



**Proyecto de Aprovechamiento y Manejo  
Ambiental  
Del lago de Xico**

---

**Informe Final**



# Proyecto de Aprovechamiento y Manejo Ambiental del lago de Xico

## 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 Agroecología 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 Agroxolotl.

#### **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. Saráí 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  
GeoGráfikas  
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 propósito de este informe es presentar los resultados derivados de la recopilación y análisis de información existente, así como de la generada a través de la realización de estudios y trabajos de campo en la zona del Lago Tláhuac-Xico. Para identificar las mejores alternativas a nivel conceptual respecto al incremento en el volumen de almacenamiento del Lago, y a las fuentes de las cuales podría suministrarse agua y las vías para esto.

El presente informe, toma como referencia y base teórica conceptual el Informe Final del Proyecto de Aprovechamiento y Manejo Ambiental del Lago Tláhuac-Xico, elaborado en el 2022 con colaboración de instituciones como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Comisión Nacional del Agua, el gobierno de la Ciudad de México, la Secretaría del Agua de la Ciudad de México y el gobierno del Estado de México y la Comisión del Agua del Estado de México.



## Contenido

Antecedentes.....	17
I. Componente Social.....	19
1.1 Aspectos históricos.....	19
1.2 Problemática Socioambiental.....	20
1.3 Visitas de Campo y Levantamiento Fotogramétrico.....	24
1.3.1 Fotogrametría.....	25
1.3.2 Recorrido de campo.....	30
II. Estudio Hidrológico.....	34
2.1 Sistema Hidrogeológico Tláhuac-Xico.....	34
2.1.1 Ubicación geográfica.....	34
2.1.2 Fisiografía.....	36
2.1.3 Geología.....	39
2.2 Cuenca Hidrográfica.....	40
2.3 Potencial de Agua Residual.....	42
III. Propuesta Conceptual de Humedales para el Reúso de Agua Tratada a través del Lago Tláhuac - Xico.....	44
3.1 Humedal Artificial.....	44
3.2 Elementos ingenieriles.....	45
3.3 Especies vegetales.....	47
3.4 Tipos de humedales.....	48
3.4.1 Humedales Flotantes.....	48
3.4.2 Humedales de tratamiento de flujo horizontal (FTWS).....	49
3.4.3 Sistema de Macrófitas Sumergidas.....	50
3.4.4 Humedal tipo francés o de Flujo Vertical.....	50
3.4.5 Humedal de tratamiento superficial de agua libre.....	51
3.5 Propuesta de Humedales para el Lago Tláhuac-Xico.....	52
3.6 Componente vegetal.....	53
3.7 Beneficios esperados.....	54
Conclusión.....	58



## Índice de Figuras

Figura 1. Tláhuac por Baruc Martínez Díaz   Revista Nosotros, Núm. 81   junio de 2005.	19
Figura 2. Códice Mendocino, conquista de Mixquic y Tláhuac por Acamapichtli, AGN, México.....	19
Figura 3. Mapa de Tláhuac de 1656. (AGN, Mapas, Planos e Ilustraciones 977/1282).....	19
Figura 4. Pueblos originarios conectados por una red de caminos.....	19
Figura 5. Recorrido en metro hacia el territorio lacustre de Tláhuac - Xico.....	20
Figura 6. Ciénega y chinampería (polígono Reyes Aztecas), Lago Tláhuac-Xico. Tomado de Estudio Previo Justificativo de la Declaratoria ANP-APRN Tláhuac-Xico. ....	22
Figura 7. Puntos de vuelo del dron para registro fotográfico y y de video de la zona chinampera de Tláhuac. ....	25
Figura 8. Vista de zona de chinampas de Tláhuac y estación de metro Tláhuac.....	26
Figura 9. Vista de Parque Recreativo La Isla, canales de Tláhuac. ....	26
Figura 10. Vista de canales de chinampas desde la Zona Natural Protegida de Tláhuac. ....	27
Figura 11. Ortofoto sobre un antiguo embarcadero de Tláhuac. ....	27
Figura 12. Vista de canal de Tláhuac en Barrio de Santa Ana.....	28
Figura 13. Ortofoto de Laguna de los Reyes, la avenida Tláhuac, y su relación con el área urbana que rodea las chinampas.....	28
Figura 14. Recorrido del grupo técnico y social por los canales de Tláhuac,.....	30
Figura 15 Recorrido del grupo técnico y social por el área chinampera de Tláhuac. ....	31
Figura 16. Recorrido en campo por las calles donde el grupo social tiene identificadas las descargas de drenaje directo hacia el canal.....	31
Figura 17. Ubicación y zonas del Lago Tláhuac-Xico y Zonas.....	35
Figura 18. Delimitación morfológica de la subcuenca Chalco. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2013.....	35
Figura 19. Topografía de la zona de estudio .....	37
Figura 20. Clasificación de climas e isoyetas de la zona de estudio.....	37



Figura 21. Edafología de la zona de estudio .....	38
Figura 22. Cobertura vegetal en la zona de estudio.....	38
Figura 13. Hidrografía de la zona de estudio.....	41
Figura 14. Cuencas hidrográficas de la zona de estudio.....	41
Figura 15. Potencial de agua residual. - - Mínimo – Medio - - - máximo.....	42
Figura 26. Corte esquemático humedal flotante, componentes del humedal.....	48
Figura 27. Ejemplo de Islas flotantes en el Parque Ecológico de Xochimilco, Ciudad de México.....	49
Figura 28. Corte esquemático humedal flujo horizontal, componentes del humedal.....	49
Figura 29. Corte esquemático humedal de macrófitas sumergidas, componentes del humedal.....	50
Figura 30. Corte esquemático humedal flujo vertical, componentes del humedal.....	51
Figura 31. Corte esquemático humedal flujo superficial, componentes del humedal.....	51
Figura 32. Ubicación de estrategias de restauración ecológica en el Lago Tláhuac-Xico. ....	56
Figura 33. Imagen objetivo del proyecto Tláhuac - Xico.....	57

### Índice de cuadros

Cuadro 1. Especificaciones por Módulo en el sistema de humedales de la Zona II del Lago Tláhuac-Xico .....	52
Cuadro 2. Organismos vegetales para los sistemas HAFSS y HAFS.....	54



## Acrónimos, Siglas y Unidades

---

Acrónimo, siglas y unidades	Significado
CAEM	Comisión del Agua del Estado de México
CDMX	Ciudad de México
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
LTX	Lago Tláhuac-Xico
NOM	Normal Oficial Mexicana

---



## Glosario

**Endorreico.** Cuenca hidrográfica cuyas aguas de escorrentía terminan vertiendo hacia una depresión interna.

**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. Algunas NOMs revisadas en el presente informe fueron:

**NOM -001-SEMARNAT-1996** – Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

**NOM -001-SEMARNAT-2021**-Límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la Nación.

**NOM -014-CONAGUA-2003** – Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.

**NOM-127-SSA1-1994.** Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

**NOM-127-SSA1-2021 (por publicarse).** Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.

**NOM-179-SSA1-2020.** Agua para uso y consumo humano. Control de la calidad del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento de agua.



# Proyecto de Aprovechamiento y Manejo Ambiental del lago de Xico

## Informe final



## Antecedentes

Durante el año 2021 se retoma la rehabilitación o recuperación del Lago Tláhuac-Xico por distintas dependencias como un tema prioritario. Por ello, para la evaluación de la factibilidad y viabilidad sobre la habilitación se conformó un grupo multidisciplinario de trabajo.

Tomando en cuenta las variables sociales, jurídicas, normativas, territoriales, ecológicas y técnicas, identificadas en el ámbito regional del Lago Tláhuac-Xico, se establecieron componentes como ejes de trabajo. Lo anterior, para plantear a nivel conceptual, un proyecto de aprovechamiento y manejo ambiental del Lago, considerando las dinámicas presentes en la zona, y a través del planteamiento de objetivos específicos por componente.

Así pues, los componentes determinados fueron los siguientes: Social jurídico; Geovisualizador; Restauración lacustre y ecológica; normatividad; Plantas de Tratamiento y Potabilizadora; Fuentes y colectores; Profundización; Arquitectura del Paisaje.

Como punto de partida se retomaron los planteamientos descritos en el “Plan hídrico de las subcuencas Amecameca, La Compañía y Tláhuac-Xico” elaborado en el año 2011 por la Comisión de Cuenca de los Ríos Amecameca y La Compañía y la Universidad Metropolitana. Cuyo objetivo fue el de consensar estrategias y acciones requeridas para la restauración y gestión equilibrada de la Subcuenca Amecameca, La Compañía y Tláhuac-Xico y sus recursos hídricos, para la seguridad y bienestar de sus habitantes.

En las siguientes secciones se describen las características de la zona del Lago Tláhuac-Xico, objeto del presente informe, así como, algunas de las características a nivel regional o de cuenca. Lo anterior para considerar posteriormente su influencia, relación y las implicaciones en el sistema de interés. Así mismo, se describen las zonas que componen el Lago para su identificación.



# Capítulo 1

## Componente Social



# I. Componente Social

## 1.1 Aspectos históricos

La región de Tláhuac presenta indicios de ocupación humana por lo menos desde el período Preclásico de Mesoamérica, 2500 a. C a 200 d.C. Las excavaciones arqueológicas han revelado que el poblamiento de Cuitláhuac fue similar al de Xochimilco, el topónimo se traduce como *Lugar de agua sucia*, a partir de *cuítlatl* ("suciedad") y *atl* ("agua").

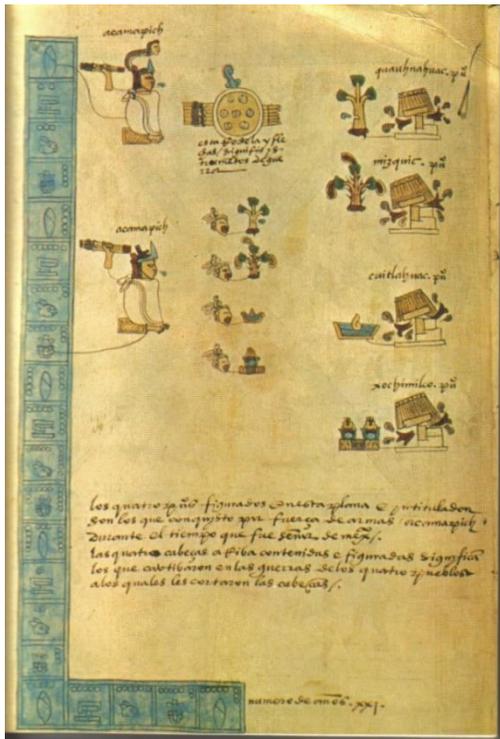


Figura 2. Códice Mendocino, conquista de Mixquic y Tláhuac por Acamapichtli, AGN, México.



Figura 1. Tláhuac por Baruc Martínez Díaz | Revista Nosotros, Núm. 81 | junio de 2005.

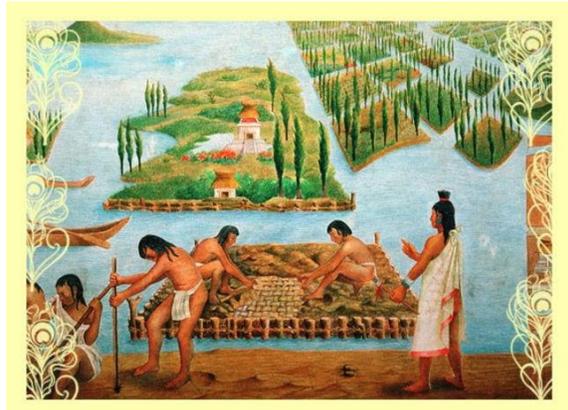


Figura 3. Mapa de Tláhuac de 1656. (AGN, Mapas, Planos e Ilustraciones 977/1282)

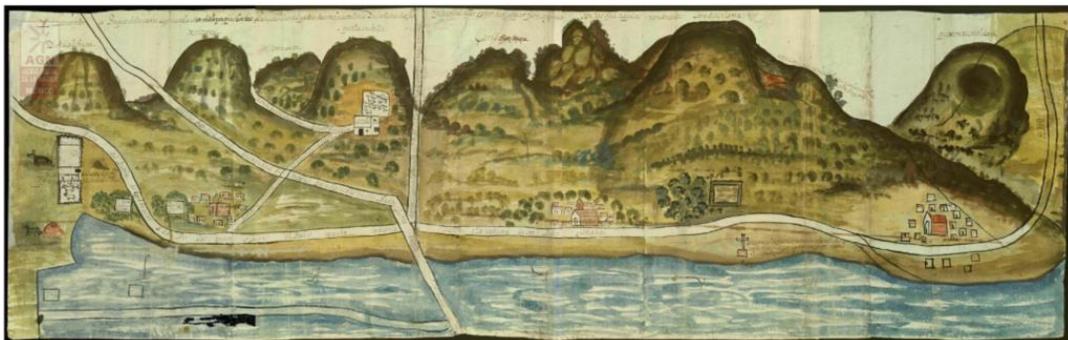


Figura 4. Pueblos originarios conectados por una red de caminos.



## 1.2 Problemática Socioambiental

Un recorrido hacia el territorio lacustre de Tláhuac, CDMX, se puede realizar a través de la colapsada y rehabilitada línea doce del metro que atraviesa del poniente al suroriente de la ciudad (figura 7). Partiendo del metro Mixcoac se llega a la parte elevada del metro Culhuacán hasta el metro Tláhuac, donde se observa la transformación del territorio en la medida en que se avanza de estación en estación.

El recorrido muestra el efecto extractivo de la minería en la Sierra de Santa Catarina, y la urbanización acelerada en sus faldas y laderas, estos fenómenos rompen el ciclo vital de recarga de los cerros y generan paisajes devastados, de hundimientos crecientes, escasez de agua y deterioro de la vida social. Pese a las declaratorias de Área Natural Protegida tanto en el Cerro de la Estrella como el de Santa Catarina, no se ha podido detener su desaparición.



Figura 5. Recorrido en metro hacia el territorio lacustre de Tláhuac - Xico.



Partiendo de la terminal de Tláhuac, a unos cuantos metros, se llega a la ciénega y chinampería y, continuando por la avenida Tláhuac-San Rafael Atlixco, se llega al centro de Tláhuac, encontrándonos con la iglesia central y el edificio de la alcaldía. Siguiendo por la carretera Chalco-Tláhuac, en las colindancias de las colonias San José y la Habana, se ubica el ejido y el Nuevo Lago de Chalco o el Lago Tláhuac-Xico. Este espacio se comparte con el municipio de Valle de Chalco Solidaridad, Edomex, y con los núcleos ejidales de San Antonio Tecómitl, San Nicolás Tetelco y San Juan Ixtayopan.

La red chinampera y ciénega se conectan con Xochimilco a través del histórico Canal de Chalco, estos a su vez están divididos por Canal Nacional. Estos espacios, junto con los de Xochimilco, son los últimos reductos lacustres de la Cuenca del Valle de México, al norte se encuentra la Sierra de Santa Catarina y al sur divididos por Canal de Chalco, los asentamientos irregulares de Atotolco (antes chinampería), el pueblo de Tulyehualco y el Cerro del Teutli.

El pueblo originario de San Pedro Tláhuac fue originalmente la isla de Cuitláhuac Ticic, centro político, religioso y administrativo regional denominado Altepetl (García Chávez, 2007, pág. 14); hoy San Pedro Tláhuac es la sede administrativa y política de la alcaldía de Tláhuac. Hasta la fecha se conservan dentro de su jurisdicción algunos de sus pueblos originarios, como San Francisco Tlaltenco, Santiago Zapotitlán, Santa Catarina Yecahuizotl, San Juan Ixtayopan y San Andrés Mixquic.

Con base en la tradición lingüística sobre cómo se nombraban los lugares importantes, su etimología y el significado de los elementos del glifo del sitio, el historiador y nahuahablante Baruc Martínez Díaz argumenta y contraargumenta ante distintas versiones sobre el significado, semántica y morfología del nombre de Cuitláhuac Ticic, proponiéndonos la interpretación de lugar de excrecencias acuáticas donde viven los hombres del conocimiento (Martínez Díaz 2018). En la interpretación se refleja el vínculo espiritual en disputa hasta nuestros días.

En Tláhuac, los asentamientos irregulares crecieron más del 250% (EVALÚA 2022, pág. 338), coincidieron con la llegada de la línea del metro, agravando el deterioro del patrimonio natural y cultural de esta zona mediante una mayor desvinculación con los cerros, redes de abasto fracturadas, contaminación de canales, aguas residuales, cambios de uso de suelo y despojo por parte de las organizaciones delincuenciales que promueven y usufructúan los asentamientos irregulares. Es relevante la pérdida de la memoria lacustre intergeneracional de la comunidad, que también abona al deterioro del tejido social.

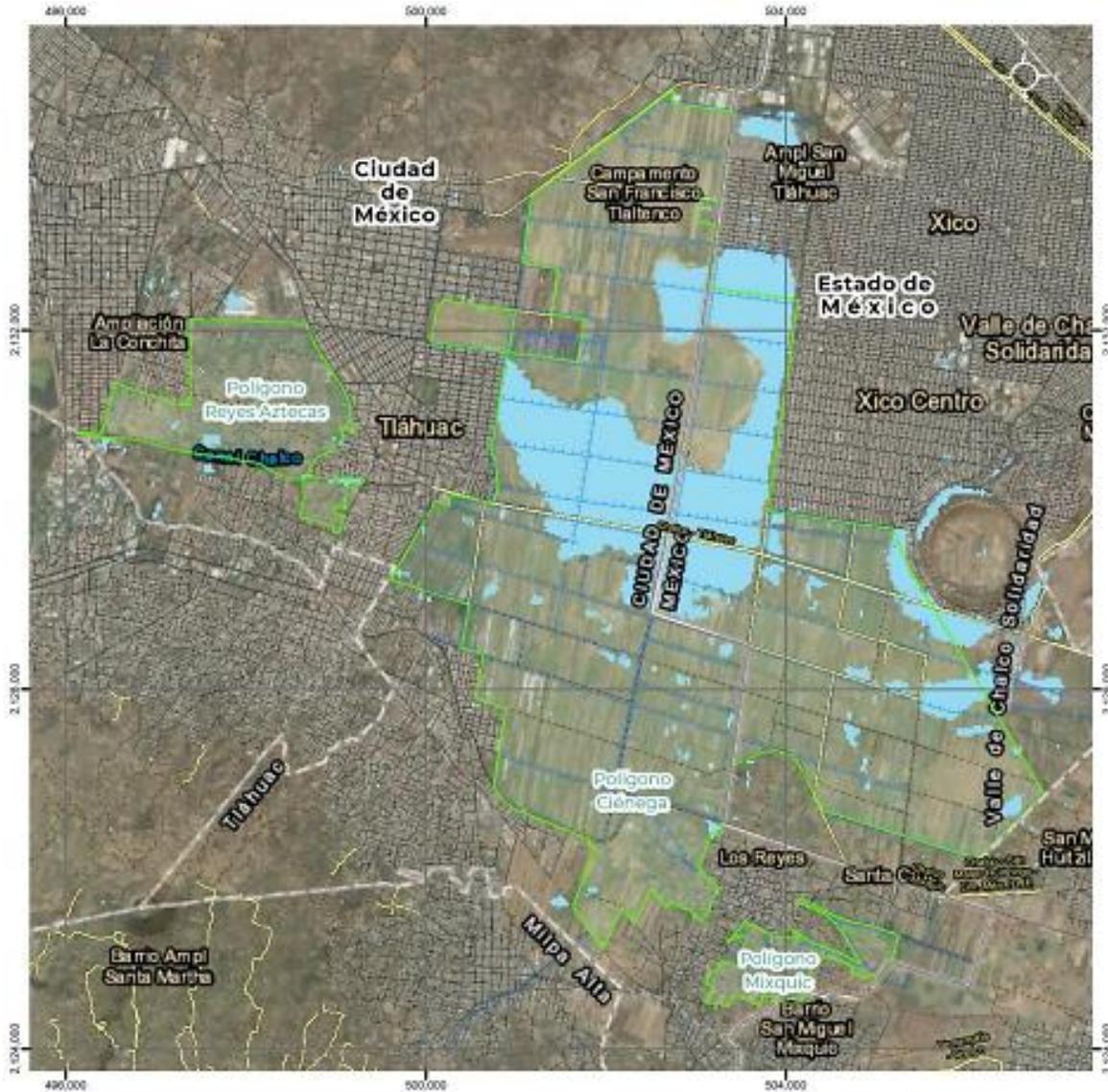


Figura 6. Ciénega y chinampería (polígono Reyes Aztecas), Lago Tláhuac-Xico. Tomado de Estudio Previo Justificativo de la Declaratoria ANP-APRN Tláhuac-Xico.

Los espacios lacustres de San Pedro Tláhuac se distinguen jurídicamente, debido a los distintos tiempos y circunstancias de la historia de la resistencia por la tierra y el agua. El ejido al oriente es producto de la dotación de tierras que se realizó gracias a la Revolución Mexicana, estas tierras fueron parte del Lago de Chalco, que usufructuaban sus pobladores, quienes sufrieron el despojo y desaparición de su territorio lacustre cuando el cacique Íñigo Noriega lo desecó para su producción agroindustrial.



En la pasada década de los ochenta, se instalaron 14 pozos de extracción de agua que, hasta la fecha, han provocado crecientes hundimientos diferenciados, donde aguas residuales, de lluvia y de escurrimiento pluvial crearon las condiciones para la acumulación de agua residual y de lluvia, haciendo resurgir el nuevo Lago de Chalco (Trajinera del Conocimiento, 2022) o las Lagunas de Tláhuac-Xico. Estos hundimientos crearon las condiciones para la acumulación de agua residual y de lluvia como señala el estudio conceptual del proyecto de rehabilitación del lago Tláhuac-Xico, donde: “Se estimaron los ingresos al Lago por zona, de los cuales el 48.1% corresponden con escurrimiento pluvial, 27.8% provienen del agua residual y 24.1% de agua tratada” (AMBIENTE 2022, pág. 14).

La vida acuática con especies endémicas y migratorias han retornado, sin embargo, en la memoria de muchos de los afectados por los hundimientos y las inundaciones no se miran un lago y los pobladores no dejan de ver sus tierras -producto de la revolución zapatista- como tierras inundadas, a diferencia de la identidad lacustre de sus abuelos, no obstante; existen no pocos ejidatarios que plantean la conservación y la reconciliación con el espacio lacustre.

“En realidad, la laguna de Chalco permitía la navegación por los canales, dos vapores arrastraban canoas con leña, semillas y mercancías. Los poblados ribereños obtenían de ella: turba, pescado blanco, juiles, mexclapiques, ajo- lotes y ranas; y de octubre a febrero, cazaban patos, garzas y chichicuilotos<sup>16</sup>. Producción insignificante para la mentalidad capitalista de los hermanos Noriega”. (Beltrán Bernal 1998, pág. 6)

En la parte ejidal de San Juan Ixtayopan se creó la colonia Bosques de Xico, en ese espacio el Sindicato Libertad introdujo ilegalmente miles de toneladas de cascajo que en la actualidad está pagando a los ejidatarios.

Esta zona cuenta con declaratorias de protección como Zona Patrimonio Mundial Natural y Cultural de la Humanidad, como suelos de conservación, Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) y, recientemente, en 2024 como Área Natural Protegida en su modalidad de Área de Protección de Recursos Naturales (Secretaría de Gobernación, 2024, 8 de enero, pág. 21).

En la ciénega y en la zona chinampera a finales del siglo XIX y a principios del XX, ante el despojo de sus tierras de parte del cacique Íñigo Noriega, los campesinos decidieron convertirse en pequeña propiedad, estatus que persiste hasta nuestros días, sin embargo, continúa la vida asamblearia y campesina, no con pocas tensiones en su interior y en su relación con las instituciones de gobierno.



Con la llegada del metro, en el paraje Tempilulli la comunidad sufrió despojos y muerte de parte de organizaciones de vivienda y delincuencia organizada para formar nuevos asentamientos irregulares, la frontera entre estos dos espacios es de saturación creciente de conflictos, convirtiéndose en zonas de la ilegalidad y omisión gubernamental.

Una de las debilidades de este sitio es que gente de la misma comunidad han intentado desarrollar vivienda, azuzados por organizaciones y empresas fantasmas que confrontan al mismo pueblo. La organización de vigilancia Tlali Septiembre Negro, que protege este territorio, desarmó esas intentonas de invasión.

Este lugar cuenta con declaratorias de conservación y, a su vez, es parte del polígono de la Zona Patrimonio Mundial Natural y Cultural de la Humanidad y se encuentra dentro del polígono de la recién declarada Área Natural Protegida Tláhuac-Xico. 35 ha de Tláhuac forman parte del polígono de las 2555 ha de la ANP de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco (Gobierno del Distrito Federal, 2006, pág. 2) Al norte, se encuentra la Sierra de Santa Catarina con una porción declarada también Área Natural Protegida. (Gobierno del Distrito Federal, 2005, 19 agosto, pág. 2).

### **1.3 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.





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.



Figura 8. Vista de zona de chinampas de Tláhuac y estación de metro Tláhuac. Al fondo se puede observar el grado de deforestación en la Zona Chinampera



Figura 9. Vista de Parque Recreativo La Isla, canales de Tláhuac. Al fondo se observa la Laguna de San Gregorio, así como el inicio de Canal de Chalco que corre de oriente a poniente



Figura 10. Vista de canales de chinampas desde la Zona Natural Protegida de Tláhuac.



Figura 11. Ortofoto sobre un antiguo embarcadero de Tláhuac. Se observan los grados de eutrofización sobre sus canales, lo que ha significado un impacto en la calidad de vida de las personas.



Figura 12. Vista de canal de Tláhuac en Barrio de Santa Ana.  
Sitio de descargas sanitarias desde las urbanizaciones sobre Chinampas y la calle Gabriel Hernández



Figura 13. Ortofoto de Laguna de los Reyes, la avenida Tláhuac, y su relación con el área urbana que rodea las chinampas.



Link de visualización de foto 360° Chinampas de Tláhuac

[https://www.google.com/maps/contrib/104286368711894418627/photos/@19.268887,-99.0133465,3a,75y,82.2h,64.85t/data=!3m7!1e1!3m5!1sAF1QipMJoh7tESu730sJn4p0D94h10zHAJ15-Xp8vdQj!2e10!6shttps:%2F%2Fh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipMJoh7tESu730sJn4p0D94h10zHAJ15-Xp8vdQj%3Dw900-h600-k-no-pi25.154085914864993-ya82.20289093288129-ro0-fo100!7i8192!8i4096!4m3!8m2!3m1!1e1?entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI0MTEExNy4wIKXMDSOA SAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/contrib/104286368711894418627/photos/@19.268887,-99.0133465,3a,75y,82.2h,64.85t/data=!3m7!1e1!3m5!1sAF1QipMJoh7tESu730sJn4p0D94h10zHAJ15-Xp8vdQj!2e10!6shttps:%2F%2Fh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipMJoh7tESu730sJn4p0D94h10zHAJ15-Xp8vdQj%3Dw900-h600-k-no-pi25.154085914864993-ya82.20289093288129-ro0-fo100!7i8192!8i4096!4m3!8m2!3m1!1e1?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTEExNy4wIKXMDSOA SAFQAw%3D%3D)

Link de visualización de foto 360° antiguo embarcadero de Tláhuac

[https://www.google.com/maps/contrib/104286368711894418627/photos/@19.2699996,-99.0092722,3a,75y,241.02h,51.04t/data=!3m7!1e1!3m5!1sAF1QipOnWxhXQZrG7vMyFXTKXFCzwJVU8hTS\\_2gcvvK!2e10!6shttps:%2F%2Fh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipOnWxhXQZrG7vMyFXTKXFCzwJVU8hTS\\_2gcvvK%3Dw900-h600-k-no-pi38.961596432310486-ya241.02395411744678-ro0-fo100!7i8192!8i4096!4m3!8m2!3m1!1e1?entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI0MTEExNy4wIKXMDSOA SAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/contrib/104286368711894418627/photos/@19.2699996,-99.0092722,3a,75y,241.02h,51.04t/data=!3m7!1e1!3m5!1sAF1QipOnWxhXQZrG7vMyFXTKXFCzwJVU8hTS_2gcvvK!2e10!6shttps:%2F%2Fh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipOnWxhXQZrG7vMyFXTKXFCzwJVU8hTS_2gcvvK%3Dw900-h600-k-no-pi38.961596432310486-ya241.02395411744678-ro0-fo100!7i8192!8i4096!4m3!8m2!3m1!1e1?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTEExNy4wIKXMDSOA SAFQAw%3D%3D)

Link de visualización de foto 360° Lago de los Reyes

[https://www.google.com.mx/maps/contrib/104286368711894418627/photos/@19.2667991,-99.0069008,3a,75y,90t/data=!3m7!1e1!3m5!1sAF1QipPBssA\\_o4\\_SVTzR7g0OBhuPYjyWhT9RsTX1kHw!2e10!6s%2F%2Fh5.ggpht.com%2Fp%2FAF1QipPBssA\\_o4\\_SVTzR7g0OBhuPYjyWhT9RsTX1kHw%3Dw900-h600-k-no-pi0-ya0-ro0-fo100!7i8192!8i4096!4m3!8m2!3m1!1e1?entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI0MTEExMy4xIKXMDSOA SAFQAw%3D%3D](https://www.google.com.mx/maps/contrib/104286368711894418627/photos/@19.2667991,-99.0069008,3a,75y,90t/data=!3m7!1e1!3m5!1sAF1QipPBssA_o4_SVTzR7g0OBhuPYjyWhT9RsTX1kHw!2e10!6s%2F%2Fh5.ggpht.com%2Fp%2FAF1QipPBssA_o4_SVTzR7g0OBhuPYjyWhT9RsTX1kHw%3Dw900-h600-k-no-pi0-ya0-ro0-fo100!7i8192!8i4096!4m3!8m2!3m1!1e1?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTEExMy4xIKXMDSOA SAFQAw%3D%3D)



### 1.3.2 Recorrido de campo

El trabajo con el nodo Tláhuac de ha realizado en los meses de septiembre y octubre de este año, se ha enfocado en conocer sitios de interés para el nodo dentro de la delimitación del espacio Chinampero, principalmente de la condición del sistema de riego, la baja de niveles en canales y puntos con problemas en el desalojo de descargas de aguas negras en chinampas urbanizadas.

El recorrido inició en la zona de chinampas de Tláhuac, el acceso vehicular fue por avenida Tláhuac, posteriormente se hizo un recorrido a pie por un costado del canal Revolución, hasta llegar a la planta de bombeo, este fue el primer punto para hacer un reconocimiento de la infraestructura del lugar, y del agua que sale de esta infraestructura, donde se percibe que es agua de mala calidad.



Figura 14. Recorrido del grupo técnico y social por los canales de Tláhuac,



Posteriormente se continuó el recorrido en vehículo hasta llegar al siguiente punto señalado por el grupo social, este punto es llamado el de “la cruz”, ya que aquí se encuentra un pequeño nicho de la virgen y una cruz en la parte de arriba, aquí se encuentra una descarga de agua hacia los canales, lo que llama la atención de esta descarga es que el color del agua es amarillento, lo que hace suponer al grupo técnico sobre la idea de que esto es ocasionado por algunos tipos de agroquímicos.



Figura 15 Recorrido del grupo técnico y social por el área chinampera de Tláhuac.



Figura 16. Recorrido en campo por las calles donde el grupo social tiene identificadas las descargas de drenaje directo hacia el canal.



El último punto a visitar fue El Lago de los Reyes, aquí se visualizó el potencial que tiene este embarcadero como punto de reunión social, sin embargo, las instalaciones carecen de un correcto mantenimiento, así como el canal que rodea la plaza central, ya que es agua estancada generando malos olores y acumulación de basura.

Posteriormente se visitó el área de los canales, en específico la calle Severino Ceniceros, en donde se encuentra una descarga de drenaje directa hacia el canal, en este punto se llevó a cabo vuelos de dron para obtener la fotogrametría del lugar, así como fotos panorámicas, fotos 360° y videos de la zona.



# Capítulo 2

## Estudio Hidrológico



## II. Estudio Hidrológico

### 2.1 Sistema Hidrogeológico Tláhuac-Xico

Para los fines del presente documento se determinó como sistema hidrogeológico Tláhuac Xico al conjunto de corrientes de agua superficial, sistemas de drenaje e infraestructura hidráulica que pueden descargar en el cuerpo del lago denominado Tláhuac Xico o exportar las aguas hacia la cuenca de Xochimilco y de la Ciudad de México. También, al acuífero de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México; en el que, de acuerdo con la delimitación administrativa, se localiza el sistema de pozos Mixquic-Santa Catarina.

Se consideraron los aspectos fisiográficos, de uso de suelo, hidrológicos, geológicos, morfológicos, de drenaje e infraestructura, poblacionales, entre otros, para la realización de análisis para estimar el balance hídrico en la zona.

#### 2.1.1 Ubicación geográfica

El Lago Tláhuac-Xico se ubica al sureste de la Ciudad de México en los límites con el Estado de México, su superficie ocupa parte de la Alcaldía de Tláhuac (Ciudad de México) y de Valle de Chalco Solidaridad (Estado de México). Colinda con el municipio mexiquense de Chalco, y de las alcaldías de la Ciudad de México de Milpa Alta y Xochimilco.

En la figura 17 se observa la ubicación del Lago, el cual se encuentra conformado por 5 cuerpos de agua, derivado de las vialidades que lo cruzan (calzada Tláhuac-Chalco y la Av. De Las Bombas, o también llamado camino de los pozos Mixquic-Santa Catarina). Dichos cuerpos se encuentran conectados por un conjunto de tuberías al interior de los terraplenes de las vialidades descritas.

Este Lago se localiza en la subcuenca de Chalco, así mismo, fue parte de un gran sistema lacustre modificado desde tiempos prehispánicos. Paulatinamente fue desecado en los siglos XIX y XX, quedando sólo canales y un cuerpo de agua muy reducido cerca del volcán Xico.

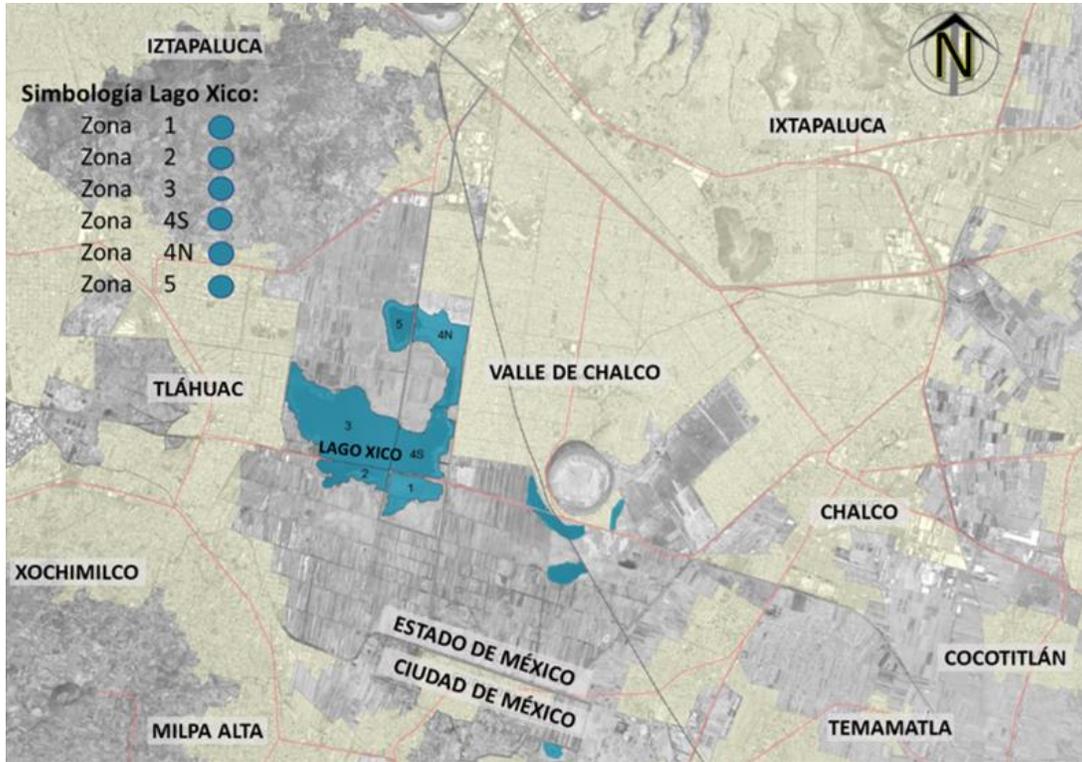


Figura 17. Ubicación y zonas del Lago Tláhuac-Xico y Zonas

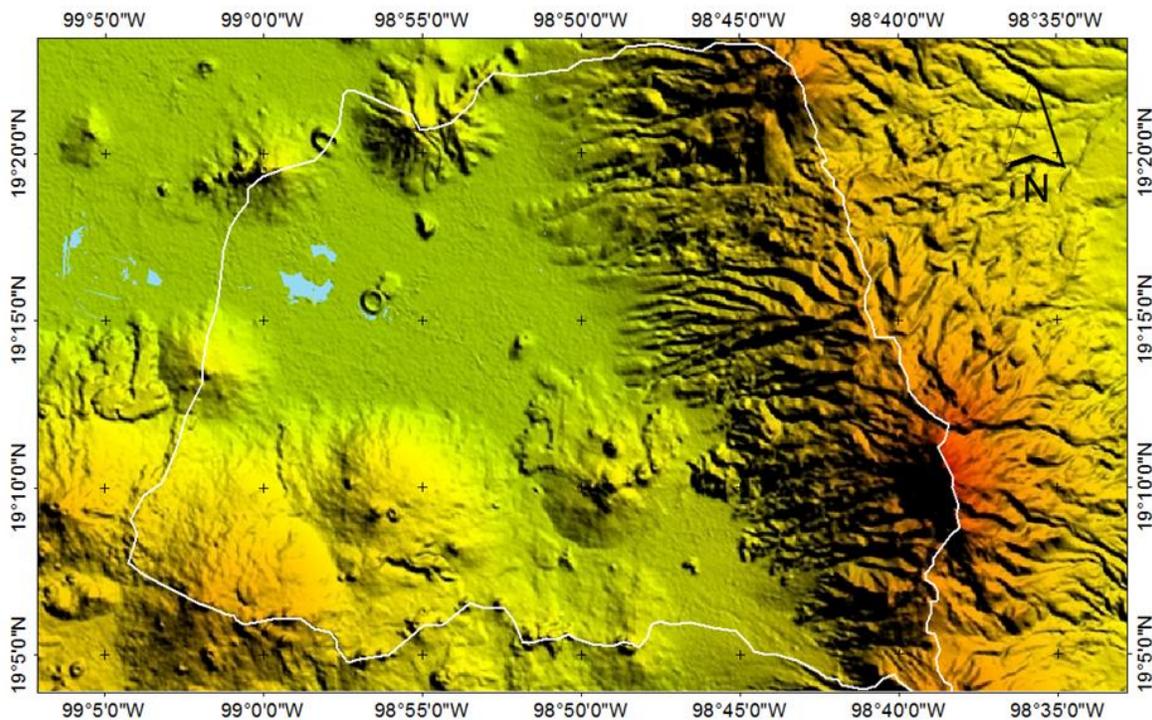


Figura 18. Delimitación morfológica de la subcuenca Chalco. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2013.



Fisiográficamente la subcuenca de Chalco se encuentra limitada por los siguientes rasgos fisiográficos: al este por la Sierra Nevada; al poniente por los cerros La Caldera, Xico y Dos Cerros; al norte por las estribaciones de la Sierra Nevada, cerro Pino y cerro La Caldera; al sur por los cerros Dos Cerros, Xoyocán y Volcán Popocatepetl. En la figura 6 se muestra la delimitación subcuenca de Chalco en donde se localiza la zona de interés.

### 2.1.2 Fisiografía

La zona de estudio está rodeada al sur por el Eje Neovolcánico, donde se encuentran los volcanes Teuhtli, Tláloc y Chichinautzin (entre otros), al este por los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl y al norte por la sierra de Santa Catarina. En la **Error! Reference source not found.** se muestra el Modelo Digital de Superficie de alta resolución (INEGI, 2013) con las elevaciones de la zona de estudio.

En la zona se registran lluvias medias anuales del orden de los 500 mm a los 1200 mm. Alrededor del lago se reconoce un clima templado, hacia la sierra de Santa Catarina y al norte un clima semiárido; hacia los volcanes del sur y del este un clima semifrío. En la figura 20 se muestra la clasificación de climas en la zona de estudio según el sistema Köppen-García adaptado para México (García-CONABIO, 1998) y las isoyetas de precipitación media anual estimadas a partir de la información disponible en las estaciones climatológicas de la región.

La superficie de la zona de estudio está conformada por suelos de textura fina y media alrededor del lago y de textura gruesa hacia la sierra de Santa Catarina y hacia el municipio de Amecameca. La mayoría de la superficie está ocupada por asentamientos humanos y suelos agrícolas.

En la figura 21 se muestra la clasificación de texturas asignadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía a los suelos de la zona y su clasificación por la Base Referencial Mundial (WRB) para el uso del recurso (INIFAP-CONABIO, 1995; INEGI, 2004).

En la figura 22 se muestra una clasificación simplificada del mapa de cobertura del suelo elaborado por la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CEC, 2015).

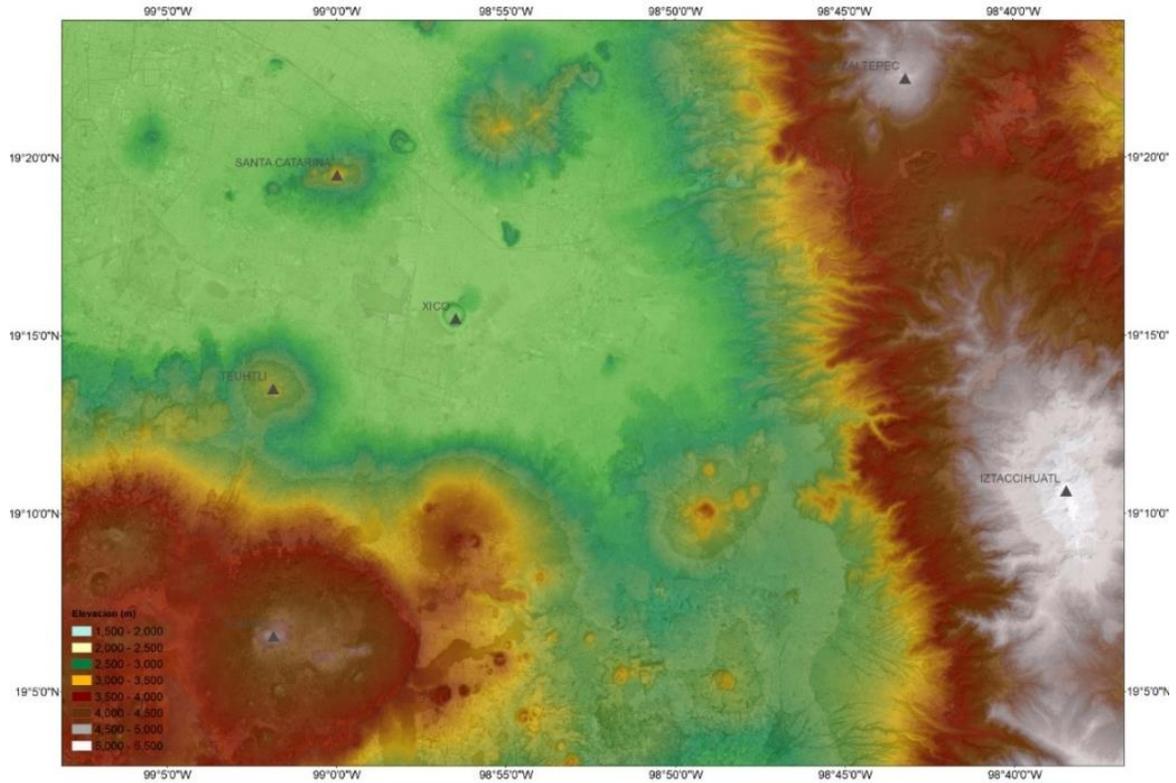


Figura 19. Topografía de la zona de estudio

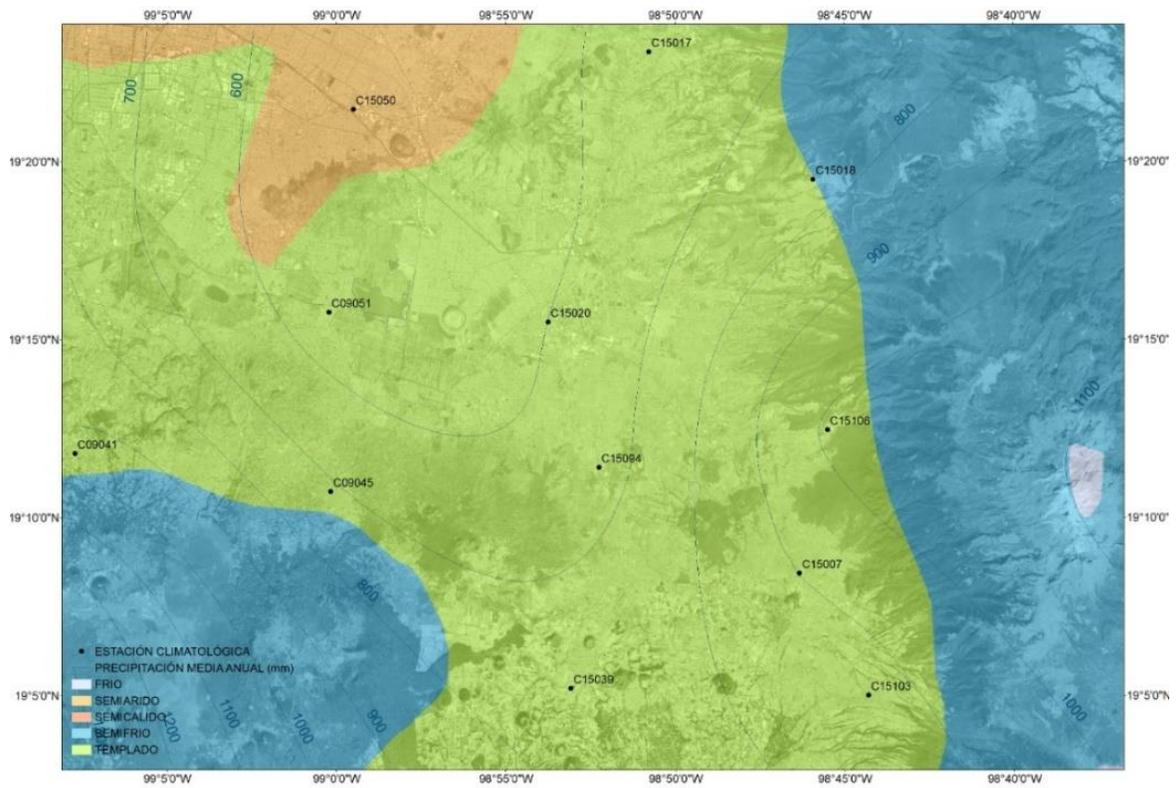


Figura 20. Clasificación de climas e isoyetas de la zona de estudio

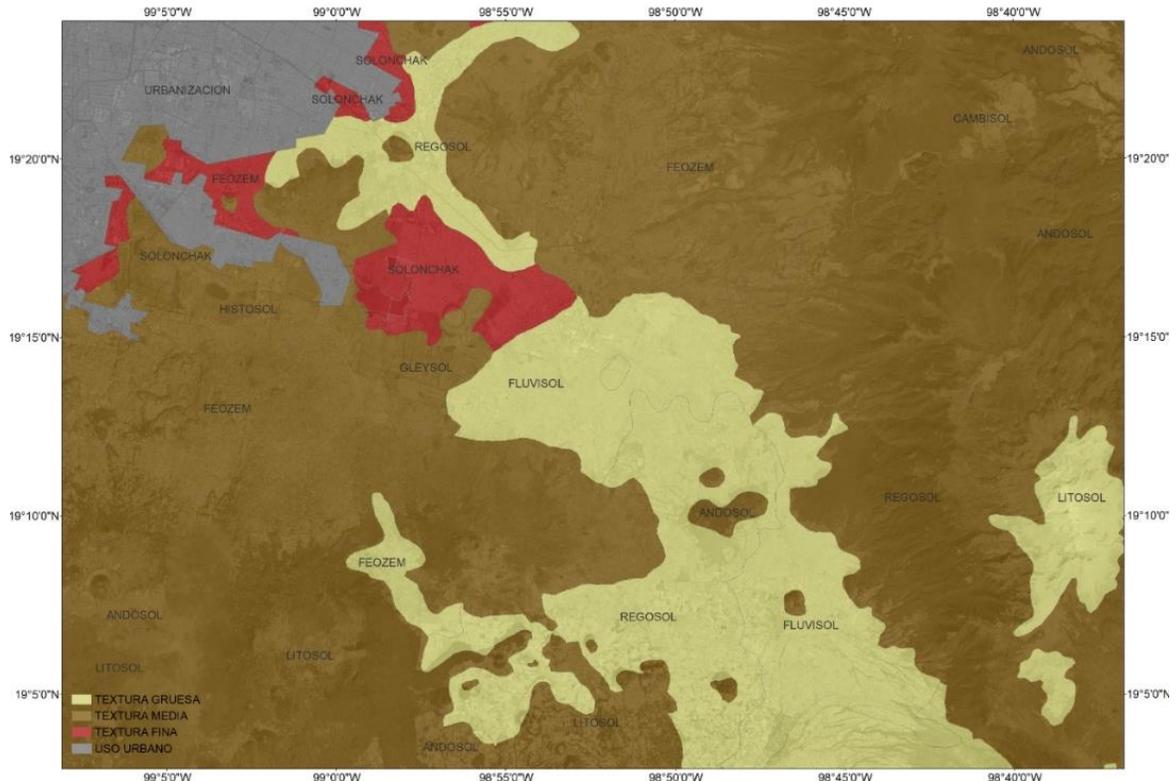


Figura 21. Edafología de la zona de estudio

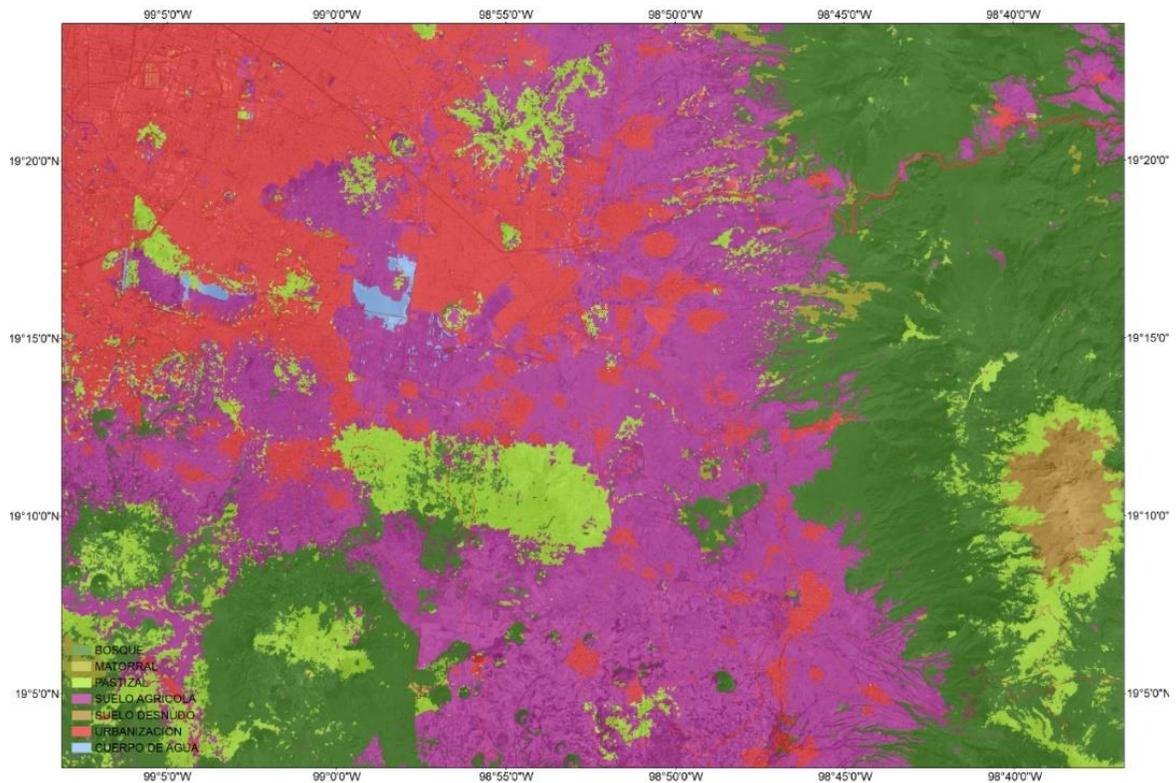


Figura 22. Cobertura vegetal en la zona de estudio



### 2.1.3 Geología

Propiamente, la zona del Lago Tláhuac-Xico, forma parte del denominado Eje Neovolcánico, un espacio donde la corteza terrestre ha sufrido grandes esfuerzos tectónicos desde principios del Terciario, se caracteriza por el predominio de derrames basálticos Cuaternarios, derivados de los numerosos aparatos volcánicos existentes, así como de la presencia de importantes lagos, cuya morfología, orientación y distribución superficial sugieren estar situados en fosas tectónicas, esta es una de las características por la que algunos autores le asigna este último nombre a esta provincia fisiográfica.

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 (CONAGUA, 2020).

El régimen endorreico de la subcuenca de Chalco y en general del Valle de México, con 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 incluyendo la subcuenca de Chalco, 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, Tláhuac y Chalco, delimitados por las montañas que circundan la Cuenca de México, de origen volcánico destacándose la Sierra Nevada que se encuentra hacia el este y la Sierra Chichinautzin, en el sur.

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.

Los procesos geomorfológicos ocurridos dentro de la subcuenca de Chalco han modificado considerablemente el relieve superficial original del mismo; de esta forma, la morfología de esta subcuenca es variada. En ella, se presentan diversos tipos de estructuras volcánicas bien conservadas, además de extensos derrames basálticos, sobre



los que se han originado algunos lagos, debido, en términos generales al cierre de la cuenca del Valle de México.

La presencia de las sierras perimetrales es uno de los aspectos físicos que caracterizan y limitan a la cuenca de Chalco; sin embargo, en su interior el relieve es básicamente suave, dominando las llanuras lacustres con altitudes promedio de 2,230 msnm, ubicadas en la porción noroccidental de la subcuenca, que solo se ve interrumpida por la presencia de algunas elevaciones topográficas, de relativa altura, entre las que destacan en su porción central el cerro de Xico.

Históricamente, se ha señalado, que las aguas formaron un enorme lago, del que se separaban otros menores: Zumpango, Xaltocan, San Cristóbal, Chalco y Xochimilco, hasta alcanzar los 10 m de profundidad, pero cuyo volumen mermaba por la evaporación, la infiltración y la transpiración de las plantas.

Por su parte, se señala que el lago de Chalco recibía agua constante, procedente de los deshielos de los volcanes nevados y el de Xochimilco se nutría de manantiales de la misma cuenca; mientras que el lago de Texcoco captaba corrientes de carácter torrencial provenientes del Cerro Tláloc, ubicado al norte de la Sierra Nevada.

Las características morfológicas de la subcuenca, a través del modelo digital de elevación muestran que la zona de estudio se presenta básicamente en la zona de planicies; con valores de pendientes de 0° a 4°, y altitudes medias entre 2,260 a 2,300 msnm. Un 39% del área es de piedemontes. Estos se distinguen principalmente por presentar un origen exógeno acumulativo (denudatorio y tectonizado) del Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno), y estar compuestos de lavas, tobas, cenizas y depósitos epiclásticos y piroclásticos de flujo; algunos de ellos presentan forma de abanico con una composición de basalto y basalto-andesítica. Estos piedemontes se localizan al noreste, centro noroeste y sur de la subcuenca de Chalco.

## 2.2 Cuenca Hidrográfica

El Lago denominado Tláhuac Xico surge en las últimas dos décadas, en la planicie lacustre de Chalco, debido a los hundimientos diferenciales del terreno provocados por la sobreexplotación del acuífero subyacente, a través del bombeo en el sistema de pozos Mixquic - Santa Catarina (Ortiz y Ortega, 2007).

La cuenca hidrográfica de este lago es parte de lo que antiguamente fue la cuenca endorreica del lago de Chalco. Sin embargo, actualmente por el crecimiento urbano y el desarrollo de sistemas de drenaje pluvial y sanitario, gran parte de los escurrimientos que se generan son exportados hacia otras cuencas. En la figura 13 se muestra la red hidrográfica de la zona de estudio resaltando las principales corrientes de agua superficial.

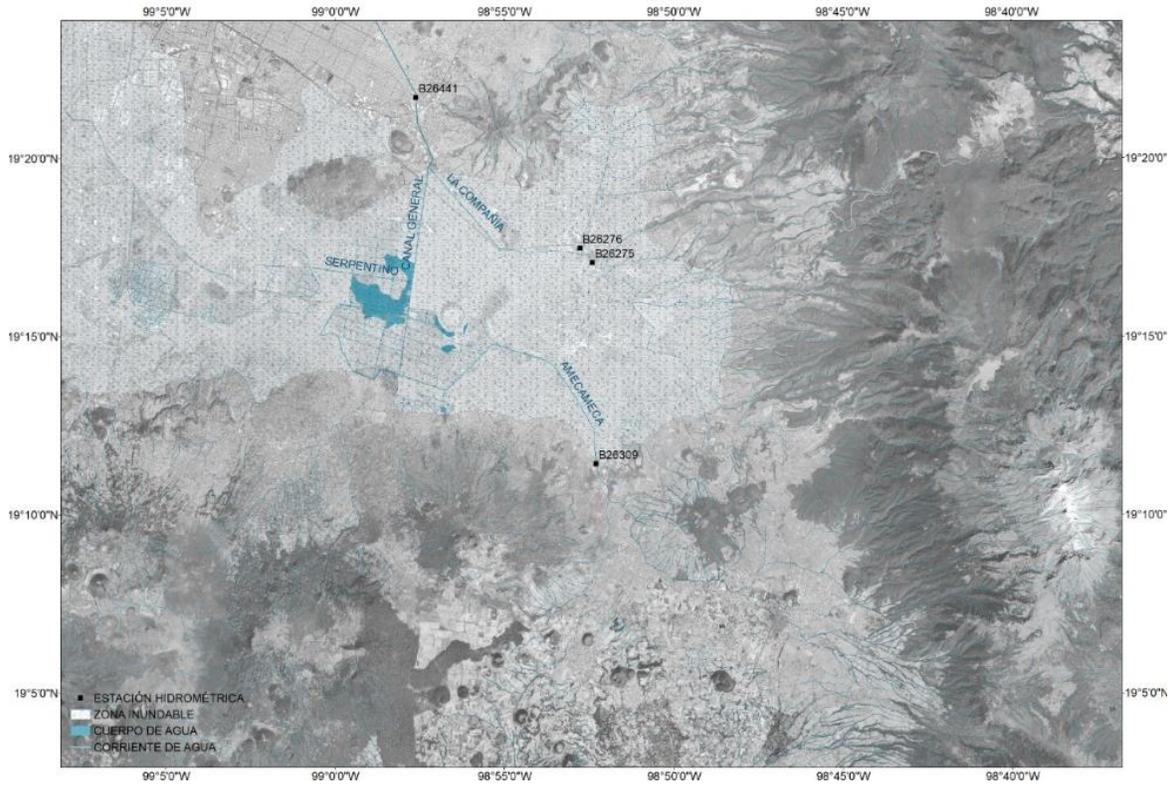


Figura 23. Hidrografía de la zona de estudio

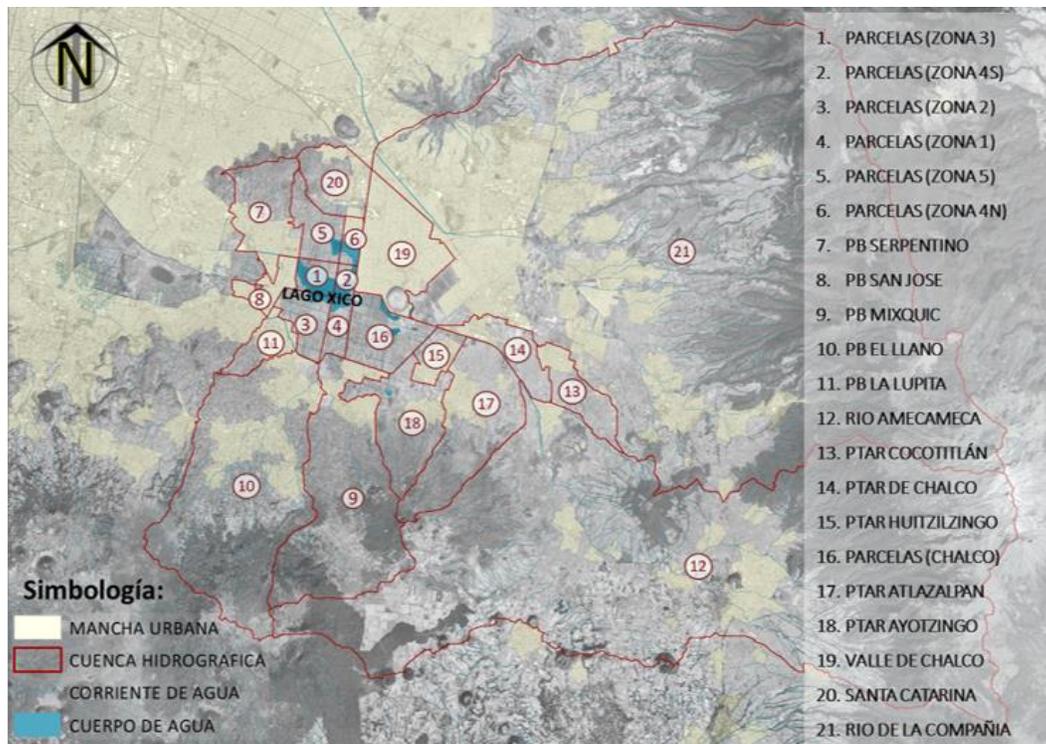


Figura 24. Cuencas hidrográficas de la zona de estudio



Debido al gran número de plantas de bombeo y plantas de tratamiento del sistema de drenaje de las localidades cercanas al lago, que regulan y direccionan los escurrimientos, y al gran número de parcelas agrícolas alrededor del lago, se identificaron 21 cuencas hidrográficas como se muestran en la figura 14.

### 2.3 Potencial de Agua Residual

Uno de los principales objetivos del proyecto de “Habilitación y Aprovechamiento Integral del Agua en el Lago Tláhuac-Xico” es reusar las descargas residuales de las alcaldías de Tláhuac y Valle de Chalco para cubrir el déficit de agua potable. Según el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) (CONAGUA, 2015), el caudal de agua residual de una población es aproximadamente entre el 70 y 80 % de su dotación. Para las alcaldías de Tláhuac y Valle de Chalco la dotación actual es de aproximadamente 170 l/hab/día.

Para estimar la variación interanual de las descargas residuales, primero se estimaron unas curvas de probabilidad acumulada con todo el rango posibles de descargas de las alcaldías de Tláhuac y Valle de Chalco. Estas curvas se construyeron (siguiendo las recomendaciones del MAPAS para el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario) a partir de 3 puntos: A) Caudal mínimo, igual al 50% del caudal medio, B) Caudal medio, igual al 80% de la dotación media y C) Caudal máximo, igual al 80% del abastecimiento máximo diario. Como las descargas residuales son una fracción del consumo de agua potable, y la demanda de agua potable aumenta con la temperatura; las descargas residuales se relacionaron con los rangos de temperaturas mensuales en la zona del lago. Con esta relación se construyeron unos hidrogramas de agua residual potencial para Tláhuac y Valle de Chalco. (Figura 15).

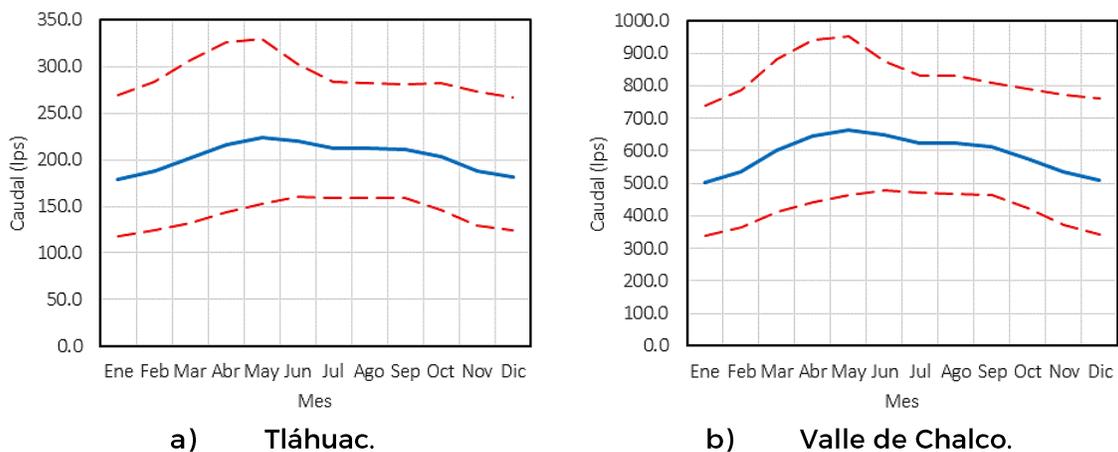


Figura 25. Potencial de agua residual. --- Mínimo – Medio -.- máximo



# Capítulo 3

## Propuesta Conceptual de Humedales para el Reúso de Agua Tratada a través del Lago Tláhuac - Xico



## **III. Propuesta Conceptual de Humedales para el Reúso de Agua Tratada a través del Lago Tláhuac - Xico**

### **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 (CO<sub>2</sub>).

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 (CO<sub>2</sub>).



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 Cuauhtepc 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).



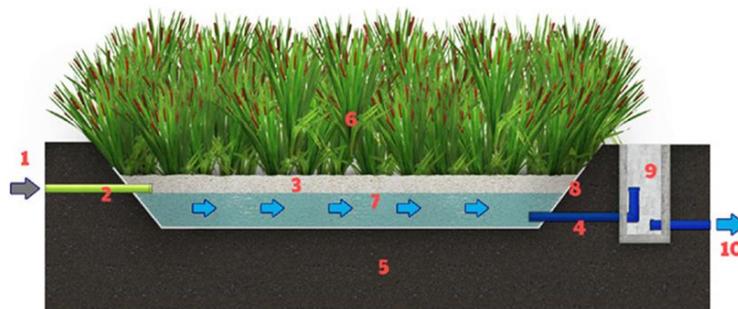
Figura 26. Corte esquemático humedal flotante, componentes del humedal



Figura 27. 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.



- |                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1 - Entrada                 | 6 - Plantas                          |
| 2 - Sistema de alimentación | 7 - Nivel de agua saturada           |
| 3 - Medio poroso            | 8 - Revestimiento impermeable        |
| 4 - Sistema de drenaje      | 9 - Boca de inspección de regulación |
| 5 - Suelo original          | 10 - Salida                          |

Figura 28. 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).

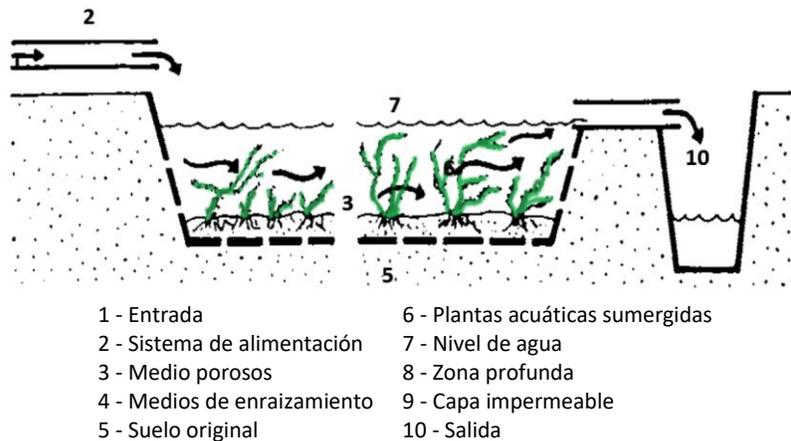
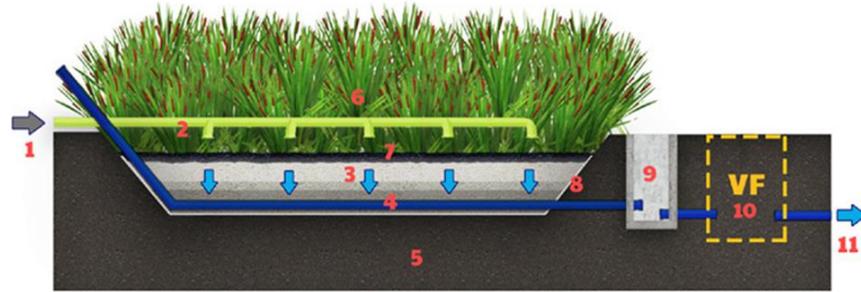


Figura 29. Corte esquemático humedal de macrófitas sumergidas, componentes del humedal.

### 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).

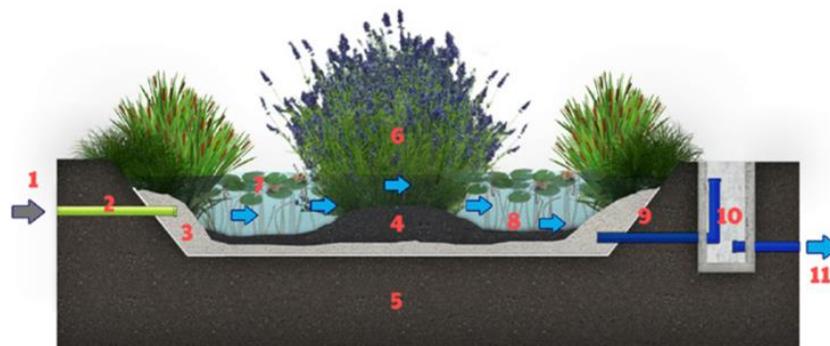


- |                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1 - Entrada                 | 7 - Capa de lodo                     |
| 2 - Sistema de alimentación | 8 - Revestimiento impermeable        |
| 3 - Medio poroso            | 9 - Boca de inspección de regulación |
| 4 - Sistema de drenaje      | 10 - Segunda etapa de flujo vertical |
| 5 - Suelo original          | 11 - Salida                          |
| 6 - Plantas                 |                                      |

Figura 30. 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.



- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 1 - Entrada  | 7 - Nivel de agua                     |
| 2 - Sistema de alimentación  | 8 - Zona profunda                     |
| 3 - Medio poroso   | 9 - Capa impermeable                  |
| 4 - Medios de enraizamiento  | (geomembrana o arcilla compacta)      |
| 5 - Suelo original   | 10 - Boca de inspección de regulación |
| 6 - Diferentes plantas acuáticas correspondientes a diferentes niveles de agua | 11 - Salida                           |

Figura 31. Corte esquemático humedal flujo superficial, componentes del humedal.



### 3.5 Propuesta de Humedales para el Lago Tláhuac-Xico

Se proponen el establecimiento de un sistema de humedales que sea capaz de tratar el agua residual proveniente de San Juan Ixtayopan, así como barreras de vegetación a los márgenes de las zonas que mitiguen el aporte de contaminantes por arrastre o acarreo superficial provenientes de las zonas agrícolas aledañas.

Los Humedales Artificiales (HA) son sistemas de depuración biológica de aguas residuales que basan el proceso de degradación de contaminantes mediante la interacción de sus constituyentes principales. Este tipo de sistemas pueden dividirse en dos tipos en función de su tipo de flujo, pueden ser Humedales Artificiales de tipo Subsuperficial (HAFSS) y Humedales de tipo Superficial (HAFS). Los HAFSS se caracterizan porque el flujo de agua discurre de forma subterránea, favoreciendo que el agua a tratar no quede expuesta al ambiente y permiten la depuración de cargas elevadas de contaminantes, mientras que los HAFS son sistemas inundados con espejo de agua expuesto al ambiente y son acompañados de extensa vegetación de hidrófitas. Sin embargo, estos últimos tienen menor capacidad de depuración por lo cual son empleados para los pulimentos de los HAFSS, pero los HAFS mantienen un mejor entorno paisajístico de lugar y son propicios para la preservación de la vida silvestre ya que proveen de un nicho ecológico para diversos tipos de organismos.

Cuadro 1. Especificaciones por Módulo en el sistema de humedales de la Zona II del Lago Tláhuac-Xico.

Módulo	Área efectiva de tratamiento	Descripción
Pretratamiento	3 000 m <sup>2</sup>	Sistema de cribado y sedimentación
Módulo Primario HAFSS	12 000 m <sup>2</sup>	3 celdas de HAFSS de 3000 m <sup>2</sup> (90 m x 33 m) 2 celdas de HAFSS de 1500 m <sup>2</sup> (45 m x 16.5 m) Profundidad de la celda 0.80 m Material de empaque a emplear (agregado mineral Riolita)
Módulo Primario HAFS	4 300 m <sup>2</sup>	4 celdas circulares de 18 m de radio, sin material de empaque
Módulo Secundario HAFSS	15 000 m <sup>2</sup>	5 celdas de HAFSS de 3000 m <sup>2</sup> (90 m x 33 m) Material de empaque a emplear (agregado mineral Riolita + calcita)
Módulo Terciario HAFSS	15 000 m <sup>2</sup>	5 celdas de HAFSS de 3000 m <sup>2</sup> (90 m x 33 m) Material de empaque a emplear (agregado mineral Riolita).



La zona destinada para los sistemas de humedales se encuentra en la zona II dentro de la Tabla agrícola 28 y contará con superficie disponible de 10 ha. El sistema ocupará un área total de tratamiento de 8.5 ha y una superficie activa con base a humedales 5.7 ha. En el cuadro 1 se desglosan las especificaciones del diseño conceptual para los sistemas de Humedales.

### 3.6 Componente vegetal

La vegetación en los humedales artificiales comprende el empleo de diversas especies vegetales hidrófitas según la vocación del sistema. Para su selección se consideraron los siguientes criterios:

- Capacidad de remoción de sedimentos.
- Tolerancia a los niveles de sedimentos y calidad del agua.
- Adaptabilidad a los medios de soporte con concentración mineral.
- Profundidad de la raíz adecuada (entre 0.40 y 0.60 m)
- Fuerza de empuje moderada de crecimiento en raíz.
- Resistencia a un amplio rango de temperaturas, en particular a los registrados en el lugar.
- Tolerancia a exposición prolongada a los rayos directos del sol.
- Resistencia a concentraciones variables de contaminantes.
- Compatibilidad con la biopelícula de microorganismos.
- Sencillez de manipulación.
- Facilidad de propagación.
- Disponibilidad a lo largo del año.
- Estética (color, talla y tamaño).
- Facilidad de mantenimiento, transporte nutrimentos disponibles, luz y humedad).
- Condiciones del componente acuático (movimientos de la columna de agua).
- Diseño del sistema.

De tal manera que para para el Módulo primario de HAFSS, las especies a emplear son de características depuradoras, mientras que para el caso del Módulo Secundario y Terciario de HAFSS se emplearán:

- *Phragmites australis* (carrizo)
- *Juncus effusus* (tulillo o junco)

Mientras que las cuatro celdas del Módulo primario de HAFS emplearán dos especies depuradoras de contaminantes:

- *Pistia stratiotes* (lechuga de agua)
- *Wolffia globosa* (lenteja de agua)



Cuadro 2. Organismos vegetales para los sistemas HAFSS y HAFS.

Especie	Número de ejemplares
<i>Schoenoplectus californicus</i>	8 000
<i>Phragmites australis</i>	8 000
<i>Juncus effusus</i>	8 000
<i>Pistia stratiotes</i>	4 000
<i>Wolffia globosa</i>	8 kg

### 3.7 Beneficios esperados

En los últimos años, los HA se han convertido, a escala mundial, en una alternativa altamente viable con respecto a los sistemas convencionales de depuración de aguas residuales. Estos son sistemas activos de depuración en los que se imitan los procesos físicos, químicos y biológicos típicos de un humedal natural, pero diseñado y construido con el propósito principal de tratar aguas residuales de origen doméstico y similares, y confinándolo a un espacio definido.

Los beneficios que han motivado el creciente interés por esta tecnología son los siguientes:

- Proporcionan un tratamiento eficaz, eliminando de las aguas residuales un amplio número de contaminantes: materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos, metales pesados, etc.
- Sus costos de inversión, operación y mantenimiento son significativamente menores que los de los sistemas convencionales de tratamiento.
- Proporcionan un tratamiento secundario y/o terciario, produciendo un agua reutilizable en muchos casos.
- La generación de subproductos (lodos) es mucho menor que la de los sistemas tradicionales. A valores a menores a un 20 % con respecto a los lodos activados, en términos comparativos.
- Soportan las fluctuaciones de caudal o de carga contaminante.
- Están bien integrados dentro del paisaje y contribuyen al desarrollo de vida silvestre.
- Tienen la posibilidad de ser utilizados para fines didácticos y de educación ambiental.



- Poseen facilidad de operación, lo que hace factible que jardineros o trabajadores habituados a actividades propias de parques o espacios verdes realicen las tareas de operación y mantenimiento (no requieren de mano de obra calificada).
- Calidad de agua acorde con los requerimientos establecidos con las normas nacionales internacionales vigentes.
- Su diseño puede ser modular, lo cual favorece la obtención de un agua tratada con distintas calidades para diferentes reúsos (riego de áreas verdes, descarga en cuerpos de agua, etc.).
- El diseño modular de este tipo de tecnologías facilita que se puedan construir por etapas; en el caso de que no se cuente con los recursos suficientes o si se tiene programado un crecimiento de la demanda del tratamiento de aguas residuales a futuro.
- El tiempo de vida útil está por encima de los 25 años.
- Ofrecen resultados satisfactorios, cuando son alimentados con aguas que contengan detergentes, materiales tóxicos, metales y/o hidrocarburos.
- Si son operados correctamente no hay generación de malos olores, ni presencia de mosquitos.
- No requieren de la adición de productos químicos o suplementos para mejorar la calidad del agua.





Figura 33. Imagen objetivo del proyecto Tláhuac - Xico



## Conclusión

El proyecto del lago de Xico, 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](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>
- 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.
- Burns, J, Monroy, O, Amores, L., Flores, J y Jiménez, L. (coords.) 2022. Proyecto de Aprovechamiento y Manejo Ambiental del Lago Tláhuac-Xico Informe final. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Comisión Nacional del Agua, el gobierno de la Ciudad de México, la Secretaría del Agua de la Ciudad de México, el gobierno del Estado de México y la Comisión del Agua del Estado de México.
- 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.
- 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.
- 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.