

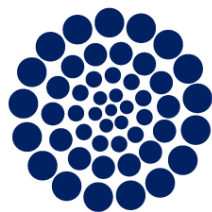


**Proyecto de Aprovechamiento y Manejo
Ambiental
de Humedales y chinampas de San Gregorio-
Xochimilco**

Informe Final

**Proyecto de Aprovechamiento y
Manejo Ambiental
de Humedales y Chinampas de
San Gregorio- Xochimilco**

Informe final



CONAHCYT

CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

Agradecimientos

Agradecimiento especial a:

Jean Elaine Burns Stuck

Agradecimientos Gobierno del Estado de México

Delfina Gómez Álvarez

Gobernadora del Estado de México

Pedro Moctezuma Barragan

Secretario del Agua del Estado de México

Leonardo Daniel Amores Rovelo

Director General de Operación y Obras

Baldemar Mendez Antonio

Director de Planeación del Agua y Gestión Integral de Cuencas

Hector Cañada Jaime

Director de Gestión y Supervisión de Obras e Infraestructura

Omar Aurelio Peña Ruiz

Director del Sistema de Información Geográfica Integral

Luis Daniel Magadan Rovelo

Director de Corresponsabilidad y Políticas Hídricas de la Dirección General de Derecho Humano al Agua, Planeación y Ordenamiento.

Lic. Abril Karina Olivares del Río

Coordinadora de Oficinas Regionales

Asesores especiales de la Secretaría del Agua

Mariana Ramirez Acevedo

Ibhar Freddy Islas Vázquez

Edvin Edgardo Abarca Villatoro

Luis Sanchez Peregrina

Luis Fernando Orsini

Serafin González Ramirez

Deysi Lopez Luna

GPO Agroecologia Chinampera Tezhuilo

Agustín Gutierrez Moreno

Diana Araceli Curiel Reséndiz

Alejandro Federico Alva Martínez

Juan Pablo Huesca Quintero

Mariana Ramírez Acevedo

María Fernanda Velázquez Romero

Agradecimientos Gobierno Ciudad de México

Clara Marina Brugada Molina

Jefa de Gobierno de la Ciudad de México

José Mario Esparza Hernández

Secretario de Gestión Integral del Agua

Humberto Adán Peña Fuentes

Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Gabriela Osorio Hernández
alcaldesa de Tlalpan

Circe Camacho Bastida
Alcaldesa Xochimilco

Araceli Berenice Hernández Calderón
Alcaldesa Tlahuac

Julia Álvarez Icaza Ramírez
Secretaria del Medio Ambiente de la CDMX

Pedro Álvarez Icaza Longoria
Comisionado Nacional de Áreas Naturales Protegidas

Alejandro Encinas Rodríguez
titular de la Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial y de Metrópolis

Edna Elena Vega Rangel
Secretaria de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano

Efraín Morales Lopez
Director General Comisión Nacional del Agua

Roberto Capuano
Plan Hídrico Área Metropolitana Cuenca de Mexico

Agradecimientos

Nodo Tláhuac

Abuela Elenita Gaspar

Tío Vicente Gaspar

Elsa Hernández Gaspar

Berta Hernández Gaspar

Concepción Hernández Gaspar

Alfonso Loreto

Alejandra García Hernández

Manuel Edday Farfán Beltrán

Oralia Ruíz Miranda

Nadia Martínez Pérez

Eduardo Romero Martínez

Isidra Ramírez Molina

Antelmo García Hernández

Víctor Galicia

Ramón Flores Galicia

Aurelio López Torres

Grupo de vigilancia de la ciénega

Canoero Rafael García Méndes

Sra Olga Martínez

Grupo de Yoga Raíz en Movimiento

La Milpa del abuelo

Nidia Torres Ruiz

Mayra Nieves

Instituto Tecnológico de Tláhuac

Cátedra UNESCO

Nodo Xochimilco

Carmen Citlali Hernandez Jiménez

Karen Citlali Xolalpa Morales.

Juana Sanchez Sanchez.

Carmen Ebromares Membrillo

David Jiménez Garces

Félix Venancio González

Gerardo Sánchez Trejo

Job Alejandro Fuentes Zamora

Alexander Galicia Ramirez

Jazmin Ordoñez Ávila

Bertha Alicia Águilar Hernández

Tomás Rufino Norato

Maria Teresa Flores Barrera

Macrina Dehesa Sánchez

Maria Lourdes Dehesa Sánchez

Thyani Torres Pelenco.

Amalia Salas Casales.

Amalia Rosas Salas.

Rosalinda Rosas Salas.

Sembrando Cultura Ambiental y

Chinampa Amanalli.

Caltongo Organizado.

Contraloria Puente de Urrutia.

Chinamperxs de San Gregorio.

Talleres de la Chinampa.

Grupo de distrito de Riego, Xochimilco.

Colectivo a Remover la tierra.

Colectivo Agroxlolotl.

Nodo Centro

Amada Pérez Alvarez,

Jaqueline Valdéz Arzaluz,

Hugo Enrique González Figueroa Salinas

Diego Antonio Contreras Rodríguez

Nodo Lerma

Joel Osorio Gutiérrez

Evaristo Javier Gamboa Sánchez

Margarita Juana Jiménez Peñalosa

Enrique Carmona

Nodo Tula

Colectivo de Comunidades en Defensa
de la Vida y el Territorio de la Región

Tolteca

Rene Romero Rivera

Ollin Rodríguez de la Rosa

Monica Bibiana Rosas Luna

Reyna Aidee Mares Flores

Isolda Sansores Rodríguez

Nodo Zumpango

José Alfredo Vargas

Guillermo Leon Rodríguez

Comité de Agua Potable de San José la
Loma

Comité de Agua Potable de la Colonia
Santa Lucia

Daniel Vargas

José Ricardo Ovando Ramirez

Lizbeth Anabel Laguna Leal

Regina Monroy Bustamante

Lucia Quezada

Cristina Quezada

Universidad Autónoma del Estado de
México

Claudia Karina Hernández Laguna

Comité de Agua Potable de San Sebastián

Ma Florinda Trinidad Leal Barrera

Aram Adair Leon Leal

Alan Pérez Ortega

Sistema de Agua Potable de San Lucas
Xolox

Aide Vargas

Juanita María

Concepción Guerrero
Ivett Ramos
Maritza Alvarez
Zulema G Reyes
Sembradoras Melchor Ocampo
Eloi Pérez Vargas
Defensores de la Laguna de Axotlan

Nodo Texcoco-Acolhuacan

Teresa de Jesús González
Dra. Miriam Galán Reséndiz
M.C. David Delgado Viveros
Mtra. Saraí Salazar Arredondo
Dr. Jorge Adrián Flores Rangel
Pío Giovanni Chávez Segura
Prof. Santos Vázquez Cervantes
Profa. María De Lourdes Rodríguez
Ramírez
Prof. Edmundo Pérez Godínez
C. Emilio García Ramírez
Mtro. José Luis Rico Robert
Prof. José Cruz Rodríguez
Dr. Juan José Agustín Reyes Rodríguez
René Baños
Sr. Miguel
Renata Báez Romero
Lidia Florencio
Laura Velázquez Florencio
Moria del Toro y familia
Ernesto Sánchez
Arqueol. Luis Morett Alatorre
Arqueol. Guillermo Acosta
Filemón Rojas Ramos
Rodolfo Hernández Casarreal

Víctor Daniel Contreras y familia
Don Cecilo
Rafael Villanueva García
Nikté Segura
Dr. Eliseo Cantellano
Joel Veltrejo
María Isabel Garcés Chávez
Dra. Eloísa Domínguez
Profa. María Elena Rocha
Profa. Pilar Ortega Bastida
Uriel España
Juan Manuel García
Brenda Raya
Diego Cervantes
Aída Juárez Olivares
Salvador V. Banda
Juan Antonio Juárez Moreno
Ernesto Adolfo Rodríguez Álvarez
Paola Mijangos Contreras
Emanuel Ibarra Calzadilla
Red de Organizaciones Ciudadanas del
Acolhuacan
Comité Autónomo del Agua de Santa
Catarina Acolman
Comité del Agua Santa Cruz de Arriba
Comité de Agua Potable y Saneamiento
de San Nicolás Tlaminca
Comuna Axolotl
Proyecto Texcoco en el Tiempo
Proyecto “Espacio sobre la Enseñanza del
Reciclamiento de Aguas Residuales a
través de Humedales Artificiales en el
Barrio de Santiaguito”
Autoridades de la Comunidad, Delegación
y COPACI de Santiaguito

Proyecto Pronaii “Restauración
socioecológica del Acolhuacan” del
CONAHCYT y UACH
Patronato del Agua de Acolman
Red de Juventudes Teotihuacanas
Colectivo Ecolhua Texcoco
Departamento de Suelos de la Universidad
Autónoma Chapingo (UACH)
Departamento de Agroecología de la
UACH
Clase “Gestión y Sistemas de Manejo
Ambiental” de la Universidad Autónoma
Metropolitana-Cuajimalpa
Preparatoria Comunitaria Xochihuacan
Colectivo Todas y todos somos el Río
Coxcacoaco
Proyecto Pronaii 318971 “Fortalecimiento
y articulación de sujetos colectivos para
la defensa y gestión del agua en el
territorio” del CONAHCYT y Centro de
Estudios Mexicanos y Centroamericanos
GeoGráficas
Ethos Cartográfico
FES Zaragoza
Universidad del Bienestar Benito Juárez
campus Iztapalapa
Soneros del Acolhuacan
Taller de Arte Múltiple A.C.
Trajinera del Conocimiento

Frente de Pueblos en Defensa de la Tierra
Manos a la cuenca
Guardianes del Territorio
Comité de Acción para el Saneamiento
del Ambiente A.C.
Telesecundaria de Chiautla (ESTIC 55)
Colegio de Posgraduados
Muros de Agua
CONANP (Área de Protección de Recursos
Naturales Lago de Texcoco-APRN)
Escuela Telesecundaria Vicente
Rivapalacios.

Agradecimientos a los asesores

Equipo Jurídico

Arturo Valdez de la Cruz
Fabiola Vitte Torres
Oscar Arredondo

Equipo cartográfico

Juan Manuel García Reyes
Brenda Alejandra Raya Isidro

De registro y producción audiovisual:

Uriel López España
Juan Carlos Lazarini Ortega



Resumen

El **Proyecto de Aprovechamiento y Manejo Ambiental de Humedales y chinampas de San Gregorio-Xochimilco** pretende el reúso de agua tratada, a través de un buffer ambiental mediante el uso de humedales y el cuerpo de agua San Gregorio. Además, pretende el saneamiento de los canales de las localidades de San Gregorio y Xochimilco a través de tecnologías de tratamiento avanzadas con estrategias de conservación ambiental.

El siguiente documento se divide en 5 capítulos:

En el capítulo I, se describe la problemática local desde la perspectiva de la comunidad y la vinculación del equipo técnico con los nodos sociales para el desarrollo de la propuesta conceptual, con el seguimiento y validación de la comunidad.

En el capítulo II, se resume el estudio hidrológico desarrollado para estimar el potencial de agua residual, para reúso, en la cuenca de Xochimilco.

En el capítulo III, se describe la propuesta conceptual de humedales artificiales para el tratamiento de aguas tratadas y su posterior reúso a través de la laguna de San Gregorio.

En el capítulo IV, se describe la propuesta tecnológica de una planta de tratamiento de aguas residuales para el saneamiento de los canales de Xochimilco y San Gregorio.

En el capítulo V, se desarrolla una evaluación geológica y geotécnica de la zona de estudio como base para el desarrollo de la ingeniería del proyecto.



Contenido

I. Componente Social	23
1.1 Xochimilco y su Relación con el Agua	23
1.2 Problemática Local	26
1.2.1 Red de distribución	26
1.2.2 Entorno ecológico	26
1.2.3 Agua residual	27
1.3 Cómo el Cambio de Paradigma Soluciona la Problemática	28
1.4 Integración de Saberes Comunitarios en el Proyecto Conceptual	29
1.5 Visitas de Campo y Levantamiento Fotogramétrico	32
1.5.1 Fotogrametría	32
1.5.2 Laguna de San Gregorio	33
1.5.3 Vaso regulador San Lucas	37
1.5.4 PTAR Cerro de la estrella	38
II. Estudio Hidrológico	42
2.1 Contexto Hídrico	42
2.2 Contexto Demográfico	43
2.3 Dotación de Agua Potable	44
2.4 Sistema Hidrográfico	44
2.5 Sistema Hidroagrícola	48
2.6 Sistema de Drenaje	50
2.7 Cuencas de Aportación	50
2.8 Potencial de Agua Residual	50
III. Propuesta Conceptual de Humedales para el Reúso de Agua Tratada a través de la Laguna San Gregorio	57
3.1 Humedal Artificial	57
3.2 Elementos ingenieriles	58
3.3 Especies vegetales	60
3.4 Tipos de humedales	61
3.4.1 Humedales Flotantes	61
3.4.2 Humedales de tratamiento de flujo horizontal (FTWS)	62
3.4.3 Sistema de Macrófitas Sumergidas	63
3.4.4 Humedal tipo francés o de Flujo Vertical	63



3.4.5	Humedal de tratamiento superficial de agua libre.....	64
3.5	Propuesta de Humedales para San Gregorio, Xochimilco.....	65
3.5.1	Especies vegetales para los humedales	68
IV.	Propuesta Conceptual de Tratamiento de Aguas Residuales para el Saneamiento de los Canales de Xochimilco	72
4.1	Descripción General.....	72
4.2	Propuesta Tecnológica.....	73
4.2.1	Pretratamiento.....	73
4.2.2	Tratamiento Primario.....	73
4.2.3	Tratamiento Secundario.....	73
4.2.4	Tratamiento Terciario.....	73
4.2.5	Restauración de Canales.....	73
4.3	Beneficios del Proyecto.....	74
4.3.1	Beneficios Adicionales del Manejo de Lodos y Residuos.....	74
V.	Evaluación Geológica-Geotécnica.....	78
5.1	Marco Físico.....	78
5.1.1	Fisiografía.....	78
5.1.2	Geomorfología.....	80
5.1.3	Clima regional.....	83
5.2	Marco Geológico.....	85
5.2.1	Geología regional.....	85
5.2.2	Litoestratigrafía de la zona de estudio.....	86
5.2.3	Unidades Geológicas superficiales locales.....	88
5.2.4	Estratigrafía	91
5.3	Marco Geotécnico.....	93
5.3.1	Zonificación Sísmica.....	93
5.3.2	Regiones Sísmicas en México	94
5.3.3	Zonificación geotécnica de la zona de estudio.....	96
5.3.4	Información geotécnica de la zona de estudio.....	97
5.4	Diagnóstico.....	98
	Conclusión.....	99
	Referencias.....	100



Índice de Figuras

Figura 1 Códice Cozcatzin, lámina 16. Biblioteca Nacional de Francia, París.....	24
Figura 2 Nodo Xochimilco, Canal Nacional San Gregorio Atlapulco	25
Figura 3 Nodo Xochimilco, Canal seco en San Gregorio Atlapulco, abril 2024.....	25
Figura 4 Flujo de trabajo para el desarrollo de los proyectos conceptuales.....	30
Figura 5 Presentación a la comunidad del anteproyecto de Xochimilco.....	31
Figura 6 Presentación a la comunidad de la metodología de trabajo para elaborar proyectos conceptuales.....	31
Figura 7 Personal del equipo técnico realizando Vuelos con Dron en la zona de San Gregorio.....	34
Figura 8 La cascada y tramo final del Río Santiago hacia el vaso San Lucas.....	34
Figura 9 Regleta para medir el tirante sobre el Canal Japón y personal del equipo técnico realizando mediciones de la obra de control.....	35
Figura 10 Ortofoto de la Laguna de San Gregorio.....	35
Figura 11 Vista aérea de la Laguna de San Gregorio Atlapulco hacia la Laguna de Regulación de San Lorenzo y el Bosque de Tláhuac.....	36
Figura 12 Vista aérea de los ejidos de San Gregorio y la Laguna de Regulación San Lorenzo.....	36
Figura 13 Vista aérea del ingreso del río Santiago al vaso regulador San Lucas.....	37
Figura 14 La cascada y tramo final del Río Santiago hacia el vaso regulador San Lucas.....	38
Figura 15 Vista aérea de la Planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella.....	39
Figura 16 Ortofoto de la Planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella.....	39
Figura 17 Contexto Hídrico del Plan Maestro Xochimilco.....	42
Figura 18 Conjunto urbano-rural de la región.....	43
Figura 19 Subsistema hidrográfico de la cuenca de Xochimilco.....	45
Figura 20 Subsistema hidrográfico de la cuenca del Río de la Compañía.....	46



Figura 21 Sistema hidroagrícola de la región.....	47
Figura 22 Sistema de drenaje de la región.....	51
Figura 23 Cuencas de aportación de la red hidrográfica.....	52
Figura 24 Diagrama de flujo de las cuencas de aportación y su interacción con la red de drenaje.....	53
Figura 25. Corte esquemático humedal flotante, componentes del humedal.....	61
Figura 26. Ejemplo de Islas flotantes en el Parque Ecológico de Xochimilco, Ciudad de México.....	62
Figura 27. Corte esquemático humedal flujo horizontal, componentes del humedal.....	62
Figura 28. Corte esquemático humedal de macrófitas sumergidas, componentes del humedal.	63
Figura 29. Corte esquemático humedal flujo vertical, componentes del humedal.....	64
Figura 30. Corte esquemático humedal flujo superficial, componentes del humedal.....	64
Figura 31. Mapa general del lago ubicado en San Gregorio, Xochimilco, Ciudad de México.	65
Figura 32. Mapa general del flujo del agua correspondiente al “Humedal Japón” en el lago de San Gregorio, Xochimilco, Ciudad de México.	66
Figura 33. Mapa general del flujo del agua correspondiente al “Humedal El Bordo” en el lago de San Gregorio, Xochimilco, Ciudad de México.	67
Figura 34. Ubicación de humedales flotantes en el lago de San Gregorio, Xochimilco, Ciudad de México.....	67
Figura 35. <i>Phragmites australis</i>	68
Figura 36. <i>Typha latifolia</i>	68
Figura 37. <i>Sagittaria macrophylla</i>	69
Figura 38. <i>Elodea</i> sp.	69
Figura 39. <i>Ceratophyllum demersum</i>	69
Figura 40. <i>Najas minor</i>	69
Figura 41. <i>Nymphaea</i> sp.....	69



Figura 42. Pistia stratiotes.....	70
Figura 43. Eichhornia crassipes.....	70
Figura 44. Lemna minor.....	70
Figura 45. Diagrama 1: Proyecto general del sistema de tratamiento.....	72
Figura 46. Diagrama 2: Proceso general del sistema de tratamiento.....	75
Figura 47. Diagrama 3: Tratamiento de sólidos y residuos.....	76
Figura 49 Localización y distribución de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico.....	79
Figura 50 Localización morfológica regional de la zona de estudio.....	81
Figura 51 Distribución de Unidades Morfológicas (UM) en la zona de estudio.....	81
Figura 51 Localización y extensión de climas en la zona de estudio.....	84
Figura 52 Carta Hidrológica de la República Mexicana.....	84
Figura 53. Geología regional de la zona de estudio.....	86
Figura 54. Estratigrafía somera de la subcuenca Xochimilco.....	90
Figura 55. Localización de pozos profundos y batería de pozos Tláhuac.....	91
Figura 56. Corte litológico del pozo 19 b, ramal Tláhuac.....	92
Figura 57 Zonas Sísmicas de México.....	95
Figura 58 Zonificación geotécnica de la zona de estudio.....	96
Figura 59 Perfil estratigráfico de la zona de Xochimilco.....	97



Índice de cuadros

Cuadro 1. Crecimiento poblacional de la región al año 2030.....	43
Cuadro 2. Demanda de agua potable en la región para el año 2030.	44
Cuadro 3. Demanda de agua tratada en la región.....	48
Cuadro 4. Caudal promedio de agua tratada descargada en la región.....	49
Cuadro 5. Potencial de agua residual por localidad.....	54
Cuadro 6. Potencial de agua residual por cuenca.....	55



Acrónimos, Siglas y Unidades

Acrónimo, siglas y unidades	Significado
CAEM	Comisión del Agua del Estado de México
CDMX	Ciudad de México
Ces	Contaminantes emergentes
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CORENADR	Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural
CO ₂	Dióxido de carbono
DBO ₅	Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días
DBOC ₅	Demanda bioquímica de oxígeno carbonácea a los 5 días
DOF	Diario Oficial de la Federación
DQO	Demanda química de oxígeno, utilizando dicromato de potasio como agente oxidante
FTWS	humedales de tratamiento de flujo horizontal
Hab	Habitante
L/s	Litros por segundo (flujo)
MBR	Reactor biológico de membranas (por sus siglas en inglés <i>Membrane Bioreactor</i>)
NOM	Normal Oficial Mexicana
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RPD	Reúso Potable Directo
RPI	Reúso Potable Indirecto
SACMEX	Sistema de Aguas de la Ciudad de México
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (México)
UV	Radiación ultravioleta



Glosario

Adsorción. El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. Los sistemas de adsorción en ocasiones se utilizan como filtros biológicos donde el carbón activado granular sirve como soporte para las bacterias, sin embargo, suele ir precedido con la adición de ozono para fracturar las moléculas refractarias a la oxidación biológica, esta combinación es una excelente herramienta para remoción de contaminantes emergentes, convirtiéndolo en uno de los métodos preferidos para la remoción de estos contaminantes, bajo algunas categorizaciones, este proceso cae dentro de la clasificación de procesos de Oxidación Avanzada.

Aguas recuperadas. Aguas residuales que **han sido tratadas para cumplir con criterios específicos de calidad del agua con la intención de ser utilizadas para una variedad de propósitos**, obtenida después de un proceso RPI o RPD. También conocida como **agua reciclada** (Environmental Protection Agency, 2012; Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, 2013). Los términos recuperación, reúso, reutilización y reciclaje de agua serán considerados como sinónimos para el presente documento

Contaminantes emergentes (CES). Microcomponentes o componentes químicos traza presentes en el medio ambiente, incluyen una gran variedad de compuestos químicos, productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, agentes tensoactivos, plastificantes, aditivos industriales, etc. (Gil, 2012). Son considerados contaminantes de interés por los efectos negativos que causan a los organismos del medio ambiente acuático y la salud humana.

Hábitat. Conjunto de factores físicos y geográficos que permiten la vida de una especie determinada. En un ecosistema, es el lugar físico en el que vive una comunidad. En ecología, dicho lugar es el que reúne las condiciones adecuadas para la vida de un organismo, especie o comunidad, ya sea de carácter animal o vegetal.

Filtración. La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso

Filtración biológica sobre carbón activado (BAC). Este proceso generalmente va precedido de la inyección de ozono, el cual oxida la materia orgánica convirtiendo los compuestos no biodegradables y lentamente biodegradables en biodegradables, consiguiendo que puedan ser posteriormente eliminados biológicamente en los filtros



de carbón activo. Sin embargo, la inestabilidad del ozono en el agua hace que se produzcan ácidos carboxilos, alcoholes y aldehídos, conocidos como subproductos de la desinfección. Por lo tanto, en el filtro se adiciona un medio soporte (carbón activado granular) para que los microorganismos remuevan la materia orgánica biodegradable. Debido a que parte del ozono se convierte en oxígeno, el agua que llega al filtro de carbón activado tiene las condiciones ideales para que exista un desarrollo de bacterias aerobias. En el filtro se eliminan subproductos de la desinfección no deseados, y reduce los niveles de carbono orgánico disuelto biodegradable, asimilándolo a valores que consigan la bioestabilidad del agua producto, a fin de evitar recrecimiento de *biofilm* en las redes de distribución. Aunque la capacidad de eliminación de materia orgánica se reduce a medida que el filtro se satura y entra en la fase biológica, la biodegradación en esta fase se mantiene estable y perdura a lo largo de los meses sin preocupaciones por la regeneración del carbón.

Filtro percolador. Sistema de tratamiento biológico que consiste en una cama de grava o un medio plástico sobre el cual se rocían las aguas negras pretratadas. En los filtros percoladores, los microorganismos se apegan al medio del lecho y forman una capa biológica sobre éste. A medida que las aguas negras se percolan por el medio, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua.

Lodos activados. El proceso de lodos activados consiste en un tanque de aireación con mezcla completa y continúa provista por difusores y sopladores de aire, o bien por aireadores mecánicos. Los “lodos” (biomasa) se alimentan y crecen a partir de la materia orgánica del agua residual. Los lodos crecen en forma de flóculos que sedimentan al pasar por un clarificador secundario; el agua clarificada desborda por la parte superior de dicho tanque, en tanto que la biomasa concentrada se recircula al tanque de aireación y una pequeña fracción, la purga, se envía al sistema de tratamiento de lodos.

Normas Oficiales Mexicanas (NOMs). Son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes, que tienen como finalidad establecer las características que deben reunir los procesos o servicios cuando estos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana.

Oxidación avanzada. Son aquellos procesos de oxidación que implican la generación de radicales libres hidroxilos en cantidad suficiente para interaccionar con los compuestos orgánicos del medio, son capaces de producir cambios profundos en la estructura química de los contaminantes. El radical hidroxilo puede ser formado por medios fotoquímicos (incluida la luz solar) u otras formas de energía, posee una alta efectividad para la oxidación de la materia orgánica, su reactividad únicamente es superada por el flúor



Parámetro. Una propiedad que se mide o se observa.

Predominancia. Se refiere a la relación entre dos versiones de un gen. Cada individuo recibe dos versiones de cada gen, conocidas como alelos, una de cada padre. Si los alelos de un gen son diferentes, el alelo que se expresa es el gen dominante. El efecto del otro alelo, denominado recesivo, queda enmascarado.

Reducción logarítmica. La reducción logarítmica es una medida de qué tan a fondo un proceso de descontaminación reduce la concentración de un contaminante. Una reducción n- log significa que la concentración de contaminantes restantes es sólo 10 n veces menor que el original. Así, por ejemplo, una reducción de 0 logaritmos no es reducción en absoluto, mientras que una reducción de 1 logaritmo corresponde a una reducción del 90 por ciento de la concentración original, y una reducción de 2 logaritmos corresponde a una reducción del 99 por ciento de la concentración original:

Log Reduction	Number of CFUs Remaining	Percentage Reduction
0 log	1,000,000	0%
1log	100,000	90%
2log	10,000	99%
3log	1,000	99.9%
4log	100	99.99%
5log	10	99.999%
6log	1	99.9999%

Recarga artificial. Conjunto de técnicas hidrogeológicas aplicadas para introducir agua a un acuífero, a través de obras construidas con ese fin. (NOM-014-CONAGUA-2003).

Reservorio. Es el almacenamiento de aguas superficiales o subterráneas, para brindar la oportunidad de cortar físicamente la conexión a la fuente, así como ofrecer tiempo para responder a alteraciones imprevistas del proceso. Puede ser de tipo ambiental (natural) o diseñado (construido).

Reúso de agua.

Reúso de facto: Ocurre cuando las comunidades utilizan agua superficial como fuente de agua potable que ha sido sometida a descargas de aguas residuales río arriba.

Reúso no potable: Se refiere al agua tratada que no se usa para beber pero que es segura de usar para irrigación o procesos industriales.

Reúso potable: Se refiere al agua reciclada o recuperada que es segura para beber, ya que ha pasado por un proceso de tratamiento avanzado que garantiza el uso potable

Reúso potable directo (RPD): Representa la introducción de aguas residuales tratadas (con o sin retención en un almacenamiento diseñado) en un suministro de agua potable sin descarga previa a un reservorio ambiental. Las aguas residuales tratadas pueden mezclarse con agua sin tratar de un río, lago, embalse o acuífero antes de una planta potabilizadora; mezclarse con agua tratada aguas abajo de una planta



potabilizadora convencional; o introducir directamente en un sistema de distribución de agua potable.

Reúso potable indirecto (RPI): Representa la adición planificada de aguas residuales tratadas a cuerpos de agua utilizados como fuentes de agua potable. Los cuerpos de agua, que pueden incluir ríos, lagos, embalses y acuíferos, se denominan reservorios ambientales. El agua que contiene una proporción de aguas residuales tratadas se toma de la reserva ambiental y se trata para proporcionar agua potable.



Proyecto de Aprovechamiento y Manejo Ambiental De los Humedales y Chinampas de San Gregorio- Xochimilco

Informe final



Capítulo 1

Componente Social



I. Componente Social

1.1 Xochimilco y su Relación con el Agua

En Xochimilco, cada gota de agua encierra siglos de vida, resistencia y una conexión profunda con la tierra. El agua en Xochimilco es mucho más que un simple recurso natural, es la esencia de la identidad, la subsistencia y la cultura de sus habitantes. Sin embargo, en medio de la urbanización y las intervenciones externas, esta relación sagrada corre el riesgo de desvanecerse.

Xochimilco, con su intrincada red de canales y chinampas, fue durante siglos el corazón agrícola del altépetl xochimilca. Los cuerpos de agua locales, como el lago de Xochimilco y el canal Apatlaco, han sido fundamentales para la subsistencia y el tejido social de las comunidades. No solo dependen del agua para producir alimentos y plantas ornamentales, sino que también son un símbolo vital en la cosmovisión de los pueblos y barrios.

Según Araceli Peralta (2011), en 1953 el nivel de agua de los canales de Xochimilco sufrió una disminución significativa. Ante la presión de la comunidad, el gobierno del Departamento del Distrito Federal decidió canalizar aguas tratadas hacia estos cuerpos de agua. Desde 1971, los canales y lagunas se convirtieron en un sistema completamente dependiente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Cerro de la Estrella y, en menor medida, de la planta de San Luis Tlaxialtemalco, que comenzó a operar en 1979.

El agua tratada ha sustentado el paisaje lacustre, la economía local y las tradiciones culturales de la región. Xochimilco fue incluido en la lista de Patrimonio Mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en 1987; en 1992 se declaró Área Natural Protegida “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”; en 1996 se reconoció como un Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA); en 2004 se inscribió como “Humedal de importancia internacional”, Sitio Ramsar núm. 1363 y en el 2017, las Chinampas recibieron el nombramiento de Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). A pesar de todas estas declaratorias y nombramientos, la realidad es que existe una lucha constante por la supervivencia. La urbanización desmedida, la intervención fallida de las autoridades y la falta de aplicación



correcta de las políticas públicas han fragmentado y desgastado este sistema agrícola, que es una fuente vital de alimentos y servicios ecosistémicos para la Ciudad de México.

La degradación del entorno lacustre pone en riesgo el equilibrio que ha sostenido a las comunidades locales durante generaciones. La conservación de Xochimilco trasciende el ámbito ambiental, es un compromiso con nuestra historia y nuestra supervivencia. Además, las fuentes de agua potable y su distribución para la población local son insuficientes e inequitativas.



Figura 1 Códice Cozcatzin, lámina 16. Biblioteca Nacional de Francia, París.

El Xochimilco que conocieron nuestros padres y abuelos, con sus canales surcando chinampas llenas de vida, está en peligro de extinción. Además del impacto por el calentamiento global y el cambio climático que aceleran la evaporación del agua superficial y disminuye la recarga de los mantos acuíferos, actualmente, los cuerpos de agua superficial lacustre del sur de la Ciudad de México (CDMX) están asfixiados por la contaminación, resultado de distintos factores, como la falta de infraestructura que garantice el derecho al saneamiento de las aguas residuales; así como el avance de la urbanización; las descargas masivas directas de aguas negras en los canales; la

diversificación de las actividades productivas y económicas con fines turísticos y de esparcimiento, que han modificado el uso y la función de las chinampas SIPAM; y la falta de coordinación de las instituciones gubernamentales locales, municipales y federales.

El saneamiento ligado al derecho al agua es un derecho humano esencial que ha sido sistemáticamente ignorado. Los productores de San Gregorio Atlapulco, una de las zonas más productivas de hortalizas en la Ciudad de México, luchan a diario no solo por tener agua potable, sino también por el agua tratada para poder realizar sus actividades agrícolas. Cuando escasea, las cosechas, las familias y la estabilidad económica se ven gravemente afectadas.

La falta de acción conjunta ha llevado a la pérdida de toneladas de alimentos, y a que decenas de familias productoras, que mantienen esta zona de amortiguamiento frente a la crisis climática, con su trabajo indígena diario, sean catalogadas como zonas de alta marginalidad y violencia, lo cual refleja un modelo sistemático de opresión y despojo, que reclama justicia social y ambiental inmediata. Xochimilco enfrenta un colapso inminente, con inundaciones, escasez y conflictos por el uso del agua que amenazan su futuro. Los canales, que alguna vez fueron símbolo de abundancia y equilibrio ecológico, son ahora ecosistemas moribundos.



Figura 2 Nodo Xochimilco, Canal Nacional San Gregorio Atlapulco



Figura 3 Nodo Xochimilco, Canal seco en San Gregorio Atlapulco, abril 2024

El agua es movilidad, vida y alimento. Para San Gregorio Atlapulco, y para miles de familias, es el sustento diario. Sin embargo, la urbanización desmedida ha ignorado este hecho, sin ofrecer infraestructura adecuada para producir nuevas fuentes de agua que permitan recuperar la ciclicidad del vital líquido. Xochimilco resiste y exige que, desde el



derecho a la ciudad y el derecho a un ambiente sano, se reconozca el valor del agua, no solo como un recurso de consumo, sino como el corazón que mantiene viva la agricultura, los ecosistemas y la cultura de este histórico lugar.

1.2 Problemática Local

Todos conocemos la importancia de Xochimilco como uno de los últimos vestigios del pasado lacustre del Valle de México, y como testimonio del vasto conocimiento hidráulico y manejo del paisaje ecosistémico que reflejado en la construcción de chinampas SIPAM. En el imaginario colectivo de su población —integrada tanto por indígenas originarios y residentes con actividades agrícolas, y población que ha llegado a habitar con al menos 3 generaciones que reclaman la certeza jurídica de la tenencia de la tierra en suelos de conservación— persiste una conexión profunda con este paisaje, por las dimensiones de bienestar que ofrece la convivencia directa con la naturaleza. A pesar de habitar una zona lacustre, estas comunidades enfrentan desafíos que tensionan su derecho a una ciudad sustentable, mientras luchan por asegurar un futuro digno para sus próximas generaciones. En este contexto, las principales problemáticas son:

1.2.1 Red de distribución

Aunque Xochimilco sigue siendo una fuente vital de agua para la Ciudad de México, no tiene línea primaria de suministro de agua, sus propios habitantes reciben un abastecimiento insuficiente, con apenas 70 litros diarios por persona, en contraste con otras áreas de la ciudad. Esta situación es especialmente crítica en las unidades territoriales de las zonas montañosas y asentamientos sin certeza jurídica, donde el abastecimiento es irregular y precario.

1.2.2 Entorno ecológico

El deterioro del ecosistema de Xochimilco es una prueba tangible del despojo que ha sufrido. A lo largo de los años, ha funcionado como un laboratorio en el que se ha impuesto un paradigma de gestión hegemónico y obsoleto. Este modelo trata el agua como un recurso periférico y subordina el territorio a las necesidades del centro económico urbano. El resultado ha sido la explotación y degradación sistemática del medio ambiente, perpetuando un ciclo de deterioro.



1.2.3 Agua residual

Este es uno de los problemas más severos y menos atendidos en Xochimilco. La gestión de las aguas residuales no existe, el presupuesto dedicado a la infraestructura social se ha limitado a la instalación de redes de drenaje insuficientes, desconectadas entre sí y que durante la temporada de lluvias colapsan, mezclando aguas negras con las pluviales, estas desembocaron en la red de canales y afectan gravemente la salud de las comunidades locales. Aunque solo se localizan seis concesiones de uso industrial, los ríos contaminados que vienen desde las zonas altas de la montaña causan estragos visibles en cada tormenta y precipitación entre junio y septiembre. Por ejemplo, entre los límites municipales de las alcaldías de Xochimilco y Tlalpan, por las escorrentías y cauces al río Santiago, las precipitaciones causan inundaciones de Nativitas a Xaltocan, escurren hasta las lagunas de Xaltocan y de Caltongo, en donde se confirma el arrastre de una grave contaminación y la muerte masiva de fauna acuática. Esto también sucede en el embarcadero de Atenco, en San Gregorio, donde desemboca agua residual del pueblo de San Pedro Atocpan, de la Alcaldía de Milpa Alta, proveniente de su planta de tratamiento, estas aguas atraviesan por una barranca habitada irregularmente, a pesar de ser zona de riesgo y suelo de conservación.

Tan solo el barrio originario de Caltongo, ubicado en el centro histórico de Xochimilco, asentado en su totalidad en suelo de conservación por su naturaleza lacustre y chinampa productiva con floricultura, con una superficie de 201,545 m², representa en metros cúbicos un volumen de agua desperdiciada, al no contar con una estrategia de saneamiento con vanguardia tecnológica a nivel mundial, por decir menos, es lo justo.

El "Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco" no es solo un territorio físico, sino un espacio hidro social que ha permitido el florecimiento de un activismo comunitario. Este tiene raíces profundas en la historia y la cultura de la región, siempre en defensa de un paisaje habitado que convoca a la nostalgia de épocas en las que se convivía armónicamente con el agua. Este es el eje de las luchas sociales que renacen con cada ciclo político e histórico, revitaliza las tierras campesinas, las memorias y el reclamo de una restauración que trasciende lo local para convertirse en una demanda global.

La población de Xochimilco conoce bien su historia, y con el paso del tiempo ha manifestado su creciente frustración. A pesar de participar en numerosos estudios e investigaciones, los resultados tangibles siguen siendo escasos, mientras el problema se



agrava. A 41 años de haberse establecido como zona de amortiguamiento, la ciudad no deja de crecer, y es imperativo redirigir el diseño hacia una ciudad lacustre, bajo un nuevo paradigma de cogobierno. Solo a través de la participación social activa y el conocimiento local podremos guiar el camino hacia un modelo de gestión que respete y restaure el entorno, garantizando un futuro sustentable para las próximas generaciones.

1.3 Cómo el Cambio de Paradigma Soluciona la Problemática

En la época prehispánica la Cuenca de México y su entorno era una región lacustre con cinco lagos y 48 ríos (Legorreta 2006, p. 19), hoy en día esta zona está completamente urbanizada, con ríos contaminados y entubados. La llegada de los españoles en el siglo XVI marcó el inicio de la destrucción de las obras hidráulicas prehispánicas, convirtiendo los canales en drenajes y los lagos en depósitos de basura, lo que trajo inundaciones (Legorreta 2006, p.25). Este proceso fue acompañado por el crecimiento demográfico y la urbanización, que cubrió el área lacustre de asfalto, multiplicando la población de la ciudad y la demanda de servicios.

Hasta el siglo XIX, el agua se suministraba mediante acueductos superficiales, pero en el siglo XX al agotarse los recursos locales, la ciudad comenzó a depender de fuentes subterráneas y externas, como los sistemas Cutzamala y Lerma (SACMEX 2018, p. 51). Hoy, enfrenta una crisis hídrica debido al uso insostenible del agua y la centralización de su administración, lo que demanda un cambio hacia un modelo de gestión comunitaria. Entre las pocas áreas que conservan características lacustres están Xochimilco y Tláhuac, cuyas chinampas y canales aún subsisten como un remanente del antiguo sistema lacustre.

La recuperación de cuerpos de agua dentro del nodo Xochimilco puede ser clave para mejorar la calidad del agua residual y contribuir a un cambio de paradigma en la gestión hídrica. La microcuenca tiene características geológicas e hidrológicas que la convierte en un punto estratégico para la extracción de agua que abastece a la Ciudad de México. Al restaurar los cuerpos de agua naturales y adoptar un enfoque holístico, se podrían implementar soluciones que permitan filtrar, tratar y purificar el agua de manera natural, reduciendo la dependencia de sistemas externos y mejorando la calidad del agua residual, considerando las condiciones y relaciones socioambientales que existen en la zona.

Además, la rehabilitación de estos cuerpos de agua ayudaría a reintroducir procesos ecológicos que contribuyen al saneamiento natural del agua, como la filtración a través de suelos y vegetación, y la reducción de contaminantes. Este enfoque más sustentable



podría reducir el uso de infraestructura artificial y costosa para el tratamiento de aguas residuales, alineándose con la idea de un cambio de paradigma hacia una gestión más descentralizada y comunitaria.

Involucrar a los habitantes de la región en estos proyectos no solo fortalece el acceso a información técnica, sino que también promueve una mayor participación en la toma de decisiones y en la conservación de los recursos hídricos. Esto abre la puerta a un modelo de gestión del agua que prioriza la regeneración ecológica, el respeto por el entorno natural y el empoderamiento de las comunidades locales.

1.4 Integración de Saberes Comunitarios en el Proyecto Conceptual

Una parte fundamental en la concepción de los proyectos conceptuales, fue conocer la problemática de cada región y entender el funcionamiento actual de los sistemas de abastecimiento, drenaje, riego y navegación en cada uno de los sitios. Este entendimiento sería incompleto sin incorporar el conocimiento comunitario del agua, que aporta una visión insustituible sobre las dinámicas locales.

A gran escala, la extracción, distribución, saneamiento y drenaje del recurso hídrico son gestionados por entidades gubernamentales como CONAGUA, SACMEX, CAEM y CORENADR, a través de la infraestructura hidráulica disponible. Sin embargo, a pequeña escala, son las comunidades y los usuarios quienes enfrentan la tarea de adaptar estos recursos —frecuentemente insuficientes y de mala calidad— para satisfacer sus necesidades. Ellas se ven obligadas a buscar soluciones para mitigar afectaciones como inundaciones o contaminación, asumir los costos derivados de una mala gestión, y desarrollar estrategias resilientes frente a estas problemáticas. Por ello, para comprender verdaderamente el funcionamiento integral del sistema y sus vulnerabilidades, es imprescindible recurrir al conocimiento en sitio que poseen las comunidades.

Además, no se trata únicamente de entender el sistema desde un enfoque técnico, sino también de reconocer cómo los habitantes perciben su operación desde perspectivas sociales y culturales. En muchos casos, los sistemas actuales interfieren con el manejo tradicional del agua, alterando prácticas culturales profundamente arraigadas en las comunidades.

El conocimiento comunitario del agua se integró en la concepción de los proyectos conceptuales de dos maneras claves: primero, para entender el funcionamiento integral de los sistemas hídricos y sensibilizarnos frente a sus afectaciones, y segundo, para

diseñar soluciones que sean verdaderamente holísticas, considerando tanto las necesidades técnicas como las perspectivas sociales y culturales de las comunidades.

Para que las propuestas conceptuales sean técnicamente fundamentadas y socialmente viables, articuladas con los saberes comunitarios y la acción colectiva de los nodos de incidencia, se siguieron los siguientes cinco principios fundamentales propuestos por McCall y Álvarez (2023, pp. 16-17):

- Representar el conocimiento espacial local de la comunidad en productos cartográficos que aporten al diagnóstico y gestión del territorio.
- Consolidar un intercambio flexible y adaptable entre los saberes comunitarios y el conocimiento de expertos, adecuado al entorno social, cultural y físico del territorio.
- Asegurar que el acceso y el uso de la información del conocimiento espacial local representado quede bajo la responsabilidad de las personas que proporcionaron dicho conocimiento.
- Crear espacios de diálogo y formación para capacitar en el manejo de tecnologías de información geográfica que sean de fácil utilidad.
- Combinar distintas metodologías participativas con instrumentos tecnológicos como vuelos de dron para obtener imágenes del territorio, aplicaciones de celular para levantar puntos en campo, entre otras.

En la figura 4 se muestra el flujo de trabajo realizado entre el equipo social, técnico y de cartografía comunitaria, para el desarrollo de los proyectos conceptuales.

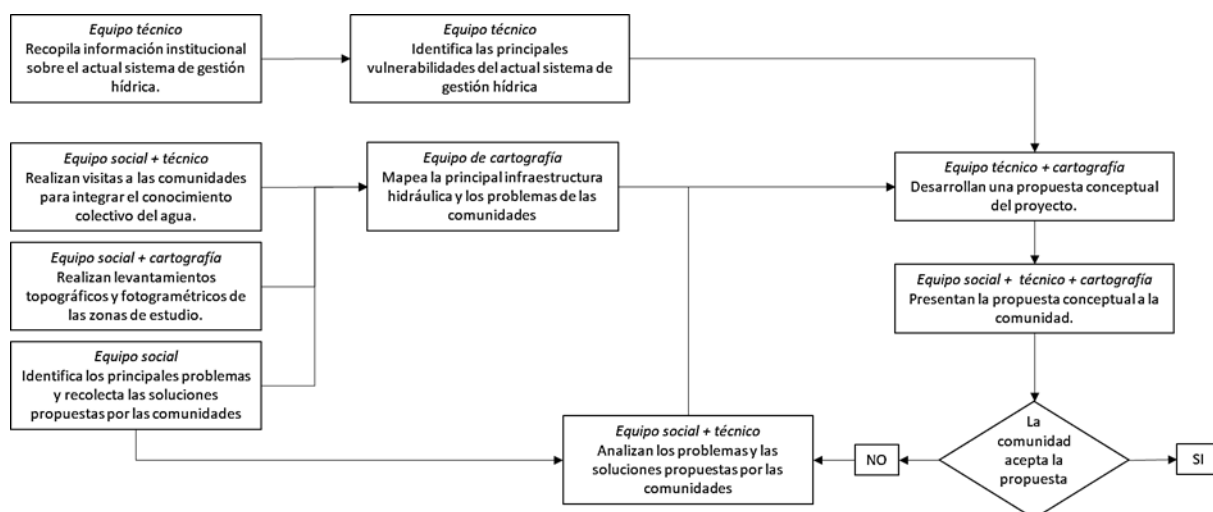


Figura 4 Flujo de trabajo para el desarrollo de los proyectos conceptuales.



Figura 5 Presentación a la comunidad del anteproyecto de Xochimilco.

En la figura 5 se muestra la presentación del anteproyecto de Xochimilco, así como reunión con grupo ejidal y grupo social de la zona para escuchar inquietudes acerca del proyecto conceptual, por decisión colectiva, se pidió no tomar fotos durante este encuentro; la presentación se llevó en una chinampa cerca del Puente de Urrutia, imágenes del recorrido para llegar a la chinampa y mapa de trabajo de la zona.



Figura 6 Presentación a la comunidad de la metodología de trabajo para elaborar proyectos conceptuales.

En la figura 6 se muestra la presentación de la metodología de trabajo para la elaboración de un proyecto conceptual que sirva de cambio de paradigma en el manejo del agua, en esta presentación se tuvo la presencia de los diferentes nodos del proyecto para compartir sus experiencias en territorio, y comentar sobre la importancia de conformar una contraloría del agua.



1.5 Visitas de Campo y Levantamiento Fotogramétrico

Los levantamientos fotogramétricos tienen el objetivo de integrar carpetas de información que faciliten la observación de relaciones entre los componentes hídricos urbanos de cada sitio, así como visualizar los potenciales espacios para cada emplazamiento.

El material obtenido es información actualizada de los sitios y de un formato de alta calidad (4K), teniendo como resultado un trabajo adecuado para llevar a cabo la modelación tridimensional a partir de nubes de puntos en los proyectos conceptuales de cada nodo.

Estos vuelos fueron realizados a lo largo del año 2023 y 2024 en distintos escenarios climatológicos, en acompañamiento de los representantes de cada nodo que aportaron un acercamiento con cada problemática local, esto ha representado un enlace de colaboración que permitió obtener esta información.

Por otro lado, el objetivo primordial de las visitas de campo fue el de sensibilizar al grupo técnico con el territorio de cada región, así como de escuchar las opiniones de los pobladores de estas zonas y poder tener un panorama más amplio de la zona de estudio.

Sí bien por la extensión de las zonas de estudio no fue posible hacer los vuelos sobre todos los cuerpos de agua, la utilidad de esta información también radica en la posibilidad de crear montajes de los renders o ubicar los modelos propuestos para la gestión del agua en un escenario actual que permita dar una idea sobre su integración, también es importante hacer mención de otras herramientas empleadas durante el proceso como GPS, información oficial de INEGI o la propia experiencia local de los nodos para determinar las zonas de estudio a partir de un acercamiento seguro a las zonas, la integración de esta información iría evolucionando agregando nuevos determinantes o temas de interés a la información recopilada.

1.5.1 Fotogrametría

La fotogrametría es la técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto.



El concepto de fotogrametría es: "medir sobre fotos". Si trabajamos con una foto podemos obtener información en primera instancia de la geometría del objeto, es decir, información bidimensional. Si trabajamos con dos fotos, en la zona común a éstas (zona de traslape), podremos tener visión estereoscópica o, dicho de otro modo, información tridimensional.

Básicamente, es una técnica de medición de coordenadas 3D, que utiliza fotografías u otros sistemas de percepción remota junto con puntos de referencia topográficos sobre el terreno, como medio fundamental para la medición.

1.5.2 Laguna de San Gregorio

Los vuelos fueron realizados en los meses de septiembre y octubre de 2024, se hizo un reconocimiento del sitio para ubicar los puntos de vuelo cercanos al bosque de Tláhuac, Laguna de San Gregorio y la zona de Canal de Chalco.

Sobre el proceso y la metodología empleada se han realizado dos vuelos de reconocimiento de sitio en el margen derecho del canal Japón. Los vuelos se llevaron a cabo con integrantes del nodo, así como con personas de los Ejidos, con la principal finalidad de obtener el registro del área de la Laguna de San Gregorio que cuenta con una gran extensión de espacio chinampero relleno con cascajo.

Para los vuelos sobre Canal de Chalco se tuvo la presencia solo del grupo social del nodo, estos vuelos se utilizaron para obtener la fotogrametría de la zona norte de la Laguna de San Gregorio Atlapulco que colinda con el Bosque de Toluca, el corredor Tláhuac, zona estratégica para entender el funcionamiento de los ingresos de agua tratada y la recolección de agua de lluvia que proporciona el Bosque. En estos vuelos también se puede visualizar el área actual que se destina para el depósito de cascajo.

Para el registro fotográfico de la Laguna de San Gregorio Atlapulco, los puntos de vuelo fueron sobre el camellón de la vialidad de canal de Chalco y en el bosque de Tláhuac, las jornadas del vuelo fueron aproximadamente de 2 a 3 horas.

Para el área de canal Japón, el ingreso fue por la vialidad canal de Chalco, posteriormente se realizó un recorrido a pie por un costado del canal, y así poder encontrar un mejor punto de despegue de la aeronave. Mediante estos vuelos se obtuvo la fotogrametría completa del área de interés del proyecto de San Gregorio.



Figura 7 Personal del equipo técnico realizando Vuelos con Dron en la zona de San Gregorio.

Durante el recorrido al Canal de Japón, se visitó la obra de control en su descarga a canal de Chalco, y se tomaron medidas de la profundidad del agua; durante el recorrido se tuvo la presencia del grupo técnico y personal de CORENADR (figuras 8 y 9).



Figura 8 La cascada y tramo final del Río Santiago hacia el vaso San Lucas.

La Ortofoto de la Laguna de San Gregorio como resultado del proceso de fotogrametría, permite definir las áreas de reciente relleno, así como los cambios en los tipos de suelo contrastando entre las zonas chinamperas y la zona urbanizada del otro lado del Canal de Chalco



Figura 9 Regleta para medir el tirante sobre el Canal Japón y personal del equipo técnico realizando mediciones de la obra de control.



Figura 10 Ortofoto de la Laguna de San Gregorio.



Figura 11 Vista aérea de la Laguna de San Gregorio Atlapulco hacia la Laguna de Regulación de San Lorenzo y el Bosque de Tláhuac.



Figura 12 Vista aérea de los ejidos de San Gregorio y la Laguna de Regulación San Lorenzo.

1.5.3 Vaso regulador San Lucas

Para la visita del Vaso Regulador san Lucas se tuvo la presencia del grupo social, y del grupo técnico, primero se realizó un recorrido a un costado del Río Santiago, para poder ver la situación de este, corroborando su mala calidad por las descargas sanitarias de la zona, posteriormente se llegó a la zona de entrada del agua hacia el Vaso regulador, en este punto se llevó a cabo el vuelo de reconocimiento de la zona, donde se obtuvo fotografías panorámicas, así como videos del cuerpo de agua.



Figura 13 Vista aérea del ingreso del río Santiago al vaso regulador San Lucas.

Link de visualización de foto 360° Vaso Regulador San Lucas:

https://www.google.com/maps/contrib/104286368711894418627/photos/@19.2482994,-99.1089562,3a,75y,90t/data=!3m7!1e1!3m5!1sAF1QipMIPayxUHguG6-5ARrhFz81OqMz9GbqKXcr1zd0!2e10!6shhttps:%2F%2Fh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipMIPayxUHguG6-5ARrhFz81OqMz9GbqKXcr1zd0%3Dw900-h600-k-no-pi0-ya0-ro0-fo100!7i8192!8i4096!4m3!8m2!3m1!1e1?entry=tту&_ep=EgoyMDI0MTExMy4xIKXMDSOA SAFQAw%3D%3D

Durante el recorrido del río Santiago pastar (figura 10), se puede apreciar una caída de agua, que la gente local conoce como la cascada; esta sirve para oxigenar un poco el agua. En el tramo antes de llegar a la Presa San Lucas se pueden observar vacas que la gente lleva a pastar.



Figura 14 La cascada y tramo final del Río Santiago hacia el vaso regulador San Lucas.

1.5.4 PTAR Cerro de la estrella

Otro de los puntos visitado fue la PTAR Cerro de la Estrella de donde se ha obtenido una cota de elevación de referencia para el análisis de sistemas de agua por gravedad desde esta zona hasta inmediaciones de la zona de conservación de San Gregorio y Tláhuac respectivamente, esta relación se prolonga desde el inicio del Área Natural de Xico a través de Canal de Chalco hasta la Lumbrera 7, 6, y 5 del drenaje local. En esta visita se dio una explicación del funcionamiento de la planta de tratamiento haciendo énfasis en que la Planta cumple con las normas oficiales para el proceso del agua, asegurando que el agua saliendo de sus instalaciones cumple con los requerimientos establecidos pero que será un tema de discusión de los expertos con los grupos asistentes por parte del nodo.



Figura 15 Vista aérea de la Planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella.



Figura 16 Ortofoto de la Planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella.



Para el registro fotográfico de la planta de tratamiento Cerro de la Estrella se llevó a cabo dentro de estas instalaciones, primero se realizó una plática informativa acerca de su funcionamiento y operabilidad, igualmente se resolvieron algunas inquietudes por parte de los ejidatarios que acompañaron en esta visita, abordando el tema principal del agua contaminada. Posterior a esta plática se realizó un recorrido por las instalaciones, para poder ver físicamente lo explicado en la plática anterior; mientras se realizó esta visita por la planta de tratamiento se efectuaron los vuelos de dron para obtener tanto fotogrametría como material de fotos y videos del contexto de la zona.

Link de visualización de foto 360°

https://www.google.com.mx/maps/contrib/104286368711894418627/photos/@19.3366568,-99.0747814,3a,63.6y,67.74h,18.84t/data=!3m7!1e1!3m5!1sAF1QipOJ41nJxHL9m-hniFQB3yMIQz0gR8ISZ3MhoRR2!2e10!6s%2F%2Fh5.ggpht.com%2Fp%2FAF1QipOJ41nJxHL9m-hniFQB3yMIQz0gR8ISZ3MhoRR2%3Dw900-h600-k-no-pi71.16437967306248-ya67.741284993059-ro0-fo100!7i8192!8i4096!4m3!8m2!3m1!1e1?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTEExMy4xIKXMDSoA SAFQAw%3D%3D



Capítulo 2

Estudio Hidrológico

II. Estudio Hidrológico

2.1 Contexto Hídrico

El **Plan Maestro Xochimilco** tiene un contexto hídrico bastante amplio, ya que forma parte de las cuencas superficiales de Xochimilco y el Río de la Compañía (figura 17). La administración y concesión actual del recurso hídrico en estas cuencas está a cargo de la **Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)**.

En el actual modelo de gestión del agua de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), las cuencas de Xochimilco y el Río de la Compañía descargan sus aguas residuales a la Cuenca de la Ciudad de México, la que posteriormente descarga el conjunto de aguas residuales de la ZMVM a la cuenca actual del Río Tula, en el Estado de Hidalgo (figura 17).

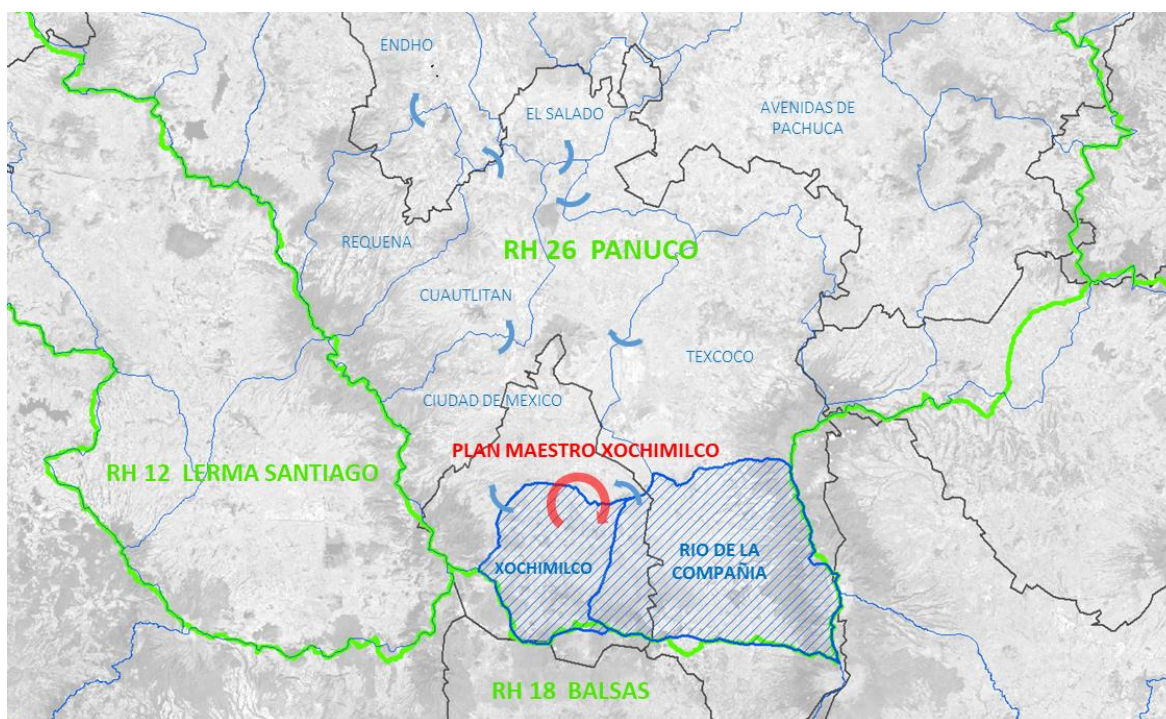


Figura 17 Contexto Hídrico del Plan Maestro Xochimilco.
(— Estado, — Región Hidrológica, — Cuenca Hidrográfica)

2.2 Contexto Demográfico

El conjunto urbano-rural del **Plan Maestro Xochimilco** lo conforman las alcaldías de Tlalpan, Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta (figura 18). Al censo poblacional del año 2020, estas alcaldías registraron una población total de 1.68 millones de habitantes. Para el año 2030, se pronostica que ésta llegara a los 1.86 millones de habitantes (cuadro 1).

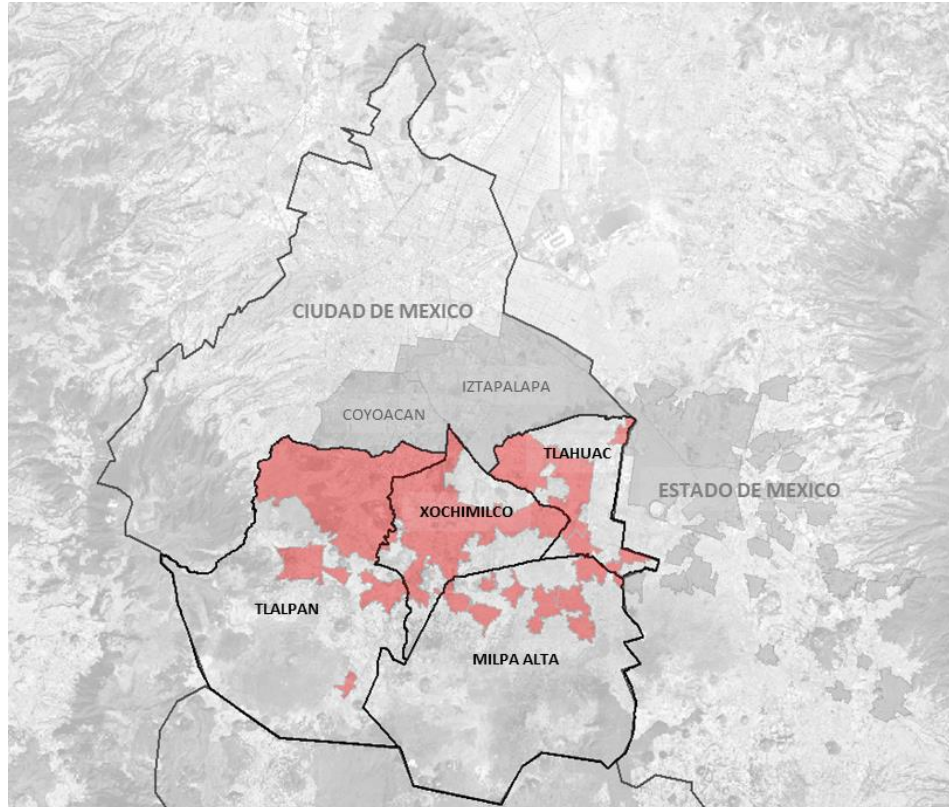


Figura 18 Conjunto urbano-rural de la región
(— Estado, — Municipio, — Localidad urbana)

Cuadro 1. Crecimiento poblacional de la región al año 2030.

Alcaldía		Población Total (Habs)			Fracción rural
Clave	Nombre	2020	2025	2030	
9009	Milpa Alta	152,685	167,321	179,883	0.16
9011	Tláhuac	392,313	422,774	448,920	0.02
9012	Tlalpan	699,928	722,560	741,987	0.02
9013	Xochimilco	442,178	468,202	490,539	0.03



2.3 Dotación de Agua Potable

Según registros en el sistema de abastecimiento primario (o de agua en bloque) de la ZMVM, a estas alcaldías, en los últimos 4 años, se le ha distribuido una dotación de agua potable de aproximadamente 200 l/Hab/día. Cerca del 90% de esta dotación se extrae del agua subterránea del acuífero de la Ciudad de México, el resto proviene de los Sistema Cutzamala y Lerma.

Dada las recomendaciones de CONAGUA, el consumo de agua potable en las zonas urbanas de la ZMVM se estima de 145 l/Hab/día, y en las zonas rurales, de 100 l/Hab/día. Adicionalmente, en la Ciudad de México, el uso de agua no domestico es aproximadamente el 50% del consumo doméstico, y el uso de agua industrial, el 7%. Finalmente, con un porcentaje de perdidas por fugas del 40%, la demanda de agua potable en la región se estima de 310 l/Hab/día. En el cuadro 2 se estima el caudal de agua potable requerido para el año 2030.

Cuadro 2. Demanda de agua potable en la región para el año 2030.

Alcaldía		Demanda l/s
Clave	Nombre	
9009	Milpa Alta	645.4
9011	Tláhuac	1610.7
9012	Tlalpan	2662.2
9013	Xochimilco	1760.0

2.4 Sistema Hidrográfico

El sistema hidrográfico de la región se puede dividir en dos subsistemas: el de la cuenca de Xochimilco y el de la cuenca del Rio de la Compañía. En las figuras 19 y 20 se muestran las principales corrientes e infraestructura hidráulica de ambos subsistemas.

El subsistema hidrográfico de la cuenca de Xochimilco se extiende desde el lago de los Reyes, al este, en la alcaldía de Tláhuac, al noroeste, hasta la planta de bombeo Miramontes, sobre rio Churubusco, en la alcaldía de Coyoacán.

Los escurrimientos de la sierra sur escurren hacia la zona lacustre de Xochimilco y San Gregorio y son interceptados por el canal de Chalco. Éste los dirige hasta la ciénega

[illegible]

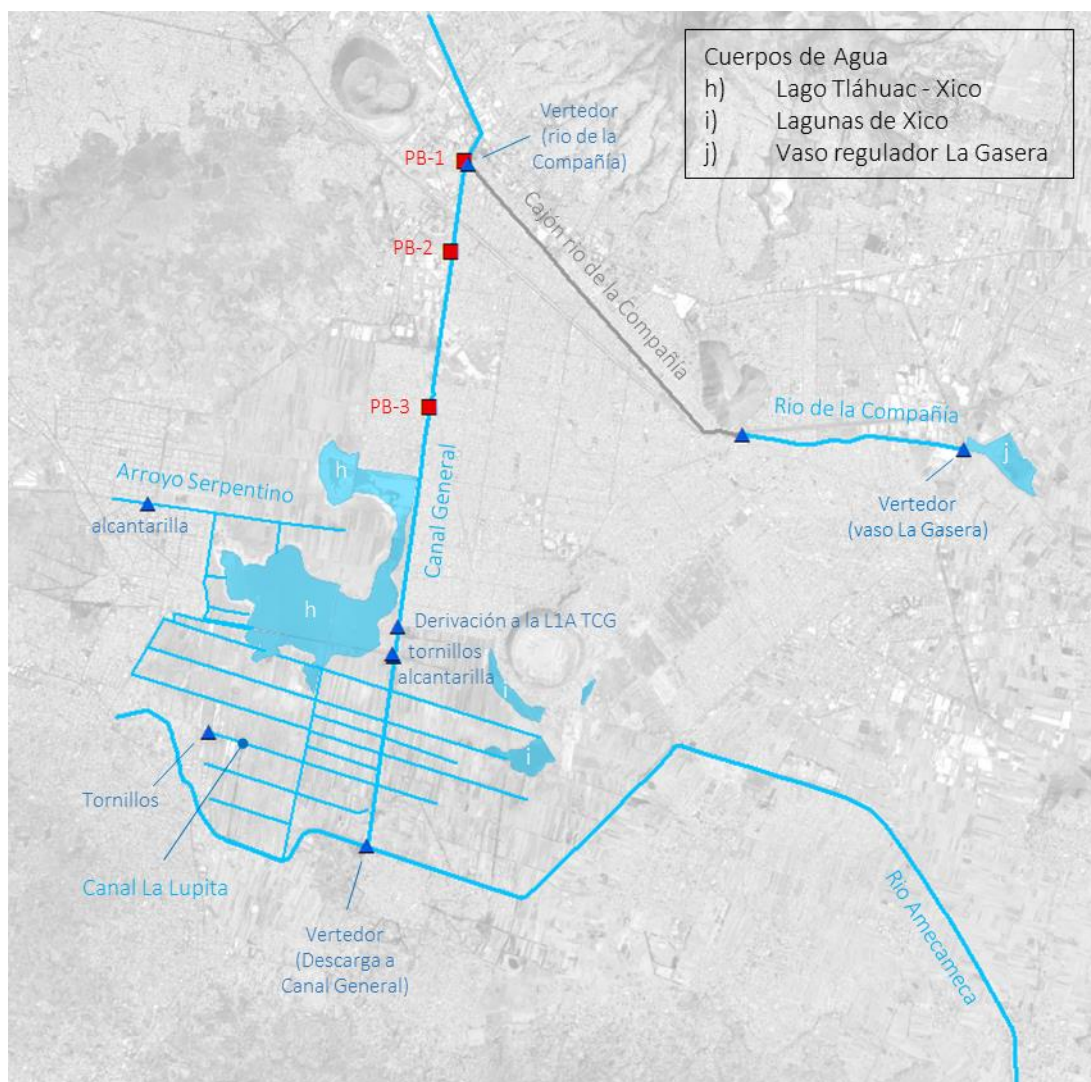


Figura 20 Subsistema hidrográfico de la cuenca del Río de la Compañía.

El subsistema hidrográfico del río de la Compañía inicia al sureste, con los escurrimientos del río Amecameca, que descargan en el Canal General. Éste escurre de sur a norte y en su trayecto recolecta las excedencias del lago Tláhuac-Xico y los escurrimientos de la sierra de Santa Catarina. Finalmente, se une con los escurrimientos de la cuenca del río de la compañía.

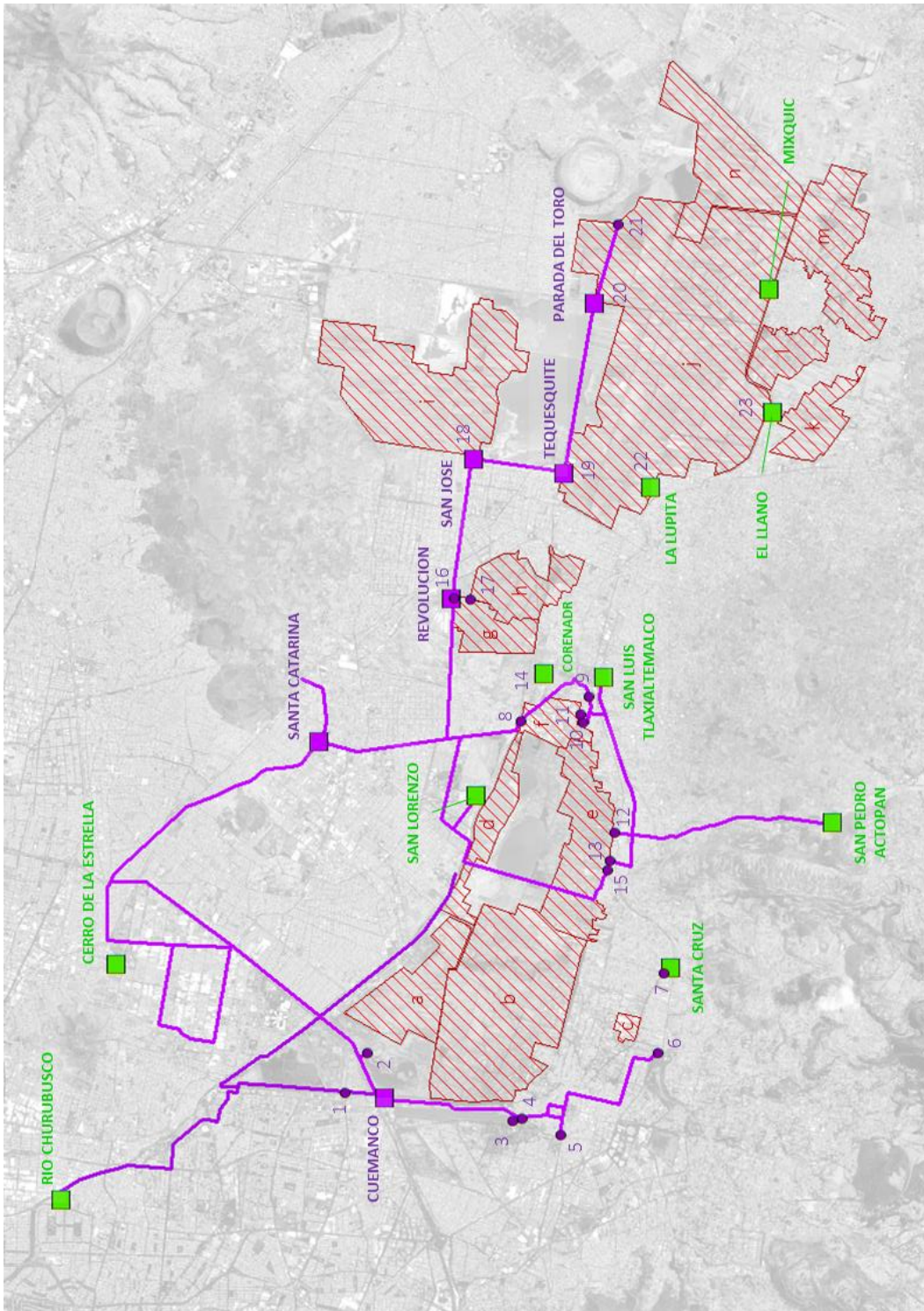


Figura 21 Sistema hidroagrícola de la región.



2.5 Sistema Hidroagrícola

En la región se reconocen alrededor de 4600 has de zonas agrícolas (figura 21) que se abastecen de agua residual tratada principalmente de la Planta de Tratamiento Cerro de la Estrella, en la alcaldía de Iztapalapa. La dotación de esta agua tratada está a cargo del **Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX)**, mientras que la distribución o repartición, entre los diferentes usuarios, la realiza la **Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR)**.

Debido a la salinidad presente en el suelo de la región, la recomendación de riego es de 1 l/s/ha. Si se consideran 12 horas de riego o abastecimiento de agua tratada y una perdida por fugas del 40%, la demanda de agua para riego es de aproximadamente 0.70 l/s/ha. En el cuadro 3 se estima el requerimiento de agua tratada en la región.

Cuadro 3. Demanda de agua tratada en la región.

Zona	Descripción	Área (has)	Demanda (l/s)
a	Zona agrícola de Xochimilco	209.2	146.4
b	Zona chinampera de Xochimilco	685.3	479.7
c	Viveros de Xochimilco	17.2	12.0
d	Unidad de riego de San Gregorio	118.2	82.7
e	Zona chinampera de San Gregorio	278.3	194.8
f	Viveros de San Gregorio	77.3	54.1
g	Zona ejidal de Tláhuac	108.6	76.0
h	Zona chinampera de Tláhuac	164.9	115.4
i	Zona agrícola de Santa Catarina	584.1	408.9
j	Unidad de riego de Tláhuac	1563.4	1094.4
k	Unidad de riego de Tecomitl	123.6	86.5
l	Lavaderos de Tláhuac	107.0	74.9
m	Zona chinampera de Mixquic	278.9	195.2
n	Zona agrícola de Xico	331.0	231.7



Cuadro 4. Caudal promedio de agua tratada descargada en la región.

Descarga	Fuente	Receptor	Caudal (l/s)
1	PTAR Rio Churubusco	Canal Nacional	75.0
2	PTAR Cerro de la Estrella	Parque Ecológico Xochimilco	65
3	PTAR Cerro de la Estrella	Pista de canotaje	5.0
4	PTAR Cerro de la Estrella	La Draga	20.0
5	PTAR Cerro de la Estrella	Embarcadero Fernando Celada	25.0
6	PTAR Cerro de la Estrella	Embarcadero Canal 27	130.0
7	PTAR Sant Cruz	Canal Xaltocan	0.0
8	PTAR Cerro de la Estrella	Canal de Chalco - Caltongo	80.0
9	PTAR Cerro de la Estrella	Mercado de Flores	10.0
10	PTAR Cerro de la Estrella	Descarga en calle Floricultor	10.0
11	PTAR San Luis	Descarga en calle México 70	5.0
12	PTAR San Luis PTAR San Pedro Actopan	Descarga en calle Atenco	25.0 0.0
13	PTAR San Luis	Descarga en calle La Fabrica	10.0
14	PTAR San Luis	Descarga en PTAR CORENADR	5.0
15	PTAR San Lorenzo	Descarga en calle Moctezuma	0.0
16	PTAR Cerro de la Estrella	Canal Revolución Línea de riego ejido de Tláhuac	25.0 20.0
17	PTAR Cerro de la Estrella	Descarga en La Cruz	25.0
18	PTAR Cerro de la Estrella	Zona agrícola de Santa Catarina	35.0
19	PTAR Cerro de la Estrella	Unidad de Riego de Tláhuac	55.0
20	PTAR Cerro de la Estrella	Unidad de Riego de Tláhuac Lavaderos de Tláhuac Unidad de Riego de Mixquic	10.0 35.0 70.0
21	PTAR Cerro de la Estrella	Lagunas de Xico	30.0
22	PTAR La Lupita	Canal la Lupita	10.0
23	PTAR El Llano	Unidad de Riego de Tláhuac	70.0



En el sistema hidroagrícola se identifican hasta 23 puntos de descarga de agua tratada provenientes de las diferentes plantas de tratamiento de la región. En el cuadro 4 se presenta una relación de estos puntos.

2.6 Sistema de Drenaje

El sistema de drenaje desaloja el conjunto de aguas residuales y pluviales de la región a través de 4 colectores principales. Dos en la cuenca de Xochimilco, el colector División del Norte - Miramontes y el Interceptor Canal de Chalco (o semiprofundo Canal Nacional), y dos en la cuenca del Río de la Compañía, el Túnel Canal General y el Túnel Río de la Compañía (figura 22).

En la cuenca de Xochimilco, el colector Miramontes y el Interceptor Canal de Chalco terminan en la planta de bombeo Miramontes, que finalmente descarga en el cajón de Río Churubusco.

Las aguas residuales y pluviales de la zona de Mixquic y San Juan Ixtayopan, en la cuenca del Río de la Compañía, en su mayoría son interceptados por el colector Amecameca y exportados hacia la cuenca de Xochimilco. Ahí, el colector ahora llamado Canal de Chalco, recolecta las aguas residuales y pluviales de Tláhuac y las descarga en la lumbrera 6 del Interceptor Canal de Chalco.

2.7 Cuencas de Aportación

De manera práctica, se reconocen 14 cuencas de aportación para la red hidrográfica. En la figura 5.7 se muestra la delimitación de estas cuencas y en la figura 5.8 un diagrama de flujo simplificado donde se muestra la interacción entre estas cuencas de aportación y la red de drenaje principal.

2.8 Potencial de Agua Residual

Se refiere al agua residual que generan las localidades de la región y que puede ser tomada del sistema de drenaje antes de desalojar. Según recomendaciones de CONAGUA, el caudal residual de una localidad es aproximadamente el 80% de su dotación.

Actualmente, la dotación en la región ha sido de 200 l/Hab/día. Sin embargo, si se reducen las extracciones de agua subterránea a su capacidad de recarga actual (es decir, sin la sobre explotación del acuífero) esta dotación se reduciría a 80 l/Hab/día para toda



la ZMVM. Bajo esta consideración se estiman dos escenarios de disponibilidad de agua residual para reúso, es decir, uno para cada dotación (cuadro 5).

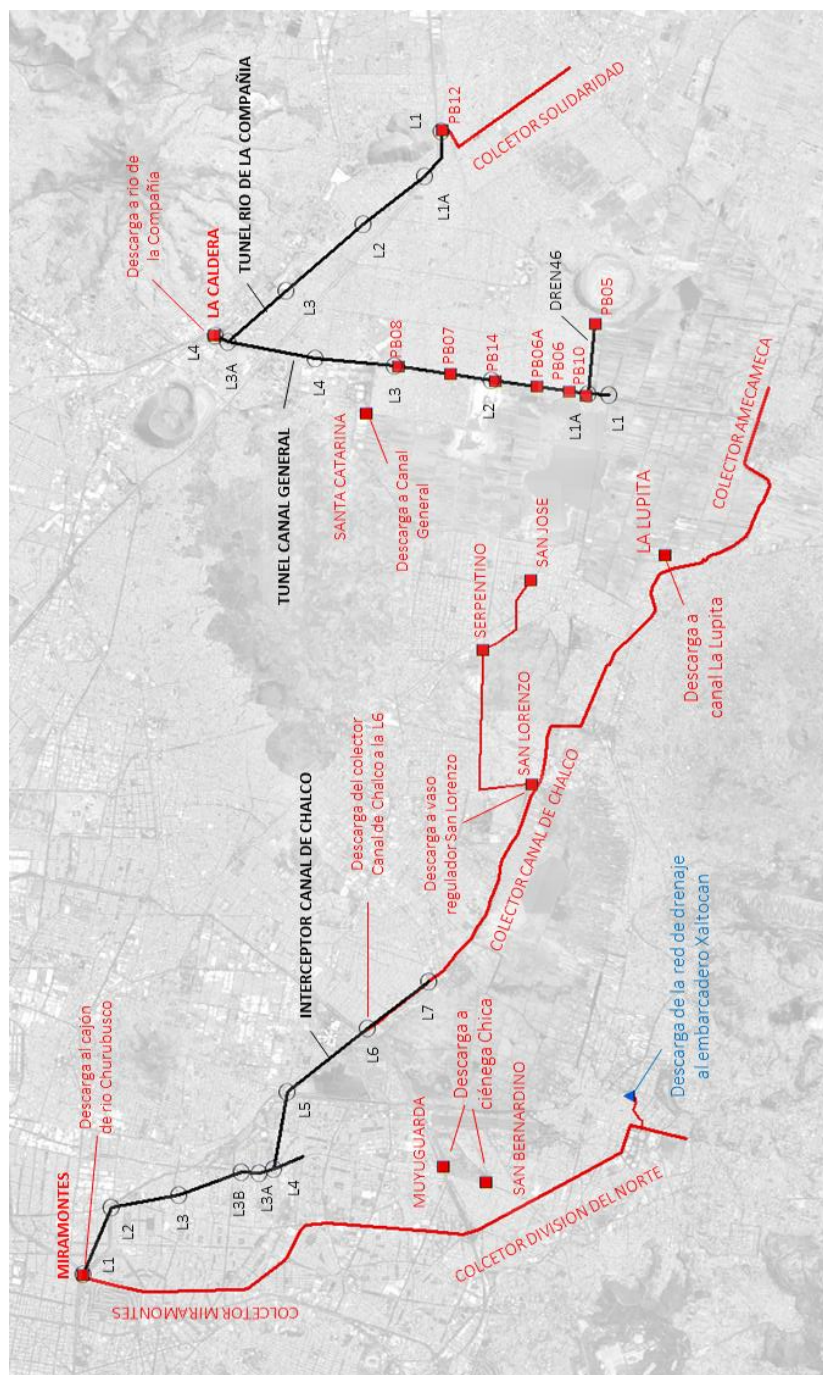


Figura 22 Sistema de drenaje de la región.

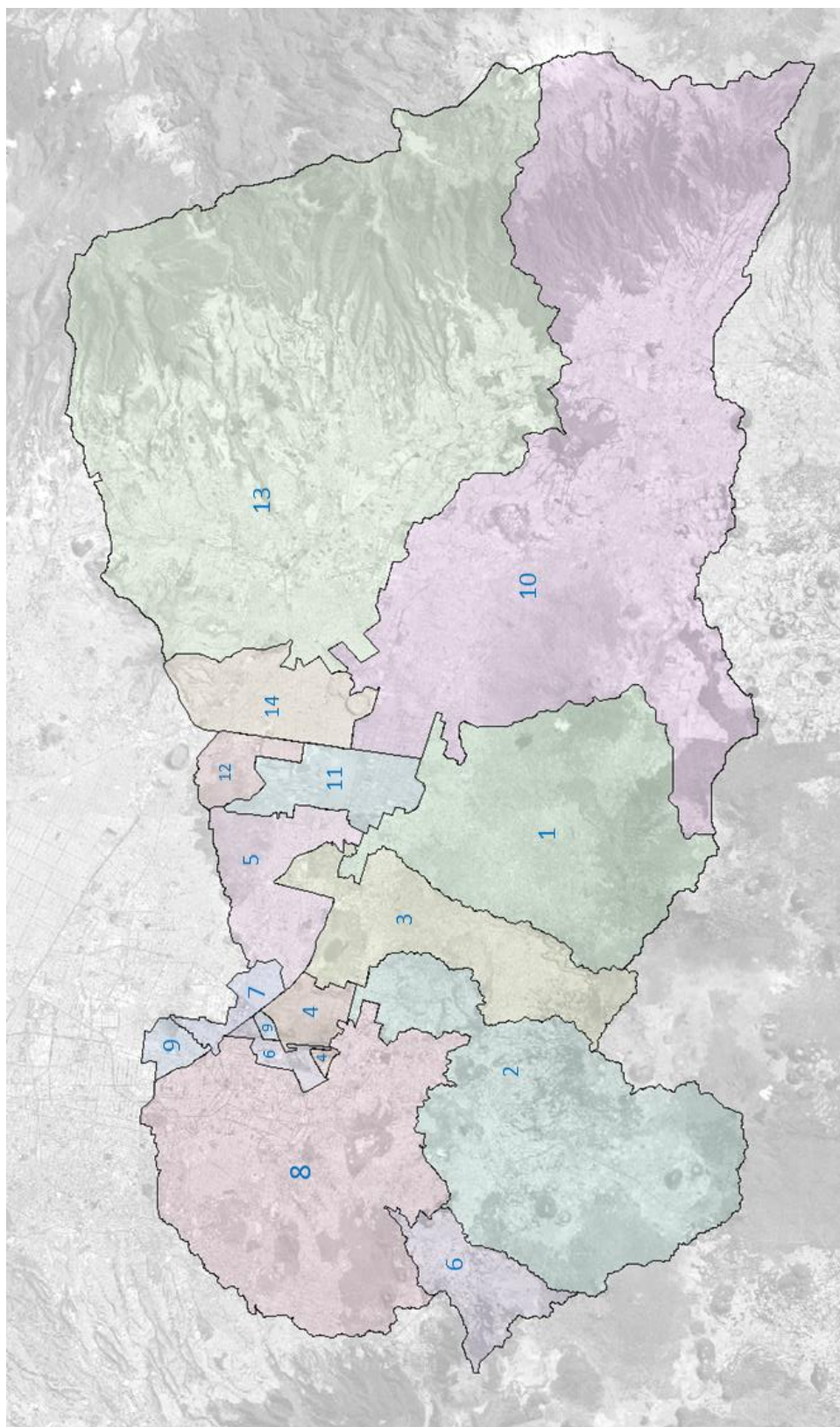
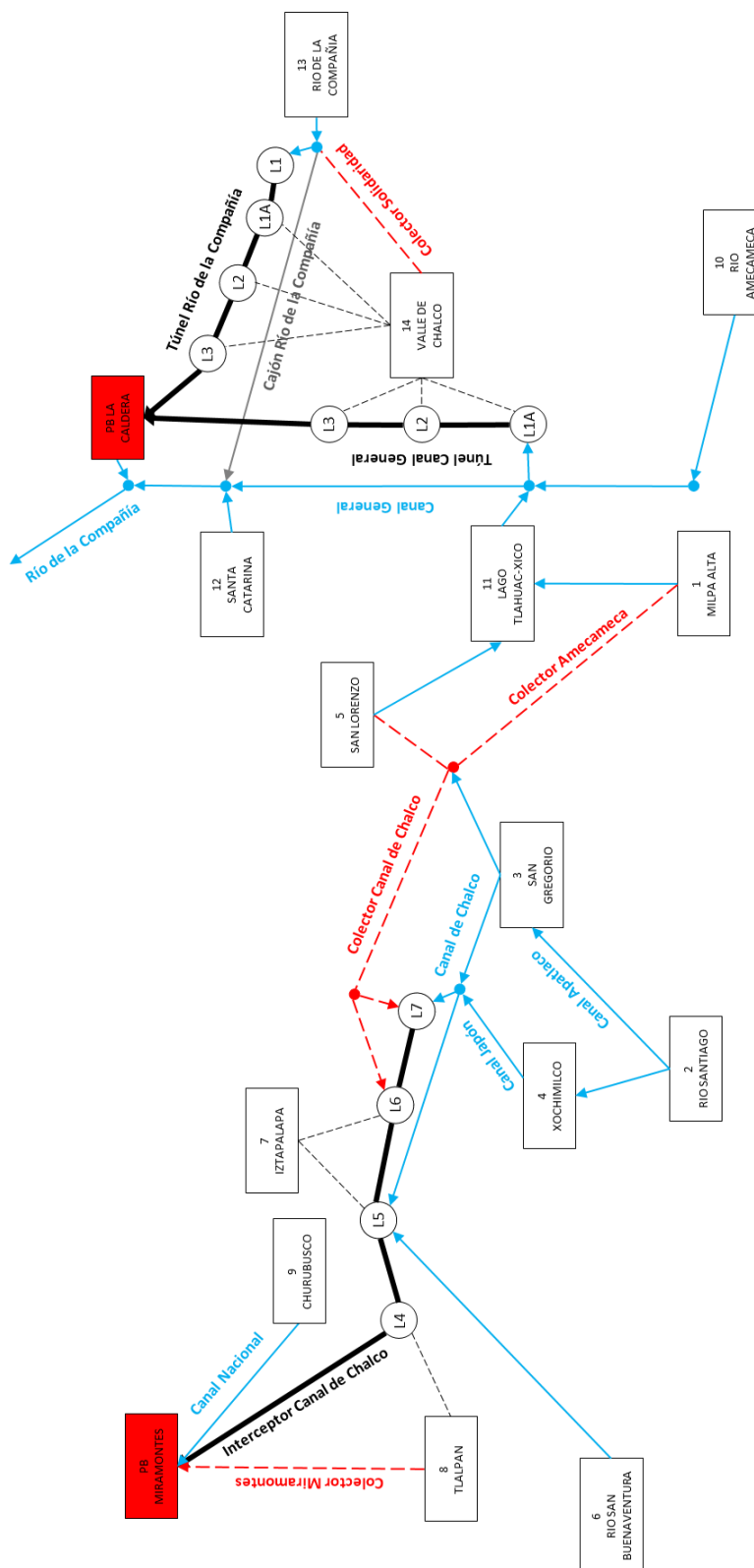


Figura 23 Cuencas de aportación de la red hidrográfica.



Página 53 de 101



Cuadro 5. Potencial de agua residual por localidad.

Localidad		Área (has)	Caudal Residual (l/s)	
			Dotación (l/Hab/día)	
Clave	Nombre		200.0	80.0
9003001	Coyoacán	5388.0	1838.1	463.3
9007001	Iztapalapa	1423.5*	365.5	170.8
9009001	Villa Milpa Alta	421.7	43.8	18.9
9009011	San Antonio Tecómitl	415.7	66.8	28.7
9009015	San Bartolomé Xicomulco	133.8	11.9	5.1
9009017	San Francisco Tecoxpa	428.2	33.5	14.4
9009024	San Pablo Oztotepec	326.1	42.6	18.3
9009029	San Pedro Atocpan	232.8	22.2	9.6
9009033	San Salvador Cuauhtenco	323.5	40.6	17.4
9009036	Santa Ana Tlacotenco	322.0	28.2	12.1
9009152	San Lorenzo Tlacoyucan	138.2	10.3	4.4
9009300	San Nicolás Tetelco	56.2	9.8	4.2
9011001	Tláhuac	2999.8	663.1	281.7
9011011	San Andrés Mixquic	188.9	28.5	12.1
9011021	San Juan Ixtayopan	343.9	57.4	24.4
9011024	San Nicolás Tetelco	109.4	10.1	4.3
9011026	Santa Catarina Yecahuitzotl	213.6	23.9	10.1
9012001	Tlalpan	7422.3	1177.9	483.8
9012019	Parres (El Guarda)	154.6	6.3	2.6
9012026	San Miguel Ajusco	1072.0	73.2	30.1
9012027	San Miguel Topilejo	711.8	80.7	33.1
9013001	Xochimilco	6408.7	867.0	363.4
15025001	Chalco de Días Covarrubias	1812.8	332.6	173.0
15025010	San Juan Tezompa	247.5	25.0	13.0
15025016	San Mateo Huitzilzingo	201.6	18.2	9.4
15025019	San Pablo Atlazalpan	492.4	35.7	18.6
15025020	Santa Catarina Ayotzingo	238.2	21.2	11.0
15039001	Ixtapaluca	3826.3	650.5	326.8
15122001	Valle de Chalco	2765.7	609.7	284.1

* solo una pequeña fracción que descarga en el Interceptor Canal de Chalco.

Sumando el caudal residual de las diferentes localidades y las descargas de agua tratada de la PTAR Cerro de la Estrella, en cada una de las cuencas de aportación, se obtiene el potencial de agua residual por cuenca (cuadro 6).

Cuadro 6. Potencial de agua residual por cuenca.

Cuenca		Caudal Residual (l/s)	
		Dotación (l/Hab/día)	
Clave	Nombre	200.0	80.0
1	Milpa Alta	404.1	175.0
2	Rio Santiago	478.8	275.5
3	San Gregorio	438.9	272.4
4	Xochimilco	157.1	129.7
5	San Lorenzo	311.9	132.5
6	Rio San Buenaventura	170.1	67.8
7	Iztapalapa	496.7	222.8
8	Tlalpan	3415.3	1083.3
9	Churubusco	163.8	76.6
10	Rio Amecameca	296.5	143.5
11	Lago Tláhuac-Xico	0.0	0.0
12	Santa Catarina	121.0	55.7
13	Rio de la Compañía	1409.9	712.8
14	Valle de Chalco	657.3	312.9



Capítulo 3

Propuesta Conceptual de Humedales para el Reúso de Agua Tratada a través de la Laguna San Gregorio



III. Propuesta Conceptual de Humedales para el Reúso de Agua Tratada a través de la Laguna San Gregorio

3.1 Humedal Artificial

Los humedales de forma natural son ecosistemas muy dinámicos, debido a que estos son sitios de transición entre los ambientes terrestre y acuático, por lo tanto tienen una gran importancia ambiental, ya que los además de ser grandes reservorios de biodiversidad de micro y macroorganismos hablando de anfibios, reptiles, algunos mamíferos y un gran número de aves acuáticas, así como una amplia variedad de especies vegetales acuáticas o semiacuáticas, a su vez otorgan servicios ambientales, como el secuestro de carbono en forma de dióxido de carbono (CO₂).

Por otro lado, los humedales artificiales son infraestructuras basadas en la naturaleza que buscan recrear las cadenas de nutrientes, logrando una estabilización de los ecosistemas acuáticos, ofreciendo beneficios ecológicos tecnológicos y sociales. Dentro de los beneficios ambientales se encuentran:

- Regulación térmica del ambiente
- Secuestro de carbono
- Retención de contaminantes
- Transparentan el agua con la estabilización de sedimentos suspendidos
- Brindan refugio para estadios tempranos de animales como peces, anfibios y aves
- Recrean ecosistemas nativos o los complementan para establecer las cadenas de nutrientes deterioradas

No obstante, este tipo de infraestructura trae consigo beneficios sociales como:

- Espacios de recreo y entretenimiento para distintos sectores de la sociedad
- Otorga valor visual como paisaje
- Desarrollo urbano sostenible
- Valor cultural

Otro valor importante de los humedales artificiales ubicados en zonas urbanas colindantes, es que pueden ser utilizados como propuestas biotecnológicas en materia de biorremediación por medio del uso de plantas o microorganismos que gracias a sus características fisiológicas son capaces de amortiguar, mitigar y disminuir los impactos de contaminación acuática, además de que se pueden implementar como alternativa de depuración de agua posterior a un tratamiento primario de aguas residuales.



Debido a lo antes mencionado, los humedales artificiales desempeñan un papel importante en la descentralización de sistemas de tratamiento de aguas residuales, debido a sus características como "sistemas basados en la naturaleza" de fácil aplicación, con un óptimo costo, un uso eficaz y bajas exigencias operativas.

Son generalmente diseñados para la eliminación de contaminantes en aguas residuales como:

- Materia orgánica (medida como DBO5 y DQO, Demanda Biológica o Demanda Química de Oxígeno)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Nutrientes (nitrógeno y fósforo)
- Patógenos, metales pesados y otros contaminantes

El proceso de tratamiento de estos contaminantes se basa en una serie de procesos biológicos y físicos (adsorción, precipitación, filtración, nitrificación, depredación, descomposición, etc.). El proceso más importante es la filtración biológica que se realiza por la formación de la biopelícula que se compone por bacterias aerobias y facultativas.

Sin embargo, para utilizar los humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales se requiere cumplir con ciertas consideraciones y requisitos, ya que al ser un "sistema de baja carga" debe tener suficiente espacio disponible, por lo que el espacio requerido es mayor en comparación a los sistemas convencionales.

En cuanto al clima de la zona, es preferible que no tengan períodos largos de heladas, en caso de que exista este tipo de condiciones, se puede adaptar el diseño los humedales artificiales para bien en este tipo de climas. Se recomienda tener condiciones totales de luz solar, debido a que es necesario que el área superficial se pueda secar de forma regular, en caso de generarse excesivas sombras en el proyecto se corre el riesgo de obstrucción debido al crecimiento excesivo de la biopelícula.

3.2 Elementos ingenieriles

Los humedales de forma natural son ecosistemas muy dinámicos, debido a que estos son sitios de transición entre los ambientes terrestre y acuático, por lo tanto tienen una gran importancia ambiental, ya que los además de ser grandes reservorios de biodiversidad de micro y macroorganismos hablando de anfibios, reptiles, algunos mamíferos y un gran número de aves acuáticas, así como una amplia variedad de especies vegetales acuáticas o semiacuáticas, a su vez otorgan servicios ambientales, como el secuestro de carbono en forma de dióxido de carbono (CO₂).



Por otro lado, los humedales artificiales son infraestructuras basadas en la naturaleza que buscan recrear las cadenas de nutrientes, logrando una estabilización de los ecosistemas acuáticos, ofreciendo beneficios ecológicos tecnológicos y sociales. Dentro de los beneficios ambientales se encuentran:

- Regulación térmica del ambiente
- Secuestro de carbono
- Retención de contaminantes
- Transparentan el agua con la estabilización de sedimentos suspendidos
- Brindan refugio para estadios tempranos de animales como peces, anfibios y aves
- Recrean ecosistemas nativos o los complementan para establecer las cadenas de nutrientes deterioradas

No obstante, este tipo de infraestructura trae consigo beneficios sociales como:

- Espacios de recreo y entretenimiento para distintos sectores de la sociedad
- Otorga valor visual como paisaje
- Desarrollo urbano sostenible
- Valor cultural

Otro valor importante de los humedales artificiales ubicados en zonas urbanas colindantes es que pueden ser utilizados como propuestas biotecnológicas en materia de biorremediación por medio del uso de plantas o microorganismos que gracias a sus características fisiológicas son capaces de amortiguar, mitigar y disminuir los impactos de contaminación acuática, además de que se pueden implementar como alternativa de depuración de agua posterior a un tratamiento primario de aguas residuales.

Debido a lo antes mencionado, los humedales artificiales desempeñan un papel importante en la descentralización de sistemas de tratamiento de aguas residuales, debido a sus características como "sistemas basados en la naturaleza" de fácil aplicación, con un óptimo costo, un uso eficaz y bajas exigencias operativas.

Son generalmente diseñados para la eliminación de contaminantes en aguas residuales como:

- Materia orgánica (medida como DBO5 y DQO, Demanda Biológica o Demanda Química de Oxígeno)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Nutrientes (por ejemplo, nitrógeno y fósforo)
- Patógenos, metales pesados y otros contaminantes



El proceso de tratamiento de estos contaminantes se basa en una serie de procesos biológicos y físicos (adsorción, precipitación, filtración, nitrificación, depredación, descomposición, etc.). El proceso más importante es la filtración biológica que se realiza por la formación de la biopelícula que se compone por bacterias aerobias y facultativas.

Sin embargo, se requieren ciertas consideraciones y requisitos para poder utilizar humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Al ser un "sistema de baja carga" debe tener suficiente espacio disponible ya que, requiere de un mayor espacio que los sistemas convencionales.

En cuanto al clima de la zona, es preferible que no tengan períodos largos de heladas, en caso de que exista este tipo de condiciones, se puede adaptar el diseño los humedales artificiales para bien en este tipo de climas. Se recomienda tener condiciones totales de luz solar, debido a que es necesario que el área superficial se pueda secar de forma regular, en caso de generarse excesivas sombras en el proyecto se corre el riesgo de obstrucción debido al crecimiento excesivo de la biopelícula.

3.3 Especies vegetales

Un punto importante a considerar para la implementación de este tipo de infraestructura verde, es el tipo de vegetación que se colocará, porque la vegetación empleada con fines de fitorremediación debe cumplir con una serie de puntos importantes, dentro de los cuales destacan.

- Altas tasas de crecimiento y producción de biomasa
- Arquitectura radicular compleja y ramificada
- Amplia distribución, así como un amplio potencial de adaptación para diferentes ambientes
- Alta tolerancia para las fluctuaciones en las características fisicoquímicas del agua y en la diversidad de contaminantes
- Alta resistencia contra patógenos
- Ser de fácil cultivo y cosecha

Otra manera con la cual se pretende realizar la remoción de contaminantes es por medio de las macrófitas, ya que pueden realizar la remoción mediante la asimilación de contaminantes en el agua, tales como nutrientes o elementos esenciales (ej. Nitrógeno, Fósforo, Aluminio, Zinc, etc.), también tienen la capacidad de remover y degradar contaminantes complejos (ej. polifenoles, hormonas, residuos de medicamentos, toxinas, etc.) hasta su almacenamiento o su volatilización.

Teniendo en cuenta esto último, hay una amplia variedad de especies vegetales que se han utilizado para la construcción de humedales artificiales dentro de la Ciudad de México, los cuales tienen la finalidad no solo de fomentar las áreas verde-azules de este tipo para uso recreativo, si no para el mejoramiento de aguas residuales, por ejemplo: el humedal de Chapultepec, el bajo puente de Cuemanco, Humedal Cuitláhuac, Humedal Cuauhtepac y Canal Nacional. Dentro de las especies vegetales que destacan en los sitios mencionados son: *Eleocharis macrostachya*, *Schoenoplectus americanus*, *Juncus effusus*, *Wolffia columbiana*, *Potamogeton illioensis*, *Typha latifolia*, *Beerula erecta*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Ceratophyllum demersum*.

3.4 Tipos de humedales

3.4.1 Humedales Flotantes

Los sistemas de humedales flotantes se realizan utilizando estructuras de soporte para macrófitas acuáticas (Fig. 9). Son altamente utilizadas y efectivas para fines de purificación. Este tipo de depuración permite tratar grandes volúmenes de agua en espacios relativamente pequeños y es adecuado para el tratamiento de aguas residuales en canales, ríos y acequias, pero también se puede realizar dentro de tanques instalados adecuadamente. El desarrollo de las raíces de las plantas y para exceder el metro de profundidad, desempeñando un papel importante de filtración física y absorción de efecto nutritivo y purificador combinado con comunidades microbianas simbióticas. Las plantas no sufren las fluctuaciones estacionales normales en el nivel del agua en la medida que flotan sobre él y, por lo tanto, el peligro de un período de sequía más o menos largo que deteriora su vitalidad (Borin et al., 2012 y Cross et al., 2021).



Figura 25. Corte esquemático humedal flotante, componentes del humedal



Figura 26. Ejemplo de Islas flotantes en el Parque Ecológico de Xochimilco, Ciudad de México.

3.4.2 Humedales de tratamiento de flujo horizontal (FTWS)

Los humedales de tratamiento de flujo horizontal (FTWS) consisten en bases cubiertas con sustrato, el cual suele ser grava, plantados con plantas macrófitas de formas de vida enraizadas emergentes, estos humedales promueven el flujo horizontal a través de los medios filtrantes. Los medios están completamente saturados con agua y pueden crear un ambiente anóxico, manteniendo un flujo subterráneo. Las partículas se retienen por colado o filtración, los solubles se absorben parcialmente de forma abiótica o biótica. La transformación adicional y la degradación de las sustancias retenidas se produce debido a procesos químicos y principalmente biológicos en los medios de filtro. La zona radicular proporciona un entorno altamente activo para la unión de biopelículas, oxígeno e intercambio, y sostiene el flujo hidráulico.

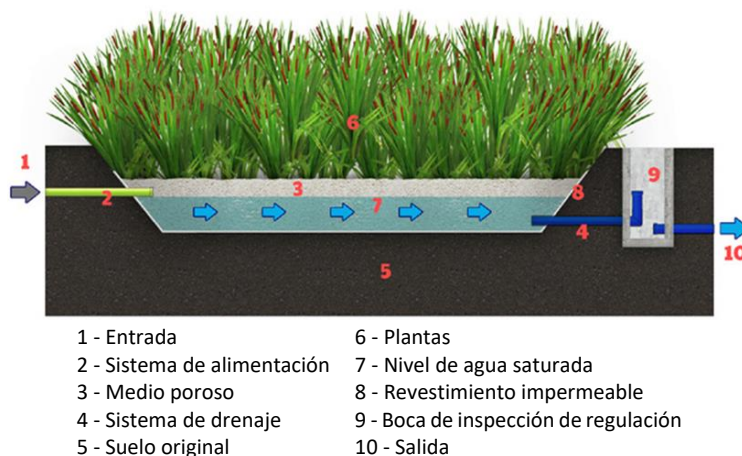


Figura 27. Corte esquemático humedal flujo horizontal, componentes del humedal.

3.4.3 Sistema de Macrófitas Sumergidas

El sistema de macrófitas sumergidas es un tipo de humedales de flujo horizontal que utiliza plantas acuáticas de forma de vida sumergida, para transferir, estabilizar o eliminar contaminantes en las aguas residuales que tienen impacto negativo en los ecosistemas acuáticos debido a la introducción de nitrógeno, fósforo y contaminantes emergentes en el sistema. El Sistema es una fitorremediación (fito = planta y remediar = corregir) que utiliza una variedad de plantas para descomponer, extraer o retener los contaminantes presentes tanto en los suelos como en agua. Esta tecnología ha sido considerada como una alternativa de mitigación de contaminación y una opción de bajo costo en comparación con otros métodos, como biorreactores de membrana y otros (Moshiri, 1993, Nimptsch, et al. 2008, Pflugmacher et al., 2015).

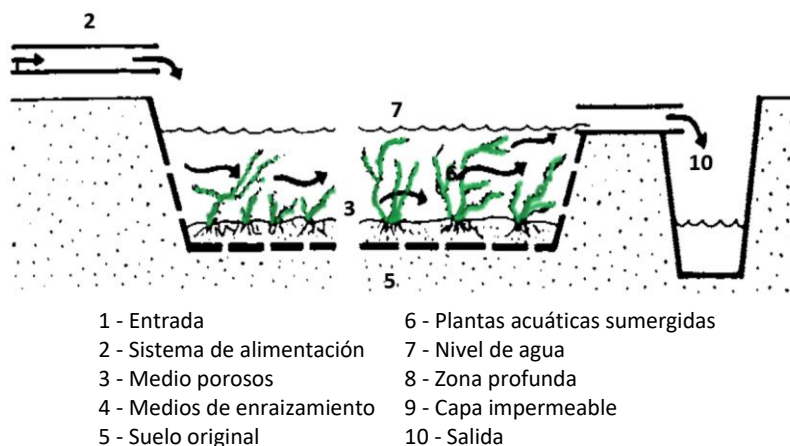


Figura 28. Corte esquemático humedal de macrófitas sumergidas, componentes del humedal.

3.4.4 Humedal tipo francés o de Flujo Vertical

El humedal de tratamiento consta de dos etapas verticales posteriores con diferentes medios filtrantes. El diseño específico y esquema de funcionamiento permite un tratamiento de aguas residuales brutas después de pasar una simple criba. En particular, la primera etapa recibe aguas residuales brutas. Los lodos se acumulan y se mineralizan en la superficie; esto permite una operación sin eliminar este depósito de capa (20 cm máximo) entre 10 y 15 años. La segunda etapa suele ser un flujo vertical clásico, pero puede sustituirse por otras etapas de humedales para respetar la calidad del agua específica del contexto regulaciones (por ejemplo, flujo horizontal (HF) para desnitrificación) (Tondera et al., 2021).

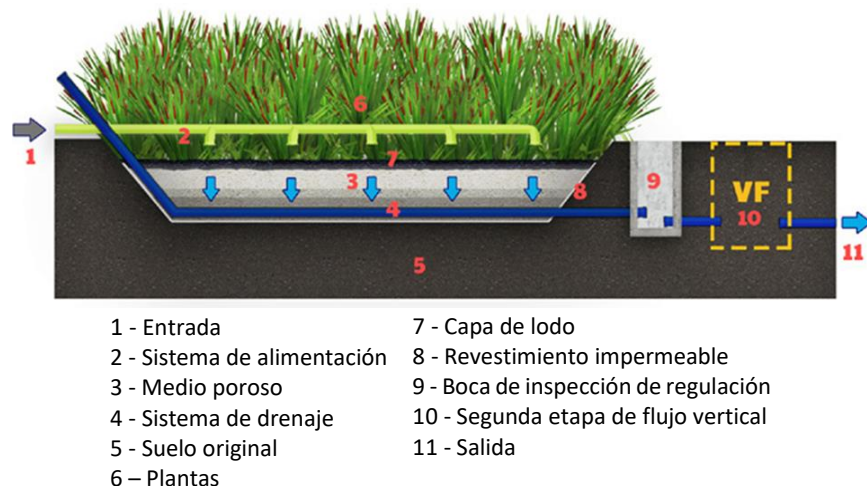


Figura 29. Corte esquemático humedal flujo vertical, componentes del humedal.

3.4.5 Humedal de tratamiento superficial de agua libre

Un humedal de tratamiento superficial de agua libre (FWS-TW) es más parecido a un humedal natural y se caracteriza por tener a lo largo del humedal un espejo de agua de 0.5 a 1 metro de profundidad. Se puede usar una combinación de diferentes tipos de plantas acuáticas y de humedales (flotantes, emergentes, y sumergidos) en áreas de aguas abiertas. La estructura de las distintas plantas sirve como sustrato físico para la biopelícula, mientras que las propias plantas incorporan amoníaco, nitrógeno y fósforo. Una parte importante de la biomasa vegetal se encuentra en la rizosfera. con planta la senescencia, los detritos y la basura se acumulan en el fondo, formando una estera en la superficie, y afectan el ciclo interno de las sustancias.



Figura 30. Corte esquemático humedal flujo superficial, componentes del humedal.

3.5 Propuesta de Humedales para San Gregorio, Xochimilco

En el caso particular de San Gregorio, Xochimilco, se propone la construcción de dos humedales artificiales, cada uno localizado a los costados del cuerpo de agua (Figura 31). Los humedales artificiales serán de flujo superficial manteniendo un espejo de agua a lo largo del recorrido de agua desde el canal de entrada hasta la descarga en el cuerpo receptor.



Figura 31. Mapa general del lago ubicado en San Gregorio, Xochimilco, Ciudad de México.

El primer humedal artificial se denominará Humedal Japón (Figura 32) este será una mezcla de tipos de humedales, conformado por tres tipos de humedales.

1. Primero se colocará una sección de humedal de flujo superficial, esta se encargará de una filtración primaria en la cual se removerán compuestos de fósforo y nitrógeno, a su vez se encargará de estabilizar sedimentos suspendidos al retenerlos en sus raíces y partes sumergidas.
2. Posteriormente existirá una sección media, en la cual se colocarán macrófitas sumergidas para una segunda etapa de estabilización de sedimentos además de oxigenar el medio, con esto el agua tendrá un color más claro y aspecto cristalino, a su vez, se continuará la remoción de contaminantes como nutrientes y metales pesados;
3. Por último, se construirá una tercera sección con una composición similar a la primera.

Este humedal compuesto recibirá el agua tratada directamente proveniente de la PTAR “Cerro de la Estrella”, al inicio del humedal el agua tratada se descarga a un canal, donde se distribuirá hacia los diferentes trenes de tratamiento y por consiguiente a las diferentes secciones del humedal hasta desembocar en el canal recolector para su descarga al cuerpo de agua.



Volumen de retención (V_r)
 $V_r : 37.2 \times 10,000 \times 0.5$
 $V_r : 186,000 \text{ m}^3$

Tiempo de retención (T_r)
 $T_r : 5 \text{ días}$

Volumen de tratamiento por día (V_t)
 $V_t : 186,000/5$
 $V_t : 37,200 \text{ m}^3/\text{día}$

Gasto de tratamiento (Q_t)
 $Q_t : 37,200/86,400$
 $Q_t : 0.430 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_t : 430 \text{ lps}$

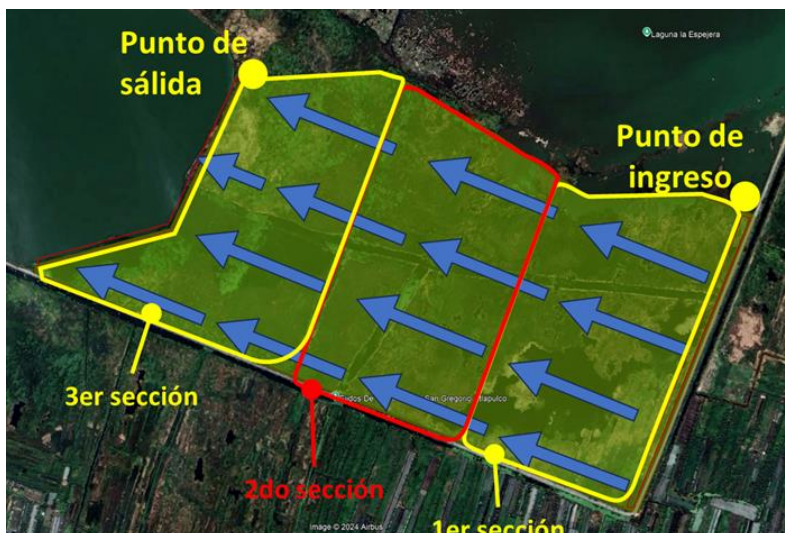
Figura 32. Mapa general del flujo del agua correspondiente al “Humedal Japón” en el lago de San Gregorio, Xochimilco, Ciudad de México.

El humedal artificial estará compuesto por varios trenes de tratamiento, compuestos con flujos horizontales y flujos verticales ascendentes para cumplir con las dinámicas de flujos. Con Humedales sumergidos intermedios (lagunas de oxidación con plantas acuáticas sumergidas) y en otras zonas para lograr una transparencia adecuada del agua.

El Humedal Japón tendrá un área de 46.5 hectáreas, de los cuales 37.20 hectáreas son de tratamiento del agua, para dimensionar el gasto de tratamiento se empleó la metodología de flujo pistón, analizando el volumen y tiempo de retención dentro del humedal.

A partir del área de tratamiento y considerando un tiempo de retención de 5 días, el Humedal Japón tendrá un gasto estimado de 430 litros/segundo.

De igual forma, el segundo humedal artificial llamado Humedal El Bordo (Figura 17), tendrá un área de 41.0 hectáreas, de las cuales 32.80 hectáreas son de tratamiento, este humedal tendrá la misma configuración de tres secciones del Humedal Japón.



Volumen de retención (V_r)
 $V_r : 32.8 \times 10,000 \times 0.5$
 $V_r : 164,000 \text{ m}^3$

Tiempo de retención (T_r)
 $T_r : 5 \text{ días}$

Volumen de tratamiento por día (V_t)
 $V_t : 164,000/5$
 $V_t : 32,800 \text{ m}^3/\text{día}$

Gasto de tratamiento (Q_t)
 $Q_t : 32,800/86,400$
 $Q_t : 0.380 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_t : 380 \text{ lps}$

Figura 33. Mapa general del flujo del agua correspondiente al "Humedal El Bordo" en el lago de San Gregorio, Xochimilco, Ciudad de México.

Empleando la metodología de flujo pistón, El Humedal El bordo tendrá un gasto estimado de 380 litros/segundo.

Además de los Humedales Japón y El Bordo, se propone la colocación de humedales flotantes dentro del cuerpo de agua, los humedales ocuparán una superficie entre el 10% y 20% del cuerpo de agua. También se propone la colocación de plantas de ribera ocupando espacios cercanos a los humedales (Figura 34), los humedales ayudarán a conservar la calidad de agua que se encuentra en el sitio y fungirán como pequeños hábitats para la vida silvestre de la zona.



Figura 34. Ubicación de humedales flotantes en el lago de San Gregorio, Xochimilco, Ciudad de México.

3.5.1 Especies vegetales para los humedales

A continuación, se muestra una lista de posibles especies vegetales para el humedal de Xochimilco.

Sección de humedal de flujo superficial:

- *Phragmites australis*.
- *Typha latifolia*.
- *Sagittaria macrophylla*.

Sección de humedal macrófitas sumergidas:

- *Elodea* sp.
- *Ceratophyllum demersum*.
- *Najas minor*.

Sección de Islas flotantes:

- *Nymphaea* sp.
- *Pistia stratiotes*.
- *Eichhornia crassipes*.
- *Lemna minor*.



Figura 35. *Phragmites australis*.



Figura 36. *Typha latifolia*.

Nombre científico: *Sagittaria macrophylla*.

Nombre común: Papa de Agua.

Tipo de flujo: Superficial y/o
Subsuperficial



Figura 37. *Sagittaria macrophylla*.

Nombre científico: *Elodea sp.*

Nombre común: Peste de agua,
Broza de Canadá, Yana o
Maleza de estanque .

Tipo de flujo: Macrófita sumergida



Figura 38. *Elodea sp.*

Nombre científico: *Ceratophyllum demersum*.

Nombre común: Cola de Zorro,
mil hojas de agua, bejuquillo o
pinito de agua.

Tipo de flujo: Macrófita sumergida

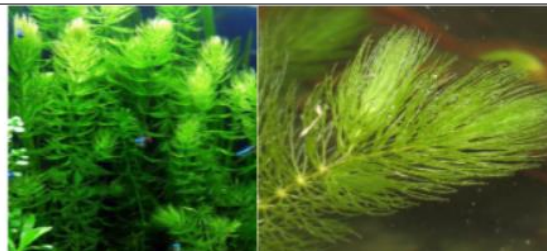


Figura 39. *Ceratophyllum demersum*.

Nombre científico: *Najas minor*.

Nombre común: náyade quebradiza o
ninfa de agua quebradiza

Tipo de flujo: Macrófita sumergida



Figura 40. *Najas minor*.

Nombre científico: *Nymphaea sp.*

Nombre común: nenúfar, lirio de agua
o ninfa de agua

Tipo de flujo: Superficial



Figura 41. *Nymphaea sp.*

Nombre científico: *Pistia stratiotes*.

Nombre común: repollo del agua o lechuga de agua

Tipo de flujo: Superficial



Figura 42. *Pistia stratiotes*.

Nombre científico: *Eichhornia crassipes*.

Nombre común: Jacinto de agua, lirio acuático, flor de bora, buchón de agua, camalote, aguapey, lechuguín, tarope, tarulla, taruya o reyna

Tipo de flujo: Superficial



Figura 43. *Eichhornia crassipes*.

Nombre científico: *Lemna minor*.

Nombre común: Lenteja de agua.

Tipo de flujo: Superficial

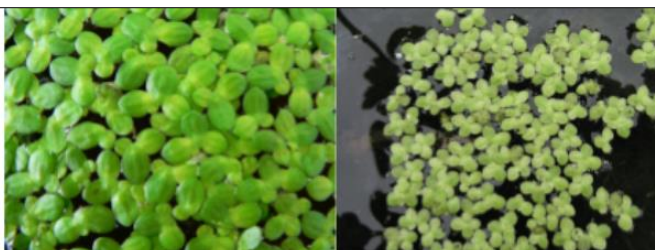


Figura 44. *Lemna minor*.



Capítulo 4

Propuesta Conceptual de Tratamiento de

Aguas Residuales

Para el Saneamiento de los Canales de Xochimilco

IV. Propuesta Conceptual de Tratamiento de Aguas Residuales para el Saneamiento de los Canales de Xochimilco

4.1 Descripción General

La propuesta consiste en implementar un sistema de tratamiento de agua residual que permita restaurar y conservar los canales, mejorar su calidad ambiental y garantizar su sostenibilidad a largo plazo. Un sistema de tratamiento de aguas residuales con una capacidad de entre **500 y 1000 litros por segundo**, que permita:

1. Remover contaminantes orgánicos, nutrientes y patógenos.
2. Proteger el ecosistema y la biodiversidad.
3. Fomentar la revitalización cultural, turística y agrícola.

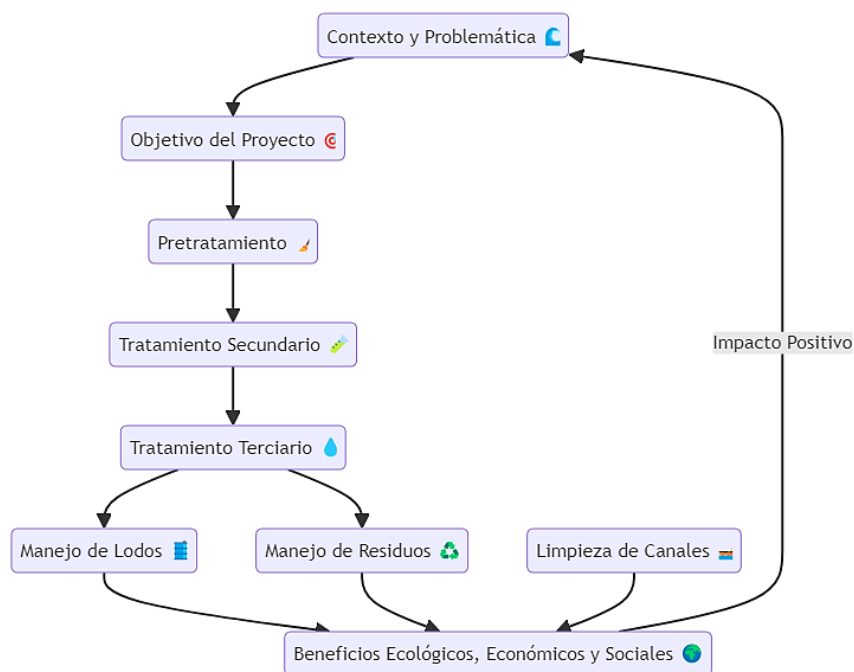


Figura 45. Diagrama 1: Proyecto general del sistema de tratamiento

El proyecto busca garantizar la sostenibilidad de los canales de Xochimilco como un sistema funcional, atractivo y resiliente, protegiendo su valor cultural y natural para las generaciones futuras.



4.2 Propuesta Tecnológica

Esta propuesta es una solución integral que combina tecnologías de tratamiento avanzadas con estrategias de conservación ambiental, alineada con los objetivos de desarrollo sostenible y la protección del patrimonio cultural de la humanidad.

4.2.1 Pretratamiento

- **Tamizado fino:** Para remover basura flotante y sólidos grandes, evitando obstrucciones en procesos posteriores.

4.2.2 Tratamiento Primario

- **Separadores de grasas y aceites:** Reducen acumulaciones de grasas y protegen los sistemas biológicos.

4.2.3 Tratamiento Secundario

- **Reactores Biológicos de Membrana (MBR):**
 - Tecnología avanzada que combina procesos biológicos y filtración por membranas.
 - Alta eficiencia en la remoción de materia orgánica y nutrientes (nitrógeno y fósforo).
 - Diseño compacto y adaptable a los requerimientos de espacio en Xochimilco.

4.2.4 Tratamiento Terciario

- **Filtración con carbón activado**
 - Remueve contaminantes orgánicos persistentes, incluidos agroquímicos.
- **Desinfección con lámparas UV**
 - Asegura agua libre de patógenos para cumplir con las Normas NOM-001-SEMARNAT y NOM-003-SEMARNAT según el uso del agua tratada.

4.2.5 Restauración de Canales

- **Extracción y manejo de sedimentos**
 - Recuperación de la capacidad hidráulica de los canales.



- Disposición y posible aprovechamiento de los sedimentos para la agricultura en chinampas.
- **Manejo de Residuos Sólidos**
 - **Clasificación y Reciclaje**
 - Instalación de sistemas de separación para residuos recolectados durante el tamizado.
 - Reciclaje de plásticos, metales y otros materiales aprovechables.
 - **Disposición Adecuada de Residuos No Reciclables:**
 - Transporte a rellenos sanitarios certificados para la disposición final.
 - **Aprovechamiento de Residuos Orgánicos:**
 - Uso de residuos orgánicos para producir compost, que puede reintegrarse a las chinampas.

4.3 Beneficios del Proyecto

1. Ecológicos:

- a. Restauración del equilibrio ecológico y mejora de la calidad del agua.
- b. Conservación de especies nativas.

2. Culturales y Turísticos:

- a. Incremento del atractivo turístico al contar con canales limpios y navegables.
- b. Revalorización del patrimonio cultural.

3. Agrícolas:

- a. Mejora de la calidad del agua para riego, fortaleciendo la producción agrícola en chinampas.

4. Cumplimiento Normativo:

- a. Adecuación a las regulaciones ambientales para el uso y descarga de agua tratada.

4.3.1 Beneficios Adicionales del Manejo de Lodos y Residuos

1. Ecológicos:

- a. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero mediante digestión anaerobia.
- b. Aprovechamiento de materiales para la agricultura y restauración ecológica.



2. Económicos:

- Reducción de costos operativos mediante la generación de energía (biogás).
- Creación de insumos agrícolas como composta y biosólidos.

3. Sociales:

- Generación de empleos locales para el manejo de residuos y lodos.
- Promoción de prácticas agrícolas sostenibles en las chinampas.

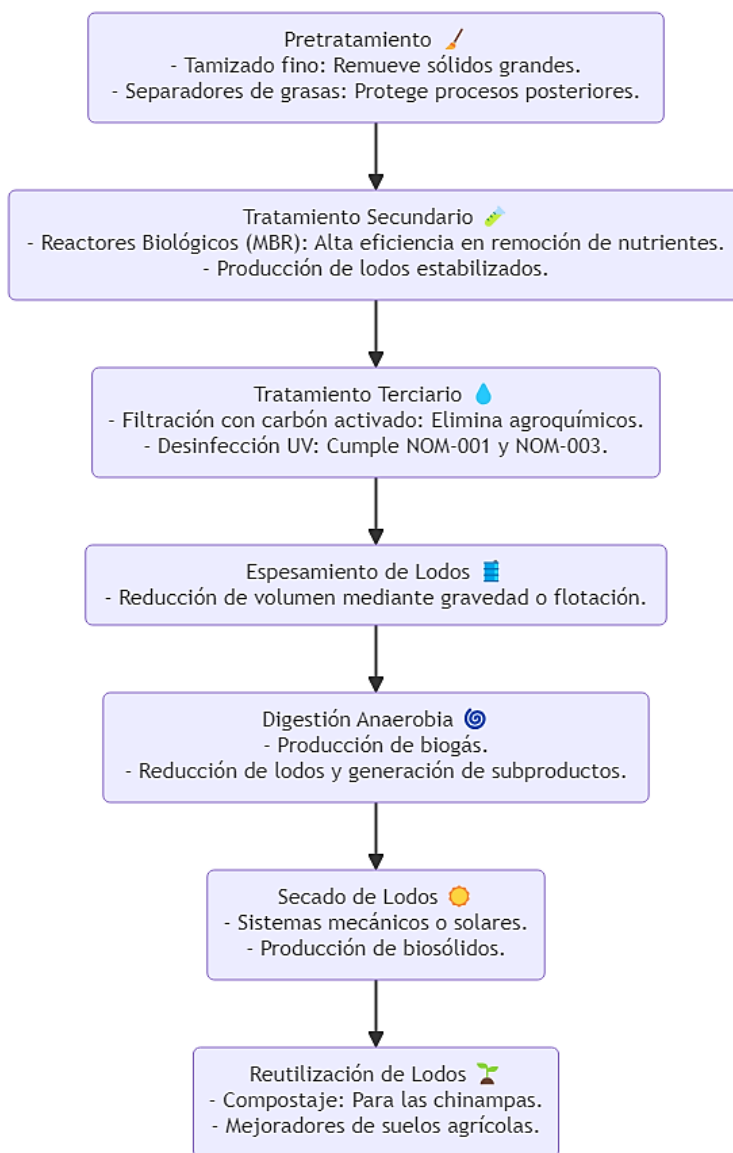


Figura 46. Diagrama 2: Proceso general del sistema de tratamiento

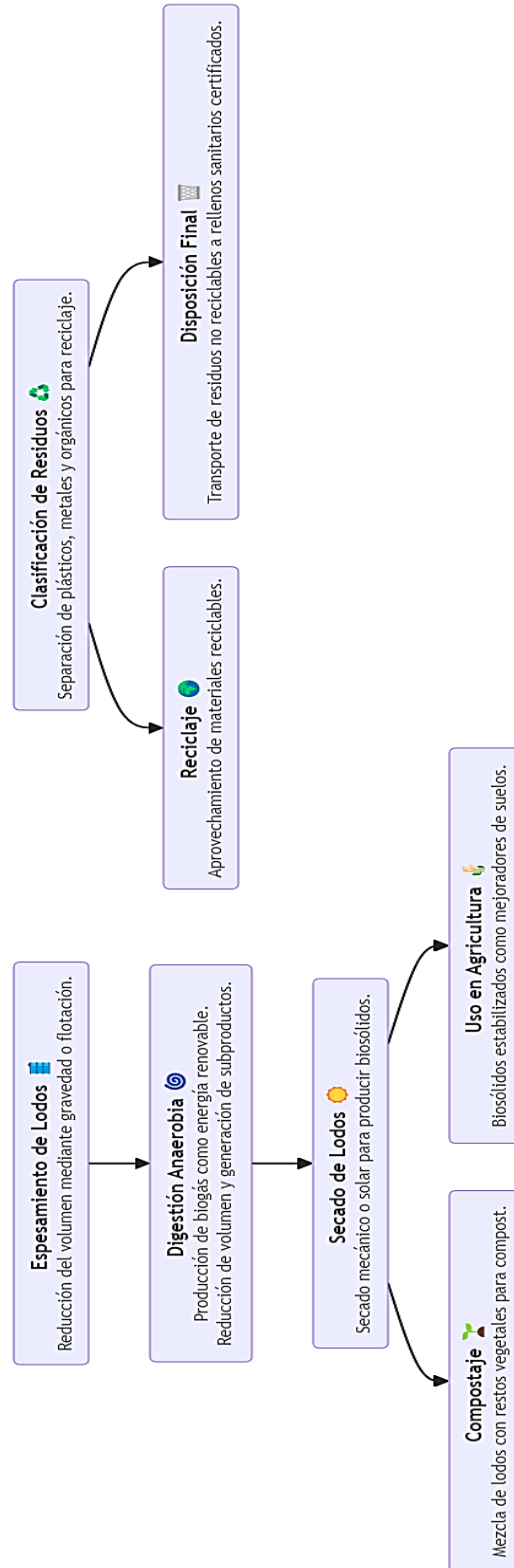


Figura 47. Diagrama 3: Tratamiento de sólidos y residuos.



Capítulo 5

Evaluación Geológica-Geotécnica



V. Evaluación Geológica-Geotécnica

5.1 Marco Físico

5.1.1 Fisiografía

El relieve es la forma física en que se presenta la superficie de la tierra, al respecto México es extraordinariamente variado, desde cadenas montañosas hasta grandes planicies pasando por valles, cañones, altiplanicies y depresiones entre otras formas, en este sentido, y con base en estas características el país se ha dividido en Provincias Fisiográficas las cuales se definen como: regiones donde el relieve es el resultado de la acción de un mismo conjunto de agentes modeladores del terreno, así como de un mismo origen geológico.

Bajo las consideraciones anteriores la zona de estudio, el municipio y una gran parte del Estado de México, forma parte del denominado Eje Neovolcánico (figura 69); un espacio donde la corteza terrestre ha sufrido grandes esfuerzos tectónicos desde principios del periodo Terciario; los materiales que constituyen el subsuelo de esta provincia corresponden a intercalaciones de productos volcánicos tales como lavas, tobas y cenizas que incluyen materiales granulares provenientes de las partes topográficamente altas que circularon hacia los valles, caracterizados por el predominio de derrames basálticos Cuaternarios, derivados de numerosos volcanes existentes, cubriendo a dichos materiales (en espesores variables), se encuentran arcillas y arenas finas que son el producto de la alteración de rocas antiguas.

Derivado de los procesos geológicos que dieron origen a esta provincia fisiográfica se puede determinar que los materiales que constituyen el subsuelo de esta zona son esencialmente intercalaciones de productos volcánicos tales como lavas, tobas y cenizas que incluyen materiales granulares transportados por ríos y arroyos provenientes de las partes topográficamente altas que circularon hacia los valles, cubriendo a dichos materiales, en espesores variables, se encuentran arcillas y arenas finas que son el producto del sedimento de los antiguos lagos.

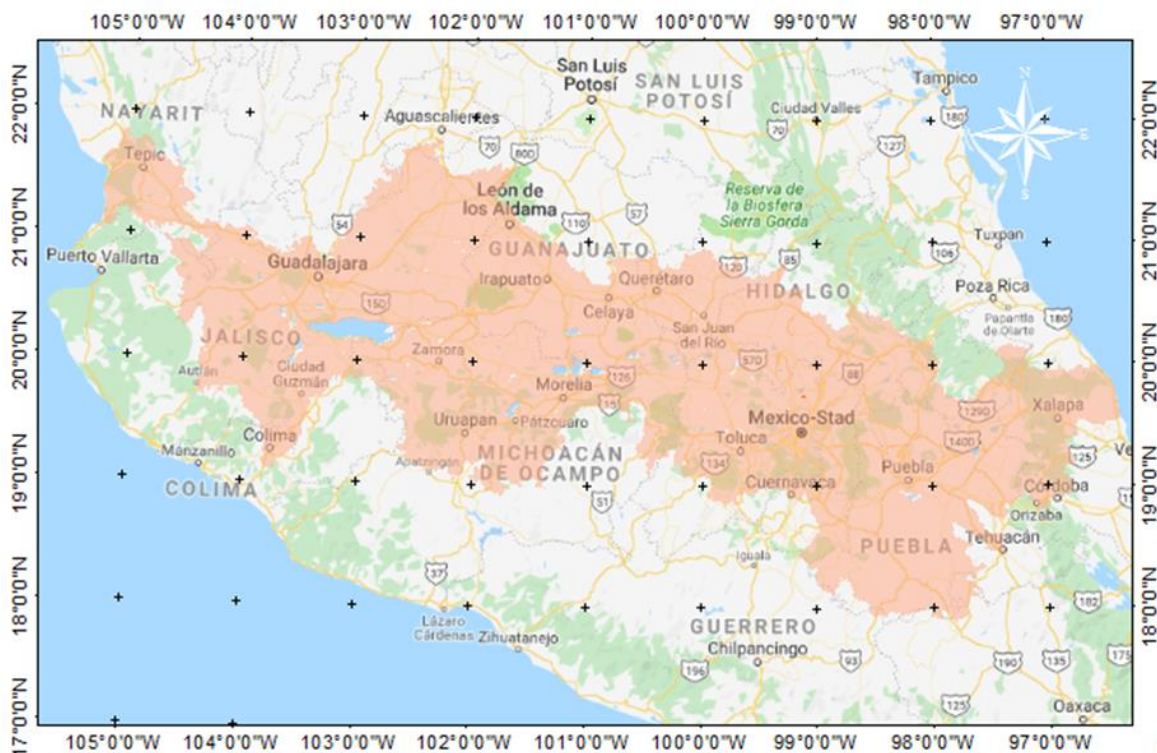


Figura 48 Localización y distribución de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico.

Elaboración propia, base Google Earth, 2019.

En términos generales se puede establecer que la actividad volcánica dentro de esta provincia ha dado lugar a un gran número de cuencas endorreicas y el consecuente desarrollo de lagos, lo que le da al paisaje geomorfológico una apariencia muy característica.

El régimen endorreico de la cuenca del Valle de México y la consecuente sedimentación lacustre del Pleistoceno-Holoceno se originó como resultado del intenso volcanismo que edificó la Sierra Chichinautzin, erupción que ocurrió hace aproximadamente 600,000 años, bloqueando lo que antes fue un drenaje hacia el sur y cerrando definitivamente la cuenca, dejando el área del Valle de México sin drenaje al exterior, generando la acumulación de agua en la parte central del valle, condiciones que favorecieron y dieron origen a la formación de los lagos de Zumpango, Texcoco, Xochimilco y Tláhuac, delimitados por las montañas que circundan la Cuenca de México, mismas que son de origen volcánico destacándose la Sierra Nevada que se encuentra hacia el este, mientras que la Sierra de las Cruces se localiza hacia el oeste y la Sierra Chichinautzin, en el sur.



Así mismo se caracteriza, por el desarrollo y la presencia de importantes lagos y laguna, cuya morfología, orientación y distribución superficial sugieren estar situados en fosas tectónicas, motivo por el cual algunos autores le asigna este último nombre a esta provincia fisiográfica.

La zona de estudio se ubica específicamente en la denominada subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac, la subprovincia se extiende de poniente a oriente, desde unos 35 kilómetros al occidente de la ciudad de Toluca, consta de sierras volcánicas o grandes aparatos volcánicos individuales que alternan con amplias llanuras formadas, en su mayoría, por vasos lacustres, conformando sistemas de topoformas características de planicies aluviales.

5.1.2 Geomorfología

La caracterización geomorfológica de una zona consiste en la descripción cualitativa de distintos parámetros morfológicos tales como; patrones de drenaje, grado de las pendientes, altitudes, perfiles, etc., con lo cual es posible determinar y establecer, ciertas características geológicas del terreno. Para mostrar estas características del terreno se utilizó el modelo digital de elevación (MDE), perteneciente a la carta E14A39, escala 1:50,000, editada por INEGI en el año 2015, el cual se presenta en la figura 50.

Los procesos geomorfológicos ocurridos dentro de la cuenca del Valle de México han modificado considerablemente el relieve superficial original del mismo; se puede observar que la morfología de esta cuenca es variada; donde se presentan diversos tipos de estructuras volcánicas bien conservadas, como son: conos cineríticos, volcanes compuestos y volcanes escudo, además de extensos derrames basálticos, sobre los que se han originado algunos lagos, debido al cierre de la cuenca.

La presencia de las sierras perimetrales es uno de los aspectos físicos que caracterizan y limitan a la cuenca del Valle de México; sin embargo, en su interior el relieve es básicamente suave, dominando las llanuras lacustres con altitudes promedio de 2,232 msnm, que solo se ve interrumpida por la presencia de algunas elevaciones topográficas, de relativa altura, entre las que destacan las Sierras de Santa Catarina y la sierra del Chichinautzin.

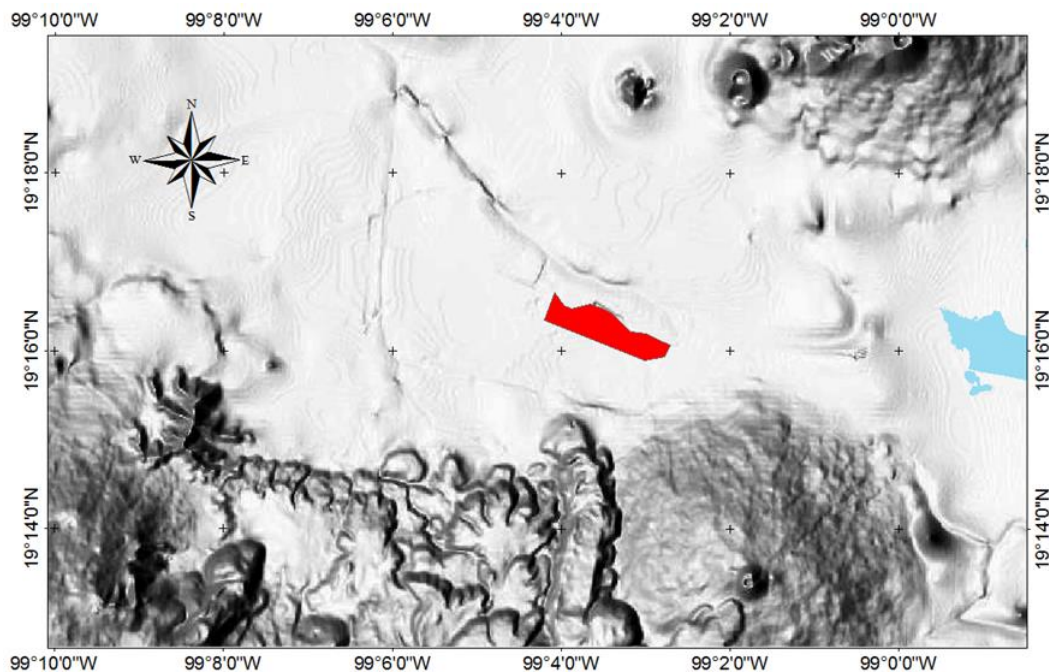


Figura 49 Localización morfológica regional de la zona de estudio

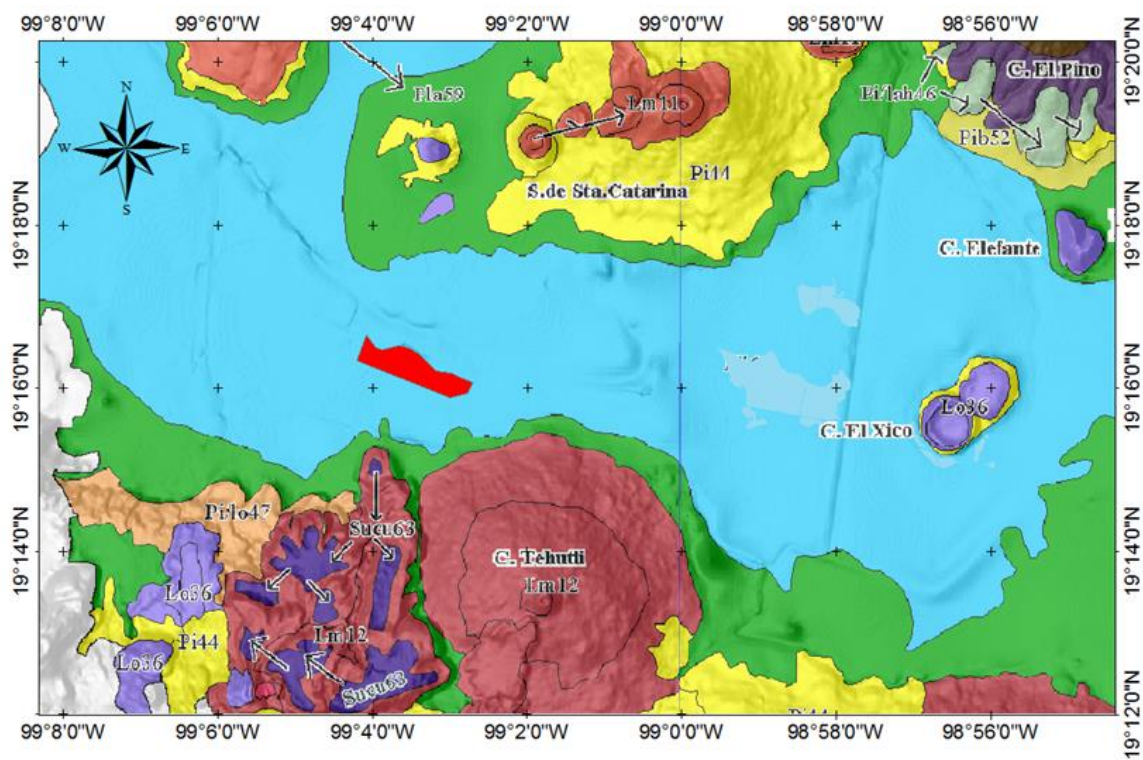


Figura 50 Distribución de Unidades Morfológicas (UM) en la zona de estudio

Tomado de Tapia-Varela y López-Blanco, 1998.



Las Unidades Morfológicas definidas se presentan en la figura 51; muestra que el 100% del área de estudio corresponde a las planicies aluviales con origen exógeno acumulativo del Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno), están distribuidas ampliamente y se componen de material acumulativo aluvial y por otros depósitos de ladera, originados por procesos gravitacionales y fluviales. Asimismo, algunas de ellas se caracterizan por estar formadas por depósitos de lahar re TRABAJADOS, y por secuencias piroclásticas de caída y de flujo, así como de tobas eólicas y brechas de pómez.

Planicies proluviales lacustres

Se caracterizan por presentar una pendiente que no supera los cinco grados de inclinación; están constituidas por materiales proluviales (transportado por ríos que aparecen en estación lluviosa), que son acarreados principalmente desde el piedemonte para ser depositados en las riberas lacustres, en cuerpos de agua poco profundos o en llanuras de inundación temporal. Las gravillas y las arenas (muy gruesas, gruesas medias, finas y muy finas) son las texturas que predominan en los amplios abanicos que se desarrollan en esta superficie de transición, entre el piedemonte y la planicie lacustre.

La expresión morfológica de las planicies proluviales-lacustres en la cuenca de México es muy sutil e incluye superficies sub-horizontales, inclinadas, onduladas, cóncavas y escalonadas. En la actualidad, estas características han sido modificadas, toda vez que la mayor parte de esta superficie esta urbanizada.

Planicies lacustres

Ocupa el nivel altitudinal más bajo de la cuenca, se trata de una superficie casi horizontal, cuya pendiente es inferior a los dos grados de inclinación y presenta una altitud promedio de 2,232 msnm. Su origen se explica a partir de un continuo relleno de todo este territorio, motivado por la aparición de la sierra volcánica Chichinautzin, que fungió como una represa natural. Dicho vaso se azolvó intercalando distintos tipos de materiales, entre los que destacan los proluviales (limos y arenas), los lacustres (arcillas y limos), así como arenas y cenizas volcánicas, que al intemperizar generan arcillas altamente compresibles.



5.1.3 Clima regional

Los tipos climáticos con mayor cobertura en el área son; primeramente el Templado Semiseco localizado en las partes bajas con una temperatura media anual de 14° C a 18° C; el Templado Subhúmedo localizado en las planicies aluviales, en las porciones inferiores extremas de los piedemontes con una temperatura media anual de 12° C a 16° C; el muy frío localizado en la cumbre del volcán Iztaccíhuatl; donde la temperatura media anual es inferior a los -2° C, y en el mes más cálido inferior a 0° C.

Específicamente y de forma local de acuerdo con la clasificación de climas de Köppen y modificado por Enriqueta García, el clima de la zona (figura 51), presenta varios tipos entre ellos:

- C(w₀) que corresponde a un clima Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes mas frio entre -3°C y 18°C y temperatura del mes mas caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes mas seco menor de 40 mm; lluvias de verano con indice P/T menor de 43.2 y porcentaje de precipitación invernal del 5% al 10.2% del total anual.
- C(w₁) (w)b(i') que identifica a un clima templado subhúmedo con verano fresco, intermedio entre el Cw₀ y Cw₂, régimen de lluvias en verano, escaso porcentaje de lluvia invernal y poca oscilación.
- BS1Kw(w)(e) g el cual es semiseco estepario, el más húmedo de los semisecos, templado con verano cálido con régimen de lluvias en verano y escaso porcentaje de lluvia invernal, extremoso y la temperatura del mes más cálido se presenta antes del solsticio de verano.

Finalmente, tomando como referencia la Carta Hidrológica de la República Mexicana (figura 52) el área en estudio es considerada como Zona Húmeda (con precipitaciones pluviales producidas por lluvias orográficas y/o convectivas), por lo que es baja la presencia de lluvias ciclónicas en el lugar.

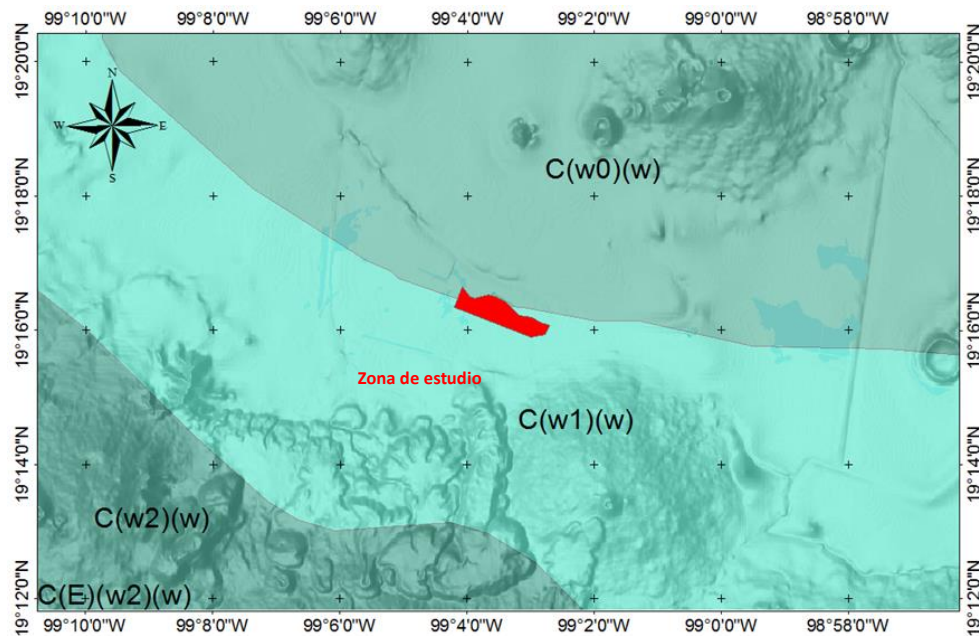


Figura 51 Localización y extensión de climas en la zona de estudio.
Elaboración propia, base MDE INEGI

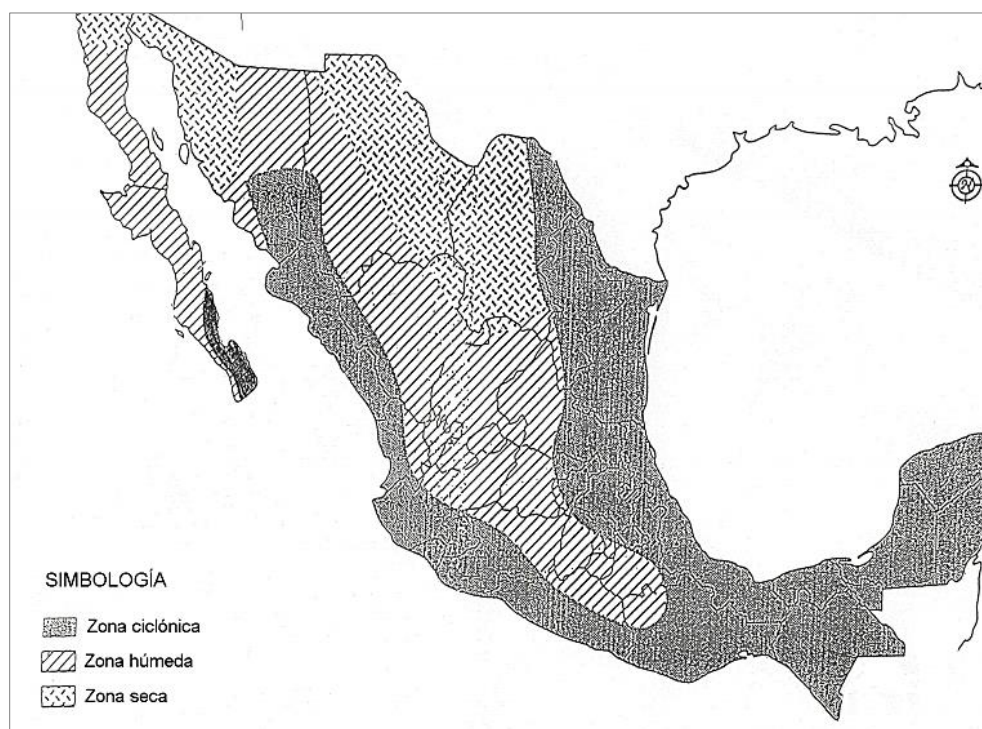


Figura 52 Carta Hidrológica de la República Mexicana.



5.2 Marco Geológico

5.2.1 Geología regional

Básicamente la geología del subsuelo de la subcuenca Xochimilco, está constituida por rocas que van desde el Cretácico hasta el Reciente, su formación se debe a procesos volcánicos y tectónicos que se han desarrollado desde el Eoceno. Durante este período se inició un conjunto de procesos eminentemente volcánicos, evidenciados por la presencia de importantes espesores de lava, toba y brecha. Mientras que durante el Mioceno temprano predominaron las erupciones volcánicas de andesita y dacita, con un espesor de 600 a 700 m, esta actividad magmática y tectónica generó un extenso fracturamiento en la cuenca, con una orientación preferencial W-E.

Para el Plioceno Tardío y Cuaternario se desarrollaron procesos estructurales, que dieron origen a amplias fosas tectónicas con un rumbo preferente NNE, estas depresiones fueron cubiertas por material clástico, al oriente del lago, donde se tienen depósitos aluviales que poseen una granulometría gruesa cerca de las serranías, mismas que disminuye a medida que se acerca hacia la zona limítrofe del vaso lacustre, estos materiales están constituidos por depósitos clásticos del Plioceno-Cuaternario de diversos tamaños e inferiormente consisten de material aluvial y lahárico, retrabajado.

Estas depresiones (fosas) fueron cubiertas tanto por materiales producto de la erosión como por rocas provenientes de la actividad volcánica contemporánea, así en la parte inferior de las sierras mayores se encuentran extensos abanicos volcánicos. Mientras que sierras de menor tamaño, como la Sierra de Santa Catarina se caracteriza por presentar abanicos aluviales menores.

El origen de los depósitos lacustres está relacionado con la obstrucción definitiva del drenaje de la Cuenca de México, causado por la intensa actividad volcánica que edificó la Sierra de Chichinautzin. Cabe señalar que el vulcanismo durante el Pleistoceno y Holoceno es de tipo monogenético, generando conos cineríticos, domos volcánicos y derrames de lava, asociados con materiales piroclásticos. De tal forma la Sierra del Chichinautzin es el área en la que se tiene la mayor extensión de rocas volcánicas Cuaternarias.

Las planicies, además de estar compuestas principalmente de materiales aluviales, presentan en parte otros tipos de depósitos, como los de ladera, originados por procesos gravitacionales y fluviales. También se presentan planicies con cobertura e intercalaciones de materiales coluviales, acumulados al pie de las laderas.

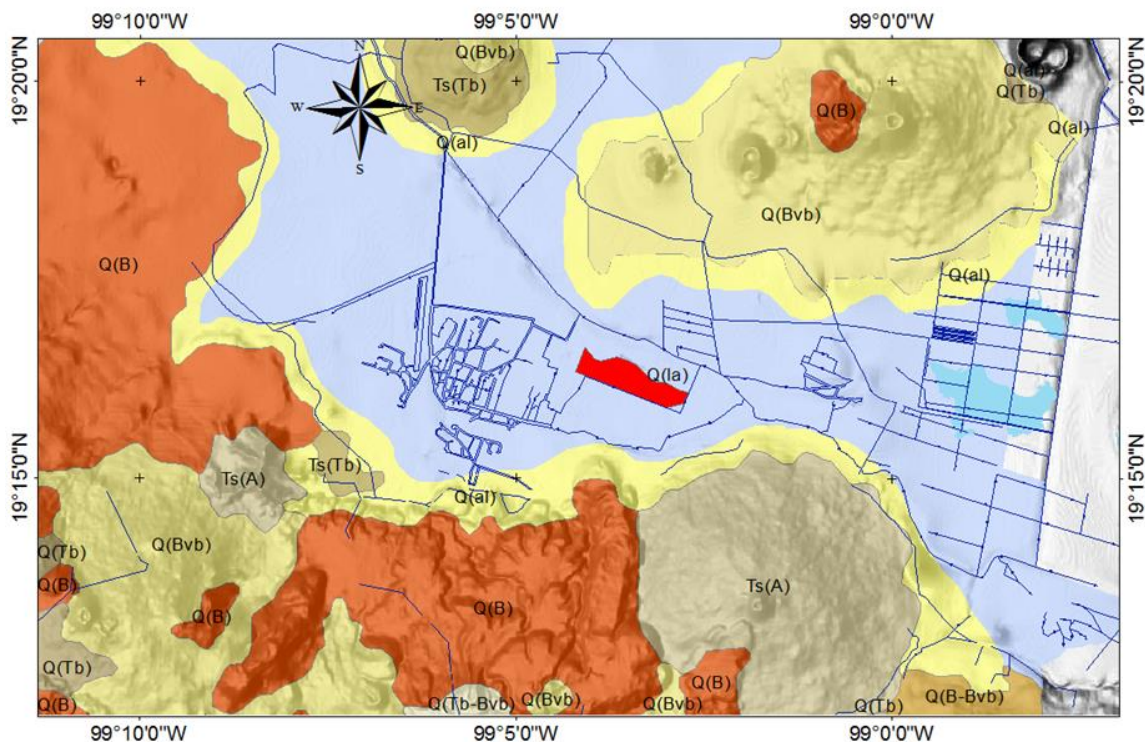


Figura 53. Geología regional de la zona de estudio.
Elaboración propia, base geológica tomada de INEGI, 2015

En la figura 53, se presenta la distribución superficial de las formaciones geológicas presentes, destacando que la porción occidental se caracteriza por la presencia de material lacustre a nivel superficial, mientras que hacia el oriente la zona presenta rocas de origen volcánico, principalmente en las zonas topográficamente altas, mientras que hacia la porción central se identificó material aluvial, con una distribución irregular a nivel superficial.

5.2.2 Litoestratigrafía de la zona de estudio

A continuación, se describen las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona de estudio, iniciando de la más antigua a la más reciente.

Del Terciario. Rocas Extrusivas del Mioceno Medio y Tardío (Tmv)

Con este nombre, se agruparon a “las rocas volcánicas que difieren en composición litológica y posición estratigráfica con respecto a las rocas volcánicas del Oligoceno-Tardío-Mioceno Temprano (Vázquez y Jaimes). Estas rocas, se encuentran asociadas a tres aparatos volcánicos tipo estratovolcán, de grandes



dimensiones, el mayor de estos se localiza al norponiente, en la Sierra de Guadalupe. Estas rocas, se encuentran constituidas por secuencias de tobas, brechas volcánicas y lavas que en algunos lugares se encuentran interestratificadas con brechas volcánicas, cuya composición varía de andesítica a dacítica.

Del Terciario. Depósitos piroclásticos y clásicos aluviales del Plioceno (Tppc)

Se designa con este nombre a los depósitos no diferenciados, relacionados genéticamente con la actividad piroclásticas, fluvial y lacustre de todo el Plioceno. Su espesor máximo en el subsuelo es del orden de 300 metros. En las descripciones de los pozos perforados durante el Proyecto Texcoco, se describen arcillas, arenas, tobas, margas y calizas lacustres, que se han encontrado hasta una profundidad de 517 metros. Su edad de acuerdo con sus relaciones estratigráficas corresponde al Plioceno.

Del Cuaternario. Formación Tláloc (Qt)

Definida por Schalaepfer (1968) para referirse únicamente a las coladas lávicas que forman parte de la Sierra Río Frío, no obstante, éstas secuencias están relacionadas con tefra caracterizada por flujos piroclásticos lobulados, en forma de mesetas inclinadas; secciones de referencia se pueden observar en los bancos de material localizados en el flanco poniente de la sierra, así como en las cañadas El Muerto, El Partidor y los Pilares. Esta formación está compuesta principalmente por flujos de piroclásticos en las partes bajas de los volcanes Tláloc y Telapón, mientras que, en las partes altas de dichos volcanes, se presentan secuencias de lavas y piroclásticos, la composición de las lavas es andesítica a dacítica. Cerca del área de estudio al este y noreste de San Miguel Coatlinchan aflora esta formación constituida por brechas volcánicas y lavas andesíticas.

Del Cuaternario. Formación El Pino (Qpp)

Esta unidad agrupa las rocas volcánicas que forman los cerros La Estrella, El Pino, Chimalhuacán, Chiconautla, Gordo y otras estructuras aisladas. Las secciones tipo se encuentran en las cañadas del volcán El Pino; los espesores máximos medidos son del orden de los 700 m, y se presentan en los centros eruptivos acunándose hacia la periferia. Las coladas lávicas de los volcanes pertenecientes a esta unidad se extienden en ocasiones en el subsuelo, e intercalada con depósitos aluviales. Le sobreyace a los depósitos aluviales y sobre piroclásticos de la denominada Formación Tláloc, por su parte se encuentra cubierta por los estratos más recientes



de aluvión y por depósitos lacustres. Esta formación se localiza en la porción sur del trazo de proyecto.

Del Cuaternario. Depósitos aluviales (Qal)

Los depósitos aluviales, son los materiales de origen fluvial, acumulados en el Valle de Texcoco, principalmente como relleno del valle antes de la existencia del lago, y posteriormente, cuando el lago ya existía, en las márgenes de las sierras que rodean al lago de Texcoco. El espesor del aluvión es del orden de 350 a 400 m. Sin embargo, se aprecia que, en las capas inferiores, a partir de los 180 metros, se encuentra interestratificado con tobas vítreas, que se asocian a la Formación Tláloc. En su parte superior está conformado por secuencias de arenas, limos y gravas interestratificadas, capas que actúan como una frágil protección a la infiltración de las aguas saladas de los lentes acuíferos superiores. Por sus relaciones estratigráficas y determinaciones radiométricas, se sitúa al aluvión en un rango de edad del Pleistoceno al Reciente.

Del Cuaternario. Depósitos Lacustres (Qla)

Se agrupan dentro de esta unidad, todos los depósitos granulares depositados en ambiente lacustre que se encuentran en el lago de Texcoco, incluidos los estratos arenosos permeables, denominados como capas duras. Estos depósitos para fines prácticos, en la zona de Texcoco y en la Ciudad de México, se han dividido en: Formación Arcillosa Superior y Formación Arcillosa Inferior a los estratos que quedan debajo de la segunda capa dura, estos estratos en la zona de Texcoco presentan una edad superior a los 40,000 años, es decir, pertenecen al Pleistoceno Temprano.

5.2.3 Unidades Geológicas superficiales locales

Las descripciones litológicas que se conocen de la subcuenca de Xochimilco comprenden rocas volcánicas y depósitos de origen vulcano-sedimentario. Las rocas volcánicas presentes deben su origen a varios aparatos volcánicos (Ajusco, Iztaccihuatl, Popocatepetl, Xitle, etc.), los cuales tuvieron actividad a lo largo de diferentes épocas geológicas. Así mismo, se encuentran rocas del Mioceno- Pleistoceno (andesitas, dacitas, riolitas) de la Sierra Nevada; del Plioceno-Pleistoceno (basaltos, andesitas) propias de la Sierra Santa Catarina; y para el Cuaternario (basaltos, andesitas) en la Sierra Chichinautzin.



La subcuenca de Xochimilco ocupa la porción sudoccidental de la cuenca de México. Tiene un área de 480 km², de los cuales la planicie lacustre ocupada son 130 km² y una altitud de 2240 msnm.; está limitada al norte por el cerro de la Estrella y la sierra Santa Catarina, al este por la divisoria que corre entre la sierra Santa Catarina y el volcán Teuhtli, al sur por los conos y otras estructuras volcánicas de la sierra del Chichinautzin (entre ellos además del Teuhtli, Ocuscayo, Cuauhtzin, Chichinautzin y el complejo Guespalapa); y al sursuroeste por el volcán Ajusco. Al menos 20 estructuras volcánicas se reconocen dentro de esta cuenca.

La cuenca de Xochimilco albergó un cuerpo lacustre que en épocas de niveles altos se conectó al norte con el lago de Texcoco y al este con el lago de Chalco. Actualmente los remanentes del lago se limitan a la zona de las chinampas que ocupan un área de 16 km², y se localizan al noreste de la cuenca.

El volcanismo más antiguo en Xochimilco corresponde al de la sierra de Las Cruces (volcanes San Miguel y Ajusco), compuestos por flujos de lava dacíticos y andesíticos cuya edad varía de 2.3 a 0.4 Ma.

La sierra Santa Catarina está constituida por seis conos de escoria, dos domos andesíticos, un derrame fisural y un cono de tobas de doble cráter, alineados de manera preferencial E-O. La composición geoquímica varía de andesítica a andesita basáltica (Ortiz-Enríquez, 2017). El cerro de la Estrella es un cono de escoria ubicado 7 km en dirección noroeste de la Sierra de Santa Catarina, y es más antiguo que ésta.

De acuerdo con Ortega (2018), y con los datos de un pozo localizado en la zona de Xochimilco y denominado XOC16-II. La mayor parte de los sedimentos clásticos está formada por limo de color pardo y gris con cantidades variables de arcilla y arena. Contienen cantidades variables de restos orgánicos: materia orgánica amorfa, diatomeas, espículas de esponja, fitolitos, carbón, restos de plantas, ostrácodos y algas carofíceas.

Los sedimentos volcanoclásticos están entre 2.34 y 2.17 m de profundidad, donde se encontró un depósito color gris pardo y gris oscuro de lapilli y ceniza constituido por fragmentos de pómez. El único depósito de ceniza descrito en la cuenca de México con granodiorita como componente es la Pómez del volcán Popocatepetl, cuya edad es de 17,070 años (Siebe et al., 1997, 1999; Sosa-Ceballos et al., 2012), por lo que se ha usado ampliamente como marcador estratigráfico en esta región.

En el intervalo entre 1.10 y 1.25 m de profundidad, se encontró ceniza gris oscuro a gris claro, de grano grueso a fino. Las características de los componentes y su posición estratigráfica son comparables con las descritas en la cuenca de Chalco (Ortega-Guerrero et al. 2018). Esta capa de ceniza es correlacionable con la Pómez Toluca Superior (PTS),

producto de una erupción pliniana del Nevado de Toluca, ocurrida hace 12,320 años (Bloomfield y Valastro, 1974; Macías et al., 1997; Capra et al., 2006; Arce et al., 2003). Los tres depósitos volcánicos restantes son cenizas de color gris oscuro localizados en los intervalos de 0.25-0.27, 1.47-1.67 y 2.02-2.06 m de profundidad, compuestas casi en su totalidad por vidrio negro y café oscuro, cuyas fuentes son desconocidas. Sin embargo, debido a su color y componente principal, los centros de emisión más probables se encontrarían en el vulcanismo monogenético de la sierra de Chichinautzin o de la sierra Santa Catarina.

La unidad basal 3, de 2.47 a 1.10 m de profundidad, está constituida por limo y arcilla arenosa gris a pardo con abundantes restos de organismos silíceos; La unidad 2, de 1.10 a 0.48 m, está compuesta por limo gris oscuro con cantidades variables de arena y abundantes restos de conchas y ostrácodos. La unidad 1 fue subdividida en las unidades 1a y 1b. La subunidad 1b, de 0.18 m de espesor, está compuesta por un ooze de diatomeas; la subunidad 1a, de 0.30 m de espesor, está constituida por limo arenoso gris oscuro que contiene abundantes restos silíceos, carbón y raíces de plantas (figura 54).

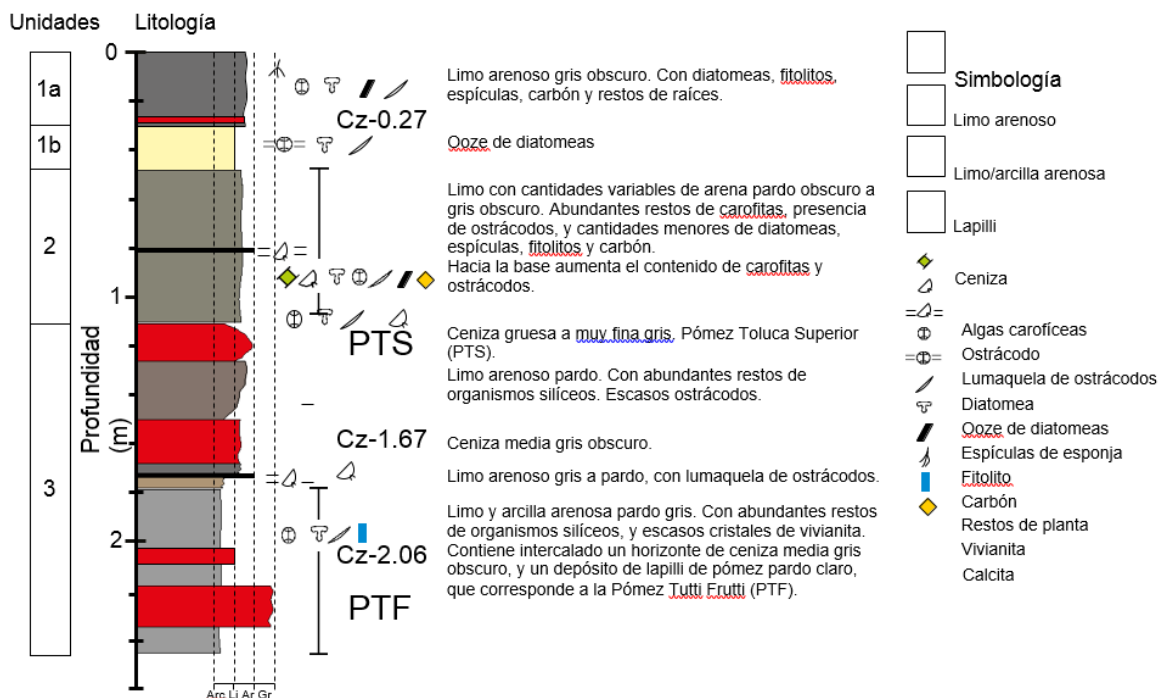


Figura 54. Estratigrafía somera de la subcuenca Xochimilco

5.2.4 Estratigrafía

Son varios los estudios que definen la estratigrafía de la Cuenca del Valle de México, y dada la compleja geología de la Cuenca del valle de México, se optó por describir de forma general la estratigrafía completa de la zona, con base a los cortes estratigráficos del pozo profundo denominado Tulyehualco 1, realizado por PEMEX en el año 1986 y de los pozos de extracción correspondientes a la batería Tláhuac. Así como el pozo profundo Santa Catarina III, cuya ubicación se presenta en la figura 55.

En el corte litológico del Pozo Profundo Tulyehualco, se localiza al noroeste de la zona de san Gregorio a una distancia aproximada de 2.2 kilómetros. El pozo profundo Santa Catarina III, se ubica a una distancia de 2.7 kilómetros al norte del predio San Gregorio. Por su parte el pozo más cercano de la batería de los pozos Tláhuac, corresponde al pozo 19, mímico que se localiza a una distancia de 1.2 kilómetros al norte de la zona de San Gregorio.

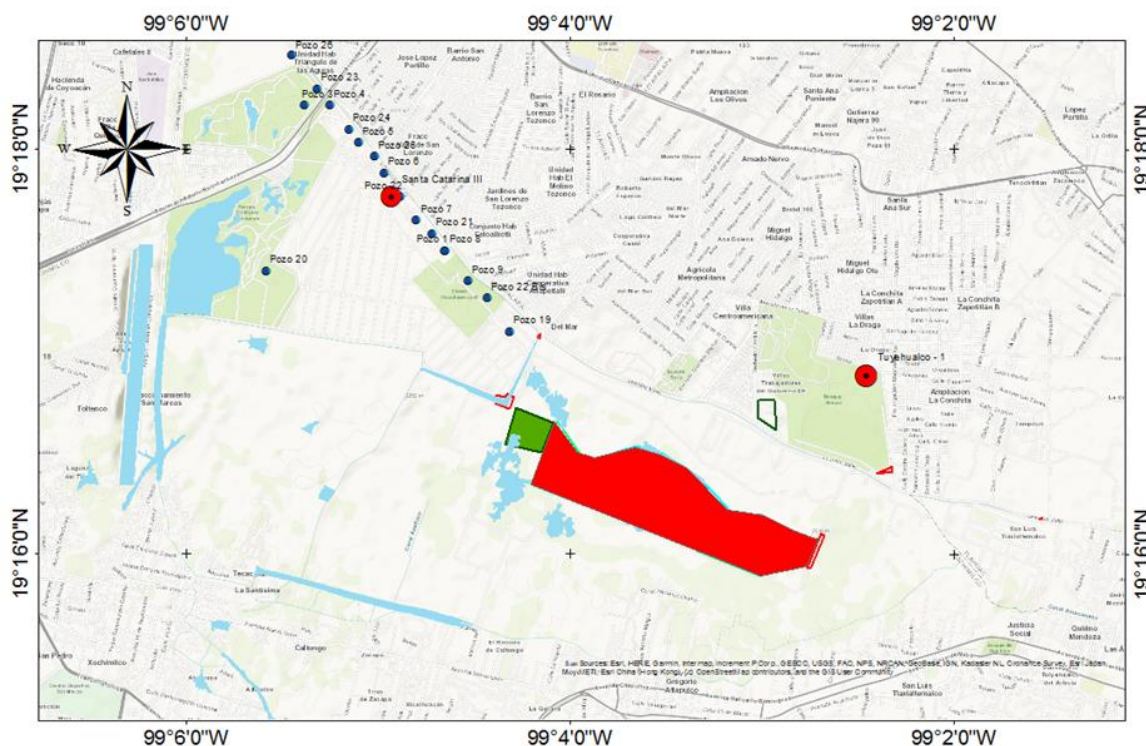


Figura 55. Localización de pozos profundos y batería de pozos Tláhuac.



**COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS DE LOS POZOS PERFORADOS
EN LA CUENCA DE MEXICO**

POZO No. 19 BIS
RAMAL: TLAHUAC
FECHA: NOVIEMBRE DE 1990
PROFUNDIDAD: 0 a 250 metros
LOCALIZACION: Tlahuac, D.F.
No. MUESTRAS: 125
No. CAJAS
ESCALA: 1:1,000

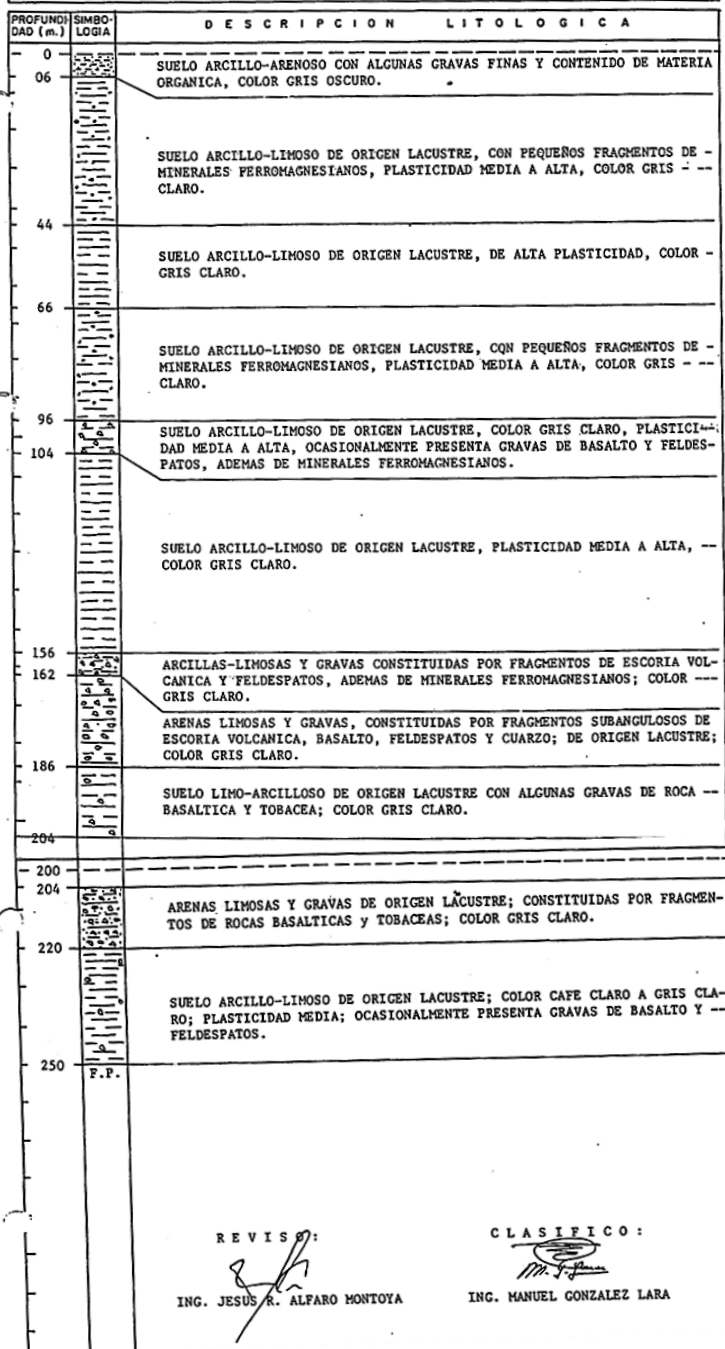


Figura 56. Corte litológico del pozo 19 b, ramal Tláhuac



Con base en lo anterior, las rocas más antiguas dentro del Valle de México corresponden a una secuencia de rocas Mesozoicas correlacionables con las Formaciones Morelos, Cuautla y Mezcala, las cuales fueron identificadas durante las perforaciones realizadas por PEMEX en el año 1988, estas a su vez se encuentran parcialmente cubiertas por materiales clásticos continentales del Terciario Inferior pertenecientes al Grupo Balsas.

El origen de los depósitos lacustres está relacionado con la obstrucción definitiva del drenaje de la Cuenca de México. Estas depresiones (fosas) fueron cubiertas tanto por materiales producto de la erosión como por rocas provenientes de la actividad volcánica contemporánea, así en la parte inferior de las sierras mayores se encuentran extensos abanicos volcánicos. Mientras que sierras de menor tamaño, como la Sierra de Guadalupe se caracteriza por presentar abanicos aluviales menores. El estado caótico de los rellenos de las planicies es su característica principal, aparecen depositadas series clásticas intercaladas con materiales provenientes del vulcanismo del Pleistoceno.

El corte estratigráfico de la perforación profunda Santa Catarina III, presenta recuperación de muestras a partir de una profundidad de 500 metros. Por su parte el pozo 19 del Ramal Tláhuac, alcanza una profundidad total de 250 metros, cuyo corte litológico se presenta en la figura 56.

5.3 Marco Geotécnico

5.3.1 Zonificación Sísmica

Machado-González et al. (2019), realizaron un estudio de peligro sísmico para encontrar el origen de los agrietamientos en la zona de la carretera Xochimilco-Tulyehualco, y estimar el comportamiento dinámico de esos suelos.

Para el año 2020, el instituto de ingeniería realizó el trabajo denominado “Actualización de la zonificación sísmica de la Ciudad de México y áreas aledañas-Parte Norte”, dentro de sus objetivos se tiene el realizar un mapa de amplificación para la Ciudad de México y áreas aledañas por medio de la amplitud del cociente espectral H/V con énfasis en registros de sismos.

De acuerdo con la información recopilada en la zona de Xochimilco el periodo dominante varía de forma abrupta entre la Sierra de Chichinautzin y la zona lacustre, con periodos que van de los 0.1 s hasta los 5.0 s. En la Sierra de Chichinautzin se considera que no hay efecto de sitio. En el límite entre la sierra y el lago, el periodo comienza en 0.1s y cambia rápidamente hasta los 2.0s, a excepción del poniente, en donde el cambio es más suave.



En el centro del antiguo lago de Xochimilco, donde se localiza la zona de estudio el periodo es incluso mayor a los 5.0s. La amplificación relativa varía entre 2 y 20 veces aproximadamente. Mientras que en la Sierra de Chichinautzin la amplificación es nula.

En el límite entre la sierra y el lago la amplificación llega a valores de hasta 3- 8 veces, para después disminuir hacia el centro del lago, en donde la amplificación alcanza el máximo valor.

El espesor también varía de manera considerable, desde 0 m hasta alcanzar más de 100 m. El espesor en la Sierra de Chichinautzin es nulo. Cambia abruptamente de 0 a 50 m en el límite entre la sierra y el lago, a excepción de la parte poniente en donde el cambio es más progresivo. El máximo valor de espesor es mayor a los 100m y se ubica en la zona central del lago de Xochimilco.

5.3.2 Regiones Sísmicas en México

Se puede establecer que un sismo son sacudidas o movimientos bruscos del terreno, generalmente producidos por disturbios tectónicos (ocasionado por fuerzas que tienen su origen en el interior de la Tierra) o volcánicos (producido por la extrusión de magma hacia la superficie). En ambos casos hay una liberación de energía acumulada que se transmite en forma de ondas elásticas, causando vibraciones y oscilaciones a su paso a través de las rocas sólidas del manto y la litosfera hasta alcanzar la superficie terrestre.

Los sismos no pueden predecirse, es decir, no existe un procedimiento confiable que establezca con claridad la fecha y el sitio de su ocurrencia, así como el tamaño del evento. Sin embargo, los sismos se presentan en regiones bastante bien definidas a nivel regional y se cuenta con una estimación de las magnitudes máximas, en función de los antecedentes históricos y estudios geofísicos.

El análisis de sismicidad, en la república mexicana, se basa en la Regionalización Sísmica que se presenta en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 1993), así como en la recopilación e interpretación de registros históricos de sismos obtenidos de la base de datos del Servicio Sismológico Nacional (SSN). Con fines de diseño antisísmico, la República Mexicana se dividió en cuatro zonas sísmicas, utilizándose los catálogos de sismos del país desde inicios de siglo, de tal forma se estableció la siguiente clasificación (figura 57).



Figura 57 Zonas Sísmicas de México

Figura tomada de: Manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo) de la Comisión Federal de Electricidad.

1. La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.
2. Las zonas B y C son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración de la gravedad.
3. La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Con base al análisis e interpretación de lo anterior, prácticamente toda la porción central del país; el estado de México y la zona de estudio se ubica dentro de la zona clasificada como zonas intermedias “B” de la Regionalización Sísmica de CFE, donde los registros históricos indican que no se han reportado sismos de gran intensidad y las aceleraciones del terreno que se podrían esperar serían menores al 70% del valor de la gravedad (g).

5.3.3 Zonificación geotécnica de la zona de estudio

Aunque la zona metropolitana de la Ciudad de México se encuentra ubicada en la zona B, debido a las condiciones de su formación geológica (zonas volcánicas y de lagos), se puede tratar como una zona sísmica caracterizada por la presencia de tres zonas de acuerdo con el tipo de suelo (figura 58).

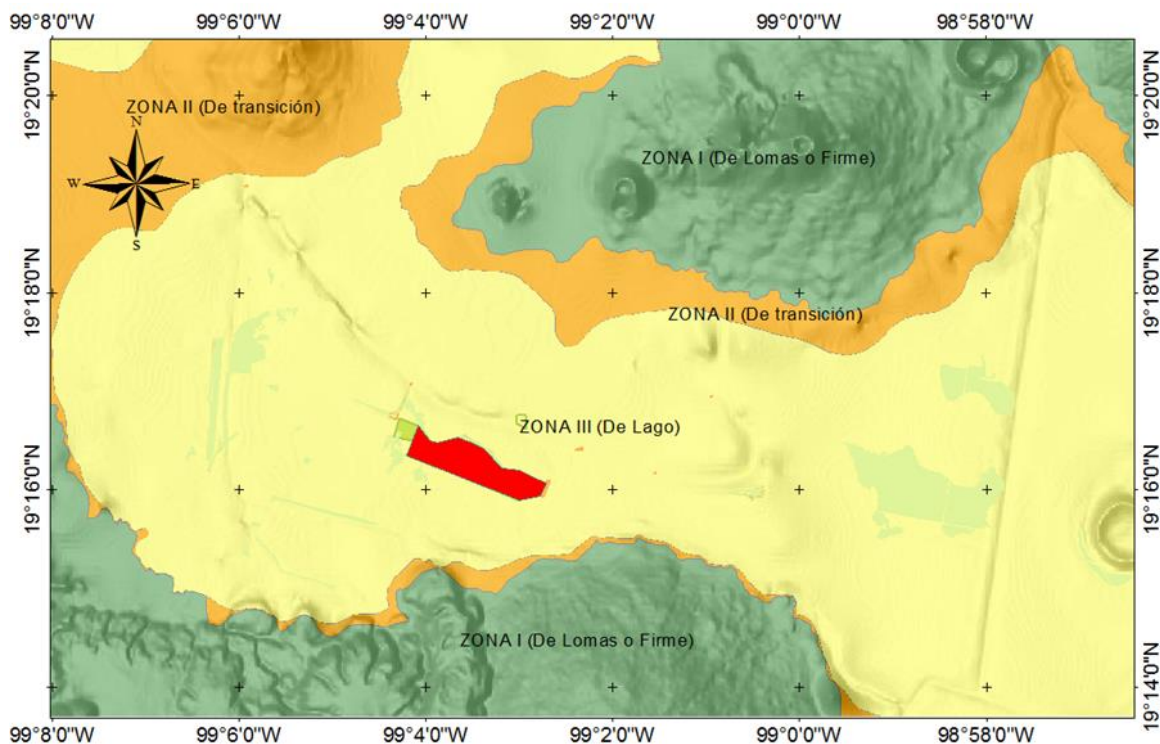


Figura 58 Zonificación geotécnica de la zona de estudio

1. **Zona I**, firme o de lomas: localizada en las partes más altas de la cuenca del valle, está formada por suelos de alta resistencia y poco compresibles.
2. **Zona II** o de transición: presenta características intermedias entre la Zonas I y III.
3. **Zona III** o de Lago: localizada en las regiones donde antiguamente se encontraban lagos (lago de Texcoco, Lago de Xochimilco y Chalco). El tipo de suelo consiste en depósitos lacustres muy blandos y compresibles con altos contenidos de agua, lo que favorece la amplificación de las ondas sísmicas.



Las características geológicas y la ubicación geográfica del predio en estudio lo ubican dentro de la Zona de Loma (Zona III), es decir se localiza en las partes más baja de la cuenca del valle, donde el subsuelo está formado propiamente por sedimentos lacustres.

5.3.4 Información geotécnica de la zona de estudio

Se obtuvo información de una perforación geotécnica en la zona de San Bernardino a 3.5 kilómetros de la zona de estudio (figura 59).

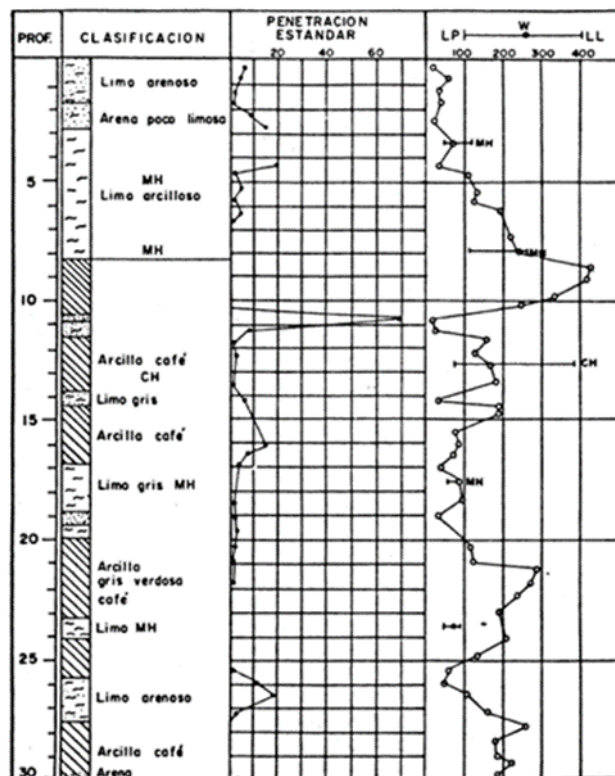


Figura 59 Perfil estratigráfico de la zona de Xochimilco.

De 0.00m y hasta del orden de 0.30m se detectó la presencia de suelo vegetal con arcilla, de 0.30m y hasta una profundidad del orden de 8.5m destaca la presencia de suelos arcillosos saturados con alta plasticidad y con contenidos de humedad de hasta 300%.

Una descripción resumida de la estratigrafía y propiedades de los materiales es la siguiente: Formación Arcillosa constituida por arcilla de alta compresibilidad (CH) y consistencia muy blanda, con lentes y estratos delgados de arena fina, limpia a limosa y vidrio volcánico. Los colores predominantes son tonos oscuros. La mayor parte de los estratos son arcillosos.



5.4 Diagnóstico

Regionalmente la ubicación de la zona de estudio la enmarca en el denominado Eje Neovolcánico, un espacio donde la corteza terrestre ha sufrido grandes esfuerzos tectónicos desde principios del periodo Terciario y es caracterizado por el predominio de derrames basálticos, incluyendo básicamente material volcánico del Cuaternario, así como la presencia de depósitos litológicos de antiguas zona de lagos.

La secuencia estratigráfica identificada muestra a nivel superficial un espesor de 0 a 2 metros de formación de suelos residual, subyaciendo a esta unidad se presenta una secuencia interestratificada de material clasificado como lacustre, aluvial con la presencia de horizontes de tobas arcillo-arenosas, con espesores variables hasta de un metro de espesor, alcanzando una profundidad identificada hasta 100 metros.

El contacto entre las secuencias litológicas señaladas es concordante de acuerdo con registros litológicos de pozos cercanos al predio, esto conforma una relación de paralelismo entre los conjuntos de litologías identificadas, las cuales se presenta de forma semi- horizontal, disminuyendo la presencia de planos de debilidad geológico-estructural y planos de deslizamiento.



Conclusión

El proyecto de humedales y chinampas San Gregorio- Xochimilco, representa un cambio de paradigma en los usos del agua. Este involucra cuerpos de agua, humedales y regeneración ambiental lo cual contribuye a reducir el riesgo de desastres de origen natural y antropogénico, además de mitigar los efectos causados por el cambio climático.



Referencias

- (S/f). Recuperado el 19 de septiembre de 2024, de http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2005/04/asun_1850464_20050414_1113594645.pdf
- (S/f-b). Recuperado el 19 de septiembre de 2024, de <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www4.hcdn.gob.ar/dependencias/dsecretaria/Periodo2024/PDF2024/TP2024/0965-D-2024.pdf>
- AYALA-CARCEDO, F.J. Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y aplicación a la definición de tipos de mapas de riesgos geológicos. Boletín Geológico y Minero, 1990, vol. 101-3, p. 456-467.
- Armando García-Palomo (2008). El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces, México. Central Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 25, núm. 1.
- Atlas nacional de riesgo, CENAPRED, 2016.
- Borin, M., Maucieri, C., Mietto, A., Pavan, F., Politeo, M., Salvato, M., Tamiazzo, J. y Tocchetto, D. (2012). La fitodepurazione per il trattamento di acque di origine Agricola e di reflui zootecnici. In Veneto Agricoltura, Azienda Regionale per I settori Agricolo, Forestale e Agro-Alimentare.
- CENAPRED (2001). "Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México", Centro Nacional de Prevención de Desastres, México D.F. Versión Electrónica 2014
- Comisión Nacional del Agua (1996). Diseño de redes de monitoreo de los acuíferos de los valles de Pachuca-Tizayuca, Texcoco, Chalco-Amecameca y la Ciudad de México. Realizado por Lesser y Asociados S.A. de C.V.
- Custodio, Emilio y Llamas, Manuel Ramón. Tomos I y II. 1976. Hidrología Subterránea. Primera edición. Ediciones Omega.
- Dante J. Moran, INEGI México, 1984. Geología de la República Mexicana.
- De Cserna Z., M. De la Fuente-Duch, M., L. Triay, L.M. Mitre-Salazar, R. Mota-Palomino Palacios-Nieto (1987). Estructura Geológica-Gravimetría, Sismicidad y relaciones geotectónicas regionales de la Cuenca de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Bull. 104, 71.



Instituto de Ingeniería, UNAM-CENAPRED (2003) “Guía Metodológica para el Análisis del Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo y Pérdidas Causadas por Desastres Naturales o Antropogénicos y su Reducción y Prevención”

López Ramos, Ernesto (1980) Geología de México, 2da. Ed

Nimptsch, J. et al. (2008) Cyanobacterial toxin elimination via bioaccumulation of MC-LR in aquatic macrophytes: An application of the “Green Liver Concept”. *Environ. Sci. Technol.* 42 (22), 8552-8557. doi:10.1021/es8010404. • Moshiri, G. A. (1993). Constructed wetlands for water quality improvement. CRC Press.

Lugo-Hubp José, Mooser Federico, Perez-Vega Azucena, Zamorano-Orozco Juan (1994) Geomorfología de la Sierra de Santa Catarina, D.F. México. Instituto de Geología, UNAM.

Ortega G., A., J.A. Cherry and Rudolph D.L. (1993). Large-scale aquitard consolidation near Mexico City. *Ground Water* 31, 708-718.

Ortega-Guerrero, B., Albarrán-Santos, M.A., Caballero, M., Reyes-Corona, I., Cutiérrez-Méndez, B., Caballero-García, L., (2018) Reconstrucción paleoambiental de la subcuenca de Xochimilco, centro de México, entre 18000 y 5000 años antes del presente: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 35, núm. 3, p. 254-267.

Ordaz M. (1996), “Algunos Conceptos del Análisis de Riesgos”. *Revista Prevención. CENAPRED*, número 14, p.p. 6-11.

Pitre, C.V. (1994). Analysis of induced recharge from a waste water canal through fractured clays in Mexico City. M.Sc. Thesis, University of Waterloo, 224 p.

<http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/> ; <http://www.inegi.org.mx/>

Pflugmacher, S. et al. (2015) Green Liver Systems® for water purification: Using the phytoremediation potential of aquatic macrophytes for the removal of different cyanobacterial toxins from water. *AJPS* 06 (09), 1607-1618. doi:10.4236/ajps.2015.69161.

Servicio Geológico Mexicano, 2002. Carta Geológico-Minera “Ciudad de México” E14-2. Escala 1:250,000.

Tondera K., A. Rizzo, I. Srl y P. Molle, Cross, K. (2021) French vertical-flow treatment wetlands Tondera en: K., Rizzo, A., Andrews, L., Pucher, B., Istenič, D., Karres, N. y McDonald, R. *Nature-Based Solutions for Wastewater Treatment*. IWA Publishing.