una cuenca fluirá hacia el punto de salida más bajo donde puede unirse al agua que emerge de otras Micro-cuencas. Los límites externos de una cuenca se definen por las crestas a lo largo de las partes más altas de las tierras circundantes. En los lados del valle la escorrentía superficial tiende a fluir perpendicularmente a la pendiente desde la parte más alta de la cresta hacia la corriente. Una

micro-cuenca es el área de tierra que divide dos corrientes de agua. El agua se mueve desde la línea de la cresta hacia las corrientes, a ambos lados de la cresta. De esta manera la pendiente de una colina puede ser considerada tanto como la pendiente interna de una cuenca o la pendiente externa de otra cuenca. Al respecto la zona circundante al VRSL, representa una pendiente natural que favorece la captación de agua (FAO, 2002).

La entrada del agua de lluvia en el suelo también depende del grado de porosidad mientras que el manejo de la escorrentía y de la erosión a través de la superficie también depende de las obras físicas que puedan ser construidas cuando las lluvias exceden las mejores tasas de infiltración. De acuerdo con lo anterior es necesaria para la infiltración mantener el suelo poroso con una cobertura de residuos lo cual previene el daño de las gotas de agua de lluvia y proporciona un sustrato para los organismos del suelo (CIDECALLI, 2004).

Se sabe que en las zonas de bosques los residuos de las hojas y ramas caídas además de la vegetación de bajo porte favorecen la escorrentía y más infiltración de agua. Esto ampliará la capacidad de retención de agua y permitirá que las plantas resistan durante más tiempo a los períodos de sequía. Los suelos de textura franca por lo general tienen la mayor capacidad de agua disponible mientras que los suelos arenosos, en el otro extremo, tienen una capacidad reducida de retención de agua, tal como ocurre con la arcilla en el otro extremo.

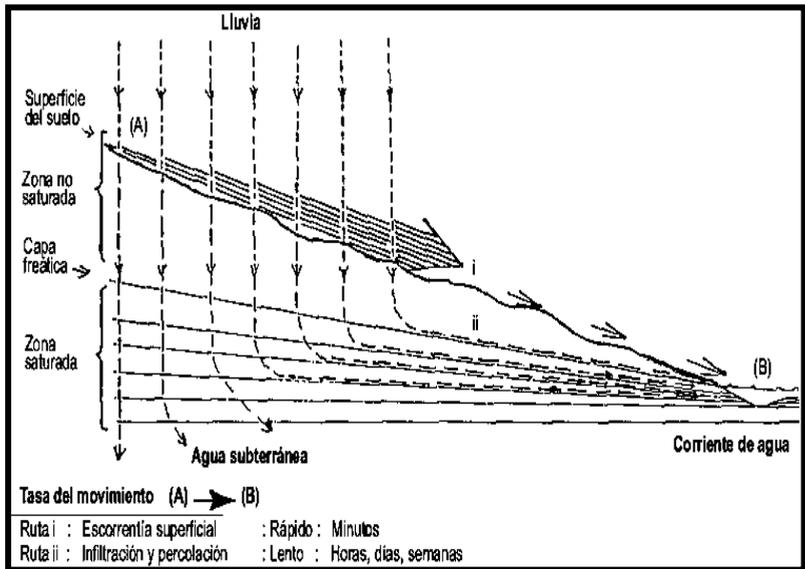


Figura 6. Esquema de escorrentía del suelo
Fuente FAO 2009

Las aguas de las inundaciones corren hacia los ríos y arroyos que aumentan su nivel rápidamente después de fuertes lluvias. Esas aguas derivan en su mayoría del flujo de agua sobre la tierra y el flujo de las inundaciones es por lo general barroso ya que contienen materiales erosionados. Las aguas de corrientes limpias se originan en el agua de lluvia que se ha infiltrado en el suelo y ha percolado a través de poros de distintos tamaños a velocidades diferentes y más lentas. Los pozos excavados proporcionan a la población acceso directo a las aguas subterráneas poco profundas en las cuales confían muchas comunidades rurales, es importante que una cantidad suficiente de agua de lluvia penetre y pase a través del suelo para reabastecer las capas de agua subterránea (FAO, 2002).

En el caso de la ZMVM, el agua que se utiliza en esta zona proviene de tres fuentes: 71% de aguas subterráneas, 26.5% del Río Lerma y Cutzamala y 2.5% del Río Magdalena, de esta forma la principal fuente de abastecimiento la constituyen los mantos acuíferos. El déficit hidráulico ha inducido a la sobreexplotación de los acuíferos, lo cual es resultado de un mayor volumen de extracción de agua del subsuelo con respecto de la cantidad que se infiltra. Anualmente el acuífero se recarga con cerca de 700 millones de metros cúbicos, pero son extraídos 1 300 millones, es decir por cada litro de agua de recarga se extrae casi el doble. Los procesos de deforestación, la expansión urbana hacia sitios de recarga de acuíferos y la canalización de las aguas pluviales al drenaje indican que este desequilibrio se profundizará. Además, las expectativas de una explotación más racional y de la recarga del acuífero resultan todavía inciertas (UAM, 2013).

En el caso de la zona sur del D.F. el suelo se divide en suelo urbano (SUDF) y suelo de conservación (SCDF). El suelo de conservación se localiza principalmente al sur y sur-poniente del Distrito Federal.

El SCDF es una región crítica vital para el bienestar de quienes vivimos en la ciudad y la Zona Metropolitana, por los servicios ambientales que nos da, entre ellos, la recarga de los mantos acuíferos. Se calcula que de estas fuentes obtenemos entre 60 y 70% del agua que consumimos y que la capacidad de infiltración al acuífero es de 165 millones de m³/año, cantidad muy importante para la recarga de los mantos acuíferos. Nuestro suelo de conservación está sometido a diversas presiones que paulatinamente alteran sus condiciones naturales y disminuyen su capacidad para proporcionar servicios ambientales. El deterioro de los bosques en el D.F., está asociado con cambios en el uso del suelo, crecimiento de

asentamientos humanos, degradación de las masas boscosas por incendios, tala ilegal y sobrepastoreo; así como erosión y pérdida de suelo orgánico. Se estima que anualmente se pierden entre 150 y 200 ha de bosques y zonas agrícolas, principalmente por el avance de la mancha urbana, lo que repercute drásticamente en la cantidad de agua que se infiltra al subsuelo, ya que se estima que por cada hectárea que se urbaniza la recarga se ve reducida en promedio en 2.5 millones de litros de agua al año (CONAGUA, 2007). Este fenómeno, se observa claramente en la zona circundante al VRSL, ya que los asentamientos irregulares y los cambios de uso de suelo, afectaron de manera directa su vocación.

1.5. Tratamiento de aguas residuales

Se puede definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos procedentes, tanto de viviendas como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales. Del agua que se precipita en el país el 27 % se transforma en escurrimiento superficial, esto es, se cuenta con 410 kilómetros cúbicos de este líquido en las 320 cuencas del país. El 50 % del escurrimiento superficial se genera en el sureste, en tan sólo el 20 % del territorio, mientras que en una porción del norte que abarca el 30 % del territorio se genera sólo el 4 %. México cuenta con un volumen promedio anual de 5200 m de agua por habitante, cifra que lo ubica teóricamente como un país sin problemas de agua. Sin embargo, al efectuar el balance regional aparecen zonas con marcados déficit, donde el reuso podría ser una solución (CONAGUA, 2007).

Por su origen las aguas residuales presentan en su composición diferentes elementos que se pueden resumir como:

Componentes suspendidos

- Gruesos (inorgánicos y orgánicos)
- Finos (inorgánicos y orgánicos)

Componentes disueltos

- Inorgánicos
- Orgánicos

En general las aguas residuales se clasifican en:

- Aguas residuales domésticas (ARD): son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas. Su composición varía según los hábitos de la población que los genera.
- Aguas lluvias (ALL): son las originadas por el escurrimiento superficial de las lluvias que fluyen desde los techos, calles, jardines y demás superficies del terreno. Los primeros flujos de ALL son generalmente muy contaminados debido al arrastre de basura y demás materiales acumulados en la superficie. La naturaleza de esta agua varía según su procedencia: zonas urbanas, rurales, semi-rurales y aún dentro de estas zonas se presentan enormes variaciones según el tipo de actividad o uso del suelo que se tenga.
- Residuos líquidos industriales (RLI): son los provenientes de los diferentes procesos industriales. Su composición varía según el tipo de proceso industrial y aún para un mismo proceso industrial, se presentan características diferentes en industrias diferentes. Los RLI pueden ser alcalinos o ácidos, tóxicos, coloreados, etc. su composición refleja el tipo de materias primas utilizado dentro del proceso industrial (CIDECALLI, 2004).
- Aguas residuales agrícolas (ARA): son las que provienen de la escorrentía superficial de las zonas agrícolas. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, sales y un alto contenido de sólidos en suspensión. La descarga de esta agua es recibida directamente por los ríos o por los alcantarillados.

La acumulación y estancamiento del agua residual pueden generar gases de mal olor debido a la descomposición orgánica que ésta posee; además es importante anotar que en el agua residual hay existencia de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano o que pueden estar en ciertos residuos industriales. Pero no todo es negativo, las aguas residuales contienen nutrientes que en gran parte ayudan al crecimiento de plantas acuáticas (CIDECALLI, 2004).

Los principales contaminantes en el agua residual pueden ser (CIDECALLI, 2004):

- Carbono orgánico total (COT): Concentración de carbono orgánico oxidable presente en el agua.

- DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno): Cantidad de oxígeno consumido por la actividad metabólica de microorganismos, en un período de cinco días, a 20 °C considerando la suma de las concentraciones solubles y en suspensión.
- Sólidos totales disueltos (STD): Cantidad total de sólidos expresada en mg/L o ppm, que permanecen en una muestra de agua cuando ésta se evapora totalmente.
- Sólidos suspendidos totales (SST): Concentración de partículas que son retenidas en un medio filtrante de microfibra de vidrio, con un diámetro de poro de 1.5 micrómetros o su equivalente.

Aquellos métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos se conocen como operaciones unitarias, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza con base en procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios al referirse a operaciones y procesos unitarios es porque se agrupan entre sí para constituir los tratamientos: (CIDECALLI,2004).

- Tratamientos preliminares: Aunque no reflejan un proceso en sí, sirven para aumentar la efectividad de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Las aguas residuales que fluyen desde los alcantarillados a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), son muy variables en su flujo y contienen gran cantidad de objetos, en muchos casos voluminosos y abrasivos, que por ningún motivo deben llegar a las diferentes unidades donde se realizan los tratamientos y deben ser removidos. Para esto son utilizados los tamices, las rejas, los micro-filtros, etc.
- Tratamientos primarios. El principal objetivo es el de remover aquellos contaminantes que pueden sedimentar, como por ejemplo los sólidos sedimentables y algunos suspendidos o aquellos que pueden flotar como las grasas. El tratamiento primario presenta diferentes alternativas según la configuración general y el tipo de tratamiento que se haya adoptado.

Se puede hablar de una sedimentación primaria como último tratamiento o precediendo un tratamiento biológico, de una coagulación cuando se opta por tratamientos de tipo físico-químico. Sedimentación primaria: se realiza en tanques ya sean rectangulares o cilíndricos en donde se remueve de un 60 a 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales.

En la sedimentación primaria el proceso es de tipo floculento y los lodos producidos están conformados por partículas orgánicas. Un tanque de sedimentación primaria tiene profundidades que oscilan entre 3 y 4m y tiempos de detención entre 2 y 3 horas. En estos tanques el agua residual es sometida a condiciones de reposo para facilitar la sedimentación de los sólidos sedimentables.

El porcentaje de partículas sedimentadas puede aumentarse con tiempos de detención más altos, aunque se sacrifica eficiencia y economía en el proceso; las grasas y espumas que se forman sobre la superficie del sedimentador primario son removidas por medio de rastrillos que ejecutan un barrido superficial continuo. Precipitación química – coagulación: la coagulación en el tratamiento de las aguas residuales es un proceso de precipitación química en donde se agregan compuestos químicos con el fin de remover los sólidos. El uso de la coagulación ha despertado interés sobre todo como tratamiento terciario y con el fin de remover fósforo, color, turbiedad y otros compuestos orgánicos.

- Tratamientos secundarios: El objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables. El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la descomposición de los contaminantes orgánicos en periodos cortos de tiempo. Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85% de la DBO y los SS aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y bacterias patógenas (PUMAGUA, 2011).

Además de la materia orgánica se va a presentar gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc. que entran en estrecho contacto con la materia orgánica la cual es utilizada como su alimento. Los microorganismos convierten la materia orgánica biológicamente degradable en CO₂ y H₂O y nuevo material celular. Además de estos dos ingredientes básicos microorganismos – materia orgánica biodegradable, se necesita un buen contacto entre ellos, la presencia

de un buen suministro de oxígeno, aparte de la temperatura, PH y un adecuado tiempo de contacto. Para llevar a efecto el proceso anterior se usan varios mecanismos tales como: lodos activados, biodisco, lagunaje, filtro biológico.

Lodos activados: es un tratamiento de tipo biológico en el cual una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada. Los lodos biológicos producidos son separados y un porcentaje de ellos devueltos al tanque de aireación en la cantidad que sea necesaria. En este sistema las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblar los compuestos orgánicos que a su vez son utilizados para su crecimiento. A medida que los microorganismos van creciendo se aglutinan formando los lodos activados; éstos más el agua residual fluyen a un tanque de sedimentación secundaria en donde sedimentan los lodos. Los efluentes del sedimentador pueden ser descargados a una corriente receptora; parte de los lodos son devueltos al tanque con el fin de mantener una alta población bacteriana para permitir una oxidación rápida de la materia orgánica.

Biodisco: es tan eficaz como los lodos activados, requiere un espacio mucho menor, es fácil de operar y tiene un consumo energético inferior. Está formado por una estructura plástica de diseño especial, dispuesto alrededor de un eje horizontal. Según la aplicación puede estar sumergido de un 40 a un 90% en el agua a tratar, sobre el material plástico se desarrolla una película de microorganismos, cuyo espesor se autorregula por el rozamiento con el agua, en la parte menos sumergida, el contacto periódico con el aire exterior es suficiente para aportar el oxígeno necesario para la actividad celular.

Lagunaje: el tratamiento se puede realizar en grandes lagunas con largos tiempos de retención (1/3 días) que les hace prácticamente insensibles a las variaciones de carga, pero que requieren terrenos muy extensos. La agitación debe ser suficiente para mantener los lodos en suspensión excepto en la zona más inmediata a la salida del efluente.

Filtro biológico: está formado por un reactor, en el cual se ha situado un material de relleno sobre el cual crece una película de microorganismos aeróbicos con aspecto de limos. La altura del filtro puede alcanzar hasta 12m. El agua residual se descarga en

la parte superior mediante un distribuidor rotativo cuando se trata de un tanque circular. A medida que el líquido desciende a través del relleno entra en contacto con la corriente de aire ascendente y los microorganismos. La materia orgánica se descompone lo mismo que con los lodos activados, dando más material y CO₂. (PUMAGUA, 2011).

- **Tratamientos terciarios:** Tienen el objetivo de remover contaminantes específicos, usualmente tóxicos o compuestos no biodegradables o aún la remoción complementaria de contaminantes no suficientemente removidos en el tratamiento secundario. Como medio de filtración se puede emplear arena, grava antracita o una combinación de ellas. El pulido de efluentes de tratamiento biológico se suele hacer con capas de granulometría creciente, duales o multimedia, filtrando en arena fina trabajando en superficie. Los filtros de arena fina son preferibles cuando hay que filtrar flocos formados químicamente y aunque su ciclo sea más corto pueden limpiarse con menos agua. La adsorción con carbón activo se utiliza para eliminar la materia orgánica residual que ha pasado el tratamiento biológico.

En las plantas de aguas residuales se lleva a cabo el proceso de:

Tamizado: los tamices auto-limpiantes están contruidos con mallas dispuestas en una inclinación particular que deja atravesar el agua y obliga a deslizarse a la materia sólida retenida hasta caer fuera de la malla por sí sola. La gran ventaja de este equipo es que es barato, no tiene partes móviles y el mantenimiento es mínimo, pero necesita un desnivel importante entre el punto de alimentación del agua y el de salida.

Rejas: se utilizan para separar objetos de tamaño más importante que el de simples partículas que son arrastrados por la corriente de agua. Se utilizan solamente en desbastes previos. El objetivo es proteger los equipos mecánicos e instalaciones posteriores que podrían ser dañados u obstruidos con perjuicio de los procesos que tuviesen lugar. Se construyen con barras metálicas de 6 o más mm de espesor, dispuestas paralelamente y espaciadas de 10 a 100 mm. Se limpian mediante rastrillos que pueden ser manejados manualmente o accionados automáticamente. Para pequeñas alturas de la corriente de agua se emplean rejas curvas y para alturas mayores rejas longitudinales dispuestas casi verticalmente.

Micro-filtración: los micro-filtros trabajan a baja carga, con muy poco desnivel, y están basados en una pantalla giratoria de acero o material plástico a través de la cual circula el agua. Las partículas sólidas quedan retenidas en la superficie interior del micro-filtro que dispone de un sistema de lavado continuo para mantener las mallas limpias. Se han utilizado eficazmente para separar algas de aguas superficiales y como tratamiento terciario en la depuración de aguas residuales. Según la aplicación se selecciona el tamaño de malla indicado. Con mallas de acero pueden tener luces del orden de 30 micras y con mallas de poliéster se consiguen buenos rendimientos con tamaños de hasta 6 micras (PUMAGUA, 2011).

Plantas de tratamiento de aguas en la ZMVM

Si revisamos las estadísticas del agua en México, podemos darnos cuenta que en los últimos años se ha incrementado la cobertura de agua potable y alcantarillado para los hogares, sobre todo urbanos, sin embargo el tratamiento de las aguas usadas por la población no ha aumentado en la misma proporción. Así, mientras se cubre el 90.3% de las necesidades de agua potable en el país, y el 86.4% del alcantarillado, tan sólo el 40.2 % de las aguas residuales son tratadas. (CONAGUA, 2009) Esto quiere decir que una gran parte de las aguas servidas regresan a los cauces naturales sin ningún tratamiento, contaminando los cuerpos de agua, cambiando su química y alterando gravemente a los ecosistemas que dependen de ellos.

Según la última información publicada disponible que cubre el año 2008, en México existen 1833 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación formal, repartidas en los diferentes estados que conforman la República. La capacidad instalada de estas plantas es de 113 metros cúbicos por segundo (m^3/s), sin embargo, el caudal procesado es de 83.6 m^3/s , equivalente al 40.2% del total de las aguas residuales colectadas en los sistemas formales de alcantarillado municipal, estimado en 208 m^3/s . El rango del caudal tratado va desde 61.3 litros por segundo (l/s) en Campeche, hasta 11,646 l/s en Nuevo León. Sólo dos estados de la República tratan el 100% de las aguas que recogen en alcantarillas: Aguascalientes y Nuevo León. (CONAGUA, 2009:46)

En una evaluación hecha a una muestra de plantas de tratamiento por personal de la CONAGUA, se encontró que la mayoría “correspondían a diseños sobredimensionados en los que, además, se observa una excesiva mecanización, instrumentación y automatización, que

encarece y complica, tanto la operación y el mantenimiento, como la amortización de las inversiones.” (Romero, et. al.) Se señala también en esta evaluación que la existencia generalizada de sistemas de drenaje en los que se combinan aguas negras y de lluvia, entorpece las operaciones de tratamiento durante la época de lluvias, lo mismo que las descargas de tóxicos industriales sin tratamiento previo.

Actualmente, el área metropolitana genera 40 m³/s de aguas residuales. Hay capacidad instalada para el tratamiento de 10 m³/s, se logra tratar solo 5.2 m³/s, y una parte de las aguas son regresadas a la tubería y canales de desagüe. Los usos del agua tratada actualmente son cuatro:

- Llenado de canales y lagos en Xochimilco, Tláhuac, Chapultepec y Bosques de Aragón: PTAR Cerro de la Estrella, San Luis Tlaxialtemalco, San Lorenzo y Bosques de Aragón.
- Riego agrícola metropolitano: PTAR San Pedro Actopan, San Andrés Mixquic, La Lupita, San Nicolás Tetelco y Cerro de la Estrella.
- Riego de áreas verdes, camellones, parques y jardines: PTAR: Coyoacán, Reclusorio Sur, PEMEX-Picacho, Tlatelolco, Iztacalco, Campo Militar, Cd. Deportiva, Parrés y Chapultepec.
- Reuso industrial: PTAR Acueducto de Guadalupe y Santa Bárbara.

En particular, la PTAR Cerro de la Estrella, siendo la más grande de la ciudad, ha realizado un importante papel en el saneamiento desde finales de los años 1950, cuando empezó a enviar aguas tratadas a las zonas chinamperas-lacustres de Xochimilco para reemplazar el agua de manantiales desecados(UAM, 2013)

1.6. Usos de agua tratada para mejoramiento ambiental en la zona urbana

Para considerar el re-uso del agua residual tratada, aparte del tratamiento biológico y degradación de la materia orgánica se requiere una desinfección posterior del agua tratada. Los sistemas combinados a menudo ofrecen una solución óptima para el re-uso de las aguas residuales. Particularmente la combinación entre sistemas técnicos y componentes naturales proporcionan varias ventajas. Una combinación entre una planta de tratamiento SBR compacta

para la depuración biológica y de un humedal artificial para la desinfección posterior, ofrece una solución óptima para el re-uso y el cumplimiento de las normas mexicanas establecidas (SEMARNAT 2009).

Actualmente las aguas residuales municipales se reusan en regiones con poca disponibilidad de agua, aún cuando en la mayoría de los casos se hace en forma inapropiada.

Las aguas residuales de la Ciudad de México se utilizan en la agricultura en el distrito de riego 03 (aguas no tratadas). Y en el contexto urbano proporcionan agua tratada para varios propósitos dentro de la ciudad, incluyendo: Riego de parques públicos y centros recreativos, campos deportivos, jardines de escuelas y campos de juego, camellones y áreas verdes alrededor de edificios públicos. Usos comerciales como lavado de vehículos, ventanas, agua de mezcla para pesticidas, herbicidas y fertilizantes líquidos. Control de polvo y producción de concreto en procesos de construcción. Protección contra incendios y finalmente en excusados en edificios comerciales e industriales

Calidad requerida de agua tratada para su re-uso.

La calidad del agua residual tratada saliendo de un tratamiento debe cumplir estrictamente con las Normas Oficiales Mexicanas:

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

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

TABLA 1. NORMAS PARA EL RE-USO DEL AGUA				
VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DBO ₅ (DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO), COLIFORMES FECALES (BACTERIAS FECALES DETECTADAS SEGÚN EL “NÚMERO MÁS PROBABLE”) Y NITRÓGENO TOTAL.				
PARÁMETRO	USO EN RIEGO AGRÍCOLA	USO PÚBLICO URBANO	SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO*
	NOM-001-ECOL-1996		NOM-003-ECOL-1997	
DBO ₅ (mg/l)	150	75	30	20
Coliformes fecales NMP/100ml	n. d	n. d.	1000	240
N _{total}	40	40	n. d.	n. d.
<p><i>NOM-ECOL-003-1997: “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 esta Norma Oficial Mexicana 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”.</i></p>				

En 2010 se recolectaron 209.1 m³/s de aguas residuales, de las cuales se trató 88.1 m³/s (2,857 Mm³/s, 42%). Se estima que para 2012 recibirá tratamiento 60% de las aguas recolectadas ,55 ciudades reúsan 171 m³/s de aguas negras (91% del total) para el riego directo o indirecto de 250,000 ha. Se estima que en 2008 en México se reutilizaron solamente 5,051 Mm³ de agua (UAM, 2013).

Los principales usos en la ZMVM son:

Hidroparques, es un parque paisajístico-recreativo (parque acuático) creado como un complejo de entretenimiento con actividades de agua, principalmente: playas, paseos en bote, atracciones de agua.

Lagos artificiales, en recreación se han utilizado aguas residuales tratadas en el llenado de lagos como el de Chapultepec, San Juan de Aragón y Xochimilco, entre otros. Además se usan

para el riego de áreas verdes. Los lagos, lagunas o embalses de agua artificiales son en realidad presas construidas para retener el agua que luego será utilizada para abastecer las ciudades o regar los campos. Suministran beneficios prácticos y estéticos. Hasta los años 80's, el revestimiento más común era un suelo revestido, típicamente con arcillas, variando espesores y contruidos por equipo pesado. Actualmente las geomembranas proporcionan una alternativa más económica, de rápida instalación, que los sistemas de revestimiento con arcillas, las cuales se secan y agrietan con el tiempo; superando en todo a las arcillas (RHO, 2010).

Sistemas de riego, en las zonas urbanas, desde inicios de la década de 1970 se consideró que era necesario disminuir la descarga de aguas residuales en el subsuelo y procurar que fuesen recolectadas y procesadas para su reutilización. Las principales actividades de reuso son irrigación de jardines, parques, lagos y limpieza de autos. El uso de agua residual para riego agrícola tiene sus orígenes en la construcción de una salida para las aguas residuales del Valle de México. En el año 1890 se comenzaron a aprovechar estas aguas en la región del Valle del Mezquital en Tula, Hidalgo., para el riego por inundación de cereales, hortalizas y alfalfa. Posteriormente, esta región se estableció como el Distrito de Riego 03, ampliándose a la fecha al Valle de Alfajayucan en el Distrito de Riego 100, también en Hidalgo .Dentro del Valle de México, algunas áreas ubicadas a lo largo del Gran Canal del Desagüe también aprovechan las aguas residuales originadas en la Ciudad de México, principalmente en Chalco y Chiconautla en el Estado de México. Otros distritos que utilizan aguas residuales son Valsequillo, Puebla; Tulancingo, Hidalgo, y Ciudad Juárez, Chihuahua. Aun siendo el riego con aguas residuales una práctica común y extensiva en México, técnicamente sólo se han realizado estudios de sus efectos en las zonas aledañas al área metropolitana de la Ciudad de México (Tula, Chiconautla, Lago de Texcoco y Xochimilco) y en General Escobedo, N.L., que utiliza las aguas residuales de la ciudad de Monterrey (CONAGUA, 2006).

De acuerdo a la FAO (2005), los sistemas de riego más utilizados son:

Riego con aspersores, tienen un alcance superior a 6 m., es decir, tiran el agua de 6 metros en adelante, según tengan más o menos presión y el tipo de boquilla. Los aspersores los dividimos en emergentes, se levantan del suelo cuando se abre el riego y cuando se para, se retraen y móviles; se acoplan al extremo de una manguera y se van pinchando y moviendo de un lugar a otro.

Riego con difusores, son parecidos a los aspersores pero más pequeños. Tiran el agua a una distancia de entre 2 y 5 metros, según la presión y la boquilla que utilizemos. El alcance se puede modificar abriendo o cerrando un tornillo que llevan muchos modelos en la cabeza del difusor. Se utilizan para zonas más estrechas. Por tanto, los aspersores para regar superficies mayores de 6 metros y los difusores para superficies pequeñas. Los difusores siempre son emergentes.

La agricultura representa una fracción importante del total de la demanda de agua de segundo uso. Los constituyentes del agua residual tratada que preocupan si ésta se utiliza en agricultura son: salinidad, sodio, elementos traza, cloro residual y nutrientes. El uso de aguas residuales tratadas en la agricultura se practica en cerca de medio centenar de países y ocupa una superficie que asciende al 10 por ciento del total de tierras cultivadas a nivel mundial, según el informe "La riqueza de los residuos: economía del uso de las aguas residuales en la agricultura", publicado en la Semana Mundial del Agua (Estocolmo, del 5 al 11 de septiembre, 2010). Si bien a escala global tan solo una pequeña parte de las aguas residuales tratadas se utilizan para la agricultura, esta práctica atrae cada vez mayor interés en todo el mundo, y en algunos países -España y México, por ejemplo- un porcentaje elevado de las aguas tratadas se destinan al riego (CONAGUA, 2006).

En 1995 se empleaban en la ZMVM 102 m³/s de agua residual para cubrir 256 827 ha, sin diferenciar cuánta era de origen industrial y cuánta municipal, y sin control ni supervisión sanitarios. Esto, junto con la preferencia de los usuarios por las aguas residuales sobre el agua clara, hizo de su empleo una práctica ordinaria, sin ningún control sanitario hasta la aparición de la NOM 032 y 033 en su versión de Norma Técnica Eco lógica de 1988. La NOM 067 completaba el esquema regulatorio, el cual ahora se incluye en la NOM 001/Ecol96 (CONAGUA 2006).

El Programa de Acción Internacional sobre el Agua y el Desarrollo Agrícola Sostenible (PAI-ADAS), dirigido por la FAO (2005), también ha identificado al riego de pequeña escala como una de sus esferas prioritarias. En función del tipo de emisor utilizado y su colocación se distinguen tres tipos de riego localizado:

Por goteo, es el sistema de riego localizado más popular. El agua circula a presión por la instalación hasta llegar a los goteros, en los que se pierde presión y velocidad, saliendo gota a

gota. Son utilizados normalmente en cultivos con marco de plantación amplio (olivar, frutales, etc.), cultivo en invernadero (tomate, pimiento, pepino, melón, ornamentales), y en algunos cultivos en línea (algodón, coliflor, repollo, patata, etc.).

Por tuberías emisoras, se caracteriza por la instalación de tuberías emisoras sobre la superficie del suelo creando una banda continua de suelo humedecido y no en puntos localizados como en el riego por goteo. Su uso más frecuente es en cultivos en línea con muy poca distancia entre plantas. Las más utilizadas son las tuberías goteadoras y las tuberías exudantes.



Figura 7. Sistemas de riego
Fuente FAO 2009

Por micro-aspersión y micro-difusión, en el riego por micro-aspersión, el agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia muy fina, mojando una zona determinada que depende del alcance de cada emisor. Está indicado tanto para cultivos leñosos como para cultivos herbáceos de distinto marco de plantación. Se distinguen los emisores denominados micro-aspersores y los denominados micro-difusores. En ambos casos suelen trabajar a presiones entre 1 y 2 kg/cm² y suministran caudales de hasta 200 l/h.

El reuso industrial representa un mercado potencial significativo para el agua tratada en muchas ciudades en desarrollo, pues es ideal para industrias donde los procesos no requieren un a calidad potable. El agua tratada puede ser desviada del reciclado de aguas de la planta industrial y/o instalaciones para aguas municipales tratadas. El reciclado dentro de una planta industrial es generalmente una parte integral del proceso y debe ser desarrollado específicamente para cada caso. En la industria, se usan aguas residuales tratadas en la papelería de San Cristóbal. El reuso de agua tratada en la industria de celulosa y papel está en función del costo y calidad del papel. Entre más alta sea su calidad, se requiere una mejor calidad del agua. Las impurezas, particularmente ciertos iones metálicos y cuerpos de color pueden causar que el papel producido cambie de color con el tiempo (CONAGUA, 2006).

Se identifican actualmente sólo dos tipos de práctica. Una de ellas corresponde a plantas industria les que se abastecen directamente del alcantarillado, y ellas mismas se encargan del tratamiento para cumplir con sus requerimientos de calidad. En este caso están las termoeléctricas del Valle de México y Tula de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la refinería de Pemex en Tula y Altos Hornos de México, en Monclova. La termoeléctrica de Tula, por ejemplo, cuenta con una planta que trata de 850 a 1300 l/s de agua residual del Gran Canal para emplearla en enfriamiento. La otra práctica es el tratamiento y suministro de agua tratada a un reducido grupo de empresas, algunas de ellas localizadas en la ciudad de Monterrey, y otras en la zona Metropolitana del Valle de México. El reuso en Monterrey fue la primera experiencia en su tipo en el país y data de 1955 (CONAGUA, 2006). La empresa Agua Industrial de Monterrey opera una planta de 300 l/s y distribuye el agua a varias industrias. En el interior de las torres se monta un empaque o relleno con el propósito de aumentar la superficie de contacto entre el agua caliente y el aire que la enfría.

En las torres se colocan deflectores o eliminadores de gotas o niebla que atrapan las gotas de agua que fluyen con la corriente de aire hacia la salida de la torre, con el objeto de disminuir la posible pérdida de agua. El agua se introduce por el domo de la torre por medio de vertederos o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible (SEMARNAT, 2009)

En Lechería Edomex. y Tula Hgo., se emplean para enfriar los sistemas de generación de energía eléctrica. En el ámbito industrial el reuso principal es en torres de enfriamiento, se estima que son 240,000 m³/d principalmente en Monterrey y la Ciudad de México (87.6 Mm³/año = 1.7%) Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en

grandes volúmenes porque, son el medio más económico para hacerlo, si se compara con otros equipos de enfriamiento como los cambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de una pared. En el estado de México la planta de San Juan Ixhuatepec, S.A. abastece a los socios industriales con 160 l/s de agua tratada que capta del Río de Los Remedios (CONAGUA, 2006).

El agua para uso recreativo deberá ser estéticamente agradable, sin olores molestos, virtualmente libre de sustancias como aceite, grasas, materia flotante y libre decrecimiento acuático que pudieran provocar dificultades para su uso. Deberá considerarse libre de patógenos y sustancias tóxicas que pudieran causar irritación de ojos o de la piel. También deberá ser suficientemente clara para permitir localizar objetos sumergidos (CONAGUA, 2006).

- Uso recreativo con contacto directo.-Se refiere al agua en la que el ser humano está sumergido o en contacto prolongado. Esto incluye actividades como natación y esquí acuático.

- Uso recreativo sin contacto directo prolongado.-Se refiere al agua con la que el ser humano entra en contacto sólo ocasionalmente y por periodos limitados. Estas actividades incluyen el remo y velleo. Se puede aprovechar cualquier espacio para la adecuación de un río, lago, estero, presa, etc. y poder practicar el canotaje, con Kayak o canoa, e incluso funcionar como pistas de competencia sugiriendo que cumplan con los siguientes requisitos:
 - ✓ Una longitud mínima de 1200 metros.
 - ✓ Un ancho mínimo de 90 metros.
 - ✓ Una profundidad mínima de 1.80 metros.
 - ✓ Disponibilidad de una casa de botes.
 - ✓ Máxima protección posible del viento.
 - ✓ Cercanía a un poblado.

1.7. Patrimonio Hídrico

La historia del surgimiento del concepto de patrimonio mundial ha sido definido y caracterizado por la Conferencia General de la UNESCO, hace apenas 10 años con motivo de la conmemoración de 3 décadas de la Convención, se creó un concepto que implicaba una

actitud de solidaridad internacional hacia los bienes culturales y naturales, los más preciados para la humanidad. Para la UNESCO (2012) el término patrimonio se refiere al conjunto de bienes heredados que se viven en el presente y que deben ser protegidos y conservados, para ser transmitidos a las futuras generaciones. El Patrimonio está integrado por bienes o sitios que poseen un valor, ya sea de carácter universal excepcional, cultural o social, es decir, que tienen una importancia cultural o natural extraordinaria, que trascienden fronteras y tienen un significado especial dentro de la historia de la región, comunidad o incluso la humanidad.

El patrimonio hídrico se ha descrito dentro de los estudios del medio ambiente, ya que actualmente se evidencia un interés académico y gran preocupación mundial, por todas las amenazas e incertidumbres que plantea al hombre su degradación, en particular el tema del agua. Y este justamente, ha sido un aporte indiscutible de la ciencia; de hecho la relación entre población y entorno, si se prefiere utilizar este término, el cual ha ocupado una parte sustancial de las valoraciones. Y en muchos casos se habla de "restituir la funcionalidad" de los espacios hídricos. La UNESCO, es la institución encargada de los elementos considerados como patrimonio. Mediante la Convención de Patrimonio Mundial de 1972, tiene la responsabilidad de garantizar la conservación y disfrute de estos sitios inscritos en la Lista del Patrimonio Mundial. Sin perjuicio de las soberanías nacionales o de su propiedad, estos sitios pertenecen a todos para compartirlos, cuidarlos y respetarlos. Su desaparición sería una pérdida irreparable para la humanidad.

1.8. Vocación del VRSL

La vocación de un sitio es un término considerado como un proceso que se desarrolla durante un periodo de tiempo y que se construye de forma permanente. Implica descubrir la verdadera funcionalidad de un lugar. La vocación debería ser aquello que identifica plenamente al sitio. En el caso del VRSL, las añoranzas de la comunidad están ligadas a su vocación, sin embargo en términos reales, actualmente se encuentra recibiendo descargas de agua residual de las zonas urbanas cercanas y del Reclusorio Sur ubicado a unos kilómetros, además de ser un lugar de acumulación de basura (UNAM,2010).

1.9. Un caso de rescate “Parque Ecológico Xochimilco PEX”

En 1987 la UNESCO declaró a Xochimilco Patrimonio de la Humanidad y en 1988 las campañas políticas enfocadas a la sucesión presidencial llevaron a los candidatos a recorrer el

país incluyendo esta región y se inicia el rescate ecológico de Xochimilco. El 21 de noviembre de 1989, el gobierno de la República aprobó el Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco. Ya con la instrucción presidencial de enfrentar a fondo el problema, el gobierno del Distrito Federal inicia la estrategia con la creación del Consejo Asesor.

El Parque Ecológico de Xochimilco (PEX) es el primero de su tipo en México que funciona con el esquema operativo de obra pública manejada y administrada por una asociación civil, comprometida mediante un permiso de uso otorgado por el gobierno de la ciudad a la conservación y mejoramiento del parque, utilizando para ello los ingresos generados por la propia operación del PEX, teniendo entre sus objetivos primordiales alcanzar en el menor tiempo posible la auto-financiabilidad y autosuficiencia en todos aspectos. Si bien el proyecto gubernamental contemplaba el PEX como un gran espacio de naturaleza reconstruida con carácter meramente recreativo, el Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco, A.C. a cuyo cargo se encuentra el PEX incluyó entre sus objetivos orientarlo a ser un centro de investigación y de educación ambiental, dirigido en primera instancia a la comunidad de Xochimilco, a los habitantes de la ciudad de México en seguida, y en tercer lugar pero sin menor importancia al turismo nacional e internacional.

En las 189 hectáreas que abarca el PEX se ha logrado recuperar gran parte de la fauna y flora endémicas, sobre todo muchas especies de aves lacustres, terrestres y volátiles, así como rehabilitar e incrementar controladamente la cobertura vegetal. Mención especial merece la zona de chinampas didáctico - productivas, cultivadas con técnicas tradicionales, como parte de la colaboración del Patronato en la preservación de la cultura y costumbres propias de la región xochimilca, y como muestra clara del desarrollo sustentable. El PEX es un modelo de rescate ecológico, en el que se conjuntó el trabajo de gobierno y sociedad, incluyendo en ésta a la comunidad de Xochimilco y a especialistas de diversas disciplinas científicas y sociales. El resultado de esta labor es un rescate integral ecológico, hidráulico, histórico y arqueológico de Xochimilco.

Capítulo 2 Inundaciones en la Ciudad de México (1900-1940) y acciones de Mitigación

2.1. Inundaciones en la Ciudad de México (1900-1940)

El problema de las inundaciones en México comenzó desde épocas prehispánicas, para efectos de la presente investigación abordaremos sólo en el periodo de México independiente. El valle de México no cuenta con ninguna salida de drenaje natural para las aguas que provienen de las laderas, lo cual hacía que la ciudad fuera vulnerable a las inundaciones. Alrededor del siglo XVII se realizó artificialmente el uso de canales y túneles y se drenó por completo el lago de Texcoco.

En 1856 las inundaciones eran cada vez más continuas y generaban daños en la infraestructura de la ciudad, en algunas zonas el agua alcanzaba hasta tres metros de altura. Los registros de esa época describen que el Ing. Francisco de Garay, propuso construir un canal que saliera desde San Lázaro y atravesara los lagos de Texcoco, San Cristóbal y Zumpango, canalizando sus aguas y las de los ríos que cruzara a su paso. Un túnel, al final del canal, conduciría las aguas hacia el río Tequixquiac (Ver fig. 7). El proyecto buscaba un aprovechamiento integral del agua del valle, sin desecarlo totalmente.

Durante esta época, existieron algunas dificultades políticas que impidieron las obras; y fue hasta el Imperio de Maximiliano cuando se inició la tarea, que se prolongó durante la época de la Restauración de la República y el Porfiriato. En el siglo XIX, en la Cd. De México se inaugura el Túnel de Tequixquiac, posteriormente en 1906 comienza la construcción del acueducto que transportaría agua de los manantiales de Xochimilco a la ciudad de México. La construcción se realiza en Nativitas, dando lugar al primer pozo profundo de la ciudad, ya que alcanza los nueve metros de profundidad.



Figura 8. Inundaciones del centro en 1950
Fuente: Arqueomex

Durante la década de 1920, la ciudad vuelve a inundarse y para 1927, se excavan pozos con bombas en los manantiales de San Luis Tlaxialtemalco. Ya en 1930, se extraía agua de 350 pozos profundos. En 1936, se perforaron los primeros 18 pozos profundos, de entre 100 y 200 m, lo que marca el comienzo de la explotación intensiva del manto acuífero, entre 1937 y 1942 se construye un túnel adicional al de Tequiquiac. Y en 1950, eran ya 700 los pozos de los que se extraía agua.

En agosto de 1939 se desbordan los ríos Consulado y de los Remedios lo que produce inundaciones al poniente y norte de la ciudad, sobre varias de las nuevas colonias. Estos dan pie para levantamientos topográficos que indican que la ciudad de México está hundiéndose. Para 1947, se desborda el río Consulado al poniente de la ciudad, lo que deja amplias zonas residenciales bajo el agua durante dos semanas, luego de lo cual se entuba y se construye sobre el mismo la avenida Melchor Ocampo.

En la década de 1950, la Ciudad de México experimenta graves inundaciones provocadas por las intensas lluvias, se reporta que dos terceras partes de la Ciudad de México se inundaron de agua y lodo, y murieron varias personas. Nuevamente se trabajó en soluciones globales, dentro de las que destacan la construcción de plantas de bombeo, de los colectores principales al Gran Canal y el



incremento sustancial de la capacidad de éste mediante la ampliación de las secciones y la construcción del segundo túnel de Tequiquiac, que se terminó en 1954. (Ver fig. 8 y 9)

Figura 9 y 10; Inundaciones del centro de la Ciudad de México en 1950. Fuente: Arqueomex

En 1951 se inaugura el Sistema Lerma, el cual funcionó más o menos bien hasta 1952, año en el que se presentaron nuevamente inundaciones de gran magnitud. En ese momento se crea la Comisión Hidrológica del Valle de México, dependiente de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Para 1953, se establece la Dirección General de Obras Hidráulicas del Distrito Federal. En 1956 se concluye el sistema de pozos Chiconautla, al norte de la ciudad. En 1952, se construyó el viaducto Miguel Alemán, al entubar el río La Piedad, lo que resolvía el problema de los desechos y aguas negras mandándolos al río. De ahí vino el entubamiento de muchos más ríos parte del río Mixcoac, la totalidad del río Churubusco, el río Consulado, La Piedad y parte del río de la Magdalena, convirtiéndolos en drenajes.

También se entubó parte del San Rafael, en el tramo conocido como canal de la Compañía, parte del río Ameca, parte del río de los Remedios, parte del río Hondo y del río Tlalnepantla, formando parte sistema de drenaje.



En junio de 1952 se registran varias inundaciones en la Ciudad de México, de hasta un metro de profundidad, lo que ocasiona el derrumbe de edificios sobre todo en la colonia Guerrero, (Ver figs. 10, 11, y 12).

Entre 1954 y 1967 se construyeron nuevamente miles de kilómetros de colectores, plantas de bombeo con capacidad acumulada de más de 100 m³/s, el interceptor del poniente, además de que como ya se menciona se entubaron los ríos Churubusco, la Piedad, Consulado y Mixcoac. En este mismo año comienzan los trabajos del drenaje profundo de la ciudad de México.

Figura 11. Inundaciones del centro de la Ciudad de México en 1952. Fuente: *Arqueomex*

En 1980, la pendiente del Canal, que permitía el escurrimiento de las aguas, pasó de los 19 cm/km que tenía en 1910 a 0 cm/km. En 1519 había 70 ríos que terminaban en el lago; en

2011, los 70 ríos siguen siendo los mismos, pero contaminados, entubados y sin lago. La ciudad perdió gran parte de su sistema hidrológico. El problema, se pudo haber solucionado con separar las aguas negras y recuperar las aguas limpias de los ríos para aprovecharlas.



Figura 12. Inundación de la Ciudad de México en la década de 1950.

Fuente: Arqueomex

Figura 13. Inundación de la Ciudad de México en la década de 1950.

Fuente: Arqueomex



2.2. Construcción del sistema de vasos reguladores

En 1971 se introdujeron las primeras disposiciones legales en materia ambiental para mejorar el control de las inundaciones y contaminación del agua. En 1972 entró en vigor la Ley Federal de Aguas cuyo objeto era reforzar el marco legal para la administración del recurso, principalmente mediante la introducción de mecanismos para regular su uso, entre los que se

incluían los sistemas de captación pluvial y se desarrollaron obras con aguas superficiales por medio de pequeñas captaciones, así como subterráneas, que formaban parte del Programa Nacional de Perforación de Pozos (SEMARNAT, 2009).

Como ya se expuso uno de los problemas y retos más importantes de la ZMVM es el riesgo de inundaciones, las investigaciones al respecto nos indican que uno de los factores que más ha contribuido es el crecimiento urbano en las zonas altas del territorio del D.F., especialmente en las Sierras del Poniente y del Sur, que al cubrirse con calles, casas, techos y patios, han modificado la relación infiltración-escurrimiento, concentrando además en menores tiempos, caudales mayores originados por lluvias intensas y saturando los conductos; la invasión con asentamientos humanos de diversas zonas bajas de la CM, las que siguen siendo reconocidas como vasos reguladores por el agua de lluvia y por otra parte, la pérdida de capacidad de algunos componentes del Sistema de Drenaje de la Ciudad. Dentro de este panorama, surgen los proyectos de construcción de vasos reguladores a fin de aprovechar espacios geográficos y controlar el problema de las inundaciones, en el caso del VRSL este forma parte de las primeras obras de desasolve y manejo de agua pluvial. (SEMARNAT, 2009).

La construcción, funcionamiento y mantenimiento de este tipo de obras corresponde a las autoridades en turno y de acuerdo a la normatividad ambiental y de construcciones que prohíben los asentamientos en zonas bajas al autorizar construcciones que obstruyen el paso de los escurrimientos naturales de agua (CONAGUA, 2009).

Así surge como motivo de las inundaciones, relacionado con un manejo inadecuado de permisos y reglamentos de obras, la construcción de zonas habitacionales en zonas de alto riesgo, ya fueran vasos reguladores o zonas que se inundan con mayor facilidad.

En cuanto a las estrategias gubernamentales en los años sesenta se desarrollaron planes regionales que contemplaban grandes transferencias de agua entre cuencas vecinas: por un lado, para ampliar las tierras en riego en el noroeste y, por otro lado, para asegurar las futuras fuentes de abastecimiento de agua a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Igualmente, se promovieron otros programas sectoriales, incluyendo uno nacional de pequeña irrigación y otro de asistencia técnica en distritos de riego (Plan de Mejoramiento Parcelario, PLAMEPA), así como un programa nacional de agua potable (SEMARNAT, 2009).

2.3. Vasos reguladores

Un vaso regulador es sistema de captación de agua, que permite la recolección o acumulación y el almacenamiento de agua para cualquier uso. Un sistema básico de captación de agua está compuesto por captación, recolección-conducción y almacenamiento.

La viabilidad técnica y económica dependerá de la pluviosidad de la zona de captación y del uso que se dé al agua captada. Aun así, aquellos lugares del mundo con alta o media precipitación son los candidatos más atractivos donde implementar el sistema de vasos reguladores (FAO, 2005)

En el Valle de México existen los Vasos Reguladores, su función primordial es controlar las crecidas de agua de los diferentes ríos, es decir son reguladores de aguas residuales y pluviales de los diferentes municipios y delegaciones de la ZMVM, en los que los excesos de agua se desbordan hacia esos espacios inundables que tienen la función de concentrar o amortiguar toda la carga de agua excedente. Los vasos reguladores son de fundamental importancia para el funcionamiento del drenaje, sirven para regular las tormentas y evitar que se sature el sistema de drenaje de la zona y con ello, disminuir la posibilidad de inundaciones. Estos vasos reguladores deben desazolverse a fin de que cumplan su función como reguladores de las grandes avenidas de agua (CONAGUA, 2009).

Como ya se menciona, en los años 70s entró en vigor la Ley Federal de Aguas bajo cuyo marco legal se inicia un programa nacional para el manejo del agua en la ZMVM, en el que se incluían los sistemas de captación pluvial y se desarrollaron obras con aguas superficiales por medio de pequeñas captaciones, así como subterráneas, que formaban parte del Programa Nacional de Perforación de Pozos (SEMARAT, 2009).

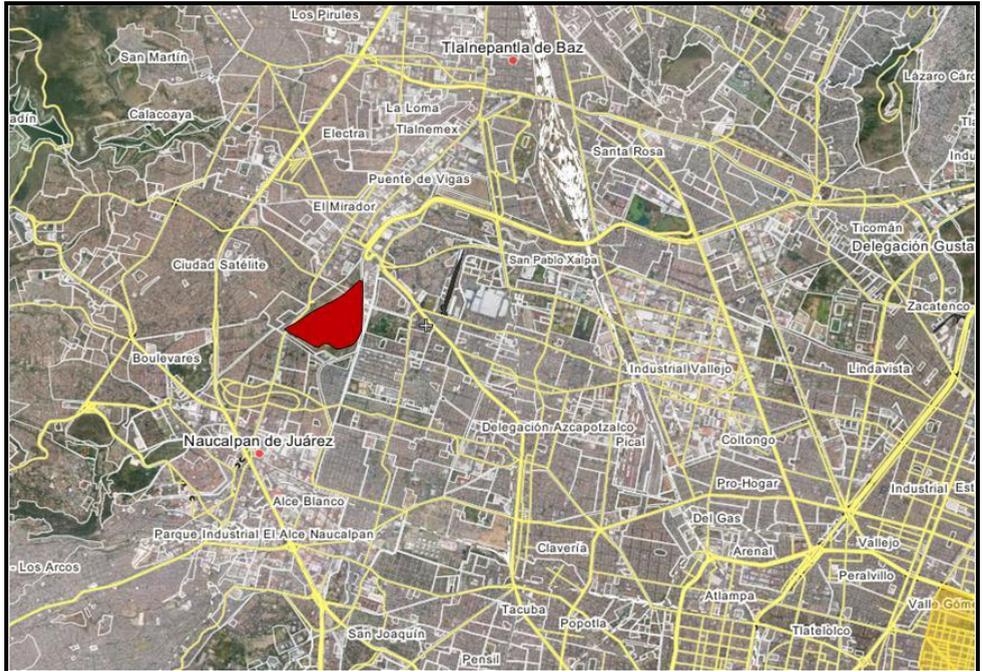
Los vasos reguladores son considerados los primeros elementos hidráulicos para la captación de agua pluvial. De acuerdo con la Tabla son los que proveen el mayor volumen de agua aprovechable por el sistema de aguas. El Programa de Saneamiento y Recuperación de Acuíferos (CONAGUA, 2007) ha dado un importante paso en esta dirección, al proponer el tratamiento y potabilización de las aguas pluviales almacenadas en lagos, vasos y presas.

Los siguientes vasos reguladores se encuentran en funcionamiento en la ZMVM:

Vaso Regulador El Cristo

Forma parte del sistema de drenaje de la Ciudad de México.

Ciudades cercanas: Colonias 10 de Abril y Colón de Echegaray, Naucalpan, México.



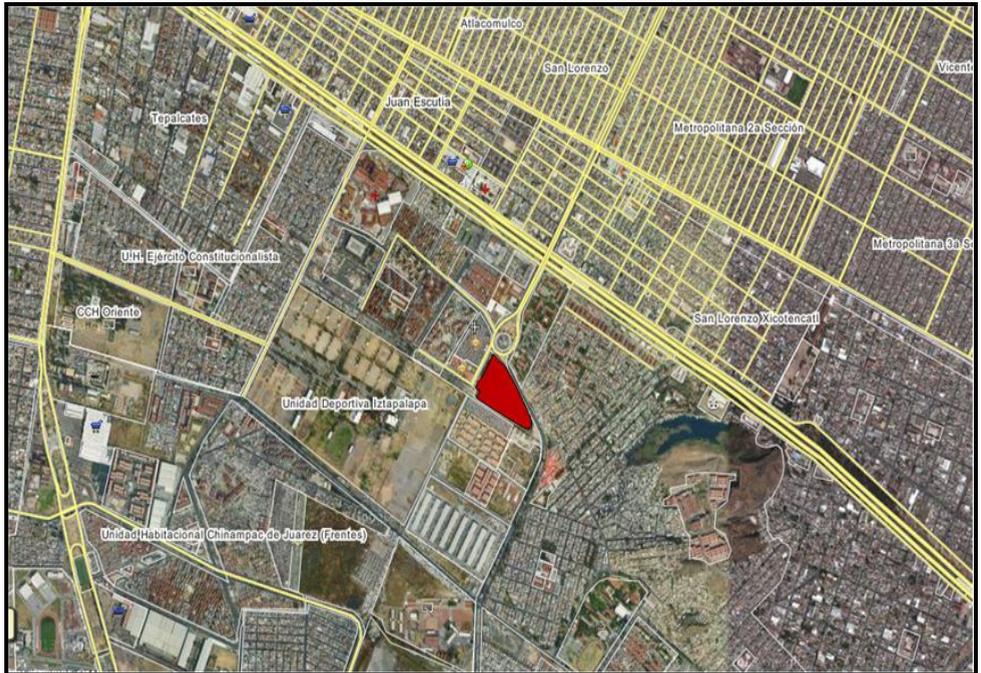
Coordenadas de ubicación: 19°30'7"N 99°13'11"W

Extensión territorial: 30 hectáreas; y 2.8 millones de m³ de capacidad

Vaso Regulator Laguna Menor (Distrito Federal)

Forma parte del sistema de drenaje de la Ciudad de México.

Ciudades cercanas: Delegación Iztapalapa y Ciudad Netzahualcóyotl Edo Mex.



Coordenadas de ubicación: 19°22'51"N 99°2'20"W

Extensión territorial: 6.50 Hectáreas y 2.5 millones de m3 de capacidad

Vaso Regulator Laguna Mayor (Distrito Federal)

Forma parte del sistema de drenaje de la Ciudad de México.

Ciudades cercanas: Delegación Iztapalapa y Ciudad Netzahualcóyotl Edo Mex.



Coordenadas de ubicación: 19°22'10"N 99°2'36"W

Extensión territorial: 12.00 Hectáreas y 3.5 millones de m3 de capacidad

Vaso Regulador El Salado (Distrito Federal)

Forma parte del sistema de drenaje de la Ciudad de México.

Ciudades cercanas: Colonias las Águilas y Manantiales de Ciudad Netzahualcóyotl y Colmena y solidaridad en Iztapalapa.



Coordenadas de ubicación: 19°22'14"N 99°0'9"W

Extensión territorial: 13 Hectáreas; y 5.4 millones de m³ de capacidad

Vaso Regulador San Lorenzo (Distrito Federal)

Forma parte del sistema de drenaje de la Ciudad de México.

Ciudades cercanas: Límites de las delegaciones Tláhuac y Xochimilco.



Coordenadas de ubicación: 19°16'36"N 99°2'34"W

Extensión territorial: 34 Hectáreas y 5.5 millones de m³ de capacidad

Planta de Bombeo Aguas Negras y vaso regulador La Quebradora (Distrito Federal)

Ubicada en Avenida de las Minas esquina con Ermita Iztapalapa, Colonia Xalpa. Forma parte del sistema de drenaje de la Ciudad de México.

Ciudades cercanas: Ciudad Nezahualcoyotl, Iztapalapa, Los Reyes la Paz.



Coordenadas de ubicación: 19°20'41"N 99°1'9"W

Extensión territorial: 3.6 Hectáreas, y 90,000 m³ de capacidad

Vaso Regulador La Ciénega Chica (Distrito Federal)

Forma parte del sistema de drenaje de la Ciudad de México.

Ciudades cercanas: San Lorenzo La Cebada, Barrio 18 y Rinconada Coapa



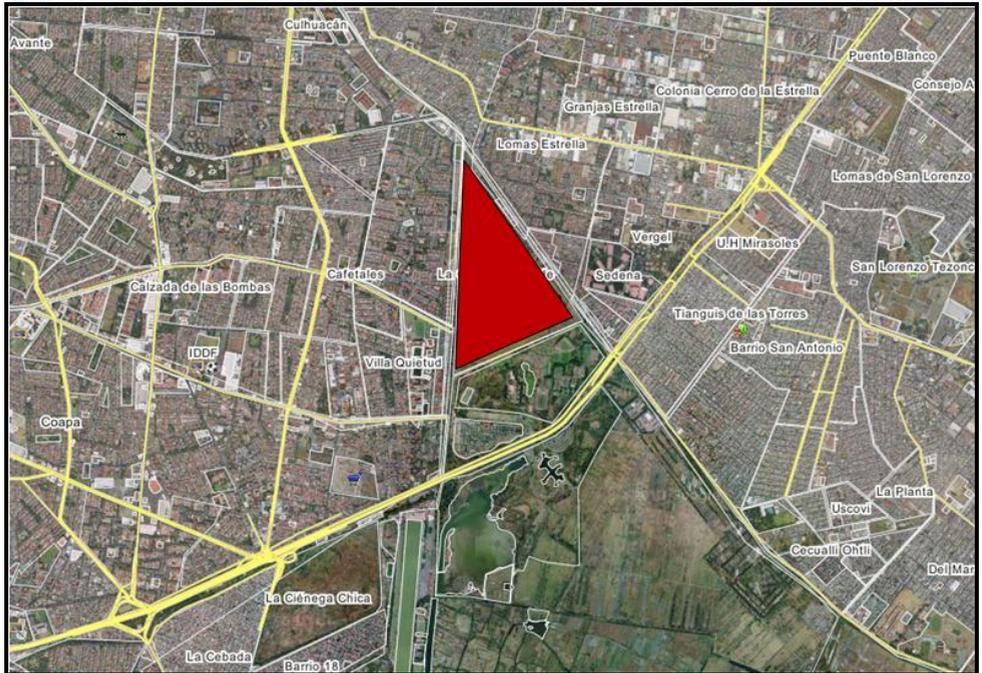
Coordenadas de ubicación: 19°17'10"N 99°6'41"W

Extensión territorial: 3.7 Hectáreas, y 1 millón de m3 de capacidad

Vaso Regulador La Ciénega Grande (Distrito Federal)

Forma parte del sistema de drenaje de la Ciudad de México.

Ciudades cercanas: Lomas Estrella, Culhuacan.



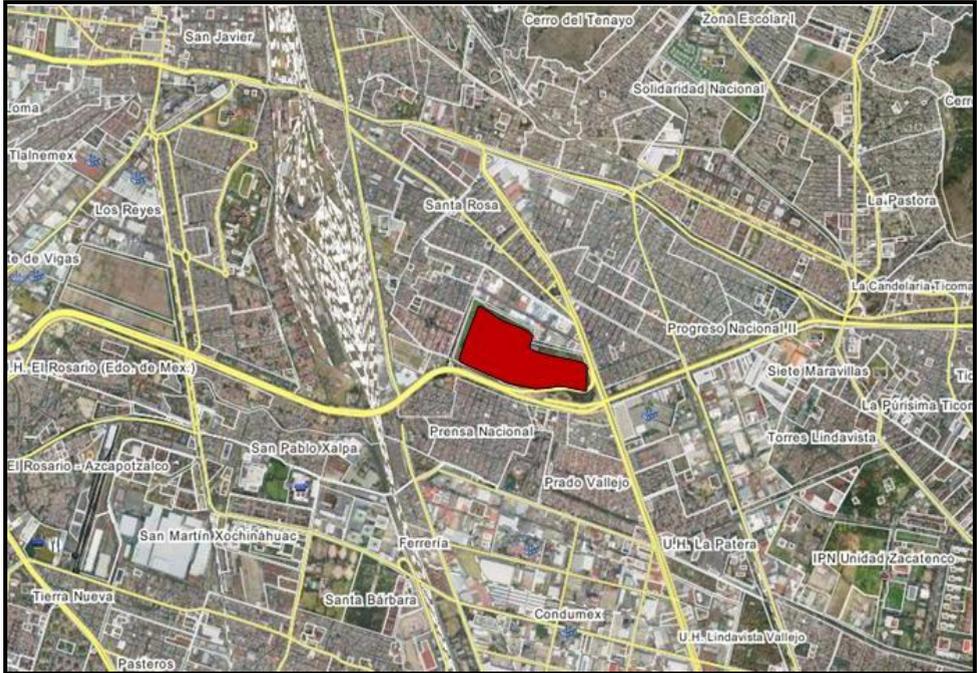
Coordenadas de ubicación: 19°19'13"N 99°06'02"W

Extensión territorial: 90.81 Hectáreas, y 2.7 millones de m³ de capacidad

Vaso Regulator Carretas (Distrito Federal)

Forma parte del sistema de drenaje de la Ciudad de México.

Ciudades cercanas: Santa Rosa, Prensa Nacional



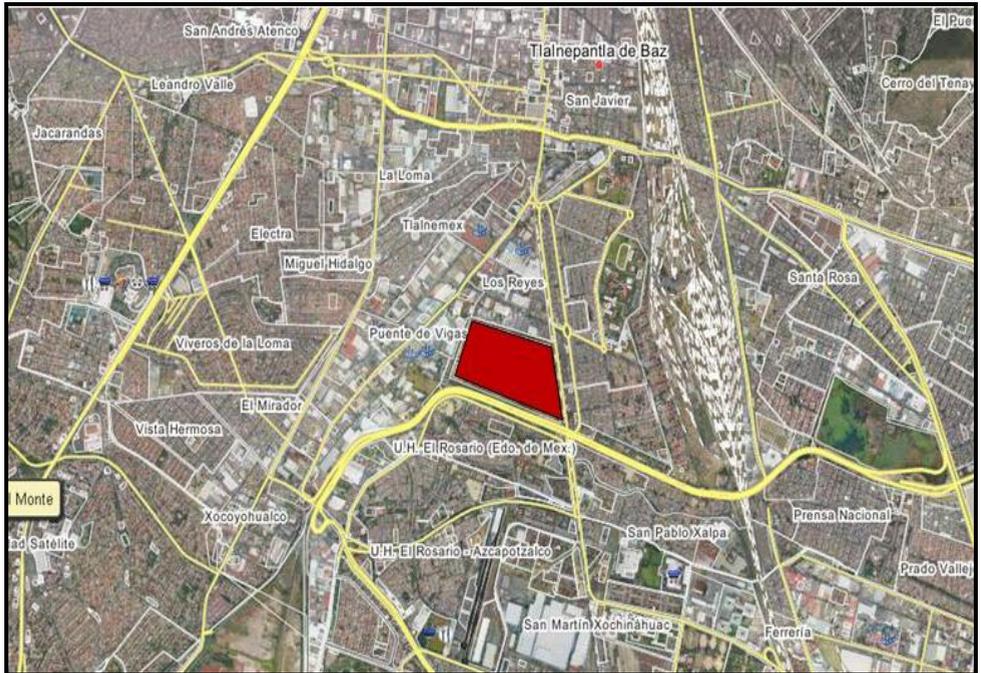
Coordenadas de ubicación: 19°30'57"N 99°10'0"W

Extensión territorial: 8.6 Hectáreas y 1.5 millones de m³ de capacidad

Vaso Regulator Fresnos

Municipio de Tlalnepantla de Baz.

Ciudades cercanas: Puente de Vega, U H El Rosario, Los Reyes.



Coordenadas de ubicación: 19°31'12"N 99°11'51"W

Extensión territorial: 1.75 Hectáreas y 2 millones de m3 de capacidad

Vaso Regulador El Sordo

Ciudades cercanas: Santa Rosa, Prensa Nacional Naucalpan, Estado de México, Col. La Cañada, El Molinito, La colonia Hidalgo



Coordenadas de ubicación: 19°26'10"N 99°15'33"W

Extensión territorial: 0.90 Hectáreas y 0.5 millones de m³ de capacidad

Vaso Regulador San Lucas Xochimanca (Distrito Federal)

Forma parte del sistema de vasos reguladores del D. F.

Ciudades Cercanas: Milpa Alta, Tlalpan, Xochimilco.



Coordenadas de ubicación: 19°14'52"N 99°6'36"W

Extensión territorial: 24 Hectáreas y 2.6 millones de m³ de capacidad

2.4. Sistema para el desalojo del agua residual de la Ciudad de México

En la Ciudad de México se recibe una precipitación anual que genera volúmenes de escurrimiento de 6700 millones de m³. de este volumen de escurrimiento gran parte se evapora (4300 millones de m³) y solo 1300 millones de m³ escurren en los ríos y arroyos que se encuentran en el Valle de México. Como consecuencia del crecimiento de la mancha urbana, lo que antes eran áreas verdes, ahora se han convertido en edificios y calles pavimentadas, lo que ocasiona que 1100 millones de m³ no se infiltren al subsuelo sino que corran hacia el drenaje y se contaminen (CONAGUA 2008). Las lluvias se concentran en los meses de junio a septiembre y octubre y durante el resto del año son escasas o nulas. En la actualidad, apenas hay ríos permanentes; por lo tanto, las aguas subterráneas son el principal recurso hídrico del valle. La parte rural del sur del Distrito Federal y el Valle de México, en especial la Sierra del Chichinautzin es la zona de recarga natural más importante del acuífero de la Ciudad de México debido a los niveles relativamente altos de precipitaciones y la alta permeabilidad de su basalto.

Por otro lado el D.F. aloja una población cercana a los 20 millones de habitantes, la región registró un fuerte crecimiento en la última mitad del siglo XX, pasando de 3.6 millones de habitantes en 1950 a su población actual de 20 millones, pero el crecimiento poblacional ha tenido una reducción gradual y constante en los últimos años, esperándose alcanzar una población de equilibrio del orden de 25 millones de habitantes a mediados del siglo XXI (CONAGUA 2009).

Actualmente la red de drenaje de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México recibe un promedio de 43 m³/s de aguas residuales. La red de drenaje es del tipo combinado y recibe una aportación substancial de aguas de lluvia. Debido a los hundimientos experimentados en la región central del Valle de México por la sobre explotación de los acuíferos en estratos formados por arcillas compresibles, la capacidad hidráulica del sistema de desalojo de las aguas residuales, incluyendo las pluviales, se ha visto peligrosamente reducida en los últimos años y ha motivado una creciente dependencia en plantas de bombeo para poder elevar las aguas a los drenes del Valle; con la construcción del nuevo Túnel Emisor del Oriente será posible, no sólo evitar el riesgo de inundaciones catastróficas en las zonas urbanas del Valle, sino también contar con un sistema por gravedad para el desalojo de las aguas (CONAGUA 2009).

Una fracción importante de las aguas residuales, del orden de 5 m³/s, que combinadas con agua proveniente de los almacenamientos, permite dentro del mismo Valle el riego de más de 35,000 ha. El crecimiento de la mancha urbana ha visto disminuir las zonas agrícolas dentro del Valle; una preocupación fundamental de las autoridades es la de conservar las zonas agrícolas existentes dentro del Valle por sus importantes beneficios ambientales, en particular para permitir una mayor recarga de los acuíferos así como limitar el crecimiento urbano, considerando este punto, que ha sido remarcado en varios de los documentos revisados, se resalta la importancia del VRSL, tanto como fuente de captación de agua, así como un medio para la recarga del acuífero de Xochimilco. (CONAGUA, 2009)

El Sistema Principal de Drenaje está formado por diferentes elementos, entre los que figuran presas y lagunas de regulación, colectores, estaciones de bombeo, colectores semiprofundos, cauces, canales y túneles profundos, presas y lagunas de regulación, interceptores profundos, ríos entubados y cauces a cielo abierto, plantas de bombeo, sistemas de colectores, redes de atarjeas, entre otros. Para lograr que el conjunto de estructuras de drenaje cumplan con su objetivo, se han determinado diferentes políticas operativas, las cuales combinan la operación de todos los elementos involucrados. La principal política operativa considera el estiaje y la temporada de lluvias de la siguiente manera:

- ✓ Época de Estiaje. Durante esta época del año, se pretende que todos los escurrimientos sean conducidos a través de los cauces y canales superficiales, hasta su incorporación al Gran Canal del Desagüe, y desalojarlos por este conducto (Sistema de Drenaje Profundo Cerrado).
- ✓ Temporada de Lluvias. Durante las lluvias, se pretende que los escurrimientos se desalojen por el Emisor Central y el Emisor del Poniente, dejando como apoyo al Gran Canal del Desagüe.

Actualmente su capacidad de desalojo de aguas es de 11 millones de m³/s. El drenaje cuenta con cuatro subsistemas: el de alcantarillado o red secundaria; colectores o red primaria; el llamado "sistema general de desagüe y el drenaje profundo (CONAGUA 2009).

Otro tema de vital importancia es el tratamiento de las aguas residuales, a fin de ser utilizadas en el reúso, reincorporación a los cuerpos de agua superficiales y/o infiltración a los mantos

freáticos. Las plantas de tratamiento que existen utilizan tecnologías contaminantes, son altas en uso de energía y producen desechos tóxicos como resultado de su operación. Para ir construyendo una infraestructura urbana sustentable, es necesario optar por tecnología alternativa que permita reutilizar los caudales y/o regresarlos a la naturaleza con buena calidad, sin hacer un uso intensivo de energía y sin producir contaminantes (CONAGUA, 2005)

Si revisamos las estadísticas del agua en México, podemos darnos cuenta que en los últimos años se ha incrementado la cobertura de agua potable y alcantarillado para los hogares, sobre todo urbanos, sin embargo el tratamiento de las aguas usadas por la población no ha aumentado en la misma proporción. Así, mientras se cubre el 90.3% de las necesidades de agua potable en el país, y el 86.4% del alcantarillado, tan sólo el 40.2 % de las aguas residuales son tratadas. (CONAGUA, 2009) Esto quiere decir que una gran parte de las aguas servidas regresan a los cauces naturales sin ningún tratamiento, contaminando los cuerpos de agua, cambiando su química y alterando gravemente a los ecosistemas que dependen de ellos (CONAGUA, 2009).

En cuanto a las plantas de tratamiento y su tecnología, es evidente que la infraestructura que se tiene en el país para hacerse cargo del tratamiento de las aguas negras no es suficiente para cubrir las necesidades, además de que es ineficiente en su operación. Según una evaluación hecha a una muestra de plantas de tratamiento por personal de la CONAGUA, la mayoría de las que se encontraban en operación “correspondían a diseños sobredimensionados en los que, además, se observa una excesiva mecanización, instrumentación y automatización, que encarece y complica, tanto la operación y el mantenimiento, como la amortización de las inversiones.” (Romero, Alvares, 2010) Se señala también en esta evaluación que la existencia generalizada de sistemas de drenaje en los que se combinan aguas negras y de lluvia, entorpece las operaciones de tratamiento durante la época de lluvias, lo mismo que las descargas de tóxicos industriales sin tratamiento previo (CONAGUA, 2009).

Por otra parte, los tipos de planta construidos representan otro problema, ya que en la mayoría se ha optado por métodos convencionales de tratamiento, en particular por el de lodos activados que requiere de un uso intensivo de productos químicos y de energía en el proceso, genera emisiones de contaminantes al aire (como amoníaco) y tiene como residuo grandes cantidades de lodos tóxicos para los que no se tienen sitios seguros de disposición final. Esto

es importante ya que el 46% del caudal tratado se hace a través de este proceso (CONAGUA, 2009).

Existen 21 plantas de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Federal (17 a nivel secundario y 4 a nivel terciario) y 14 en el Estado de México, las cuales tratan un flujo total de 6.2 y 1.69 m³/s, respectivamente. El tratamiento secundario en todas estas plantas se proporciona mediante los trenes constituidos por sedimentación primaria y tratamiento biológico a base de lodos activados (CONAGUA, 2009).

Los tratamientos terciarios, consisten en los métodos de coagulación/floculación, sedimentación, filtración con arena y desinfección. En caso de aplicar desinfección, se añade cloro para lograr un residual total de 1 mg/l, en la planta de tratamiento o en el punto de reutilización. Las plantas del Distrito Federal están ubicadas para abastecer a determinadas zonas dentro del área de servicio. Por lo tanto, las características del influente pueden ser distintas en cada planta, dependiendo de su origen: doméstico o industrial (CONAGUA, 2009).

El método más utilizado en el país en cuanto al número de plantas es el de lagunas de estabilización, que se aplica en 677 de ellas (36.9% del total de plantas a nivel nacional); sin embargo, el de lodos activados con 454 plantas (24.8%) trata un caudal que casi triplica el de las lagunas de estabilización.

En éste los niveles de tratamiento se vinculan con la calidad y uso del agua, de tal manera que la integración de procesos y operaciones unitarias se designa como sigue:

- a) Nivel Secundario: cribado, desarenado, sedimentación primaria, tratamiento biológico, sedimentación secundaria y desinfección. El tren de tratamiento de lodos se compone de la digestión y espesamiento.
- b) Nivel terciario: cribado, desarenado, sedimentación primaria, tratamiento biológico, sedimentación secundaria, coagulación -floculación, filtración y desinfección. El tren de lodos es el descrito en el tren anterior más el secado
- c) Nivel avanzado: al tren de tratamiento terciario se le incorpora la adsorción entre la filtración y la desinfección. El tren de lodos prevalece.

Repotabilización:

El tren de tratamiento inicial corresponde al secundario, adicionando antes de la desinfección una dilución que se consigue con las siguientes operaciones:

Primero el Tren I, despumación, tratamiento químico, preo zonación, filtración, ósmosis inversa y des carbonatación y finalmente el Tren complementario: despumación, tratamiento químico, preo zonación, filtración, post zonación y adsorción; la confluencia de los efluentes de estos dos trenes se somete finalmente a desinfección, con el consiguiente acondicionamiento y secado, de lodos biológicos y químicos.

La infraestructura hídrica de la Zona Metropolitana del Valle de México está formada por estructuras para el abastecimiento y distribución de agua en grandes cantidades (abastecimiento de agua), la recolección de aguas residuales, la recolección de aguas pluviales y el tratamiento de aguas residuales (saneamiento), y el riego principalmente con aguas residuales. Según la última información publicada disponible que cubre el año 2008, en México existen 1833 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación formal, repartidas en los diferentes estados que conforman la República. La capacidad instalada de estas plantas es de 113 metros cúbicos por segundo (m^3/s), sin embargo, el caudal procesado es de 83.6 m^3/s , equivalente al 40.2% del total de las aguas residuales colectadas en los sistemas formales de alcantarillado municipal, estimado en 208 m^3/s . El rango del caudal tratado va desde 61.3 litros por segundo (l/s) en Campeche, hasta 11,646 l/s en Nuevo León. Sólo dos estados de la República tratan el 100% de las aguas que recogen en alcantarillas: Aguascalientes y Nuevo León. (CONAGUA, 2009).

Por lo general, el 90 por ciento de las aguas residuales municipales de la ZMVM permanece sin tratamiento y se desvía al exterior de la Cuenca de México a través del sistema general de drenaje. Las aguas residuales sin tratar se utilizan para irrigar 80,000 hectáreas de sembradíos en el Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo, hacia el norte. La corriente que regresa de la irrigación se drena hacia tributarios del río Panuco, el cual desemboca en el Golfo de México (CONAGUA, 2009).

Aproximadamente el 10 por ciento de las aguas residuales tratadas en la ZMVM se reutiliza a nivel local en distintos proyectos, tales como la recarga de agua subterránea y la irrigación del paisaje urbano en la ciudad. Específicamente las aguas residuales de la Ciudad de México se

utilizan en la agricultura en el distrito de riego 03 (aguas no tratadas). En la industria, se usan aguas residuales tratadas en la papelera de San Cristóbal. En Lechería Edomex. y Tula Hgo., se emplean para enfriar los sistemas de generación de energía eléctrica. En recreación se han utilizado aguas residuales tratadas en el llenado de lagos como el de Chapultepec, San Juan de Aragón y Xochimilco, entre otros. Además se usan para el riego de áreas verdes (CONAGUA, 2009).

De las 28 plantas de tratamiento de aguas residuales del Distrito Federal y las 14 del Estado de México, tratan un flujo total de 6.2 y 1.69 m³/s, respectivamente. En el Distrito Federal la red del sistema abarca cerca de 10,000 kilómetros de largo, con 68 estaciones de bombeo, varios diques y lagunas para controlar el flujo, 111 kilómetros de canales abiertos, 42 kilómetros de ríos utilizados para drenaje y 118 kilómetros de túneles. Según el censo de 1990, el 82 por ciento de los 15 millones de habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, ZMCM, recibe los servicios del sistema de drenaje; el 6 por ciento utiliza fosas sépticas, y alrededor del 9 por ciento no posee ningún sistema de drenaje. Como ya se describió el tratamiento secundario en todas estas plantas se proporciona mediante los trenes constituidos por sedimentación primaria y tratamiento biológico a base de lodos activados. Los tratamientos terciarios, consisten en los métodos de coagulación/floculación, sedimentación, filtración con arena y desinfección. En caso de aplicar desinfección, se añade cloro para lograr un residual total de 1 mg/l, en la planta de tratamiento o en el punto de reutilización. La tabla No. 3 presenta información sobre las plantas de tratamiento en operación en el D.F., y la No, 4 los usos del agua residual tratada en esta misma entidad (CONAGUA, 2009).

TABLA 2. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL D. F.

Municipio	Localidad	Nombre de la Planta	Proceso	Capacidad Instalada (l/s)	Caudal tratado (l/s)	Cuerpo receptor o reuso	Notas
Álvaro Obregón	Álvaro Obregón	Santa Fe	Lodos activados	280	150	Barrancas	Se incorporó en 2009
Azcapotzalco	Azcapotzalco	U. H. El Rosario	Terciario	25	16	Riego de Áreas verdes llenado del lago parque Tezozomoc	Operada por SACMEX
Coyoacán	Coyoacán	Ciudad Universitaria	Lodos activados	60	30	Áreas verdes	Operado por UNAM, Servicios propios
Coyoacán	Coyoacán	Ciudad Universitaria FCPS	Lodos activados	7.5	0.8	Áreas verdes	Operado por UNAM, Servicios propios
Coyoacán	Coyoacán	Coyoacán	Lodos activados	400	150	Áreas verdes, reuso industrial y comercial en Coyoacán, Xochimilco, Benito Juárez y Álvaro Obregón.	Operada por SACMEX
Cuauhtémoc	Cuauhtémoc	U. H. Nonoalco Tlatelolco	Lodos activados	22	15	Áreas verdes	Operada por SACMEX

Gustavo A. Madero	Gustavo A. Madero	Acueducto de Guadalupe	Lodos activados	110	102	Áreas verdes e industrial	Concesionada a "Aguas industriales de Vallejo"
Gustavo A. Madero	Gustavo A. Madero	Acueducto de Guadalupe	Lodos activados	500	198	Áreas verdes, lagos de San Juan de Aragón y Alameda oriente	Operada por SACMEX
Iztacalco	Iztacalco	Cd. Deportiva	Lodos activados	230	107	Áreas verdes e industrial	Operada por SACMEX
Iztacalco	Iztacalco	U. H. Picos Iztacala	Lodos activados	13	10	Áreas verdes	Operada por SACMEX
Iztapalapa	Iztapalapa	Cerro de la Estrella	Lodos activados	4000	2000	Áreas verdes, industrial	Operada por SACMEX
Iztapalapa	Iztapalapa	Santa Martha Acatitla	Lodos activados	14	8	Áreas verdes	Inició operación en 2005
Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Bosques de las Lomas	Lodos activados	55	25	Áreas verdes delegación Miguel Hidalgo	Operada por SACMEX
Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Campo Militar No. 1-A	Lodos activados	30	25	Áreas verdes	Operada por SEDENA

Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	Lomas de Chapultepec	Lodos activados	160	100	Áreas verdes de la primera y segunda sección del bosque De Chapultepec, llenado de Lagos y corredor turístico de la avenida Paseos de la Reforma	Operada por SACMEX
Milpa Alta	San Pedro Atocpan	San Pedro Atocpan	Lodos activados	60	30	Riego Agrícola	Operada por SACMEX
Tlahuac	San Andrés Mixquic	San Andrés Mixquico	Primario avanzado	30	30	Riego de hortalizas	Operada por SACMEX
Tlahuac	San Juan Ixtayopan	Paraje el Llano	Lodos activados	250	100	Riego Agrícola y recarga del acuífero	Operada por SACMEX
Tlahuac	San Juan Ixtayopan	San Juan Ixtayopan (La Lupita)	Lodos activados	15	14	Zona Agrícola	Operada por SACMEX
Tlahuac	San Nicolás Tetelco	San Nicolás Tetelco	Lodos activados	30	7	Zona Agrícola de la delegación Tlahuac, San Nicolás Tetelco	Operada por SACMEX
Tlahuac	Tlahuac	San Lorenzo	Lodos activados	225	80	Llenado de canales y recarga del acuífero	Operada por SACMEX
Tlalpan	Parres (el guarda)	Parres	Lodos activados	8	1	Áreas verdes	Operada por SACMEX
Tlalpan	Tlalpan	Abasolo	Lodos activados	15	7	Áreas verdes y control de la contaminación de las barrancas del Ajusco	Operada por SACMEX
Tlalpan	Tlalpan	H. Colegio Militar	Lodos activados	30	26	Áreas verdes	Operada por SEDENA
Tlalpan	Tlalpan	San Miguel Xicalco	Lodos activados	8	4	Áreas verdes	Operada por SACMEX
Tlalpan	Tlalpan	U.H. Picacho Pemex	Lodos activados	13	10	Áreas verdes de la delegación Tlalpan	Operada por SACMEX

Xochimilco	Xochimilco	Reclusorio Sur	Lodos activados	30	19	Riego, arreas verdes y Rio San Lucas	Operada por SACMEX
Xochimilco	Xochimilco	San Luis Tlaxialtemalco	Lodos activados	150	65	Agrícola y áreas verdes	Operada por SACMEX
Plantas totales 28			Capacidad instalada	6770.5 l/s	3329.8 l/s	Caudal tratado	

TABLA 3. USOS DEL AGUA TRATADA EN LA ZMVM			
USO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA	1995	1996	1997
Áreas verdes y lagos	54%	54%	54%
Recarga	20%	20%	20%
Riego agrícola	13%	13%	13%
Industrial	08%	08%	08%
Comercio	05%	05%	05%

El Sistema de Drenaje y Desagüe de la Cuenca del Valle de México está conformado por tres grandes sistemas de conductos hidráulicos estratégicamente ubicados, que drenan en dirección sensiblemente de sur a norte del país las aguas residuales de la ZMVM. Constituyen las tres únicas salidas para desalojar los caudales de aguas residuales y de aguas pluviales fuera del Valle, protegiendo a la Ciudad del riesgo de inundaciones; estas salidas son:

- a) El Interceptor-Emisor del Poniente, por el Tajo de Nochistongo
- b) El Gran Canal del Desagüe, por los túneles de Tequixquiac I y II
- c) El Emisor Central del Sistema de Drenaje Profundo, al Río de El Salto.

El interceptor-Emisor del Poniente recibe los escurrimientos de las barrancas ubicadas en el sur poniente del Valle de México, previamente regulados en el Sistema de Presas del Poniente, sistema interconectado, integrado por 36 presas, 18 en el Estado de México y 18 en el Distrito

Federal, estas últimas con una capacidad total de regulación de 3.1 millones de metros cúbicos, que captan y regulan los escurrimientos de los Ríos de la Serranía del Poniente. El Interceptor del Poniente, túnel de 4 m de diámetro y 12.4 km de longitud, inicia en la Ciudad Universitaria y descarga en la Planta de Bombeo Río Hondo y ésta en el Río del mismo nombre hacia el vaso regulador del Cristo donde nuevamente se regulan las avenidas y en las tormentas fuertes desfoga en el Emisor del Poniente, el que en su recorrido recibe las aguas de los Ríos Tlalnepantla, San Javier, Cuautitlán, Tepetzotlán y otros menos caudalosos, hasta llegar a la Derivadora Santo Tomás, donde nuevamente se pueden regular las avenidas en la Laguna de Zumpango o descargar hacia el Tajo de Nochistongo e incorporarse al Río de El Salto, para posteriormente descargar sus aguas al Río Tula y la Presa Endho para su distribución al riego (CONAGUA, 2009).

El Gran Canal del Desagüe inicia en Lecumberri, cerca del centro de la Ciudad y en su trayecto recibe las aportaciones de las zonas norte, centro y nororiente por la red de atarjeas, colectores y emisores, previo paso por las Plantas de Bombeo de la Ciudad. En su recorrido (km 9+450) se incorpora el Río de los Remedios con las aguas provenientes de la zona poniente de la Ciudad de México y las excedencias de los Ríos Tlalnepantla y San Javier y las aguas municipales de Tlalnepantla, Naucalpan, Ecatepec y Nezahualcóyotl. También se incorpora en el Km 18+500 el Canal de la Draga, que conduce los caudales de los Ríos de la Compañía y Churubusco, por conducto del Dren General del Valle. El Gran Canal del Desagüe continúa su trayecto a través del Valle de Cuautitlán; en su recorrido recibe aportaciones de los municipios ubicados en sus márgenes; también hay extracciones de caudales que se utilizan en riego agrícola, en ambas márgenes del Gran Canal, principalmente en el Distrito de Riego 088 Chiconautla y en unidades diversas de Desarrollo Rural, que en conjunto ocupan una extensión de unas 7,300 ha; las aguas del Gran Canal fluyen por los túneles de Tequixquiac, en Zumpango, para posteriormente incorporarse al Río Salado para su distribución a zonas de riego, como los Distritos 03 Tula y 100 Alfajayucan en el Estado de Hidalgo (CONAGUA, 2009).

El Sistema de Drenaje Profundo actualmente con 166 km en operación, construido para desfogar los caudales pluviales fuera del Valle de México, es la tercera salida de agua. En 1975 se terminó su primera etapa con la construcción del túnel del Emisor Central, de 6.50 m de diámetro y 50 km de longitud y con lumbreras con profundidades que van de 25 hasta 220 m y a partir de entonces fue aumentando su longitud con la construcción hacia aguas arriba de los seis interceptores que forman parte de este Sistema, con diámetros que van de 3 m a 5 m y

profundidades de 20 m a 48 m, que drenan diversas zonas de la Ciudad de sur a norte para descargar en la Lumbrera 0 del Emisor, en el límite de la Delegación Gustavo A. Madero, Distrito Federal, con el Municipio de Tlalnepantla, Estado de México y a través del portal de salida verter sus caudales en el Río de El Salto, fuera del Valle de México en la parte alta de la Cuenca del Río Pánuco. En 1997, el Drenaje Profundo había alcanzado una longitud de 153 km de túneles en operación; de 1998 al año 2000 se amplió este Sistema, al poner en servicio 12 km y en el 2004 se construyó y puso en operación un kilómetro del interceptor Canal Nacional – Canal de Chalco, en el sur de la Ciudad (CONAGUA, 2009).

El desalojo de aguas residuales ha sido uno de los mayores retos que han tenido que enfrentar los sucesivos gobiernos. La complejidad del sistema no sólo se debe a las características fisiográficas de la Cuenca, sino al hundimiento del subsuelo, y las lluvias torrenciales que ocurren en periodos cortos, así como a la distancia de los sitios de desalojo localizados fuera de la cuenca. La situación se complica más, ya que el D.F no cuenta con un sistema propio de desalojo de aguas, por lo que descargan en los interceptores generales. Como podemos deducir, el sistema de drenaje de la CM es muy complejo, y su finalidad es drenar una cuenca hidrológica cerrada originalmente, formada por una zona lacustre con poca pendiente e impermeable y con cuatro salidas artificiales. Actualmente se cuenta con un complejo sistema conformado por presas y lagunas de regulación, interceptores profundos, ríos entubados y cauces a cielo abierto, plantas de bombeo, sistemas de colectores y redes de atarjeas. Su capacidad de desalojo de aguas es de 11 millones de m³/s.

El drenaje cuenta con cuatro subsistemas:

- ✓ Los colectores o red primaria
- ✓ El de alcantarillado o red secundaria
- ✓ El sistema superficial, llamado sistema general de desagüe o sistema artificial
- ✓ El drenaje profundo.

Red primaria

La red primaria es fundamental para el drenaje urbano y para la CM está integrada por diversas estructuras hidráulicas con funciones muy específicas. A continuación, se detallan sus aspectos de mayor relevancia.

- La red primaria es una red de drenaje de tipo combinado, es decir conduce agua residual y pluvial, y está formada por 128 sistemas de colectores, de los cuales 108 están ubicados en el D. F., mientras que 20 se localizan en el Estado de México.
- La red formada está por tuberías cuyos diámetros oscilan de 60 cm hasta 4.00 m. En el año de 1995 tenía una longitud aproximada de 1,375 kilómetros.
- La red está auxiliada por 303 plantas de bombeo, 12 tanques de tormenta, 22 sifones, 13 lagunas de regulación y un sistema de interpresas integrado por 29 presas.

Red secundaria

La red secundaria presenta características muy peculiares, describiendo a continuación sus aspectos más relevantes.

- La red secundaria es un conjunto de sistemas de atarjeas o alcantarillas que recolectan las aguas residuales y pluviales provenientes de las descargas domiciliarias.
- En general, este tipo de red está integrada por conductos cuyo diámetro máximo es de 45 centímetros.
- En el año 2000, el nivel de cobertura en el área urbanizada de la CM, era del 92%.
- La longitud de atarjeas en el D. F., era de 9,000 kilómetros en el año de 1,995.
- La población sin drenaje (8%) descarga sus desechos en: fosas sépticas, grietas y barrancas, terrenos baldíos e incluso directamente en la calle.

Salidas artificiales

La CM se encuentra localizada en el fondo de un sistema lacustre y a lo largo del tiempo se han construido cuatro salidas artificiales, para drenar los escurrimientos producidos por las lluvias. El desarrollo histórico de las salidas se conforma por:

El Tajo de Nochistongo es la primera salida artificial, se construye sobre el Río Cuautitlán e inicia a operar en el año de 1789.

El Gran Canal del Desagüe es otra de las salidas y tiene dos túneles para desalojar los escurrimientos fuera de la Cuenca del Valle de México. Sus características más relevantes son:

- Es un canal trapecial que va de San Lázaro, D. F., a la población de Tequixquiac, Estado de México.
- Canal a cielo abierto construido con una sección trapecial y tiene una longitud total de 47 kilómetros.

- El primer túnel comienza a funcionar en 1900.
- El segundo túnel inicia operaciones en 1950.



Figura 14. Evolución de los principales, Sistemas de drenaje profundo
Fuente CONAGUA 2009

Sistema de drenaje profundo

El drenaje profundo de la Ciudad de México está constituido por un túnel de 6.50 metros de diámetro que se puso en operación en 1975. Diseñado originalmente para desalojar aguas residuales y pluviales, en la actualidad alcanza una longitud global de 164 kilómetros, pues en él confluyen los Interceptores Centro Poniente, Central y Oriente. El Sistema de Drenaje Profundo está integrado por un Emisor Central y nueve Interceptores. Las características del Emisor Central y de los nueve Interceptores se describen en la tabla siguiente:

TABLA 4. DRENAJE PROFUNDO Y EMISOR CENTRAL

Conducto	Longitud, km	Diámetro, m	Capacidad, m ³ /s	Profundidad, (mim - max) m
Emisor Central	50.0	6.5	220	48-217
Interceptor Central	16.1	5.0	90	22-41
Interceptor Centro-Centro	3.7	5.0	90	25-26
Interceptor Oriente	22.2	5.0	85	37-55
Interceptor Centro-Oriente	16.0	4.0	40	22-51
Interceptor del Poniente	16.5	4.0	25	20-40
Interceptor Iztapalapa	5.5	3.1	20	11-16
Interceptor Obrero Mundial	0.8	3.2	20	10-16
Interceptor Oriente Sur	13.8	5.0	85	20-23
Canal Nacional-Canal Chalco	8.7	3.1	20	15-17

Fuente: Gobierno del Distrito Federal, Secretaría de Transporte y Vialidad. Memorias 1998.

Finalmente el drenaje ha significado a través de la historia, la creación de obras monumentales. Todas ellas han sido construidas con el criterio de drenar al máximo y de manera combinada las aguas de lluvia y residuales para evitar inundaciones. Una vez que el recurso sale de la cuenca, y sin tratamiento alguno, se conduce a distritos de riego en el Valle del Mezquital y se vierte en el río Tula (Hidalgo), de ahí pasa al río Moctezuma (en San Luis Potosí) y después al río Pánuco (en Tamaulipas) y finalmente desemboca al Golfo de México.

Sistema principal del drenaje profundo en la Ciudad de México

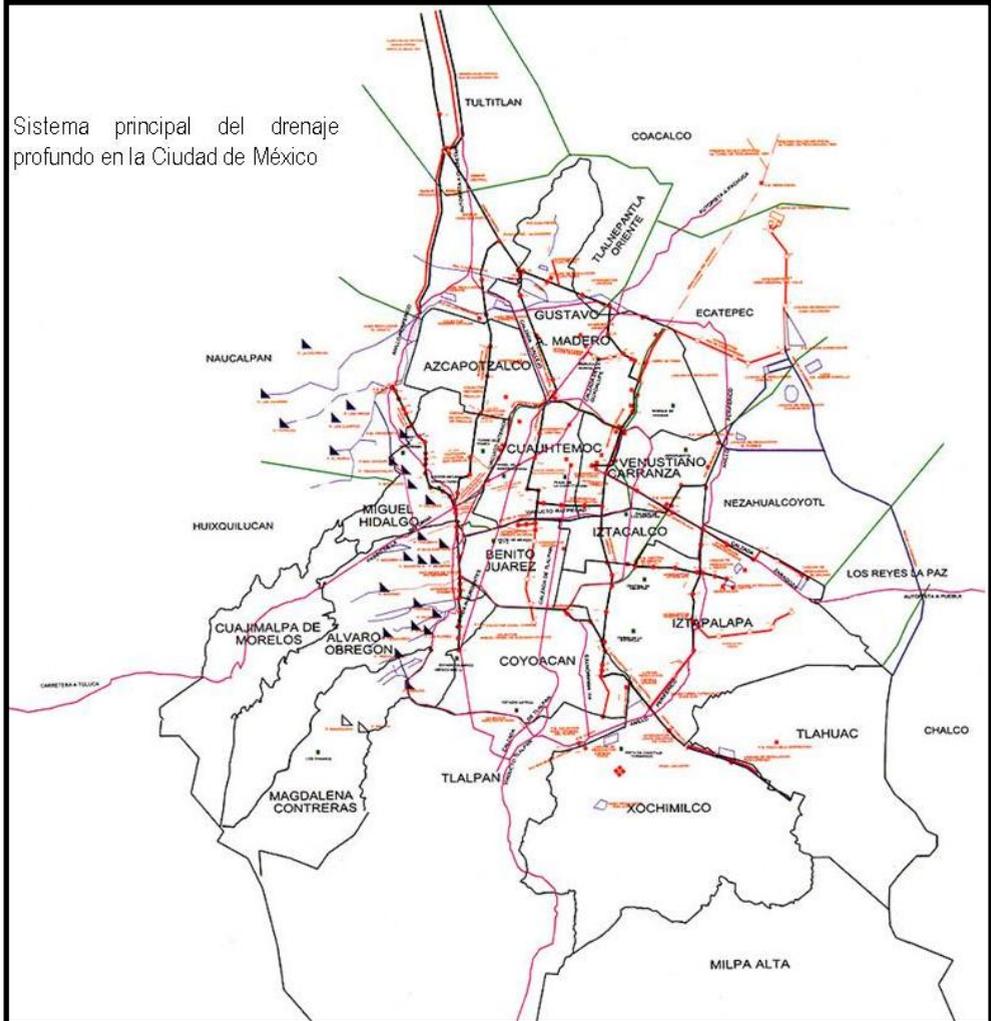


Figura 15 Esquema general del sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México.
Fuente: Gobierno del Distrito Federal, Secretaría de Transporte y Vialidad. Memorias 1998.

Capítulo 3 Vaso Regulador San Lucas Xochimanca (VRSL), delegación Xochimilco

El Vaso Regulador San Lucas, fue construido en el sexenio del presidente Miguel Alemán Valdés (1946-1952), con el propósito de captar agua de lluvia de las escorrentías de la zona montañosa colindante, como una estrategia en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) para mitigar las inundaciones por lluvia que se presentaban en muchas zonas de la Ciudad de México. Se aprovecharon la ubicación y las características geográficas del lugar, mediante la construcción de una calle dique que confinó el espacio para contener la precipitación pluvial de la zona.

3.1. Vaso Regulador San Lucas (VRSL)

3.1.1. Función de origen del Vaso Regulador San Lucas (VRSL)

La función de origen del VRSL fue la captación de agua de lluvia. Esto se cumplió durante 25 años aproximadamente; casi por tres décadas se logró almacenar grandes cantidades de agua por tiempos prolongados, incluso en la temporada de calor. En los primeros años después de su construcción, la captación de agua en el VRSL cumplía un flujo, vertía dosificadamente agua al canal Zacapa, ubicado a dos kilómetros aproximadamente hacia el nor-poniente del sitio. El Vaso Regulador contenía grandes cantidades de agua de lluvia generando un lago natural hasta con ocho metros de profundidad.

Estas condiciones, más o menos permanentes, permitieron que la habitabilidad del lugar fuera muy alta, existían peces y otros seres vivos en el lugar. Por sus mismas características, las comunidades asentadas en la cercanía del lugar lo hicieron suyo, apropiándose y cohabitando. En esta investigación pude recabar datos de testimonios de personas adultas mayores, vecinas del lugar, que vivieron su infancia disfrutando de las condiciones ambientales del lugar de aquellos años (1950-1975), podían nadar y pescar, era un escenario natural con agua cristalina. Debemos considerar de suma importancia la relación que el Vaso Regulador mantuvo con los canales de Xochimilco y con la zona chinampera; funcionó como un lugar de captación de agua de lluvia, tributario a los canales de la zona de chinampas, abasteciendo agua permanentemente. La Zona Chinampera es un ejemplo de Paisaje Cultural porque es una “obra conjunta del hombre y la naturaleza”¹.

¹ La categoría de Paisaje Cultural quedó oficialmente incluida en 1992, en las Directrices Prácticas de la Convención del Patrimonio Mundial; *vid.*, Araceli Peralta Flores, “Xochimilco y sus categorías como Patrimonio Cultural”, en *Revista Xochimilco. Ayer y hoy*, México, marzo-abril 2088, núm.18, p.6.

La acción del hombre transformó un lago de poca profundidad en un productivo sistema agrícola que a pesar de tener una antigüedad aproximada de mil años sigue vigente hasta el día de hoy. Es aquí donde radica la importancia del vínculo del Vaso Regulador San Lucas con las chinampas. Es imprescindible la existencia del agua en este sistema agrícola; el VRSL



vertía importantes cantidades de agua a los canales.

Aunque actualmente ya no se da esta aportación es importante reactivarla, para revertir el fenómeno de la reducción de los tirantes de los canales de la Zona Chinampera de Xochimilco.

Figura 16 Situación actual de los canales.

Fuente: Gobierno del Distrito Federal,

3.1.2. Ubicación del VRSL

El territorio de la delegación Xochimilco se caracteriza por la presencia de cinco sistemas de topoformas, predominando la sierra estratovolcánica, que cubre el 42% del territorio xochimilca. Este sistema corresponde a la ubicación de los cerros Xochitepec y Tzompol, así como a la dilatada pendiente del volcán Teuhtli. Otro importante 27% del territorio es clasificado como meseta volcánica o malpaís. Esta fracción corresponde a la falda baja del volcán Tzompol y del cerro Tlacuallelli, ubicados en el centro-sur del territorio de Xochimilco.

El resto lo componen tres tipos de llanuras. Un 18%, correspondiente al vaso del antiguo lago de Xochimilco, hoy ocupado por la chinampería, es una llanura lacustre. Otro 12% corresponde a la llanura aluvial ribereña del lago, que señala la transición entre el valle y la sierra. El restante 1% corresponde a la llanura lacustre salina; una fracción de poco más de un kilómetro cuadrado localizada en la frontera de Xochimilco con Tláhuac e Iztapalapa.

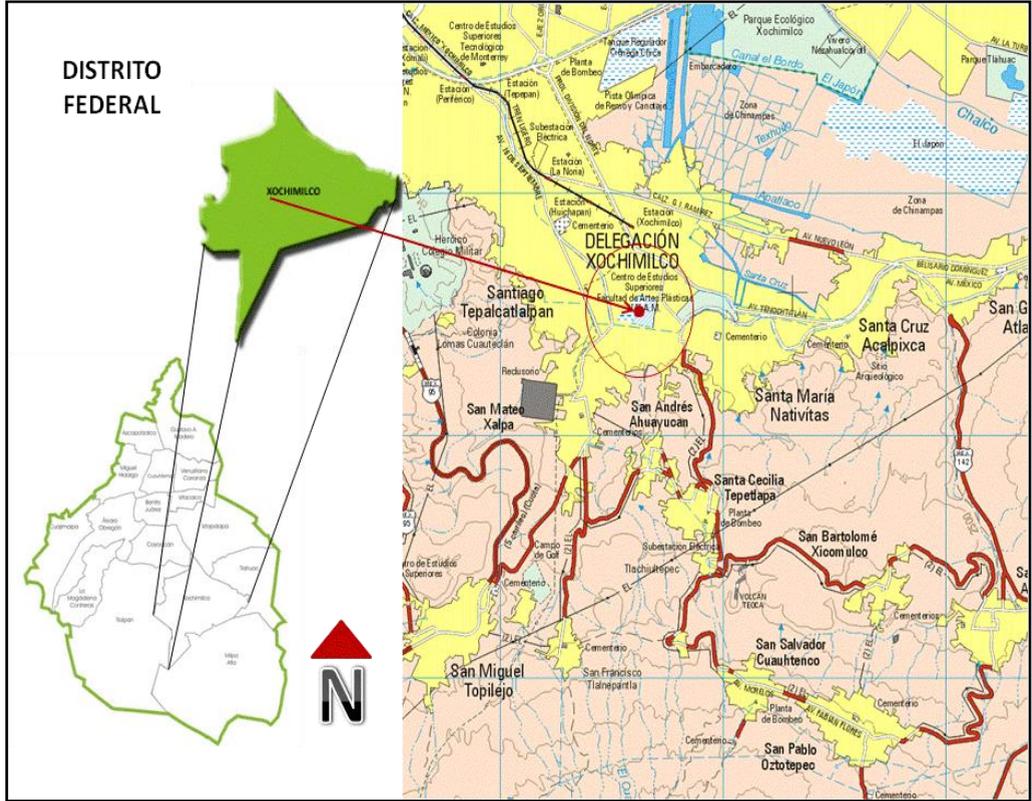


Figura 17 Ubicación del VRSL en el Distrito Federal

Fuente: Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo" A.C

La ubicación precisa del Vaso Regulador San Lucas está definida en el terreno de transición entre el valle y la sierra, al pie de la cordillera cerril Ajusco-Chichinautzin.

Ubicación del Vaso Regulador San Lucas, dentro de la imagen que representa la orografía del sur de la Ciudad de México. En esta imagen se puede apreciar la cadena montañosa donde se presentan las escorrentías que alimentan al Vaso Regulador cuando se presentan lluvias.

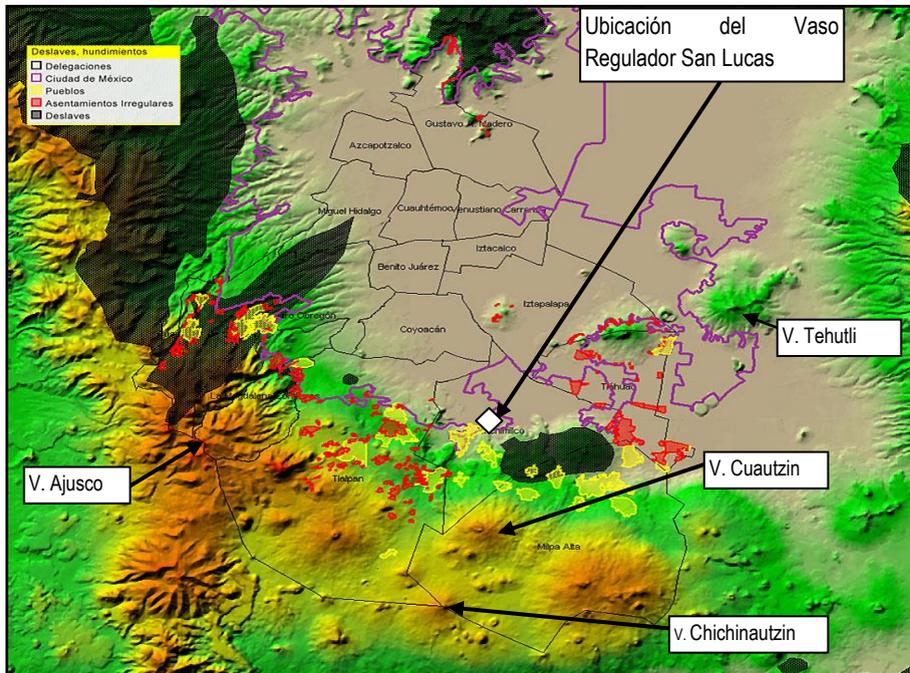


Figura 18. Ubicación del VRSL

Fuente: Centro de Investigación en Geografía y Geomática "Ing. Jorge L. Tamayo" A.C.
Colindancias del Vaso Regulador San Lucas

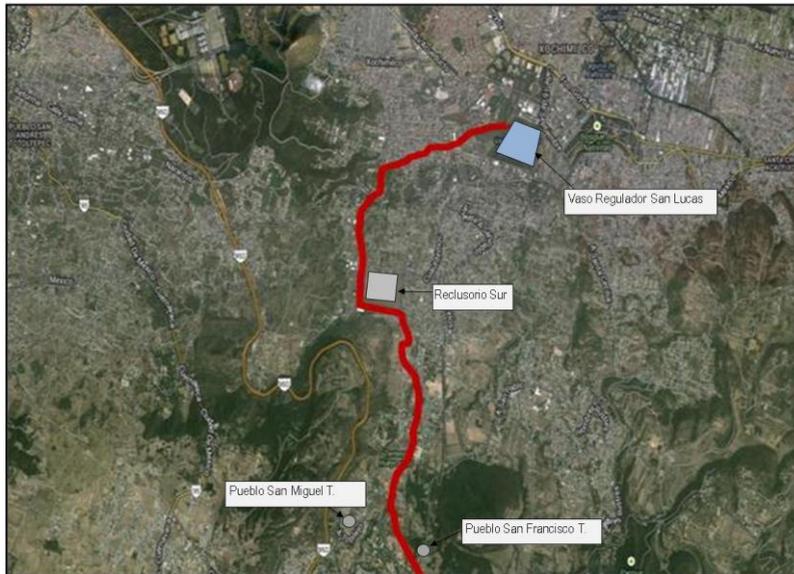
Al **sur**, el pueblo de San Lucas Xochimanca caracterizado en su mayoría por la existencia de vivienda de autoconstrucción de hasta tres niveles y su combinación con negocios además de algo de equipamiento como escuelas y capillas. Al **poniente**, hay terrenos de siembra, y un conjunto de edificios de departamentos (Unidad Habitacional Loreto y Peña Pobre); existe un canal de aguas negras que desemboca en la esquina noroeste del terreno del Vaso. Al **norte**, hay tres edificios, todos relativos a equipamiento, la Clínica periférica de Facultad de Odontología de la UNAM (plantel Xochimilco), una serie de bodegas y almacenes, el deportivo Xochimilco y una estación de bomberos. Al **oriente**, se confirma el espacio del Vaso mediante una calle dique, después de la calle se encuentra el Conjunto INFONAVIT Nativitas. En la esquina sureste se ubica el cauce del Río San Lucas.

3.1.2.1. Río Santiago Tepalcatlalpan

El río Santiago se forma en la parte montañosa de Tezontitla y San Miguel Topilejo, una parte de su cauce colinda con el Reclusorio Preventivo Varonil Sur, que se ubica al sur-poniente del Centro Histórico de la Delegación Xochimilco. En los linderos del río, existe una zona de categoría agroecológica, lo cual implica que en su recorrido las aguas contaminadas impactan en el suelo de conservación, y que al final del recorrido, el río se concentra en el Vaso Regulador de San Lucas Xochimanca, de donde se abastecía de agua a las chinampas (GDF,2005).

El Río Santiago nace en la zona alta de la montaña del sur de Xochimilco desde los Pueblos de San Francisco Tlalnepantla y San Miguel Topilejo.

Figura 19. Recorrido del Río Santiago desde los pueblos altos de la montaña, hasta el Vaso Regulador San Lucas



En su recorrido existen zonas naturales de reserva ecológica y zonas urbanizadas, pasa cerca del Reclusorio Sur y baja hacia el Pueblo Santiago Tepalcatlalpan, de donde adquiere su nombre, finalmente llega al Vaso Regulador San Lucas, llevando agua residual de las zonas urbanizadas que atraviesa, incluyendo las del Reclusorio Sur del Pueblo de San Mateo Xalpa.



Figuras 20 y 21. Condición actual Rio Santiago

Rio San Lucas Xochimanca

Se presentan como una pequeña corriente que baja desde las estribaciones de la sierra del Ajusco, y desagua en el Vaso Regulador, es propiamente un escurrimiento pluvial que se origina en el Cerro Tzompol y recorre pueblos del sur de la delegación Xochimilco.

3.1.3. Medio Físico

3.1.3.1. Geología y Geomorfología

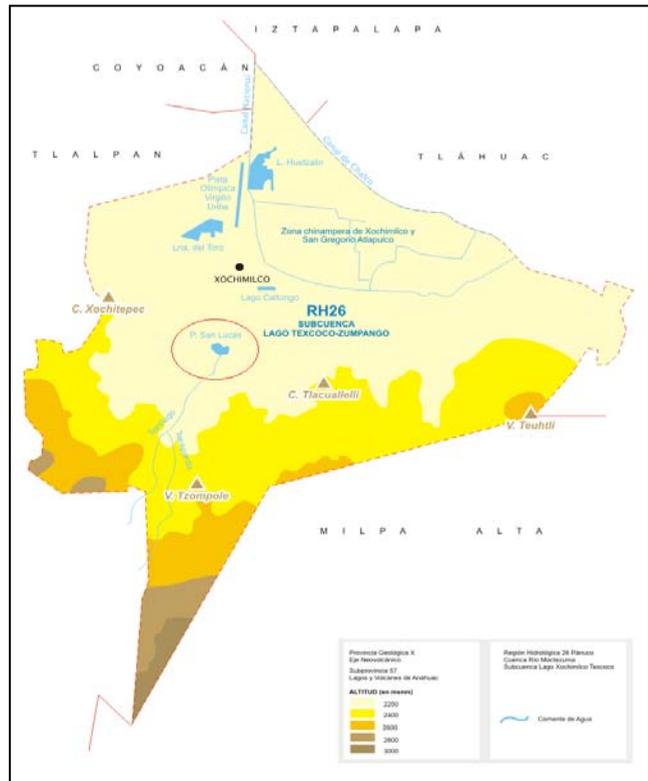
En cuanto a la geomorfología del lugar en su parte norte, se localiza dentro de la zona geomorfológica II. Esta zona se localiza en las porciones sur y oriente del Distrito Federal formando las sierras Chichinautzin y Santa Catarina. Está constituida por rocas basálticas de alta permeabilidad, mismas que a su vez alojan los acuíferos de mayor rendimiento de la Cuenca, así como las zonas de recarga más importantes, haciendo que la calidad del agua sea excelente en la mayoría de los pozos localizados en la Sierra de Chichinautzin, con excepción de algunos ubicados en la porción sureste que se han contaminado por afluentes locales.

El VRSL, se encuentra ubicado en la cuenca hidrológica de Xochimilco, la cual es vital para el equilibrio ecológico de la Ciudad de México.

El acuífero de esta zona se hospeda en materiales granulares de baja a mediana permeabilidad. Es cubierto por un acuitardo alojado en las grallas lacustres que puede tener hasta 300 metros de profundidad. En cuanto a la geología del lugar, este se ubica en la zona

de transición localizada entre las regiones altas y bajas, se compone de grava y arenas gruesas intercaladas con arcillas y pequeñas coladas de basalto (derrames líquidos producidos por erupciones volcánicas). Esta zona es muy permeable debido a las fracturas y vesículas que se formaron en estos materiales ocasionados por el enfriamiento de lava original.

Figura 22. Relieve e hidrología de Xochimilco
Fuente: INEGI, 2005



De acuerdo a la clasificación de Rzedowski, específicamente la región de estudio, pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y a la subprovincia de Lagos y Volcanes del Anahuac, la cual presenta la topoforma de llanura lacustre y aluvial. Geomorfológicamente su zona baja pertenece a esta clasificación mientras que el área sur se clasifica como pie de monte o zona de transición.

3.1.4. Análisis ambiental

3.1.4.1. Clima

La zona de San Lucas Xochimanca tiene un clima templado húmedo, cuya fórmula climática según García (1989) es: C (W) wb (e) g. La temporada de lluvias se presenta en la época de verano, principalmente en los meses de mayo a octubre, con una cantidad de 700 mm anuales y una temperatura media al año de 16.2°C, con temperaturas máximas de 31°C. Las temperaturas mínimas se presentan en los meses de diciembre y enero, mientras que las más altas en los meses de abril, mayo o junio. El período libre de heladas en la zona lacustre abarca del mes de abril a septiembre, mientras que en la zona de montaña la incidencia de heladas es en casi todo el año, reduciéndose de julio a octubre. La precipitación pluvial en la región de estudio presenta precipitaciones menores de 700 mm/año en la mayor parte de su superficie (Norte, Oeste, Centro, y Sur), mientras que en la porción Este se sitúa entre 700 y 900 mm/año. La temporada de lluvias se ubica entre los meses de mayo y octubre; en los demás meses sólo se registran lluvias esporádicas y aisladas.

3.1.4.2. Fauna

La fauna, que fue abundante antes de la conquista española, a la fecha está casi extinta en su totalidad. Está compuesta por 139 especies de vertebrados, de los cuales seis son de anfibios, 10 de reptiles, 79 de aves, 23 de mamíferos y 21 peces. Entre los animales de caza destacaban zorrillo (*Spilogale putoris*, *Mephitis macroura*), cacomixtle (*Bassariscus astutus*), tlacoache (*Didelphys virginiana*), ardilla (*Sciurus aerogaster*), tuza (*cratogeomys merriami*), conejo y ratón (*Microtus mexicanus mexicanus*).

Entre las especies nativas de peces se encuentran organismos de las familias Atherinidae (pez blanco y charales), Cyprinidae (juiles y pez negruzco) y Goodeidae (pez amarillo y tiritito) cabe señalar, que una de las especies nativas (*Girardinichthys viviparus*; Goodeidae) se encuentra bajo la categoría de amenaza. De la fauna lacustre destacan el huil, mextlapique, acocil, cochinilla, almeja, caracol de jardín, rana, ajolote *Ambystoma mexicanum* y sapo.

Las ciénegas y los cuerpos de agua, forman parte de la ruta migratoria de varias especies de aves pertenecientes a 14 familias, resaltando las familias: Scolopacidae (agachonas, zancudas). Rallidae (gallaretas, gallinas de agua), Charadriidae (chichicuilotos), Anatidae (patos reales) y Gruidae (garzas blancas, grullas), además de otras aves como cuervo, tórtola, aguillilla, gavilán, coquita, zopilote, codorniz, cenizote, cuitlacoche, tecolote y lechuza.

Las aves están representadas por garza blanca (*Ardea herodias*), gallareta americana (*Fulica americana*), jacana norteña (*Jacana spinosa*), pato golondrino (*Anas acuta*). De las especies de peces introducidas dominan la tilapia (*Oreochromis niloticus*) y la carpa (*Cyprinus carpio*).

En la zona alta había coyotes, ardillas, tlacuaches, armadillos, conejos y ratones. En la época de esplendor de la presa había carpas, truchas, tortugas, almejas, acociles y ranas, también llegaban aves migratorias como las gallinas de agua, agachonas y patos silvestres. Actualmente se encuentran cerca de 85 especies de vertebrados, de los cuales seis son de anfibios, 5 de reptiles, 50 de aves, 15 de mamíferos y 15 peces

3.1.4.3. Vegetación

Como parte del paisaje característico de esta zona están las hileras de árboles llamados “ahuejotes” *Salix bonplandiana*, a orilla de los canales; otro de los árboles característicos de esta zona, pero menos abundante es el “ahuehuete” *Taxodium mucronatum*, de fronda abundante y gran talla. En los relieves del sur, con excepción de los cerros Tehutli y Xochiyepe, la vegetación es de bosque mixto compuesto por pinos, cedros, ahuejotes, ocotes, encinos, madroños, ailes y tepozanes; mientras que en los lomeríos de menor elevación, se encuentran capulines, eucaliptos, alcanfores, jarillas, pirús, tepozanes, plantas xerófitas y plantas herbáceas como el toloache y el chicalote. También hay frutas como tejocotes, capulines, aguacates, ciruelos de almendras, higos, chabacanos, duraznos, zapote blanco, olivos, manzanos, membrillos, limones y naranjas.

3.1.4.4. Tipo de suelo

Los sedimentos lacustres de origen volcánico de la ciudad de México presentan propiedades índices y mecánicas singulares, que no se ajustan a los patrones de comportamiento de la mayoría de los suelos. Su comportamiento mecánico, tanto estático como dinámico es complejo y a la fecha aún presenta desafíos de interpretación. En general, el ángulo de fricción interna de los suelos disminuye al aumentar el índice de plasticidad, sin embargo el subsuelo de la ciudad de México presenta un ángulo de fricción de 43° comparable en magnitud con el de las arenas. Los suelos de la zona sur del D.F., zona en donde se ubica el VRSL se caracteriza por tener sedimentos heterogéneos, volcánicos, lacustres, con una proporción y variedad de microfósiles (ostrácodos y diatomeas) que adicionan compuestos solubles generados por la alteración de sus exoesqueletos y que forman parte de la microestructura del suelo (Díaz-Rodríguez et al., 2006). Esto influye de tal manera en su comportamiento que los suelos no pueden considerarse dentro de una clasificación simple.

Los suelos que presentan mayor desarrollo se distribuyen en la ladera de la montaña, en pie de monte y en las partes cerriles; estos suelos se caracterizan por la sedimentación de los materiales provenientes de la parte alta y media de la montaña. Además de estar sujetas a inundaciones. En general los suelos son de tipo aluvial-lacustre, considerado como residual derivado de aluviones fluviales y lacustres, ricos en sales y sodio. En la parte norte los suelos predominantes son de tipo Histosol eútrico (Oe), que se caracterizan por presentar una capa superior oscura rica en materia orgánica en forma de hojarasca, fibras, maderas

Debido al proceso de formación se pueden observar en la parte alta de la zona (faldas del volcán Teuhtli) suelos conformados por brecha volcánica, de texturas franco arenosas y arcillosas que en los últimos años ha sido objeto de un proceso erosivo continuo por la tala inmoderada del bosque. En la zona lacustre predominan sedimentos de tipo arcilloso intercalados con arenas de grano fino. Los suelos de esta zona presentan alrededor del 50% de cenizas volcánicas, con texturas que van desde las arenosas hasta las limo-arcillosas o más finas, lo que les confiere la propiedad de retener una alta cantidad de humedad.

3.1.5. Agentes Contaminantes en el VRSL

3.1.5.1. Residuos sólidos

Actualmente se considera como un grave problema, el manejo de los residuos sólidos urbanos, es una situación que actualmente se observa en las grandes ciudades del mundo. Ello se debe a que cada vez son más los volúmenes a manejar y que hay una tendencia cada vez mayor a la reducción del porcentaje biodegradable. Todo ello aumenta los costos de manejo y el riesgo para la salud, el medio ambiente y los recursos naturales. En el caso del VRSL no es la excepción, en este caso es un problema presente y en parte debido a que la responsabilidad del manejo de los residuos sólidos urbanos es parte de un programa delegacional, por lo que resulta muy complejo intentar el estudio aislado de este tipo de contaminación, dadas las características de la zona (Figs. 20 y 21).

En el caso del VRSL los residuos no han sido manejados de manera eficiente, plantean importantes problemas sanitarios y ambientales a los alrededores. Y casi podríamos decir que en el VRSL la contaminación que abunda es la de este tipo de residuos. Ya que ha venido funcionando como depósito de basura, particularmente de relleno sanitario y tiradero a cielo abierto. Lo anterior genera contaminación del suelo y los mantos freáticos debido a procesos de lixiviación. Este riesgo aumenta por la posibilidad de su mezcla con residuos biológicos, descargados del drenaje proveniente del Reclusorio Sur.

Este tipo de contaminación, denominada comúnmente basura, se encuentran mezclada entre sí, esto dificulta su control y, sobre todo, disminuye la eficiencia de los procesos empleados en su posterior separación. Todo esto dificulta el reúso, reciclaje o tratamiento, impidiendo el desarrollo y ampliación del mercado de productos reciclados. Y a la población le resulta más sencillo tirarla, en lugares abiertos como el VRSL.

Otro problema en el VRSL, es el tiro del cascajo que resulta de la construcción, remodelación y demolición de edificios y otras obras, que en ocasiones se depositan en este lugar, si bien es una práctica que se busca erradicar por la actual administración.

En cuanto al problema de la basura en el VRSL, hay que considerar, además, un conjunto de condiciones físicas que favorecen en la zona que se tire la basura, ante las pocas posibilidades existentes de llevarla a un lugar apropiado, ya que se localizan a gran distancia. No obstante, se requieren de estudios específicos y, sobre todo, hay que negociar con las autoridades para mejorar el servicio de limpia. Esto significa superar importantes retos políticos, entre otros, y la resistencia de la población a modificar una conducta que genera un problema que la afecta directamente.

Finalmente, y aunque no es un tipo de contaminación, es la consecuencia de la misma, y nos referimos a los problemas de salud pública que la situación de los ríos y la presa representan.

3.1.5.2. Aguas negras

En el año 2014 la Comisión de los Derechos Humanos del D.F. solicitó al Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental del Programa Universitario de Medio Ambiente de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) una investigación sobre las condiciones actuales del agua, antes y después de la tubería que descarga agua del Reclusorio Sur; los resultados, mostraron que, el líquido después de la descarga tiene una alta concentración de materia orgánica.

Otro tipo de contaminación proviene de las descargas de aguas residuales de asentamientos urbanos ubicados en las periferias de las barrancas, que han llevado al Vaso Regulador y su ecosistema a una situación crítica.



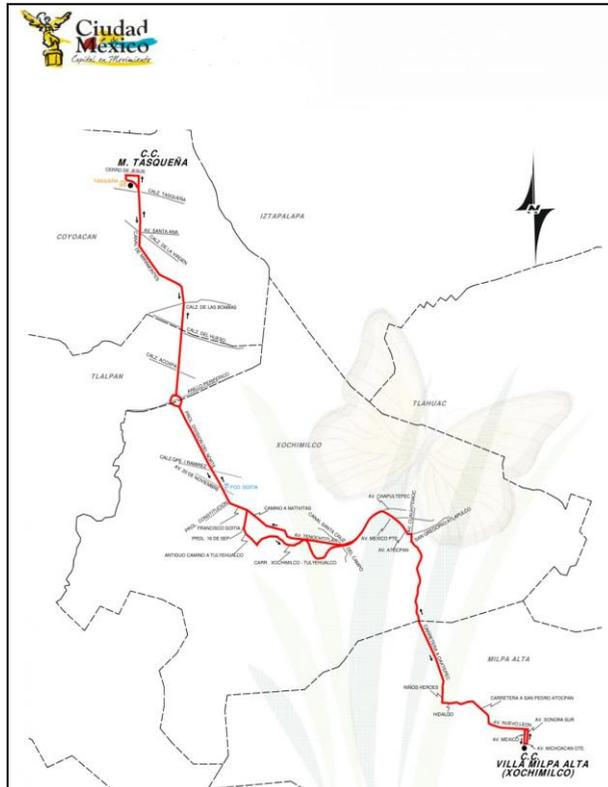
Figura 23. Contaminación de aguas negras en el VRSL
Fuente: "infoanahuac.com.mx"

3.1.4. Entorno Urbano

3.1.4.1. Vialidades

San Lucas Xochimanca, lugar en donde se ubica el VRSL cuenta con dos vialidades importantes: la primera que la recorre longitudinalmente, iniciándose en la intersección del Periférico Sur y la avenida Prolongación División del Norte, en la glorieta conocida como Vaqueritos, corre de norponiente a oriente y es prácticamente la columna vertebral de la Delegación, ya que en su trayecto comunica a una parte de los barrios y a seis pueblos de la Delegación; esta misma vialidad se convierte en un par vial a partir de la Avenida Prolongación 16 de Septiembre, en el Barrio de Xaltocan, bifurcándose hacia la carretera que conduce a nativitas y otra hacia la presa. Y una segunda vialidad de acceso ubicada en la intersección del Anillo Periférico con la calle 16 de Septiembre continuando por la Calzada Guadalupe I. Ramírez, hasta el Centro Histórico, y una bifurcación en el sitio denominado La Noria que es la carretera de Santiago Tepalcatlalpan (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2009). En cuanto a los tipos Transporte público encontramos: Metro, Línea 2 hasta Metro Taxqueña y Tren ligero

Figura 24. Sistemas de transporte vial circundantes a la zona en donde se encuentra el VRSL
Fuente: STCDMX



3.1.4.2. Asentamientos Urbanos

Dado que el pueblo de San Lucas Xochimanca se considera como Suelo de Conservación se tienen poblados rurales, en el aspecto de vivienda, han sido objeto de especuladores y fraccionadores clandestinos, que han propiciado que áreas con vocación agrícola y pecuaria se hayan visto invadidas con asentamientos irregulares que, al no encontrar cabida en la zona centro del Distrito Federal, se han desplazado a la periferia. El uso del suelo predominante en esta jurisdicción es de conservación ecológica (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2009). Al incrementársela urbanización, se impide la infiltración y se incrementan los volúmenes de escurrimiento. La figura 25 muestra la evolución de la mancha urbana en el tiempo.

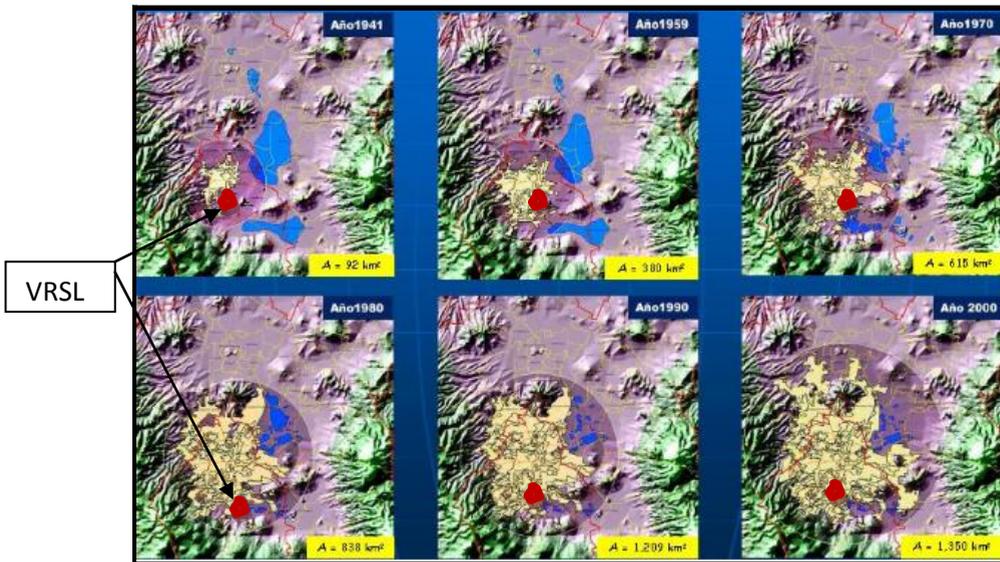


Figura 25 Desarrollo de la mancha urbana, en el D.F.

Fuente: CONAGUA, 2005

3.1.4.3. Crecimiento urbano 1950-2010

De acuerdo al último CENSO, en la zona de San Lucas Xochimanca el número de hogares asciende a 1.018 núcleos familiares, y el índice de hacinamiento es de 5 en cerca del 23% del total de viviendas. También muestra que los procesos de ocupación de los predios son diferenciados y que en el 32.2% del total de viviendas es de tipo precario. Se presentan materiales provisionales en los techos, y que 13.6% del mismo presenta algún tipo de deterioro físico (ubicándose principalmente en las zonas altas de la montaña, en los asentamientos irregulares en el Suelo de Conservación). Con excepción de este último, los demás indicadores están notoriamente por encima de los que presenta el Distrito Federal cuyos valores son: 1.016 en la relación hogares/vivienda, 14.8% en el hacinamiento y 18.7% en la precariedad.

Igual situación se presenta con respecto a los servicios básicos. En agua entubada la delegación reporta que presenta una cobertura de 90.8% en tanto que en el Distrito Federal es de 97.6%; en drenaje, 87.5% y 97.6%; y en energía eléctrica, 99.1 y 99.5% respectivamente, este tipo precario se observa principalmente en los asentamientos irregulares.

En 1995 la situación de la vivienda en la delegación acusó las características de un crecimiento urbano deficitario. Su magnitud con relación a la entidad no es de gran tamaño pero va en ascenso. De haber representado 1.5% del parque habitacional del Distrito Federal en 1950 y 1970 respectivamente, pasó a 2.9% y 3.6% en 1990 y 1995.

Actualmente la vivienda propia es mayor que la vivienda de alquiler en proporción de siete a uno: 77.8% y 11.6%, respectivamente; esto es, 57.0 miles de viviendas y 8.5 miles de viviendas. Prevalece la modalidad unifamiliar (casas solas) por sobre la plurifamiliar (departamento en edificio, casa en vecindad o cuarto de azotea): 80.5% y 18.3%, respectivamente.

3.1.4.4. Infraestructura y equipamiento urbano

A pesar de que la Delegación Xochimilco tiene una cobertura del 93%, en agua potable que se extrae de los pozos profundos en un volumen de aproximadamente 3.2 metros cúbicos por segundo (m^3/s), una parte se destina al consumo interno (1.0 m^3/s); el suroeste de la delegación lugar donde se ubica el poblado de San Lucas Xochimanca adolece de un servicio regular, ya que no cuentan con servicio de agua potable entubada y las viviendas son abastecidas por medio de carros tanque.

Existen plantas de bombeo que abastecen a los tanques de almacenamiento y redes para hacer llegar el líquido hasta los usuarios. En lo que respecta a la calidad del agua ésta es deficiente hacia la zona oriente de la delegación, mientras que la que proviene del Chichinautzin tiene mejor calidad.

En general y como se mencionó previamente, se estima que la cobertura de agua potable abarca prácticamente la mayoría del territorio delegacional, sin embargo se ha detectado que los principales problemas para la dotación residen en las partes altas de la montaña y en la colindancia con la Delegación Tláhuac.

La principal problemática en el suministro del agua se encuentra en la sobreexplotación del manto acuífero existente en la delegación. Este elemento es de vital importancia para el equilibrio microregional. De esta manera, aun cuando Xochimilco es el territorio que provee al Distrito Federal aproximadamente del 20% de los recursos hidráulicos, su abastecimiento local se estima bajo y la problemática del desgaste de los mantos acuíferos puede alterar el ecosistema regional (Gaceta Oficial del Distrito Federa, 2009).

3.1.4.5. Pozos de extracción de agua potable

Con base en la información de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, la zona cuenta con un pozo que alimenta los acueductos Xochimilco y Chalco, los cuales conducen su gasto hacia tanques de almacenamiento y regulación para distribuir el agua por medio de la red secundaria (Gaceta Oficial del Distrito Federa, 2009).

3.1.4.6. Plantas de tratamiento de aguas residuales

La problemática principal en cuestión de aguas residuales es que en la zona suroeste, región donde se encuentra el VRSL, es que algunas colonias carecen de drenaje y desalojan las aguas negras de forma directa a arroyos, barrancas y cañadas y en el mejor de los casos a fosas sépticas que no cuentan con pozos de absorción técnicamente diseñados. La red primaria del sistema de drenaje para el desalojo de aguas residuales está constituida por ductos con una longitud total de 56.4 kilómetros. Por otro lado la red secundaria tiene una longitud total de 223 kilómetros. Sin embargo, esta infraestructura no es suficiente para cubrir la demanda general (Gaceta Oficial del Distrito Federa, 2009). En la zona se encuentran dos plantas, la del Reclusorio Sur de tipo secundario y la de San Luis Tlaxialtemalco, de tipo Terciario.

3.1.4.7. Estación de transbordo de residuos sólidos

Una estación de transferencia de residuos sólidos, se define como el conjunto de equipos e instalaciones donde se lleva a cabo el transbordo de dichos residuos, de los vehículos recolectores a vehículos de carga en gran tonelaje, para transportarlos hasta los sitios de destino final. El manejo de los desechos sólidos en Xochimilco, puede ser representado como un ciclo el que comienza por la recolección en el sitio de producción, seguido por el transporte, el cual significa un alto costo dentro del proceso (DGSU, 2007) y que aumenta conforme han surgido nuevas colonias y los lugares de destino final quedan más alejados de los sitios de producción. Para disminuir el costo de transporte, se han diseñado estaciones de transbordo en estos lugares. Llegan los camiones que realizan la recolección domiciliaria, de tres toneladas aproximadamente, y vierten su contenido en unidades, mayores, de veinte toneladas, que son las que realizan el transporte a las zonas de disposición final. Hasta el momento, en el D, F. se cuenta con 10 estaciones de transbordo, instaladas en las delegaciones de Milpa Alta, Xochimilco, Iztapalapa, Benito Juárez, Iztacalco, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Miguel Hidalgo, Atzacotalco y está propuesta la creación de dos nuevas estaciones de transferencia en las delegaciones Madero y Álvaro Obregón (DGSU, 1987).

Existen otras modalidades de recolección, como los carritos manuales, que están diseñados para recoger la basura de la calle, pero que en realidad funcionan también como recolectores de basura doméstica (DGSU, 1984). Los desperdicios recogidos por los carritos manuales son transferidos a camiones recolectores en lugares y horas determinadas. Durante todo el proceso aquí descrito existe la pepena, que consiste en recuperar algunos materiales, luego vendidos en depósitos, los que incorporan nuevamente a la industria los desechos como materia prima. Los materiales recuperados no rebasan el 15% del total de desechos producidos. En el caso del VRSL, también se ha convertido en un lugar no oficial de desecho de residuos sólidos.

3.1.5. Entorno Social

3.1.5.1. Características demográficas

San Lucas Xochimanca se le conoce como la tierra de obreros, músicos y artesanos en malaquitas. En 1552 se reconoció como pueblo y el 11 de marzo de 1975 se realiza la primera junta del pueblo para pedir al delegado una Plaza Cívica y fue hasta el 15 de septiembre de 1979 cuando por fin la construyeron. La plaza cívica es sede de una feria gastronómica en donde los pobladores ofrecen el platillo que los caracteriza; los cuatatapas, frijoles negros quebrados y guisados con epazote y chile. En San Lucas Xochimanca la comunidad es primordialmente católica, existen un templo religioso que data de 1821, además de algunas capillas. La principal festividad es la religiosa o patronal, donde participa prácticamente toda la población.

La gente se organiza para realizar las celebraciones religiosas, se conforman comités para obtener cooperación y sufragar los gastos que implicarán la contratación de una banda, el castillo pirotécnico, fuegos artificiales y adornos de la iglesia entre otros. Este tipo de organización donde se establecen relaciones sociales sólidas, puede ser aprovechada para fomentar la conservación del área a través de sus festejos.

3.1.5.2. Densidad poblacional

En las dos últimas décadas Xochimilco ha tenido un acelerado crecimiento demográfico, que lo llevó a pasar de 271,151 habitantes en 1990 a 369,787 en el 2000, y a 415,007 en 2010, es decir que tan sólo en dos décadas su población se incrementó en casi 150 mil habitantes. Para 2030 calculamos una población de 550 mil habitantes. (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 22 de octubre de 2013 No. 1717 Tomo IV)

3.1.5.3. Grado de estudios

Un problema en la comunidad de San Lucas Xochimilca, es el analfabetismo de la comunidad; se da principalmente en las familias de vecindados, que han llegado a trabajar, dentro de la población joven y adulta, es casi nulo, mientras que en los adultos mayores, si existe un porcentaje considerable. De tal forma, que mientras que éstos adultos mayores no pasan de primaria terminada (generalmente hasta tercer grado), en el resto en promedio es mínimo secundaria, para grados superiores existe una enorme deserción, principalmente por problemas económicos, donde la familia no puede seguir pagando los estudios, o bien, tiene que trabajar para contribuir al ingreso familiar; se da también que es común que saliendo de la secundaria inicien la carrera desesperada hacia el matrimonio lo que genera una necesidad de tener trabajo. Otro hecho importante que limita continuar con los estudios es un desinterés por continuar estudiando, debido probablemente, a una falta de visión e iniciativa para ello y un conformismo con su situación actual. Durante la primaria el ausentismo escolar es debido principalmente a problemas de salud, el número elevado de festividades y/o compromisos socio-culturales y por problemas familiares (desintegración familiar, violencia intrafamiliar, entre otras), durante este periodo los padres o tutores llevan a los hijos a los planteles, pero durante la secundaria esto no sucede, incrementando el ausentismo escolar en un alto grado, teniendo días de "pinta" grupales, y muy seguido.

En cuanto al equipamiento educativo, se considera que existe una suficiente capacidad de los planteles actuales para cubrir las necesidades de la comunidad. Cuentan con dos Jardines de niños, una primaria y una secundaria.

3.1.5.4. Índice de Marginación

En San Lucas Xochimilca, de acuerdo al INEGI el principal problema es el servicio de salud, ya que no es suficiente para toda la población, ni tienen las especialidades necesaria. Los principales problemas de la población son: respiratorios (tos, gripa, bronquitis), estomacales (diarreas, infecciones, parásitos) tanto en jóvenes y adultos es muy común la gastritis, la hipertensión y la diabetes. Las principales causa de muerte son: el cáncer en sus diferentes tipos, tendiendo una alta incidencia siendo el principal factor de muertes, seguido de los diabéticos, fallas al corazón (alta o baja presión) y por traumatismos (generalmente accidente por vehículos)

3.1.5.5. Cultura del agua en la sociedad de San Lucas y Xochimilco

La cultura del agua es un conjunto de costumbres, valores, actitudes y hábitos que un individuo o una sociedad tienen con respecto a la importancia del agua para el desarrollo de todo ser

vivo, la disponibilidad del recurso en su entorno y las acciones necesarias para obtenerla, distribuirla, desalojarla, limpiarla y reutilizarla. Esta cultura lleva consigo el compromiso de valorar y preservar el recurso, utilizándolo con responsabilidad en todas las actividades, bajo un esquema de desarrollo sustentable, además de transmitirlo como parte de su interacción social, en el caso de la comunidad de San Lucas Xochimanca, la falta del vital líquido ha generado una actitud de cuidado básico respecto al tema del agua. Sin embargo no se puede considerar que exista como tal una cultura del agua.

De acuerdo a la CONAGUA (2009) si queremos contar con agua para las próximas generaciones debemos tomar en cuenta los valores de la Cultura del Agua:

- ✓ El respeto al medio ambiente, o sea, conocer y querer a nuestro planeta.
- ✓ La solidaridad de cada individuo hacia los demás, porque el agua desperdiciada o que se fuga, es la que le falta a otra persona.
- ✓ La disciplina para usar sólo la que necesitamos.
- ✓ La responsabilidad para utilizar correctamente hoy, el agua que va a servir a los ciudadanos del mañana. La sabiduría para utilizar la tecnología, y así lograr que el agua contaminada sea otra vez agua limpia.

Los objetivos de la cultura del agua son:

- ✓ Promover el uso eficiente y ahorro del recurso agua entre la población.
- ✓ Crear una Nueva Cultura del Agua en la niñez.
- ✓ Difundir entre la población el uso de accesorios hidráulicos de bajo consumo.
- ✓ Promover el uso de agua residual tratada en aquellos usos que no requieran la calidad potable.
- ✓ Crear conciencia del costo del suministro del agua, para que el usuario esté dispuesto a pagarla.
- ✓ Contar con sistemas eficientes de medición, facturación y cobranza en los municipios.
- ✓ Promover la cultura de pago del servicio.
- ✓ Desarrollar campañas de detección y reparación de fugas en redes municipales y casas habitación.
- ✓ Incentivar y premiar el uso racional del agua.
- ✓ Despertar el entusiasmo por participar.
- ✓ Llevar a cabo la campaña de la cultura del agua en forma permanente.

Las metas del programa “Agua para todos” (CONAGUA, 2011) basados en los principios de la cultura del agua son:

- ✓ Lograr que los habitantes del estado, comprendan que el agua es un recurso limitado y vital que se nos está terminando.
- ✓ Lograr que la ciudadanía adopte actitudes y hábitos racionales y responsables con respecto al consumo del agua, para evitar su derroche y por lo tanto su escasez.
- ✓ Lograr que la población, pague un precio justo por los servicios de agua que se le proporcionan.

Alcanzar la recuperación de caudales mediante:

- ✓ Catastro de redes
- ✓ Macromedición y Micromedición
- ✓ Detección y reparación de fugas
- ✓ Sistemas comerciales.

Las principales líneas de acción del presente programa son:

- ✓ Sin agua no hay vida, debemos actuar ya, ahora es cuando debemos crear conciencia sobre la importancia que tiene el agua en nuestras vidas, mediante:
- ✓ Modernización del marco legal.
- ✓ Participación del gobierno y sociedad en las adecuaciones a las diferentes leyes y reglamentos que interviene en el manejo del agua.
- ✓ Impulsar el desarrollo de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales y el reuso de aguas residuales tratadas, con el objeto de rescatar caudales de agua potable y utilizar agua residual tratada en los procesos que no requieren dicha calidad.
- ✓ Capacitar técnicamente al personal en la detección y reparación de fugas y reducir en un 10% éstas a largo plazo; lo que traerá como consecuencia la recuperación de caudales para abastecer a la población.
- ✓ Promover la sustitución de muebles y accesorios de bajo consumo y la reparación de fugas en escuelas y edificios públicos.
- ✓ Disminuir el consumo en litros por habitante por día, haciendo un uso más eficiente del agua.

Promover el incremento de las eficiencias de los Organismos Operadores del servicio y fomentar una cultura de pago de los mismos; ya que de 100 m³ de agua que se dispongan, en

la actualidad se pierde el 30% en fugas, con lo cual tenemos disponible 70 m³, si de éstos únicamente se paga el 50%, realmente estamos cobrando 35 m³.

- ✓ Promover en el sistema educativo estatal la Cultura del Agua, desarrollando en los libros de texto de primarias y secundarias, el tema del uso eficiente y ahorro del agua, fomentando la capacitación de su personal docente en la materia, así como dirigir a la población infantil campañas de concientización sobre la materia.
- ✓ Realizar campañas de comunicación social sobre el tema, dirigidas a la población en general. Fomentar el desarrollo tecnológico para el uso eficiente del agua.

3.2. Factores de impacto en la pérdida de la vocación del Vaso Regulador San Lucas (VRSL)

3.2.1. Urbanización en la zona cercana al VRSL

En los últimos 30 años, 20 por ciento de Xochimilco se ha urbanizado, y su crecimiento continúa sin control y no se conserva la tradición chinampera, en 2050 será completamente urbano. La UNESCO (2006) enfatiza el valor de los ecosistemas urbanos y lacustres, como medio humedal urbano en Xochimilco, pieza muy importante para la supervivencia de la ciudad de México en varios aspectos. Entre ellos, se destaca que Xochimilco es un amortiguador del cambio climático, que se calcula sería arriba de dos grados centígrados de la temperatura actual, es una zona de filtración de agua que contribuye a la recarga del acuífero. En particular la zona de San Lucas Xochimanca, se ha caracterizado por un crecimiento no planificado, como ya se mencionó en las últimas tres décadas la zona aledaña al VRSL, se vio llena de unidades habitacionales de interés social y asentamientos irregulares principalmente.

3.2.2. Consecuencias de la Urbanización

De acuerdo con la UNAM (2011) un problema en la zona de Xochimilco es la llegada de asentamientos urbanos no planificados, lo que consigo trajo un cambio en el ecosistema, que va desde la llegada de perros y gatos, hasta las carpas. El proceso de urbanización ha sido lento, pero los daños al medio han sido dramáticos, de estos asentamientos se extraen 800 toneladas de basura, sin contar los cambios en el medio urbano, que dejó de ser de montañas y ríos para dar paso a calles y viviendas, en muchos casos de materiales de reuso.

Otra amenaza es la construcción de la Autopista Urbana Oriente, que iría de Muyuguarda a la Calzada Ignacio Zaragoza, con casi 15 kilómetros de extensión. El documento Manifestación de

Impacto Ambiental presentado por la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad, señala que dicha obra implicó la tala de dos mil 584 árboles: mil 147 cedros, ahuejotes, ahuehuetes, fresnos y sauces, decretados Monumentos Urbanísticos, lo que también implica la destrucción de parques y espacios públicos. Y a su vez hizo que Xochimilco se considerara una nueva zona para la vivienda, y construcción de fraccionamientos. La zona de San Lucas Xochimanca, sobre todo en la parte noreste, cuenta con unidades habitacionales, y las zonas altas se han fraccionado dando lugar a nuevas colonias.

La población se ha multiplicado en 60 años en más de 11 veces, y su área urbana pasó de alrededor de 10,000 hectáreas a 130,000 hectáreas, es decir, se multiplicó 13 veces más que la población, lo que muestra una expansión dispersa. El crecimiento del territorio urbano de la ZMVM no es suficiente para compensar el crecimiento de la población, pues la disponibilidad de áreas verdes urbanas decreció en un 83% de 1950 al año 2000. Lo anterior es un factor clave de la insustentabilidad de la ZMVM, debido a que la falta de áreas verdes implica la pérdida de servicios ambientales y por tanto afectaría el bienestar de la población.

En la zona de la montaña de Xochimilco, lugar en donde se aloja el VRSL los procesos de deforestación generan importantes efectos ambientales negativos, que tienen que ver con el régimen del agua y con el régimen del suelo, así como con la conservación de la biodiversidad y con el régimen climático, por mencionar sólo las principales consecuencias de la deforestación (FAO, 2005).

3.2.3. Sobre explotación de los mantos acuíferos en la ZMVM

Los acuíferos del Distrito Federal se encuentran sobreexplotados debido a la creciente demanda, y se prevé que se encontrará en situación crítica por la presión del agua para el año 2025, indica información del Instituto Nacional de Ecología. Según la CONAGUA (2011), desde 1954 se rebasó el límite de sustentabilidad y se extrae cinco veces más líquido de lo que se recarga. En el Distrito Federal se estima un consumo por persona al día de 364 litros mientras que en el Estado de México es de 230 litros, cabe destacar que el consumo del líquido es desigual y depende del ingreso familiar.

La Ciudad de México obtiene más del 70% de su suministro de agua del sistema acuífero que se extiende bajo el área metropolitana, cuyos niveles se ven afectados y presentan una baja promedio de 1m/año en áreas específicas y una degradación en la calidad del agua, al mismo tiempo, la expansión de la ZMVM a futuro significará también la deforestación de un aparte

significativa de las áreas circundantes que ahora funcionan como reguladores hidrológicos del ya seriamente alterado ciclo del agua de la cuenca de México.

Adicionalmente a lo anterior, la visión de la CONAGUA expresada en el VI Encuentro Nacional de Cultura del Agua, señala que el déficit de agua en el Valle de México se está atendiendo a costa de la sobreexplotación de los acuíferos, lo cual considero es insostenible en el largo plazo.

3.3. Marco Jurídico del Vaso Regulador San Lucas

En el Distrito Federal la Ley de aguas aprobada en 2003, exige la captación de agua de lluvia en nuevas edificaciones y promueve la implementación de estos sistemas en todas las construcciones. El aprovechamiento de lluvia como solución a los problemas urbanos también es afirmado en la Ley de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático del DF aprobada en junio de 2011.

Por otro lado, la Secretaría de Medio Ambiente de la ciudad tiene un programa que certifica las edificaciones sustentables, para que reciban apoyos fiscales. Además, tanto el código fiscal como financiero de la ciudad, tiene artículos que se refieren a los apoyos existentes para las edificaciones que busquen hacer un buen uso de los recursos y contaminar menos.

3.3.1. Ley Nacional de Aguas

Con relación a esta Ley encontramos los artículos que se refieren al aprovechamiento del agua de lluvia

Titulo noveno – De la cosecha de agua de lluvia del distrito federal

Capítulo I – Disposiciones generales

Artículo 123.- El presente título es de orden público, interés social y de observancia general en el territorio del Distrito Federal y tiene por objeto:

- I. Regular, promover, organizar e incentivar la cosecha de agua de lluvia, su potabilización para el consumo humano y uso directo en actividades rurales, urbanas, comerciales, industriales y de cualquier otro uso en el Distrito Federal, en congruencia con lo establecido en la Ley de Aguas del Distrito Federal y con el fin de consolidar y fortalecer las políticas, estrategias, programas y acciones gubernamentales y de participación de la población para la gestión sustentable e integral de los recursos hídricos y la prestación

de los servicios públicos de agua potable, drenaje y alcantarillado, así como el tratamiento y reúso de aguas residuales;

- II. Establecer los principios para garantizar la participación consciente de los sectores público, privado, social, ejidos, comunidades, barrios, pueblos y las y los habitantes del Distrito Federal en la conservación, preservación, rescate, rehabilitación y ampliación de los ecosistemas y, por consiguiente, en el equilibrio ambiental y del ciclo hidrológico en el territorio del Distrito Federal;

Artículo 125.- En todas las nuevas edificaciones, instalaciones, equipamientos, viviendas y obras públicas que se construyan en el Distrito Federal será obligatorio, construir las obras e instalar los equipos e instrumentos necesarios para cosechar agua de lluvia, con base en las disposiciones que se establezcan en el Reglamento de esta Ley.

Artículo 126.- Los ejes principales de la formulación, ejecución y vigilancia de las políticas, estrategias, programas, presupuestos y acciones que deberán observar las autoridades competentes en materia de promoción, organización y otorgamiento de incentivos a la población por acciones individuales o colectivas de cosecha de agua de lluvia en el Distrito Federal son:

- I. La cosecha de agua de lluvia debe ser considerada política prioritaria y, por tanto, promovida, organizada e incentivada en congruencia con la regulación de la gestión integral de los hídricos y la prestación de los servicios públicos de agua potable, drenaje y alcantarillado, así como el tratamiento y reúso de aguas residuales;
- II. Definir, garantizar, diseñar y ejecutar un Subprograma de Cosecha de Agua de Lluvia de la Administración Pública del Distrito Federal: Central, Desconcentrada y Paraestatal, que además de alentar las acciones individuales o colectivas de los sectores privado y social, ejidos, comunidades, barrios y pueblos, así como de las y los habitantes del Distrito Federal, compense las irregularidades de la distribución de la precipitación pluvial en su territorio, mediante suministro de volúmenes de agua pluvial potabilizada por dicho subprograma a las y los habitantes que viven en zonas de baja precipitación pluvial o carezcan de las posibilidades o condiciones de cosechar aguade lluvia;

- IV. Apoyar, estimular, promover, organizar e incentivar las acciones de cosecha de agua de lluvia de la población de la ciudad de México, con los siguientes:
- a) Subprograma de Cosecha de Agua de Lluvia en los Ejidos, Comunidades, Barrios y Pueblos Rurales del Distrito Federal;
 - b) Subprograma de Cosecha de Agua de Lluvia en los Hogares de las y los Habitantes del Distrito Federal;
 - c) Subprograma de Cosecha de Agua de Lluvia en Todas las Nuevas Edificaciones, Instalaciones, Equipamientos, Viviendas y Obras Públicas del Distrito Federal;
 - d) Subprograma de Adquisiciones de Tecnología, Materiales de Construcción, Infraestructura, Equipos e Instrumentos para Garantizar la Cosecha de Agua de Lluvia, su Potabilización y Otros Usos en el Distrito Federal;
- V. Introducir en todos las políticas, estrategias, programas, presupuestos y acciones del Gobierno del Distrito Federal como eje transversal la cultura del uso racional, ahorro y reúso de agua potable y de construcción en todos sus edificios, oficinas, instalaciones y propiedades, la construcción de obras, infraestructura equipos e instrumentos para la cosecha de agua de lluvia.

Capítulo III – De la planeación y congruencia de las políticas, estrategias y programas en materia de cosecha de agua de lluvia con la política de gestión integral de los recursos hídricos.

Artículo 133.- La planeación de cosecha de agua de lluvia; los usos, ahorros y reúsos de agua pluvial potabilizada para el consumo humano con fines domésticos; y el aprovechamiento directo del agua pluvial cosechada para usos urbano, rural, comercial, industrial o de cualquier otro uso en el Distrito Federal, constituyen la sistematización de la estructuración racional, organización, promoción y otorgamiento de incentivos en esta materia y guardarán congruencia con el Programa General de Desarrollo del Distrito Federal y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

Capítulo V – De la constitución, integración y administración del fondo general de apoyo a la cosecha de agua de lluvia del distrito federal

Artículo 142.- Se crea el Fondo General de Apoyo a la Cosecha de Agua de Lluvia del Distrito Federal, mismo que será administrado y operado por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, de acuerdo a lo señalado en el capítulo correspondiente a la Competencia de esta Ley.

Artículo 144.- El Fondo sólo podrá destinar, autorizar, programar, ejercer y devengar sus recursos para alcanzar los siguientes fines:

- I. Adquirir, construir, mantener, rehabilitar, remodelar o ampliar inmuebles cuyo uso exclusivo sea organizar, promover o incentivar la cosecha de agua de lluvia, construir obras públicas, dotar de infraestructura, instalar equipos e instrumentos para la cosecha de agua de lluvia, su potabilización para consumo humano o su aprovechamiento para uso rural y urbano;
- II. Comprar, rentar, mantener, rehabilitar o incrementar infraestructura, instalar equipos, instrumentos y todo tipo de objetos muebles cuyo uso exclusivo sea organizar, promover o incentivar la cosecha de agua de lluvia, su potabilización para consumo humano o su aprovechamiento para uso rural y urbano;

Artículo 145.- Los instrumentos son los medios por los cuales se definirán, autorizarán y otorgarán los incentivos económicos y en especie, a los cosechadores(as) del sector público y social, ejidos, comunidades, barrios y pueblos, así como las y los habitantes del Distrito Federal que realicen cualquier acción para cosechar un metro cúbico o más de agua de lluvia en el Distrito Federal, su potabilización para consumo humano en el Distrito Federal.

Artículo 146.- Los instrumentos podrán ser de desregulación, y simplificación administrativa, financieros, fiscales, de organización, de promoción, de infraestructura, de investigación y desarrollo tecnológico, asesoría, capacitación, actualización y superación profesional y técnica.

Decreto por el que se reforman y adicionan diversos artículos de la ley de aguas del distrito federal. (31 de marzo de 2011)

Artículo 125 BIS.- En las edificaciones nuevas que se construyan en los predios localizados en las Zonas I y II de lomas o de transición en el Distrito Federal, conforme a la zonificación indicada en el Capítulo VIII del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, será

obligatorio contar con sistemas de cosecha y recarga de aguas pluviales al subsuelo que permitan su infiltración. Dicha infiltración deberá encausarse a través de diferentes sistemas, como zanjas y pozos de absorción, pisos filtrantes, estacionamientos con pasto o de cualquier material que permita la infiltración del agua de lluvia y la recarga al subsuelo.

Artículo 125 BIS 1.- Para el caso de las nuevas construcciones que se encuentren cercanas a áreas verdes, barrancas, zonas boscosas o cualquier otra cubierta vegetal o área natural, se deberá establecer el sistema de cosecha y de recarga de aguas pluviales al subsuelo señalado en el artículo anterior o un sistema en el cual se encause el agua de lluvia a estos lugares permitiendo su infiltración.

Artículo 125 BIS 2.- El porcentaje total de área libre de construcción de las nuevas edificaciones del Distrito Federal, serán áreas verdes y las zonas que se destinen a estacionamiento de vehículos se deberá cubrir con pasto o con material permeable que permita la infiltración del agua de lluvia, siempre y cuando los predios se encuentren en los suelos de lomas o de transición, Zona I y II del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

Artículo 125 BIS 4.- Todos los proyectos que estén sujetos al Estudio de Impacto Urbano deberán contar con un sistema de captación y recargas de aguas pluviales al subsuelo.

3.3.2. Jefatura de Gobierno; Decreto de creación de la Autoridad Máxima de la Zona de Patrimonio Mundial Natural y Cultural de la Humanidad, Xochimilco, Tlahuac, Milpa Alta.

En la Gaceta Oficial del Distrito Federal, publicada el 11 de diciembre del 2012, se establece lo siguiente:

“Decreto por el que se crea la autoridad de la zona patrimonio mundial natural y cultural de la humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, como un órgano de apoyo a las actividades de la jefatura de gobierno en las delegaciones Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta de la ciudad de México.

Miguel Ángel Mancera Espinosa, Jefe de Gobierno del Distrito Federal, en ejercicio de las facultades que me confieren los artículos 122, apartado C, Base Segunda, Fracción II, inciso b),

de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; 8º, Fracción II, 12, Fracciones II, IV, V, VI y IX; 67, Fracción II y XXVI, 90, 115, Fracciones I, II, VI, VII, IX y XI y 116 del Estatuto de Gobierno del Distrito Federal; 2º, 4º, 5º, 6º, 14, 15, 16 y del 23 al 32 Bis de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal; y 15, 26 Fracción II, del Reglamento Interior de la Administración Pública del Distrito Federal, y CONSIDERANDO Que de conformidad con la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, el Estatuto de Gobierno del Distrito Federal y la Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal, es facultad del Jefe de Gobierno del Distrito Federal promulgar, publicar y ejecutar las leyes y decretos que expida la Asamblea Legislativa, proveyendo en la esfera administrativa a su exacta observancia, mediante la expedición de reglamentos, decretos y acuerdos.

Que la organización administrativa en el Distrito Federal en los procedimientos y actos administrativos en general debe atender los principios de simplificación, agilidad, economía, información, precisión, legalidad, transparencia e imparcialidad. Que la zona de chinampas, lacustres y colindantes con los cuerpos de agua en las Delegaciones Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta sufrió un grave deterioro en la segunda mitad del siglo veinte, con motivo de la expansión de la mancha urbana entre las décadas de 1960 a 1980 y en tres aspectos esenciales para su supervivencia;

Primero la extracción masiva de agua motivada por el aumento en la densidad poblacional en el sur de la ciudad, el segundo lo constituyó la invasión de zonas ecológicas y de cultivo para la construcción de casas habitación y, el tercero, la disminución en la calidad del agua en las chinampas y zonas lacustres.

Que por decreto del Ejecutivo Federal, de 4 de diciembre de 1986, publicado en el Diario Oficial de la Federación, se declaró Zona de Monumentos Históricos un área de 89.65 km², ubicadas en las Delegaciones Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta.

Que el 11 de diciembre de 1987, la UNESCO declaró Patrimonio Mundial, Cultural y Natural al sistema de chinampas de Xochimilco y Tláhuac, por el valor que conservan sus canales y chinampas, similares a los que existían en el Islote que albergaba México Tenochtitlán y que conformaban el sistema que permitía el desarrollo sustentable de una comunidad densamente poblada, por lo que debe ser protegido para beneficio de la humanidad.

Que mediante decreto presidencial, publicado los días 7 y 11 de mayo de 1992 en el Diario Oficial de la Federación, se estableció como Zona Prioritaria de Preservación y Conservación del Equilibrio Ecológico y se declaró Área Natural Protegida, bajo la categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica, la zona conocida como “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, en la Delegación Xochimilco.

Que el 31 de enero de 2005, se publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el Acuerdo de creación de la Comisión Interdependencial para la Conservación del Patrimonio Natural y Cultural de Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco, como un órgano de planeación, coordinación, apoyo, consulta y seguimiento de los programas, proyectos, y acciones que promovieran la investigación, difusión, protección, conservación, mantenimiento, restauración y desarrollo sustentable del Patrimonio Mundial, Natural y Cultural de Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta.

Que para consolidar, ampliar y eficientar las políticas, programas y acciones del gobierno en materia de investigación, difusión, protección ecológica, conservación, mantenimiento, restauración y desarrollo sustentable del área que comprende el Patrimonio Mundial, Natural y Cultural de Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, es necesario crear un órgano desconcentrado de apoyo a las actividades del Jefe de Gobierno en dicha Zona, dotado de atribuciones propias y en el que además se concentren, por delegación, las atribuciones y facultades que las dependencias y órganos de la Administración Pública del Distrito Federal ejerzan en dicho territorio, así como las atribuciones de coordinación de la autoridad central con las Delegaciones de Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, para el manejo, conservación y regeneración del agua de los manantiales y canales, la recuperación de la zona chinampera, el ordenamiento territorial en las zonas colindantes con los cuerpos de agua, así como la protección de la zona de monumentos históricos, considerando la participación ciudadana en los ámbitos social, cultural, ecológico y académico.

3.3.3. Sistema de aguas de la Ciudad de México; Programa de Gestión Integral e Recursos Hídricos; visión 20 años (PGIRH)

El Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos 2004-2009 se establece como el instrumento rector de la política hídrica en la ciudad de México, teniendo como estrategias prioritarias:

- a) El uso de los recursos hídricos bajo un marco de desarrollo sustentable;

- b) La evaluación de procesos de planeación y programación;
- c) La administración y gestión de los recursos hídricos;
- d) La eficiencia en la prestación de servicios;
- e) El mejor uso de las aguas;
- f) La conservación, ampliación y mayor eficiencia de la infraestructura; y
- g) El mejoramiento del sistema financiero

3.3.4. La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional. Convenio RAMSAR 1971.

La Lista de Ramsar se estableció con arreglo al párrafo 1 del artículo 2 de la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), que dice lo siguiente: “Cada Parte Contratante designará humedales idóneos de su territorio para ser incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional, en adelante llamada “la Lista”, que mantiene la Oficina [secretaría de la Convención] establecida en virtud del Artículo 8.”

Los humedales incluidos en la Lista pasan a formar parte de una nueva categoría en el plano nacional y la comunidad internacional reconoce que tienen un valor significativo no sólo para el o los países donde se encuentran, sino también para la toda la humanidad.

La Convención estipula que “la selección de los humedales que se incluyan en la Lista deberá basarse en su importancia internacional en términos ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos o hidrológicos.” Con los años la Conferencia de las Partes Contratantes ha adoptado criterios más precisos para interpretar el texto de la Convención, así como una Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar y un Sistema de Clasificación de tipos de humedales.

Todas las cuestiones relacionadas con la Lista de Ramsar se encapsularon en la Resolución VII.11 adoptada por la Conferencia de las Partes en mayo de 1999, titulada Marco estratégico y lineamientos para el desarrollo de la Lista de Humedales de Importancia Internacional²

² El Marco Estratégico está disponible en versión impresa como No. 17 de la serie Manuales Ramsar y en la página Web de Ramsar en: www.ramsar.org/pdf/lib/hbk4-17sp.pdf.

El contenido íntegro del Marco Estratégico descansa en la siguiente “Visión para la Lista de Ramsar”: “Crear y mantener una red internacional de humedales que revistan importancia para la diversidad biológica mundial y para el sustento de la vida humana debido a las funciones ecológicas e hidrológicas que desempeñan.”

En el caso de México, se estableció una zona en la Delegación Xochimilco, cuyos datos de ubicación se muestran en la Tabla 7.

TABLA 6. DATOS DE UBICACIÓN DE LA ZONA CONSIDERADA POR LA UNESCO COMO PATRIMONIO MUNDIAL, CULTURAL Y NATURAL				
Sitio	Fecha de designación	Región, provincia, estado	Área	Coordenadas
Sistema Lacustre Ejidotes de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco	02/02/04	Distrito Federal	2,657 ha	19°17'N 099°04'W

3.3.5. Ley de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (1988).

Esta ley, contiene un apartado especializado en, el manejo del agua, residual a fin de contrarrestar la contaminación del vital líquido,

Artículo 118.- Los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua serán considerados en:

- I.- La expedición de normas oficiales mexicanas para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública; Fracción reformada DOF 13-12-1996
- II.- La formulación de las normas oficiales mexicanas que deberá satisfacer el tratamiento del agua para el uso y consumo humano, así como para la infiltración y descarga de aguas residuales en cuerpos receptores considerados aguas nacionales; Fracción reformada DOF 13-12-1996

- III. Los convenios que celebre el Ejecutivo Federal para entrega de agua en bloque a los sistemas usuarios o a usuarios, especialmente en lo que se refiere a la determinación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que deban instalarse;
- IV.- El establecimiento de zonas reglamentadas, de veda o de reserva en términos de la Ley de Aguas Nacionales; Fracción reformada DOF 13-12-1996
- V. Las concesiones, asignaciones, permisos y en general autorizaciones que deban obtener los concesionarios, asignatarios o permisionarios, y en general los usuarios de las aguas propiedad de la nación, para infiltrar aguas residuales en los terrenos, o para descargarlas en otros cuerpos receptores distintos de los alcantarillados de las poblaciones; y
- VI. La organización, dirección y reglamentación de los trabajos de hidrología en cuencas, cauces y álveos de aguas nacionales, superficiales y subterráneos.
- VII.- La clasificación de cuerpos receptores de descarga de aguas residuales, de acuerdo a su capacidad de asimilación o dilución y la carga contaminante que éstos puedan recibir. Fracción adicionada DOF 13-12-1996

3.3.6. Programa Delegacional de Desarrollo Urbano Xochimilco 2012-2015.

La Delegación Xochimilco inició desde el año 2000 un proceso de planeación en diversas esferas y niveles territoriales, como antecedentes tenemos el Plan de Manejo del Patrimonio Cultural de la Humanidad, elaborado conjuntamente con la UNESCO en el 2006, el cual considera una poligonal regional que incluye una pequeña parte de las delegaciones Milpa Alta y Tláhuac. También contamos con el Programa Delegacional de Desarrollo Urbano publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 6 de mayo de 2005 y el programa de Manejo del Área Natural Protegida con carácter de Zona de Conservación Ecológica "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco" publicado en la Gaceta Oficial el 11 de enero de 2006.

Otros programas que forman parte de los antecedentes del presente Programa son los siguientes:

- Programa Metropolitano de Recursos Naturales (Federal) Programa de Desarrollo Regional Sustentable (SEMARNAT) Programa para la Conservación y Restauración de los Recursos Naturales en la Zona Metropolitana del Valle de México (Federal)
- Programa General de Desarrollo Urbano
- Programa de Fondos de Apoyo para la Conservación y Restauración de los Ecosistemas a través de la Participación Social (PROFACE)
- Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal
- Programa de Fomento Cooperativo en el Distrito Federal
- Programas Desarrollo Social y Equidad para las Comunidades

3.3.7. Programa de Certificación de edificaciones sustentables – Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal – Noviembre de 2008

Promover y fomentar la reducción de emisiones contaminantes y el uso eficiente de los recursos naturales en el diseño y operación de edificaciones en el Distrito Federal, con base en criterios de sustentabilidad y eficiencia ambiental; a través de la implementación y certificación de un proceso de regulación voluntaria y el otorgamiento de incentivos económicos.

Ámbito de Aplicación

El Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables será aplicable en el Territorio del Distrito Federal a partir del año 2009.

Los beneficios ambientales del Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables son:

- Uso eficiente y responsable de los recursos naturales
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, del efecto isla de calor urbano, además de los encharcamientos en la ciudad, gracias a mayor presencia de áreas verdes y promoción de azoteas ecológicas.
- Ahorro y eficiencia energética por la sustitución de lámparas y ahorro en gas, entre otras medidas. Aplicación de tecnologías de energías alternativas, como los paneles solares.

- Cumplimientos más allá de la normatividad en términos del reúso y descarga de aguas residuales, emisiones contaminantes al aire, ahorro de energía y generación y manejo de residuos sólidos.
- Mejora regulatoria al transformarse las acciones de carácter correctivo en preventivo.
- Los criterios especificados en este programa tienen que ver con energía, agua, manejo de residuos, calidad de vida y responsabilidad social, impacto ambiental y otros impactos, otorgando a cada uno una puntuación determinada con base ponderada sobre 100 puntos.

Agua: En este apartado se privilegian la captación y/o infiltración de aguas pluviales (20% del puntaje asignado para el criterio de agua), el tratamiento y uso de aguas grises (32% del puntaje total) y el ahorro de agua potable (50% de los puntos totales). Para el primer caso, se podrán obtener hasta 5 puntos acreditando infraestructura construida para la captación y aprovechamiento de las aguas pluviales en usos específicos y/o para la infiltración de aguas pluviales en los casos en donde sea posible la recarga de agua al subsuelo, según aprobación del SACM.

En el caso de aguas grises, se podrán obtener hasta 8 puntos, ya sea por instalación de una planta para su tratamiento, o bien por utilización del agua residual tratada de la red de distribución municipal.

Por último para las acciones de ahorro de agua potable, se podrán obtener hasta 12 puntos, divididos de la siguiente manera: 5 puntos por acreditación de eliminación de fugas, 5 puntos por uso de tecnología, dispositivos y elementos ahorradores de agua y 2 puntos por campañas de culturización dirigidas a los inquilinos o usuarios del edificio.

3.3.8. Ley de mitigación y adaptación al Cambio Climático y desarrollo sustentable del Distrito Federal junio 16 de 2011

Este es el principal artículo en donde se hace referencia a la captación de agua de lluvia como una solución ante el cambio climático y se exige su utilización en las nuevas construcciones

ARTÍCULO 22.- En materia de mitigación de gases efecto invernadero, se deberán considerar en los sectores, las siguientes directrices:

- e) Fomento a las edificaciones sustentables que incluyan sistemas de eficiencia energética, captación de agua pluvial, rehusó y descarga de aguas residuales, reducción de emisiones contaminantes al aire y manejo de residuos sólidos sustentable.

- IX. Preservación y aprovechamiento de recursos hídricos, así como la recarga de mantos acuíferos;

- X. La ejecución de sistemas de captación y recargas de agua pluviales al subsuelo, mediante la colocación de zanjas de absorción o cualquier otra tecnología que permita la infiltración al subsuelo.

- XI. Promover que las nuevas construcciones o edificaciones, deberán implementar sistemas de captación, tratamiento y aprovechamiento de agua pluvial para las áreas de sanitarios y reúso y tratamiento de aguas grises para riego de áreas verdes.

- XII. Las nuevas construcciones o edificaciones deberán contar con redes separadas de agua potable, de agua residual tratada y cosecha de agua de lluvia, debiéndose utilizar esta última en todos los usos que no requieran agua potable.

- XIII. La adopción de medidas para el monitoreo y evaluación de los recursos hídricos y sistemas de bombeo, para el establecimiento de indicadores de sustentabilidad.

Capítulo 4 Estrategias para el rescate del lugar

4.1. Catalogación como patrimonio mundial

Mucho de lo que pueda ser considerado o planeado para atención de la situación del sitio de estudio, queda en función de la parte jurídica y de la categorización que pueda asignarse al lugar. Evidentemente deben involucrarse todos los niveles de legislación para que se atraigan las mejores y más adecuadas consideraciones jurídicas, a fin de generar una salida legalmente fundamentada que permita crear condiciones, en todos los ámbitos, para cambiar la condición en la que se encuentra el VRSL. Esta investigación solo considera la intención de generar beneficios directos al medio ambiente, al ciclo hidrológico y por ende a la población y entorno urbano. En este trabajo de investigación fue necesario hacer una revisión de normatividad y aspectos jurídicos, que necesariamente deben conocerse e interpretarse, a fin de trascender de lo superficial y evidente a las estrategias de fondo que puedan sustentar el cambio y permitan la sostenibilidad de la operación evitando la generación de simple esfuerzos aislados. Para

efectos de este trabajo de investigación se declaran los términos que son aludidos en la Ley Nacional de Aguas de acuerdo a lo siguiente:

- Artículo 3ºfracción II, "Acuífero": Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo.
- Fracción IV, "Aguas del subsuelo": Aquellas aguas nacionales existentes debajo de la superficie terrestre.
- Fracción VI, "Aguas Residuales": Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usospúblico urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas detratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas.
- Fracción XVII, "Cuerpo receptor": La corriente o depósito natural de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas, cuando puedan contaminar los suelos, subsuelo o los acuíferos.
- Fracción XXII "Descarga": La acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor.

4.2. Incorporación al polígono del Plan Maestro Unesco Xochimilco

Dentro de este esquema de trabajo el VRSL, puede ser incorporado al polígono de actuación, de acuerdo con los siguientes argumentos. En primera es una zona núcleo con potencial de recuperación, dado que es un espacio con una mayor densidad y calidad patrimonial.

Como segundo fundamento está el defender que la incorporación del VRSL, cumple con los atributos que fueron privilegiados al momento de diseñar el plan de manejo de recuperación, que son: el manejo del agua de los manantiales y canales, la recuperación de la zona chinampera y el ordenamiento territorial en las zonas colindantes con los cuerpos de agua.

Además el VRSL es una zona natural en la que se puede dar la filtración de agua a los mantos acuíferos. Si consideramos que el núcleo duro del proyecto de rehabilitación de la zona de Xochimilco se encuentra en favorecer los factores ambientales y urbanos relacionados con la preservación de los canales y las chinampas, podemos afirmar que el VRSL, es sin duda un problema ambiental y urbano.

4.2.1. Líneas estratégicas (agua)

La condición actual del VRSL presenta una constante existencia de residuos sólidos, lo que provoca quejas y denuncias por los vecinos del Vaso Regulador, presentadas al Gobierno Delegacional en Xochimilco, a medios informativos y en entrevistas. Estos residuos sólidos (basura) al interior del sitio que generan además de mala imagen, un tipo de contaminación. Lo controversial es que a pesar de acciones gubernamentales por retirar la basura y material contaminante, el problema persiste, lo cual se puede entender considerando que la misma población es quien se encarga de esta práctica ilícita. No basta la acción de mitigación emprendida por el gobierno, es necesaria la conciencia de la gente para poner solución a este asunto. Aunado a esto las quejas ciudadanas también denuncian la indiscriminada descarga de aguas residuales que desde hace muchos años persiste generando condiciones de molestia ante los vecinos y afectaciones al medio ambiente.

Una de las estrategias es apegarse a las disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales vigente que en entorno a este tema señala:

- Descargas residuales.- La Ley de Aguas Nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992, enuncia en su Artículo 88 que las personas físicas o morales requieren permiso de descarga expedido por "la autoridad del agua" para verter en forma permanente o intermitente aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales o demás bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos. En su inciso II, menciona que se deberá tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, cuando sea necesario para cumplir con lo dispuesto en el permiso de descarga correspondiente y en las normas oficiales mexicanas.

- Residuos sólidos.- En la actualidad la Ley de Aguas Nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992, enuncia en su Artículo 86 bis la prohibición de arrojar o depositar en los cuerpos receptores y zonas federales, en contravención a las disposiciones legales y reglamentarias en materia ambiental, basura, materiales, lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales y demás desechos o residuos que por efecto de disolución o arrastre, contaminen las aguas de los cuerpos receptores, así como aquellos desechos o residuos considerados peligrosos en las normas oficiales mexicanas respectivas.

Otro problema, como ya se menciona en el capítulo anterior fue el crecimiento acelerado de la mancha urbana en la Ciudad de México entre las décadas de 1960 y 1980, especialmente en las zonas aledañas al VRSL se observó la ocupación o invasión de predios de conservación, la extracción masiva de agua de los acuíferos de la zona, así como la disminución de la calidad de la misma en el Río Santiago y San Lucas (Aguilar, Espinosa y Carballo, 2006).

En comparación con el resto de la ciudad, Xochimilco presentó un crecimiento poblacional acelerado entre 1960-1980 (alrededor del 5 por ciento anual en comparación a una tasa de 2.5 por ciento para el resto del Distrito Federal). Esta situación, aunada con la existencia de pocos suelos aptos para la construcción de casas habitación, provocó la ocupación irregular de zonas ecológicas y de cultivo, así como de humedales destinados a la captación y filtración de agua de lluvia. Esta información nos permite afirmar que ante el crecimiento de la mancha urbana en la región, tanto los suelos de conservación como las áreas tradicionales de cultivo fueron cediendo espacios a zonas urbanizadas, y en el caso del VRSL se afectó de manera directa la vocación del sitio (Aguilar, Espinosa y Carballo, 2006).

Por otra parte, el incremento poblacional en otras áreas del sur de la Ciudad provocó un aumento de la demanda por agua para uso residencial e industrial que, entre los años sesenta y los ochenta, fue cubierto con los recursos disponibles en los manantiales y pozos existentes en Xochimilco. Dicha situación provocó que buena parte de este líquido fuera sacado de la demarcación y no permitiera un flujo constante dentro del sistema de canales, lagos y chinampas (Aguilar, Espinosa y Carballo, 2006).

Adicionalmente, los predios ecológicos invadidos –y utilizados para la construcción de casas habitación– no contaban con la infraestructura básica de drenaje por lo que los desechos y

aguas negras de estas construcciones se dirigían directamente a lugares como el VRSL. Estas dos situaciones provocaron, en el mediano plazo, el estancamiento del agua de Xochimilco y la disminución de la calidad de la misma. Algunos efectos paralelos de esta problemática fueron la muerte de flora y fauna de la región (alguna de ella endémica), el crecimiento descontrolado de lirio acuático y el deterioro de presas como la de San Lucas Xochimanca (Aguilar, Espinosa y Caraballo, 2006).

4.3. SEDATU, Programa HABITAT 2014

Hábitat es un Programa de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, que promueve la regeneración urbana y el desarrollo comunitario, para contribuir a mejorar las condiciones de habitabilidad de los hogares en las zonas de actuación, en las que se concentra pobreza, rezagos en infraestructura, servicios y equipamiento urbano, condiciones sociales que ameriten la intervención preventiva, así como las de los centros históricos urbanos.

México atravesó por un proceso acelerado de urbanización y crecimiento demográfico desordenado entre los años 1940 y 1980. En la década de los ochentas, con la institucionalización de la planeación urbana, se empiezan a observar estos fenómenos desde una perspectiva territorial que fundamentalmente buscaba que el crecimiento urbano fuera ordenado, en esta etapa se comienza a tener un cambio drástico de población que migra del ámbito rural al urbano. Dicha migración fue el resultado de la falta de oportunidades en el medio rural y de la concentración de actividades económicas de tipo secundarias y terciarias que sedio en las ciudades, dando como resultado la conversión de grandes terrenos de uso rural, que principalmente se ubicaba en las periferias de la ciudad, a uso urbano, misma que fue realizada sin planeación y un escaso o nulo ordenamiento urbano. Lo anterior se debió a que no se contaba con instrumentos de planeación urbana y posteriormente la dinámica económica y el crecimiento demográfico acelerado superó de forma dramática a estos instrumentos.

Esta nueva población, producto principalmente de los flujos migratorios, se asentó en los suelos de menor costo y alejados de la ciudad. Aunado a la falta de instrumentos, recursos económicos visión prospectiva, este fenómeno provocó nuevos centros de población con problemáticas en el suministro de servicios y equipamientos urbanos, resultando en grandes concentraciones de población en condiciones de vulnerabilidad, desigualdad y falta de oportunidades. Estos factores explican la mala conectividad y accesibilidad de las ciudades con estos asentamientos humanos.

Las ciudades continúan con un crecimiento en las periferias, sin tomar en cuenta el suelo intraurbano disponible. Además, dicho crecimiento es horizontal, fragmentado, con bajos niveles de conectividad, accesibilidad y de habitabilidad, grandes distancias y tiempos de recorrido hacia las fuentes de empleo y carencia de equipamientos o acceso a estos, traduciéndose en pobreza del espacio urbano y disminución en la calidad de vida.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Censo de Población y Vivienda, 2010), el 72.3% de la población se concentra en las 384 ciudades y zonas metropolitanas que conforman el Sistema Urbano Nacional. En el "Decreto por el que se emite la Declaratoria de Zonas de Atención Prioritarias para el año 2013", publicado en el Diario Oficial de la Federación del 27 de diciembre del 2012, se determinaron, de acuerdo a los criterios para la identificación y medición de la pobreza del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, 367,763 manzanas pertenecientes a 1,788 localidades urbanas, de 1,024 municipios del país.

En las Zonas de Atención Prioritaria Urbana, ubicadas en ciudades y zonas metropolitanas de al menos 15 mil habitantes, se han identificado 341,057 manzanas con altos niveles de pobreza y rezagos en infraestructura y equipamiento urbano, en las que se tienen 7.4 millones de hogares. De estos, conforme a los datos del Censo de Población y Vivienda 2010, 5.87% no dispone de agua, 1.53% de drenaje y 0.16% de electricidad en la vivienda.

En este contexto, la intención del Programa Hábitat es contribuir a la atención de los factores de riesgo, además de regenerar el entorno urbano mediante intervenciones integrales focalizadas en espacios territoriales definidos. A través de este Programa, la SEDATU busca contribuir a la Meta México Incluyente del Plan Nacional de Desarrollo 2013–2018.

- Transitar hacia una sociedad equitativa e incluyente
- Generar esquemas de desarrollo comunitario a través de procesos de participación social, la Estrategia Transversal.
- Gobierno Cercano y Moderno, la Estrategia Transversal III. Perspectiva de Género, así como a las metas y objetivos del Programa Sectorial de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. Contribuirá a las metas del Sistema Nacional para la Cruzada Nacional contra el Hambre y del Programa Nacional para la Prevención Social de la Violencia y la

Delincuencia, en las zonas de actuación y mediante las líneas de acción contenidas en el marco normativo del Programa.

De acuerdo al artículo 4 de las Reglas de Operación 2014, es población objetivo del programa:

- Polígonos Hábitat
- Centros Históricos
- Zonas de Intervención Preventiva

El Programa se estructura en tres vertientes, delimitadas por distintos ámbitos territoriales, ubicados en ciudades y zonas metropolitanas que conforman el Sistema Urbano Nacional (SUN), incluidas aquellas que de acuerdo con las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO) cuenten con el umbral de población de al menos 15 mil habitantes:

- I. Vertiente General. Comprende zonas urbanas con concentración de hogares en condiciones de pobreza, que se denominan Polígonos Hábitat.
- II. Vertiente Centros Históricos. Comprende los sitios y centros históricos de las ciudades inscritas en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO: Campeche, Ciudad de México, Xochimilco, Guanajuato, Morelia, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Miguel de Allende, Tlacotalpan y Zacatecas, además de los que sean autorizados por el Comité de Validación Central, en los términos establecidos en el Manual de Operación del Programa.
- III. Vertiente Intervenciones Preventivas. Comprende zonas urbanas que presentan tanto condiciones de pobreza, como condiciones sociales que ameriten intervenciones socio-urbanas para la prevención de la violencia, resultantes del estudio socio demográfico y delictivo a nivel de ciudad.

Los criterios de selección que aplican al caso específico del VRSL son:

De acuerdo al artículo 7, y bajo el principio de focalización y para evitar la dispersión de los recursos, el Programa dirige los subsidios federales y las aportaciones de recursos

financieros locales para apoyar la ejecución de obras y acciones en las zonas de actuación del Programa que cumplan los siguientes requisitos:

- I. Presentar déficit en servicios urbanos básicos.
- II. Estar claramente delimitadas y localizadas dentro del perímetro urbano o urbanizable del municipio o Delegación del Distrito Federal, de acuerdo con el plan o programa de desarrollo urbano vigente.
- III. No estar en situación irregular con respecto a la propiedad de la tierra y al uso del suelo.
- IV. No estar ubicadas en zonas de reserva ecológica, áreas de riesgo, zonas arqueológicas y áreas naturales protegidas.
- V. Que contemplen un Plan de Acción Integral a nivel zona de actuación, de acuerdo a lo que marca el Manual de Operación del Programa

De acuerdo al capítulo 5, que enumera los tipos de apoyo, en su artículo 13, el proyecto del VRSL, entra en lo que el Programa define como mejoramiento del entorno urbano, el artículo enuncia lo siguiente:

- I. Mejoramiento del Entorno Urbano, que apoya obras y acciones para introducción o mejoramiento de servicios urbanos básicos y Centros de Desarrollo Comunitario, ordenamiento del paisaje urbano, elevar la percepción de seguridad, prevención social de la violencia y delincuencia situacional, preservación, conservación y revitalización de centros históricos inscritos en la Lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO, entre otros

Al hablar de mejoramiento del entorno urbano se considera:

- I. Introducción de servicios urbanos básicos.
- II. Construcción, habilitación, ampliación y equipamiento de Centros de Desarrollo comunitario.
- III. Construcción integral de vialidad y obras para la movilidad urbana.
- IV. Construcción de vialidades que permitan la conexión y accesibilidad de las
- V. zonas de actuación con la ciudad.

- VI. Introducción de equipo y mobiliario para la recolección de residuos sólidos en zonas de actuación para la instalación o fortalecimiento de sistemas para la recolección, reciclaje y disposición final de residuos sólidos y para el saneamiento del agua, en áreas externas que tengan incidencia directa con

En este caso, el proyecto del VRSL corresponde al VI, numeral, ya que además de ser parte de un polígono inscrito en la UNESCO, como Patrimonio Mundial de la UNESCO, es un proyecto de apoyo a la comunidad de San Lucas Xochimanca.

En el capítulo 8, referente a las aportaciones federales y locales, señala en el artículo 20 que las aportaciones federales y locales se llevarán a cabo como sigue:

TABLA 7. APOYO A PROYECTOS HABITAT, 2014		
Tipo de proyecto	Aportaciones federales	Aportaciones locales
Proyectos que apliquen sistemas o dispositivos de alta eficiencia energética en las obras públicas de infraestructura y equipamiento urbano, la reconversión de uso de energía eléctrica por energía solar y/o eólica; aprovechamiento del agua, y en los que se utilicen materiales naturales.	Hasta el setenta por ciento del costo del proyecto.	Al menos el treinta por ciento del costo del proyecto

4.4. Propuesta para incorporar el Vaso Regulador San Lucas (por el vínculo funcional) al decreto presidencial de mayo de 1992, que por la importancia ambiental de esta región, se declararon los ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco áreas naturales protegidas (ANP) a partir de lo dispuesto en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (1988)).

La implementación del Plan UNESCO Xochimilco (PUX) llevo a la creación un plan de manejo del sitio patrimonial. Si bien en principio el organismo internacional accedió a involucrarse en el proyecto, el proceso de negociación para su incorporación fue lento y no fue sino hasta finales

de 2002 que se firma un convenio de cooperación y se instala formalmente la oficina de Unesco en Xochimilco, en la que queda al frente Ciro Caraballo (2006). En términos formales, el gobierno delegacional asumía funciones logísticas y de aportación de recursos económicos para la elaboración del plan (Caraballo y Ecenarro, 2006). Cabe señalar que dentro de este arreglo no se contemplaba la participación directa de ninguna autoridad federal o de la ciudad, sino que las relaciones se regularían a partir de los vínculos que la demarcación había establecido con las mismas en años previos.

El Plan de manejo patrimonial, incluye:

- ✓ Representación técnica de la Unesco, en el país sede.
- ✓ Esquema de acción de tipo participativo en el que se incorporare la opinión de los distintos grupos de población de la demarcación con el fin de identificar con claridad los valores fundamentales del sitio patrimonial, así como para reconocer aquellos aspectos problemáticos que requerían una atención prioritaria (Caraballo y Ecenarro, 2006).
- ✓ Encuesta sobre valores y representaciones del patrimonio cultural en Xochimilco levantada en agosto de 2004 herramienta en la que se entrevistó a 633 habitantes de la delegación se realizaron preguntas sobre los valores y atributos fundamentales del sitio, los usos sociales del patrimonio y las actitudes ciudadanas hacia la conservación patrimonial (López Lara, 2006a)
- ✓ Mecanismos de participación en grupos de población específicos relacionados con el problema patrimonial. Esto se manejo entre la delegación y otras instancias gubernamentales, así como con instituciones académicas.
- ✓ Un Taller de Marco Lógico para la elaboración de proyectos en 2005.
- ✓ Un Seminario Internacional sobre revitalización de centros históricos (conocido como taller SIRCHAL) en ese mismo año. Estas actividades tuvieron tres temas prioritarios: los valores y el patrimonio, el manejo del agua y el uso sostenible de los espacios chinamperos (López Lara, 2006b).
- ✓ Se conformó el Consejo Consultivo Ciudadano de Xochimilco (que fue reconocido por la delegación como la principal instancia de interlocución con la ciudadanía) en el que se incorporaron representantes de distintas asociaciones civiles como Asamblea Xochimilca, Coordinadora Ciudadana Xochimilco, Xochicopalli Milchihua A.C.
- ✓ Talleres específicos con grupos de chinamperos (principalmente de San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxiatemalco), participaron grupos empresariales

(fundamentalmente de corte turístico y comercial), asociaciones ambientalistas y organizaciones civiles y grupos de vecinos preocupados por la protección de los monumentos históricos.

A partir del 2002, se modificaron las delimitaciones de la zona protegida, una vez que se puso en marcha el proyecto, lo que incluyó diseños participativos orientados hacia instancias gubernamentales, académicas, empresariales, sociales y vecinales, el PUX conformó una amplia red de políticas en la que en su centro permanecía la autoridad delegacional y la representación técnica de la Unesco y alrededor de ellas giraban una gran cantidad de grupos y organizaciones de distinta índole, y con intereses diversos, que fueron nutriendo el proceso de definición y diseño del plan del manejo del sitio.

Los puntos fundamentales del esquema de colaboración inter-organizacional, eran: una nueva delimitación de la zona de monumentos históricos, el reconocimiento de los valores y atributos fundamentales del sitio (y la forma en la que éstos podían ser interrelacionados), así como establecer instancias de colaboración interinstitucional permanentes que incorporaran la participación ciudadana durante la implementación y seguimiento del plan de manejo.

En relación con el primer punto, al interior de la delegación hubo un completo desconocimiento sobre los límites que comprendía la Zona del Patrimonio Mundial de Xochimilco. Si bien se asumía implícitamente que el sitio correspondía con la poligonal del decreto presidencial de 1986, una revisión detallada a la declaratoria emitida por Unesco en 1987 mostraba que el área no correspondía y que era más pequeña que la protegida por el decreto de 1986. A pesar de esto, e incluso reconociendo cualquiera de las dos delimitaciones, las autoridades delegacionales consideraban que las dos zonas tenían serias omisiones, ya que no incluían algunas áreas patrimoniales (tanto de carácter histórico y arqueológico) y ecológicas que debían ser protegidas. El poco tiempo con el que contaron en su momento las autoridades federales para delimitar las zonas patrimoniales y el poco cuidado que se tuvo al momento de elaborar la candidatura ante la Unesco se aluden como las principales razones que justifican dicho error.

Como resultado del proceso participativo incorporado en el PUX, y como respuesta al problema de la delimitación, se definió una nueva zona patrimonial en la que se incorporaba la poligonal propuesta por el decreto de 1986 y se incluían algunos nuevos perímetros. Dentro de la

Delegación Xochimilco se propuso la incorporación de Ciénaga Chica, Laguna del Toro y el Barrio de Cuahuilama, y en Tláhuac se agregó la zona de humedales. Con estas adiciones la zona patrimonial aumentó en 686.38 hectáreas (Schulze, Correa y Caraballo, 2006).

De manera adicional, y con el fin de diferenciar las distintas áreas al interior del polígono de actuación, se definieron tres zonas núcleo (con potencial de recuperación y de amortiguamiento) dependiendo de los valores y atributos del patrimonio incluidos dentro de las mismas. Si bien esta diferenciación solamente se hizo inicialmente para reconocer espacios con una mayor densidad y calidad patrimonial.

En relación con el tema valorativo, tanto las autoridades delegacionales como la representación técnica de Unesco reconocieron la multiplicidad de valores propios del sitio (históricos, arqueológicos, culturales, ambientales, económicos, etcétera) ante esto, se optó por una estrategia en la que se reconocía la importancia de los valores monumentales, ambientales, sociales, culturales, tecnológicos y económicos del sitio, los atributos que finalmente se privilegiaron al momento de diseñar el plan de manejo fueron tres: el manejo del agua de los manantiales y canales, la recuperación de la zona chinampera y el ordenamiento territorial en las zonas colindantes con los cuerpos de agua (Schulze y Caraballo, 2006).

El núcleo duro del proyecto de rehabilitación de la zona de Xochimilco se encuentra en favorecer los factores ambientales y urbanos relacionados con la preservación de los canales y las chinampas, mientras que otros elementos (como la rehabilitación estética de los poblados, la promoción turística del sitio y la difusión de las tradiciones culturales) se consideran secundarios. Esta delimitación argumentativa del problema público entra en concordancia con la delimitación de las zonas de actuación arriba descritas (en el área núcleo de las tres delegaciones se privilegia las zonas lacustres, chinamperas y de humedales).

Los organismos encargados de la aplicación del PUX forman un organigrama que van de los gubernamental a la ciudadanía. La primera parte es una instancia es de corte fundamentalmente intergubernamental e integra de manera formal a 16 agencias del gobierno central de la ciudad, así como a las tres autoridades delegacionales dentro de las cuales se encuentra el sitio. De acuerdo con su Decreto de Creación (2005) esta Comisión se encontraría presidida por la Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal e incluiría como invitados

permanentes a algunas dependencias federales, a la Asamblea Legislativa del Distrito Federal y a Unesco.

El siguiente nivel lo conforma la Unidad de Gestión de la zona patrimonial, que está compuesta por seis cuerpos fundamentales:

La Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del D.F., el Director de Recursos Naturales de la Secretaría del Medio Ambiente del D.F. y los delegados de cada una de las demarcaciones involucradas, quienes a su vez integran comisiones especiales que son responsables de coordinar la implementación de todas las medidas contempladas dentro del Plan de Manejo de acuerdo a su ámbito de competencia. (Schulze, López Lara y Caraballo, 2006).

En segundo lugar, está un Consejo Técnico para la Gestión y el Desarrollo del Sitio que funge como asesor desde el gobierno de las medidas que se irían implementando. Esta instancia se compone de un conglomerado de actores gubernamentales de la ciudad, además de que cuenta con la presencia de algunas instancias federales y de la Unesco como invitados permanentes.

En tercer lugar está un Cuerpo Académico de Asesores Técnicos que, como su nombre lo indica, apoya a los Comités Ejecutivos en la toma de decisiones a partir del desarrollo de investigaciones especializadas y la emisión de dictámenes técnicos. Este Cuerpo se conforma con investigadores de la UAM-Xochimilco y la UNAM, así como con miembros técnicos de Unesco e ICOMOS (Consejo Internacional de Sitios y Monumentos) (Schulze, López Lara y Caraballo, 2006).

En cuarto lugar se encuentra el Fideicomiso del Sitio de Xochimilco que es una instancia creada ex profeso (con muchas similitudes al existente en el Centro histórico de la ciudad) con el fin de captar recursos financieros, tanto dentro como fuera del gobierno, que puedan contribuir a la implementación del plan de manejo.

A continuación se concibe la participación de la sociedad civil organizada dentro de la Unidad a partir de la articulación de Círculos de Planeación Participativa que tiene como objetivo proponer nuevos instrumentos de acción a los Comités Ejecutivos, además de que tiene el encargo de dar seguimiento a la implementación del PUX.

Por último, la coordinación entre las instancias gubernamentales, ciudadanas y académicas de la Unidad de Gestión está a cargo de un Director General, el cual es elegido por el Comité Ejecutivo y está en su puesto por un periodo de 3 años no concurrentes con las elecciones delegacionales (Schulze, López Lara y Caraballo, 2006).

Dentro de este esquema de trabajo el VRSL, puede ser incorporado al polígono de actuación, de acuerdo con los siguientes argumentos

En primera es una zona núcleo con potencial de recuperación, dado que es un espacio con una mayor densidad y calidad patrimonial.

Como segundo fundamento está el defender que la incorporación del VRSL, cumple con los atributos que fueron privilegiados al momento de diseñar el plan de manejo de recuperación, que son: el manejo del agua de los manantiales y canales, la recuperación de la zona chinampera y el ordenamiento territorial en las zonas colindantes con los cuerpos de agua. Además el VRSL es una zona natural en la que se puede dar la filtración de agua a los mantos acuíferos. Si consideramos que el núcleo duro del proyecto de rehabilitación de la zona de Xochimilco se encuentra en favorecer los factores ambientales y urbanos relacionados con la preservación de los canales y las chinampas, podemos afirmar que el VRSL, es sin duda un problema ambiental y urbano.

Tercero y último es la inclusión en el polígono de Zona de Patrimonio Mundial, para lo cual se debe considerar lo siguiente;

CRITERIOS PARA LA INSCRIPCIÓN DE UN BIEN NATURAL

Para la inscripción de un Bien Natural se requiere representatividad como parte de los grandes periodos de la historia de la tierra, testimonio de la vida, de los procesos geológicos ligados al desarrollo de las formas terrestres o, elementos geomórficos o fisiográficos significativos de los procesos ecológicos y biológicos, de la evolución y el desarrollo de ecosistemas, de comunidades de plantas y animales terrestres, acuáticos, costeros y marinos. Fenómenos naturales o que constituyan áreas de belleza natural. Es necesario contener el hábitat natural más representativo e importante para la conservación in situ de la diversidad biológica, incluidos aquellos que alberguen especies amenazadas que posean un valor universal excepcional desde el punto de vista de la ciencia o de la conservación.

El Patrimonio Natural debe estar representado por los monumentos naturales constituidos por formaciones físicas y biológicas o por grupos de estas formaciones, con valor universal excepcional desde el punto de vista estético o científico. Así mismo los lugares naturales y zonas naturales estrictamente delimitadas con valor universal excepcional desde el punto de vista de la ciencia, de la conservación o de la belleza natural.

PROCESO DE UNA DECLARATORIA

Dentro del proceso de inscripción, los países que firman la Convención del Patrimonio Mundial se comprometen a identificar, proteger, conservar y revalorizar su Patrimonio Cultural y natural y podrán proponer sus bienes o sitios para conseguir la declaratoria de Patrimonio Mundial. El Estado debe hacer un inventario (lista indicativa) de sus bienes culturales y naturales a ser considerados en la Lista del Patrimonio Mundial de acuerdo con los criterios de inscripción antes mencionados. Los bienes o sitios que tengan más oportunidad deberán cubrir los requisitos contenidos en el formato de solicitud de inscripción, mismo que será enviado al Centro de Patrimonio Mundial. En el caso mexicano mediante la Comisión Mexicana de Cooperación con la UNESCO (CONALMEX) que recibe y revisa el expediente y lo envía a los organismos asesores dependiendo del tipo de declaratoria que se trate. Si se trata de un bien cultural su revisión corresponderá al Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), que enviará a alguno de sus expertos para evaluar, entre otros aspectos, la protección y manejo del mismo y preparará un reporte técnico, al mismo tiempo que supervisará los criterios y remitirá a la Mesa del Comité la evaluación respectiva con las observaciones correspondientes. La revisión de los bienes naturales es realizada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y sus Recursos (IUCN) bajo los mismos pasos de ICOMOS. Los bienes mixtos o paisajes culturales son evaluados por ambos organismos asesores. Posteriormente El Bureau examina las evaluaciones hechas por el ICOMOS y la UICN y puede pedir información adicional del bien al Estado que lo propuso y hacer recomendaciones finales al Comité.

Por último el Comité del Patrimonio Mundial antes de tomar su decisión puede solicitar también, en caso de estimarlo conveniente, información adicional del bien propuesto y enseguida decidirá si es aceptado, pospuesto, diferido o rechazado para integrar la Lista de Patrimonio Mundial. El envío de las propuestas de bienes o sitios para su declaratoria de Patrimonio Mundial deberá realizarse antes del 1 de febrero de cada año. El resultado se obtiene el mes de junio del año siguiente. La reunión del Bureau se lleva a cabo en el mes de abril de cada año. Y la reunión del Comité el mes de junio de cada año.

MANEJO DEL PROYECTO DE RESCATE

Una vez que se obtuviera la catalogación de la zona del VRSL y se estableciera el proyecto de parque ecológico, se sugiere que se sigan los lineamientos que la SEMARNAT refiere en términos de las estrategias de conservación y uso de las áreas naturales protegidas a nivel mundial, ya que incluye planes y programas de manejo, programas de conservación, programas de conservación y manejo, planes rectores, planes directores, etc. En México estos instrumentos se denominaban planes de manejo, programas de trabajo, programas integrales de desarrollo, programas operativos anuales y/o programas de conservación y manejo.

En 1988 se publicó la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) en la cual se mencionan como programas de manejo y en la modificación de 1996 de la misma se enuncian, en su artículo 65, como programa de manejo. En el Reglamento en materia de Área Natural Protegida (ANP) del 2000 en su artículo 3°, Fracción XI se define el programa de manejo como el instrumento rector de planeación y regulación que establece las actividades, acciones y lineamientos básicos para el manejo y la administración del área natural protegida respectiva (SEMARNAT, 2014).

PRINCIPALES ASPECTOS DEL MANEJO DE PARQUES ECOLÓGICOS

El manejo de los parques ecológicos y las Zonas naturales Protegidas, se realiza bajo la LGEEPA y las indicaciones que aplique la UNESCO en caso de ser zonas catalogadas como PM (SEMARNAT, 2014).

Estas disposiciones se refieren a las labores administrativas, de coordinación y concertación de las acciones e inversiones que se requieran para la administración de "El Parque".

La SEMARNAT y LOS GOBIERNOS DE LOS ESTADOS en el ámbito de sus respectivas circunscripciones territoriales, se comprometen a constituir en un término no mayor de (30) treinta días contados a partir de la fecha de suscripción de proyecto, un Comité Técnico Estatal, al que en lo subsecuente se le identificará como el COMITE.

La administración, mantenimiento y conservación de los Parques ecológicos o ZNP estará a cargo de un COMITÉ el cual estará integrado por

1. Un Presidente del Consejo que será designado por la autoridad estatal

2. Un representante de cada uno de los organismos e instituciones siguientes:

- Iniciativa Privada
- Personas que por sus méritos y dedicación a la comunidad destaquen en alguna rama o disciplina deportiva, artística, cultural o altruista
- Escuelas y Universidades
- El Director del Instituto Municipal del Deporte
- Un representante de Clubes o Asociaciones de Servicios a la comunidad
- Un Tesorero que será nombrado por el consejo de Administración

El COMITE será presidido por el Gobernador de cada uno de los Estados y contará con un Secretario Ejecutivo, que será designado por cada Gobernador. En el caso del Estado de Puebla, en el COMITE participara en forma permanente la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEMARNAT,2014).

El COMITE de cada uno de los Estados, invitará a participar en forma permanente a los Delegados Federales de la SEMARNAT y de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, al Gerente Estatal de la Comisión Nacional del Agua y a los Presidentes Municipales de la jurisdicción donde se encuentra asentado “El Parque”. Asimismo, invitará a participar en forma permanente o transitoria a otras dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, Estatal y Municipal, a instituciones dedicadas a la investigación y educación superior, a representantes de las comunidades asentadas en el área, así como integrantes de organizaciones no gubernamentales dedicadas a la ecología y protección al ambiente

Una vez integrado el COMITE de cada uno de los Estados, éste elaborará en un plazo no mayor de (30) treinta días hábiles, un reglamento interno de funcionamiento.

El COMITE en el ámbito de su territorio tendrá las siguientes atribuciones:

1. Evaluar y en su caso aprobar el programa de trabajo, que para la realización de las acciones de administración en “El Parque” le presenten anualmente los GOBIERNOS DE LOS ESTADOS.

2. Fungir como foro de coordinación y concertación de acciones, a efecto de captar y destinar recursos financieros para la realización de las acciones de administración a que se refiere el presente instrumento.
3. Gestionar lo conducente con el propósito de constituir un fideicomiso, a través del cual se canalicen recursos adicionales públicos y privados, nacionales o extranjeros en favor de El Parque.
4. Coordinar las acciones que se desarrollen dentro de El Parque y analizar lo conducente para gestionar el otorgamiento de las concesiones, permisos y licencias que correspondan para desarrollar las mencionadas actividades, respecto a los recursos naturales sujetos a este tipo de autorizaciones.
5. Promover lo conducente, a fin de que los gobiernos municipales, los grupos de ejidatarios, comuneros, propietarios, concesionarios, permisionarios y en general de cualquier otra índole, que se encuentren asentados en “El Parque” participen conjuntamente con los GOBIERNOS DE LOS ESTADOS en las labores de administración a que se refiere el presente instrumento.
6. Promover la participación de otras dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, Estatal y Municipal, así como de los sectores social y privado interesados en la administración de “El parque”, en especial de instituciones dedicadas a la investigación y la educación superior, a efecto de que se desarrollen actividades de investigación científica, monitoreo ambiental, capacitación, educación y asesoría técnica, y apoyen la ejecución de programas ecoturísticos que generen empleos en beneficio de los habitantes de la zona.
7. Llevar a cabo programas de difusión en los que se resalten las actividades de administración que se ejecuten en “El Parque”, a efecto de propiciar un mayor interés por el mismo y la cultura ecológica en general.
8. Presentar a la SEMARNAT por conducto del Instituto Nacional de Ecología y al Gobernador respectivo, un informe semestral del avance físico y financiero de las actividades que se realicen en “El Parque”.

Para el cumplimiento del proyecto de funcionamiento la SEMARNAT se compromete a:

1. Transferir a los GOBIERNOS DE LOS ESTADOS para su administración las instalaciones y equipo con que cuenta para la operación de El Parque.
2. Participar dentro del COMITE en la supervisión y evaluación de las acciones de administración que se lleven a cabo en “El Parque”.

3. Expedir y publicar en el Diario Oficial de la Federación conforme a la legislación aplicable en la materia, el programa de manejo de “El Parque”.
4. Evaluar conforme a sus atribuciones y en su caso, hacer las recomendaciones que considere convenientes, al programa de trabajo, que para la realización de las acciones de administración en “El Parque” presenten anualmente los GOBIERNOS DE LOS ESTADOS al COMITE para su aprobación.
5. Dar a conocer oportunamente al COMITE los criterios ecológicos que se determinen para la administración de “El Parque”, a efecto de que los considere en la aprobación de los programas anuales de trabajo.
6. Entregar a los GOBIERNOS DE LOS ESTADOS una relación de las concesiones, permisos, licencias, contratos y convenios que existan en “El Parque” con terceras personas, respecto a la explotación de recursos naturales y prestación de servicios o de cualquier otra naturaleza jurídica, así como copia de los estudios, proyectos y demás documentos existentes relacionados con dicha área natural protegida.
7. Proporcionar asistencia técnica al personal encargado de realizar las actividades concernientes en materia forestal y en general sobre aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.
8. Aportar los recursos financieros, materiales y humanos que estén a su alcance y/o de que disponga para la consecución de las acciones de este instrumento.

Para llevar a cabo la ejecución del proyecto los GOBIERNOS DE LOS ESTADOS en el ámbito de sus respectivas circunscripciones territoriales se comprometen a:

1. Llevar a cabo las actividades de administración de El Parque, apegándose a las disposiciones jurídicas y administrativas aplicables, así como a los lineamientos y criterios que para tales efectos determine el COMITE.
2. Presentar anualmente al COMITE para su evaluación y en su caso aprobación, el programa de trabajo que llevarán a cabo dentro de El Parque.. Cada programa anual de trabajo contendrá, entre otros aspectos, las acciones que se pretendan realizar; el desglose, origen y destino de los recursos financieros, materiales y humanos que se aplicarán; el o los responsables de la ejecución de cada acción, el cronograma de actividades, así como los objetivos y beneficios que se pretendan alcanzar y deberá ser presentado a más tardar el día último del mes de septiembre de cada año a partir de 1996.
3. Ejecutar el programa anual de trabajo aprobado por el COMITE.

4. Dar mantenimiento y conservar en buenas condiciones de uso las instalaciones y bienes con que cuenta El Parque y que de conformidad con el presente instrumento se le transfieran quedando bajo su administración y operación.
5. Informar a la SEMARNAT por conducto de la PROFEPA, de las anomalías e infracciones o cualquier otro acto contrario a las leyes aplicables en materia forestal y ecológica.. o a los fines del decreto de declaratoria, que se realicen dentro de El Parque, a efecto de que se haga las recomendaciones, que en su caso corresponden, o realice las acciones conducentes.
6. Realizar actividades de formación y capacitación de personal científico y técnico, en las áreas de manejo, aprovechamiento y conservación de los recursos naturales y de educación ambiental.
7. Fungir como asesor técnico para el manejo de los recursos naturales de El Parque y apoyar para tales efectos a las instituciones oficiales y a las comunidades asentadas en el área.
8. Dar las facilidades necesarias para que el COMITE y/o el personal técnico del Instituto Nacional de Ecología realicen las supervisiones que consideren pertinentes.
9. Aportar los recursos financieros, materiales y humanos que estén a su alcance y/o de que disponga para la consecución de las acciones objeto de este instrumento, conforme a las autorizaciones jurídico-administrativas que correspondan.

Cualquiera de las partes podrá terminar el proyecto mediante aviso por escrito, que con noventa (90) días de anticipación haga llegar a la otra parte. En este caso la SEMARNAT y los GOBIERNOS DE LOS ESTADOS se comprometen a tomar las medidas que consideren necesarias para evitar los perjuicios que se pudieran causar entre sí o a terceras personas con dicha situación (SEMARNAT, 2014).

A la terminación de este acuerdo, la SEMARNAT por conducto del Instituto Nacional de Ecología reasumirá la administración total de “El Parque” de conformidad con la legislación aplicable en la materia, por lo que los GOBIERNOS DE LOS ESTADOS se obligan a poner a disposición de este órgano administrativo desconcentrado, los recursos financieros, las instalaciones, equipo y documentación con que cuente el área, así como las acciones o los proyectos que estén realizando derivados del objeto del presente instrumento, con el grado de avance que en esos momentos reporten, siempre y cuando hayan sido adquiridos con los recursos de la Federación. Para el caso de que uno de los GOBIERNOS DE LOS ESTADOS dé

por terminado este Acuerdo la SEMARNAT reasumirá la administración de la parte del territorio de “El Parque” del Estado que corresponda (SEMARNAT, 2014).

La UNESCO al respecto establece que la administración y cuidado de los parques y zonas naturales catalogados como Bienes de Patrimonio Mundial, deben contar con representantes de las autoridades gubernamentales, quienes deben trabajar con los grupos de la sociedad civil defensores del patrimonio, a fin de incrementar la atracción turística hacia el Bien, que normalmente implica una fuente adicional de recursos para el desarrollo local y para la propia conservación del patrimonio. Considera la posibilidad de negociación para obtener subvenciones y créditos blandos de las instituciones nacionales, públicas o privadas, o bien del área regional a la que pertenezca el Bien. En este caso sería el programa HABITAT y algunos programas de fortalecimiento de la ecología (UNESCO, 2011)

La UNESCO señala que todas las acciones deben estar encaminadas a fortalecer una mayor autoestima tanto del Bien patrimonial como de la identidad de la comunidad y a poder solicitar la asistencia internacional a favor de los Bienes reconocidos como patrimonio cultural o natural de valor universal excepcional, situados en el territorio (UNESCO, 2011).

CONCLUSIONES

La propuesta entonces se formula a partir de la revisión de temas sobre manejo de agua, tratamiento y aprovechamiento de agua pluvial, se describieron las acciones sociales y se hizo un análisis del marco jurídico en materia de cultura y Patrimonio Hídrico., así como de la legislación y los planes de rescate ecológico existente. De los cuales se hace uso de los aspectos de reflexión teórica de diversas cuestiones tales como la parte ambiental, política, cultural y de patrimonio en torno del Patrimonio Mundial y su papel como dimensión privilegiada de la cultura. Con la finalidad de mostrar, por una parte, las nuevas visiones sobre el patrimonio hídrico, así como la visión del gobierno federal sobre el tema, posterior a la revisión de documentos se concluyó lo que a continuación se relata.

Como ya sabemos México es un país que recibe en promedio un alto volumen de agua de lluvia 1,489 miles de millones de m³ (760 mm) al año. Sin embargo, de este volumen tan sólo el 4.7% se infiltra en el subsuelo y recarga los acuíferos. Por otra parte, la mayoría de ciudades del país dependen del agua subterránea para su suministro, el agua extraída de los mantos acuíferos

cubre 50% de la demanda de la industria y el suministro de 70% de las ciudades y el de casi toda la población rural.

Lo crítico de esta situación es que según datos de la CONAGUA, de los 653 acuíferos registrados, 101 son sobreexplotados y de estos se extrae el 58% del agua subterránea para todos los usos. Los casos graves se presentan en estados del centro y norte de la República Mexicana, en particular en el Valle de México, la cuenca del río Lerma, zonas con un marcado estrés hídrico.

Por esta razón, la captación de picos de lluvia a través de pozos de infiltración representa una estrategia con alto potencial, y menos costo, para aumentar la recarga de los acuíferos y así alimentar los pozos sobre explotados. Además, la infiltración de los escurrimientos pluviales ayuda a evitar que se generen inundaciones al servir como un sistema de regulación. De esta forma el VRSL, tiene un valor potencial tanto a nivel ambiental, como social. Considerando que la infiltración del agua de lluvia, permite ofrecer una solución a dos de los grandes problemas hídricos de México la baja disponibilidad de agua y los problemas generados por el exceso de escurrimientos en temporada de lluvia.

La teoría nos indica que la infiltración artificial del agua de lluvia depende de distintos factores como son el tipo de suelo, el coeficiente de escurrimiento y de infiltración, así como de la precipitación del lugar. Por lo cual antes de infiltrar se requieren hacer estudios previos de las condiciones del lugar. En el caso del VRSL, los tres tipos de factores se han visto alterados:

- El tipo de suelo, se ha visto modificado por el aumento de la capa asfáltica
- El coeficiente de escurrimiento se ha visto alterado de manera drástica debido al aumento de viviendas irregulares, que han poblado la zona de la montaña.
- Y por último el coeficiente de infiltración se modifica por la saturación de los sedimentos contenidos en el agua. Un aspecto también fundamental para realizar una infiltración adecuada es la calidad del agua. Por esta razón, para recargar los acuíferos con agua de calidad se requiere realizar un tratamiento previo del agua de lluvia

Este último punto debe tomarse en cuenta en el proyecto de rescate del VRSL, ya que existe una planta de tratamiento de aguas que puede aprovecharse.

En cuestión social el VRSL, representa para la población del lugar una constante molestia, lo que tiene un impacto negativo en el lugar, la investigación documental nos muestra que los

programas de recuperación ambiental involucran a la sociedad, en particular a través de la cultura del agua.

En el caso de los poblados de San Lucas Xochimanca, San Mateo Xalpa y Santiago no se encuentra información de tipo documental que nos permita afirmar que los pobladores han sido sensibilizados en torno al cuidado del agua y su responsabilidad en el problema del VRSL. De lo anterior podemos afirmar que parte de la solución implicaría un trabajo conjunto con los comités ciudadanos, en el caso de San Lucas Xochimanca, ya existe un comité, junto con el cual se emprenderían las acciones necesarias para que el resto de la población comience a concientizarse del valor hídrico de la presa y en el caso de que sea incluido en el polígono de la zona de patrimonio mundial por la UNESCO, se comprometan como sociedad civil.

En cuestión legislativa y gubernamental, las acciones que se requieren son: Proponer a las autoridades de la UNESCO la inclusión del VRSL a la Zona del Patrimonio Mundial de Xochimilco correspondiente con la poligonal del decreto presidencial de 1987, y de esta forma tener acceso al Plan de manejo del sitio patrimonial “Plan UNESCO Xochimilco” (PUX) y al programa “Habitat”.

En conclusión podemos decir por un lado que el grado de deterioro que presenta el VRSL es debido a factores de carácter urbano y social principalmente: y por otro que el rescate del Vaso Regulador San Lucas, considerado en la presente investigación como patrimonio hídrico de Xochimilco implica una acción multimodal, en la que interviene de manera principal la inclusión de la zona el área considerada como patrimonio mundial y posteriormente la elaboración de un proyecto en el que se incluya la parte ambiental y social principalmente. Lo anterior significa que si el VRSL se convierte en patrimonio hídrico, se promueve la conservación de los bienes naturales y la relación de las comunidades locales y nacionales en la gestión de dichos bienes. El reto consiste en crear las redes de significados que hacen valioso al patrimonio para cada generación para que lo sigan generando y revitalizando. Abrir un cauce de participación para que jóvenes, artistas, antropólogos, historiadores, indígenas, investigadores, funcionarios del rubro e instituciones afines contribuyan a renovar el pensamiento sobre Patrimonio Hídrico.

Las conclusiones presentadas, y la propuesta específica de marco jurídico que se propone como cierre de este estudio, parten de la hipótesis de que en la medida en que se diseñe un marco jurídico que garantice una adecuada difusión del Patrimonio Hídrico de Xochimilco, así como el cumplimiento de las disposiciones legales existentes con relación a su conservación, la

tensión generada entre los defensores del patrimonio y quienes lo aprovechan como un elemento dentro del turismo, podría aminorar, y muy probablemente se puedan conjuntar esfuerzos para incluso elaborar un diseño de parque ecológico y promover el ecoturismo, de acuerdo a los reglamentos vigentes para este tipo de proyectos de rescate.

Bibliografía

- Acuerdo (2005). Comisión Interdependencial para la conservación del patrimonio natural y cultural de Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco. México.
- Aguilar, Araceli, Ana Cecilia Espinosa y Ciro Caraballo (2006). *El manejo del agua*. México
- Agua.org. (2001). *Métodos para purificar el agua de lluvia*. Visto en <http://bit.ly/iqFJY> (16/05/2011)
- Álvaro López Lara y Ciro Caraballo. (2006). *El diseño de un sistema de manejo integral*. En VV.AA. (2006a) Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 335 – 341.
- Berrio, Salvador (2007) Protección y rehabilitación del patrimonio cultural urbano. México. UAM-Xochimilco.
- Burns, E. (Coord.). (2013). *Repensar la cuenca: La gestión de ciclos del agua en el Valle de México*. México. UAM
- Caraballo, Ciro y Yadira Correa (2006). *Introducción. Xochimilco: Mucho más que canales y trajineras*. En Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 26 – 34.
- Carabias, J., R. Landa, J. Collado, P. Martínez. (2005). *Agua, Medio Ambiente y Sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*. México. UNAM/Colmex/Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Caraballo y María Micaela Leal (2006) “Patrimonio, turismo y actividades productivas sostenibles. Un potencial por activar” en VV.AA. (2006a) Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 293 – 306.
- Caraballo, Mayán Cervantes y Niklas Schulze “El Centro Histórico y los pueblos lacustres: Xochimilco un espacio social de enorme riqueza cultural” en VV.AA. (2006a) Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 255 – 274.
- Caraballo y Olatz Ecenarro (2006) “El Proyecto UNESCO-Xochimilco. Un espacio para la gestión participativa” en VV.AA. (2006a) Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 53 – 60.
- CIDECALLI. (2010). *Los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia: un panorama general*. México.
- CIDECALLI. (2004). *México City's Water Supply. Improving the Outlook for Sustainability, Problemática del agua en el mundo*. Elaborado por CIDECALLI. Washington, D.C., National Academic Press
- CONAGUA. (2004 a 2009). *Estadísticas del Agua en México*. Comisión Nacional del Agua/SEMARNAT, México.

- CONAGUA. (1991). *Estudio y manual para el manejo y disposición de las aguas de retorno agrícola*. México
- CONAGUA (1997) *Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. México
- Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural (1972). París. UNESCO.
- Delegación Xochimilco. (2014). Página oficial. Consultada en www.xochimilco.df.gob.mx/
- Díaz-Berrio, Salvador (2007). *Decreto de Zona: Delegaciones Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta*. México.
- Dirección General de Servicios Urbanos (2007). *Informe sobre residuos sólidos. Basura en la sociedad contemporánea. Estudio de caso en 18 municipios del Estado de México integrantes de la ZMCM*. México.
- Convención del Patrimonio Mundial (1992). *Xochimilco y sus categorías como Patrimonio Cultural*. En Revista Xochimilco. Ayer y hoy, México, marzo-abril 2008, núm.18, p.6.
- Domínguez, Mora. (2000). *Inundaciones en la Ciudad de México. Problemática y Alternativas de Solución*. Revista UNAM. Vol. 1. Pp 23.
- Estatuto de Gobierno del Distrito Federal (2004). México.
- FAO. 2002. *Optimización de la humedad del suelo*.
- FAO. 2005. *Captación y Aprovechamiento del agua de lluvia*.
- FAO. 2013. *Aprovechamiento del agua de lluvia en la agricultura*.
- García, E. (1989). "Climas", *Atlas Nacional de México*, Hoja IV.4.10Vol. II, escala: 1:4,000 000, México, Instituto de Geografía, UNAM
- GOB- DF. (1999). *Lluvia Ácida*. Documento elaborado por el Gobierno del Distrito Federal.
- Guerrero, M, Cruz Hernández y Araceli Aguilar (2006). *Rehabilitación de la zona chinampera*. En VV.AA. (2006a) Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 201–230.
- HABITAT. Reglas de operación 2014-05-21
- INEGI. (2009). Censo demográfico.
- Lahera, V. (2003). *Viabilidad hidráulica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México en Estudios Demográficos y Urbanos*. vol.18, núm.2, mayo-agosto, El Colegio de México (CEDDU), pp.387-411.
- Lahera, V. (2005). *Uso sustentable del agua en las ciudades en Cadena*, Edel y Barrios Armida (Eds.) Ciudad, región y desarrollo. Formación profesional. Toluca, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal (1996), México.
- Ley de Participación Ciudadana del Distrito Federal (2004), México.

- Ley de Salvaguarda del Patrimonio Urbanístico Arquitectónico del Distrito Federal (2000), México.
- Ley General de Asentamientos Humanos (1993), México.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (1988), México.
- López, Álvaro (2006a). *Xochimilco: el patrimonio en el imaginario social de sus habitantes*. En VV.AA. (2006a) Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 87 – 100.
- López, Álvaro (2006b) “Generando espacio de participación” VV.AA. (2006a) Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 115 – 132.
- López, Álvaro, Manuel Guerrero, Cruz Hernández y Araceli Aguilar (2006) Rehabilitación de la zona chinampera en VV.AA. (2006a) Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 201 – 230.
- María Micaela Leal (2006).” *Patrimonio, turismo y actividades productivas sostenibles. Un potencial por activar*. En VV.AA. (2006a) Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 293 – 306.
- Mayán Cervantes y Niklas Schulze. (2006). *El Centro Histórico y los pueblos lacustres: Xochimilco un espacio social de enorme riqueza cultural*. En VV.AA. (2006a) Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 255 – 274.
- Olatz Ecenarro. (2006). *El Proyecto UNESCO-Xochimilco. Un espacio para la gestión participativa*. En VV.AA. (2006a) Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 53 – 60.
- Programa de conservación del patrimonio natural y cultural de Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco. (2005). *Acuerdo por el que se crea la Comisión Interdependencial para la conservación*, México.
- PUMAGUA (2011). *Gaceta mayo*. México
- Romero Álvarez, H., García Ollervides, J. y J. Janetti Dávila. (2010). *Las vicisitudes de las plantas de tratamiento de aguas Residuales en México*. CONAGUA.
- Secretaría de Medio Ambiente (2014). Página oficial. Consultado en www.sma.df.gob.mx
- SEMARNAT (2009). *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento*. 2ª. Edición, México, 167p.
- SEMARNAT (2014). *Manejo de parques ecológicos y Zonas natural protegida*, México. http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/parques_nacionales.php
- Schulze, Niklas y Ciro Caraballo (2006). *Xochimilco: un sistema de valores patrimoniales, atributos y amenazas*. Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 101 – 114.
- Stephan-Otto, Erwin (2006). El Parque Ecológico de Xochimilco, un acierto notable. En VV.AA. (2006a) Xochimilco: Un proceso de gestión participativa. México. UNESCO, pp. 67 – 69.

- UAM. (2005). Protección y rehabilitación del patrimonio cultural urbano. México. UAM-Xochimilco.
- UNESCO. (1999). Directrices prácticas sobre la aplicación de la Convención para la Protección del Patrimonio Mundial. París.
- UNESCO (2012). *40 años de la Convención de Patrimonio Mundial: Patrimonio Mundial, Cultura y Desarrollo en América Latina y el Caribe, Turismo y Territorio, clave para el Desarrollo Comunitario*. Querétaro, México.
- UNESCO-México. (2011). Proyecto de rescate ecológico. Consultado en: www.unescomexico.org/xochimilco/index.htm
- UNESCO. (2006). *Xochimilco: Un proceso de gestión participativa*. México., pp. 183 – 200.
- UNESCO (2006). *Generando espacio de participación. Un proceso de gestión participativa*. México. UNESCO, pp. 115 – 132. UNESCO (2006). *Lecciones de la planeación participativa. Xochimilco: Un proceso de gestión participativa*. México. UNESCO, pp. 133 – 158.
- UNESCO. (2006a) *Xochimilco, Tláhuac, Milpa Alta. Resumen del Plan Integral de Gestión del Polígono de Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, inscrito en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO*. México.
- UNESCO. (2006b) *Xochimilco, Tláhuac, Milpa Alta. Resumen del Plan Integral de Gestión del Polígono de Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, inscrito en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO*. México.
- Yadira Correa y Ciro Caraballo (2006). Elementos para la definición de la poligonal del sitio de patrimonio mundial. En VV.AA. (2006a) *Xochimilco: Un proceso de gestión participativa*. México. UNESCO, pp. 307 – 322.
- VV.AA (2006b) *Xochimilco, Tláhuac, Milpa Alta. Resumen del Plan Integral de Gestión del Polígono de Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, inscrito en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO*. México. UNESCO.

INDICE DE TABLAS

- Tabla 1 Normas para el re-uso del agua
- Tabla 2 Plantas de tratamiento de aguas residuales en el **D. F.**
- Tabla 3 Usos del agua tratada en la **ZMVM**
- Tabla 5 Drenaje profundo y emisor central
- Tabla 6 Datos de ubicación de la zona considerada por la **UNESCO** como patrimonio mundial, cultural y natural
- Tabla 7 Apoyo a proyectos **HABITAT**, 2014

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1 Esquema del Ciclo Hidrológico
- Figura 2 Precipitación y captación de agua
- Figura 4 Esquema hidráulico de la ZMVM
- Figura 5 Lluvia ácida en la ZMVM
- Figura 6 Esquema de escorrentía del suelo
- Figura 7 Sistemas de riego
- Figura 8 Inundaciones del centro en 1950
- Figura 9 Inundaciones del centro de la Ciudad de México en 1950
- Figura 10 Inundaciones del centro de la Ciudad de México en 1950
- Figura 11 Inundaciones del centro de la Ciudad de México en 1952
- Figura 12 Inundación de la Ciudad de México en la década de 1950
- Figura 13 Inundación de la Ciudad de México en la década de 1950
- Figura 14 Evolución de los principales, Sistemas de drenaje profundo
- Figura 15 Esquema general del sistema de drenaje profundo de la Ciudad de México
- Figura 16 Situación actual de los canales
- Figura 17 Ubicación del VRSL en el Distrito Federal
- Figura 18 Ubicación del VRSL
- Figura 19 Recorrido del Rio Santiago desde los pueblos altos de la montaña, hasta el Vaso Regulador San Lucas
- Figura 20 Condición actual Rio Santiago
- Figura 21 Condición actual Rio Santiago
- Figura 22 Relieve e hidrología de Xochimilco
- Figura 22 Contaminación de aguas negras en el VRSL
- Figura 24 Sistemas de transporte vial circundantes a la zona en donde se encuentra el VRSL
- Figura 25 Desarrollo de la mancha urbana, en el D.F.