



**El Colegio  
de la Frontera  
Norte**



**LAS CHINAMPAS DEL HUMEDAL DE XOCHIMILCO:  
SISTEMAS DE BIORREMEDIACIÓN PARA LA  
SOSTENIBILIDAD**

Tesis presentada por

**Ximena Aide Mendoza Correa**

para obtener el grado de

**MAESTRA EN ADMINISTRACIÓN INTEGRAL DEL  
AMBIENTE**

Tijuana, B. C., México  
2018

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Director de Tesis:

\_\_\_\_\_  
Dr. José de Jesús Paniagua Michel

Aprobada por el Jurado Examinador:

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

## AGRADECIMIENTOS

Mi reconocimiento y más profundo agradecimiento a las y los mexicanos quienes con sus impuestos hacen posible la inversión en ciencia y tecnología. Sin su labor las becas CONACYT no serían posibles, reconozco que tengo un gran compromiso con ustedes.

Agradezco a mi familia, quienes aún a la distancia siempre están presentes y pendientes de mí y cuyo apoyo me es invaluable. Ustedes me motivan para conseguir estos logros y a superarme día con día.

A mis compañeros y amigos MAIAs, gracias por el apoyo personal y académico, el aprendizaje, la diversión, los paseos, etc. Gracias por su disposición para enfrentar cada reto como un buen equipo. A mis amigos de otras maestrías, doctorados y roommates, gracias por los consejos de sabiduría, por las discusiones, por los paseos, por las risas, la comida, etc. Gracias a ustedes, me sentí bienvenida desde el primer día en Tijuana.

A mi comité de tesis, el Dr. José de Jesús Paniagua, Dr. Oscar Pombo y Dr. Cristian Tovilla, gracias por su valioso apoyo. Gracias a su guía y compromiso pude sacar adelante este proyecto. Al Mtro. David Herrera quien jamás dudó en apoyarme aún cuando la situación era complicada, gracias por su tiempo, explicaciones y consejos sobre la vida, tolerancia y resolución de conflictos.

Al equipo de REDES A.C. y en especial a la Mtra. Elsa Valiente por permitir que me involucrara en su valiosa labor de rescate de la fauna nativa de Xochimilco, sus tradiciones y apoyo a los agricultores. Agradezco también a los campesinos de Xochimilco, por su tiempo y disposición.

Agradezco a CONACYT por el apoyo económico brindado durante mis estudios de maestría, y como mexicana, confío en su compromiso de seguir apoyando a las futuras generaciones de estudiantes. Igualmente agradezco al COLEF, al CICESE y a ECOSUR por la preparación recibida. Una mención especial a la planta docente y administrativa del COLEF, quienes siempre estuvieron presentes con palabras de aliento, apoyo académico y sobre todo con la mejor disposición de ayudarnos en la medida de sus posibilidades. Al personal de biblioteca, quien supera las expectativas por su disposición.

## RESUMEN

El rescate de la ecología y tradiciones del humedal de Xochimilco debe ser una prioridad para las instituciones gubernamentales y la población de la Ciudad de México. Las propuestas de restauración deben estar encaminadas hacia la consecución de la sostenibilidad del lago. En este trabajo se describe y analiza a la *chinampa* a través de sus componentes vegetales para determinar las contribuciones ambientales de biorremediación que llevan a cabo, su influencia en la calidad del agua y en consecuencia sobre la sostenibilidad del sitio.

Se verificaron las capacidades de biorremediación de las especies de plantas existentes en el Área Natural Protegida de Xochimilco, se llevó a cabo un análisis de los datos existentes de calidad de agua de los canales y se identificó el contexto socio-económico de los habitantes y trabajadores de la zona, para analizar la influencia que las *chinampas* y el tipo de uso de suelo tienen sobre la calidad del agua y la sostenibilidad del humedal.

La sectorización socio-económica de la zona, la existencia de *chinampas* y el índice de calidad de agua, mostraron heterogeneidad ecológica y social en Xochimilco. Se observa una mejor calidad de agua en sitios con presencia de *chinampas* agrícolas, atribuible a la capacidad de las plantas de extraer los principales contaminantes del humedal. En este contexto, la revalorización de la *chinampa* como un elemento base para la restauración del humedal permitiría trazar un rumbo hacia la sostenibilidad.

**Palabras clave:** *chinampa*, Azteca, humedal, biorremediación, eco-agricultura, sostenibilidad

## ABSTRACT

Rescuing the ecology and traditions of the Xochimilco wetland should be a priority for the government institutions and the population of Mexico City. The restoration proposals should be directed towards the achievement of sustainability. In this research the *chinampa* is described and analyzed through its plant components to determine the environmental bioremediation contributions that they carry out, their influence on water quality and, consequently, on the sustainability of the site.

In order to analyze the influence that the *chinampas* and the type of land use have on the water quality and the sustainability of the wetland, the procedure that was followed was to verify the bioremediation capabilities of the existing plant species in the Xochimilco Natural Protected Area, also an analysis with the existing data about water quality was carried out and the socio-economic context of the zone was identified.

The socio-economic sectorization of the area, the existence of *chinampas* and the water quality index, showed ecological and social heterogeneity in Xochimilco. A better water quality was detected in those sites with agricultural *chinampas*, attributable to the capacity of the plants to extract the main pollutants from the wetland. In this context, the revaluation of the *chinampa* as a base element for the wetland restoration could become a sustainability pathway.

**Keywords:** *chinampa*, Aztec, wetland, bioremediation, ecoagriculture, sustainability

# ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA.....	4
1.1 Identificación del problema .....	4
1.2 Delimitación del problema (espacio-temporal) .....	8
1.3 Pregunta(s) de investigación .....	11
1.4 Justificación .....	11
1.5 Objetivos de la investigación (general y particulares).....	12
1.6 Objetivos particulares: .....	12
1.7 Hipótesis .....	12
1.8 Estrategia metodológica.....	13
II. HUMEDALES .....	20
2.1 ¿Qué son y cuál es su importancia en los servicios ecosistémicos? .....	20
2.2 Humedales urbanizados en la sostenibilidad urbana .....	23
2.2.1 Sostenibilidad de las ciudades .....	23
2.2.2 Humedales Urbanizados Afectaciones al ecosistema.....	25
2.2.3 Afectaciones al agro-ecosistema.....	28
2.3 Componentes de los humedales, lagos y su degradación .....	30
2.4 Procesos biogeoquímicos de los humedales .....	31
2.4.1 Importancia de los humedales en la calidad del agua.....	31
2.5 Conocimiento científico: Biorremediación.....	38
2.6 Conocimiento tradicional Humedales y sostenibilidad.....	42
2.6.1 Prácticas tradicionales.....	43
III. LA CHINAMPA: UNA ECOTECNOLOGIA DEL INGENIO AZTECA.....	46
3.1 Las <i>chinampas</i> : estructura y función, potencial de biorremediación.....	48
3.2 Estructura y Función General de <i>Chinampas</i> : Endémicos y exóticos .....	49
3.3 Principales contaminantes del ANP de Xochimilco: .....	52
3.4 Componentes de las <i>Chinampas</i> y su relación con la Biorremediación (fotos): ...	54
3.4.1 Árboles (Nombre coloquial/científico):.....	57
3.4.2 Plantas vasculares: terrestres.....	63
3.4.3 Plantas vasculares: Herbáceas acuáticas.....	66
3.4.4 Pastos (ídem).....	67
3.4.5 Acuáticas flotantes.....	68

3.4.6 Microorganismos y su función en la Bioremediación .....	72
3.4.7 <i>Chinampa</i> modelo.....	73
3.5 Consideraciones .....	75
IV. CHINAMPAS Y SOSTENIBILIDAD.....	76
4.1 Contexto socioeconómico del sitio .....	76
4.1.1 San Gregorio Atlapulco .....	78
4.1.2 Xochimilco.....	81
4.1.3 San Luis Tlaxialtamalco .....	85
4.2 Situación de calidad de agua.....	87
4.2.1 Sector 1: <i>Chinampas</i> de Xochimilco .....	92
4.2.2 Sector 2: Sector de transición de Xochimilco.....	96
4.2.3 Sector 3: Sector de turístico-urbano de Xochimilco .....	97
4.3 Restauración ecológica y sostenibilidad .....	99
4.4 Beneficios y uso de las <i>chinampas</i> en el ANP.....	102
4.4.1 Sector agrícola .....	104
4.4.2 Sector turístico .....	106
4.4.3 Sector urbano y de invernaderos.....	109
4.5 Consideraciones .....	110
CONCLUSIONES.....	113
Biorremediación y sostenibilidad.....	113
4.6 Sostenibilidad: Influencia sobre el humedal .....	116
BIBLIOGRAFÍA .....	119
ANEXO: ENCUESTA PERSONALIZADA DE LA PROBLEMÁTICA Y PERCEPCIÓN AMBIENTAL DE CHINAMPAS Y ÁREA DE ESTUDIO DEL HUMEDAL XIMILCO....	i

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. 1 Reconocimientos de la zona .....	9
Tabla 1. 2 Sectores del área de estudio.....	15
Tabla 1. 3 Metodología para obtener el índice de calidad de agua .....	18
Tabla 2. 1 Problemáticas de la zona .....	29
Tabla 2. 2 Clasificación de zonas de los lagos .....	30
Tabla 3. 1 Metales pesados presentes en Xochimilco .....	54
Tabla 3. 2 Cruce de información: Vegetación de Xochimilco vs Capacidades de biorremediación .....	55

Tabla 4. 1 Características del sistema chinampero.....	78
Tabla 4. 2 Parámetros de calidad del agua para Xochimilco.....	88
Tabla 4. 3 de Calidad de agua de los sectores del ANP de Xochimilco.....	88
Tabla 4. 4 Superficie ocupada por <i>chinampas</i> en los sectores de Xochimilco.....	90
Tabla 4. 5 Índice de calidad del agua de sector 1 en Xochimilco .....	93
Tabla 4. 6 Índice de calidad del agua de sector 2 de Xochimilco .....	97
Tabla 4. 7 Índice de calidad del agua del sector 3 de Xochimilco .....	98
Tabla 4. 8 Beneficios y usos de las <i>chinampas</i> en el ANP de acuerdo con las esferas de la sostenibilidad y tipo de uso de suelo existentes en los sectores ubicados dentro del polígono.....	103
Fig. 1. 1 Ubicación de la delegación Xochimilco en Ciudad de México .....	4
Fig. 1. 2 Polígono del Área Natural Protegida .....	5
Fig. 2. 1 Zonas del lago de acuerdo con su profundidad.....	31
Fig. 2. 2 Proceso de recuperación del humedal .....	33
Fig. 2. 3 Proceso de eutrofización .....	35
Fig. 3. 1 Estratos de la <i>chinampa</i> tradicional .....	51
Fig. 3. 2 Estructura de la <i>chinampa</i> tradicional.....	52
Fig. 3. 3 Barrera de ahuejotes ( <i>S. bonplandiana</i> ) al borde de las <i>chinampas</i> .....	58
Fig. 3. 4 Cultivo de jitomate en una <i>chinampa</i> con suelo salino en Xochimilco .....	65
Fig. 3. 5 Tasas de asimilación de nutrientes .....	74
Fig. 4. 1 Zonificación dentro del polígono del ANP de Xochimilco.....	77
Fig. 4. 2 Mapa de San Gregorio Atlapulco: índice de reforestación de las <i>chinampas</i> de acuerdo al número de árboles encontrados.....	79
Fig. 4. 3 Mezcla de técnicas modernas y tradicionales .....	80
Fig. 4. 4 Mezcla de técnicas modernas.....	81
Fig. 4. 5 Zonificación de Xochimilco.....	82
Fig. 4. 6 Actividades del sector X-3 .....	84
Fig. 4. 7 Canal e invernadero en San Luis Tlaxialtemalco.....	85
Fig. 4. 8 Usos de suelo de San Luis Tlaxialtemalco.....	86
Fig. 4. 9 Mapa del polígono del Área Natural Protegida de los Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco dividido en sectores .....	87
Fig. 4. 10 Representación gráfica de índice de calidad de agua de los diferentes sectores..	89
Fig. 4. 11 Mapa del sector 1 con canales y la calidad del agua.....	94
Fig. 4. 12 Representación gráfica del índice de calidad del agua del sector 1 .....	94
Fig. 4. 13 Mapa de sector 1 con canales que tienen descargas de aguas negras y grises .....	95
Fig. 4. 14 Mapa de sector 3 con canales que tienen descargas de aguas negras y grises .....	99
Fig. 4. 15 Esquema de una intervención de restauración .....	101
Fig. 4. 16 <i>Chinampa</i> con bordes deteriorados y expendio de pulque.....	107

## INTRODUCCIÓN

La humanidad actualmente enfrenta problemas ambientales de los que no hay registro. El crecimiento de la población mundial aunado al consumo insostenible, demanda recursos naturales y Servicios Ecosistémicos (SE) de todo el mundo. Estas acciones han deteriorado el funcionamiento natural de los ecosistemas, entre ellos el de los humedales, que son considerados como uno de los ecosistemas más importantes debido a la cantidad de SE que son capaces de brindar (Mitsch, W.J., Gosselink, J.G., 2007 en Mulkeen et al., 2017). Esta situación evidencia la insostenibilidad de las acciones humanas.

Ante este escenario, la comunidad internacional ha decidido hacer un frente común con la propuesta de la Agenda 2030, un plan mundial que pretende fijar los parámetros para avanzar hacia una sociedad sostenible y equitativa, a través de diecisiete objetivos. Se estima que el 60% de la población mundial vivirá en ciudades para el 2030 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], n.d.), por lo tanto, el reto es moldear la construcción de estas zonas urbanas para que todas las acciones estén orientadas hacia un modo de vida sostenible.

Dentro del espacio urbano, podemos encontrar sitios de medios de vida tradicionales sustentados en recursos biológicos, como el caso del Lago de Xochimilco, ubicado en la Ciudad de México. Este sistema no solo cuenta con una riqueza biológica, sino también con un patrimonio cultural, sistema agrícola, y técnicas o prácticas tradicionales; características que conforman parte de un importante sistema biocultural dentro de la principal urbe del país.

Xochimilco es un sitio sumamente importante para la Ciudad de México, guarda el último remanente de un gran sistema de lagos que solía existir en la época prehispánica, y con él, las *chinampas*, uno de los sistemas de ecotecnología agrícola mundialmente reconocidos como sostenibles, y que, hasta nuestros días, alimenta a una parte de la población capitalina. Al mismo tiempo, el reconocimiento mundial de este sitio atrae a miles de turistas, ya sea nacionales o extranjeros, que buscan conocer un poco de la cultura y riqueza natural del sitio.

El humedal lacustre de Xochimilco es un ecosistema degradado que, al igual que la mayoría de los humedales urbanizados del mundo, está siendo amenazado por la expansión urbana, la desecación de fuentes naturales que alimenten al sistema, contaminación con agua de

drenaje y otros residuos orgánicos e inorgánicos, etc.; esta situación afecta a los SE que provee a los habitantes de la zona y áreas aledañas.

A partir de ello, se hizo evidente la necesidad de desarrollar conocimiento científico, técnicas y modelos que puedan ser aplicables, además de capacidades institucionales, con el fin de alcanzar un entendimiento básico del ecosistema. Este desarrollo permitiría planificar, rescatar y utilizar el conocimiento tradicional, innovaciones técnicas y prácticas para su conservación, restauración y planeación sostenible del humedal de Xochimilco y sus habitantes.

Dada la fragilidad del ecosistema, las tecnologías eco-amigables surgen como opción para la recuperación de este espacio y el conocimiento de las interacciones entre cada uno de los elementos de este sistema biocultural es una necesidad latente.

En la actualidad existen tecnologías que reducen la contaminación a través de métodos biológicos, tal es el caso de la biorremediación, que utiliza organismos para reciclar materiales orgánicos (Castillo\_Rodríguez et al., 2005). Esta técnica tiene ventaja sobre otras ya que involucra poblaciones nativas y procesos naturales; se utiliza para mitigar los ecosistemas impactados por actividad antropogénica, como es el caso del humedal del Lago Xochimilco.

La biorremediación, aplicada en el ambiente de un humedal generalmente ocurre en presencia de las plantas y vegetales constitutivos del humedal, mismos que pueden reducir la concentración de los contaminantes. Esta acción procede mediante la oxidación del sustrato y por pérdidas de radicales de oxígeno de las raíces y mediante lavados del carbono de las raíces que permite a los degradadores funcionar. Así, transferencia y/o recepción de electrones de los contaminantes del agua durante el proceso de biorremediación es importante. En humedales como el caso de Xochimilco, este proceso incide en los ciclos biogeoquímicos asociados a las *chinampas* y sus componentes estructurales, por ejemplo, la acción del rizoma de plantas de los sitios afectados (agua y/o suelo) con la actividad microbiana y los procesos de oxido-reducción permite realizar una degradación efectiva de contaminantes. Así, la existencia de las *chinampas* y en consecuencia, la producción agrícola y la vegetación nativa original que permanece y que sobrevive a la contaminación del

humedal puede integrarse en la limpieza de contaminantes con el consecuente aumento en la biodegradación, restauración y recuperación del hábitat, y así contribuir a la sostenibilidad de este patrimonio histórico y cultural de la humanidad.

# I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA

## 1.1 Identificación del problema

En la Ciudad de México, se encuentra el sistema lacustre de Xochimilco, ubicado en la zona sur de la ciudad. Este sistema está conformado por varios canales, viviendas, estructuras arqueológicas y un sistema de cultivo de chinampería (Terrones, 2004). Las *chinampas* son campos sobre la superficie del agua en los que es posible el cultivo de vegetales como la lechuga, rábano, espinacas, verdolagas, acelgas (Pisanty, Almeida, González, & Mazari-Hiriart, 2016) y flores como los pensamientos (comunicación personal). El vocablo *chinampa* se deriva del náhuatl *chinamitl* que significa almacén de cañas, este era la base para la construcción de la *chinampa* (Stephan-Otto, 1998)

Fig. 1. 1 Ubicación de la delegación Xochimilco en Ciudad de México



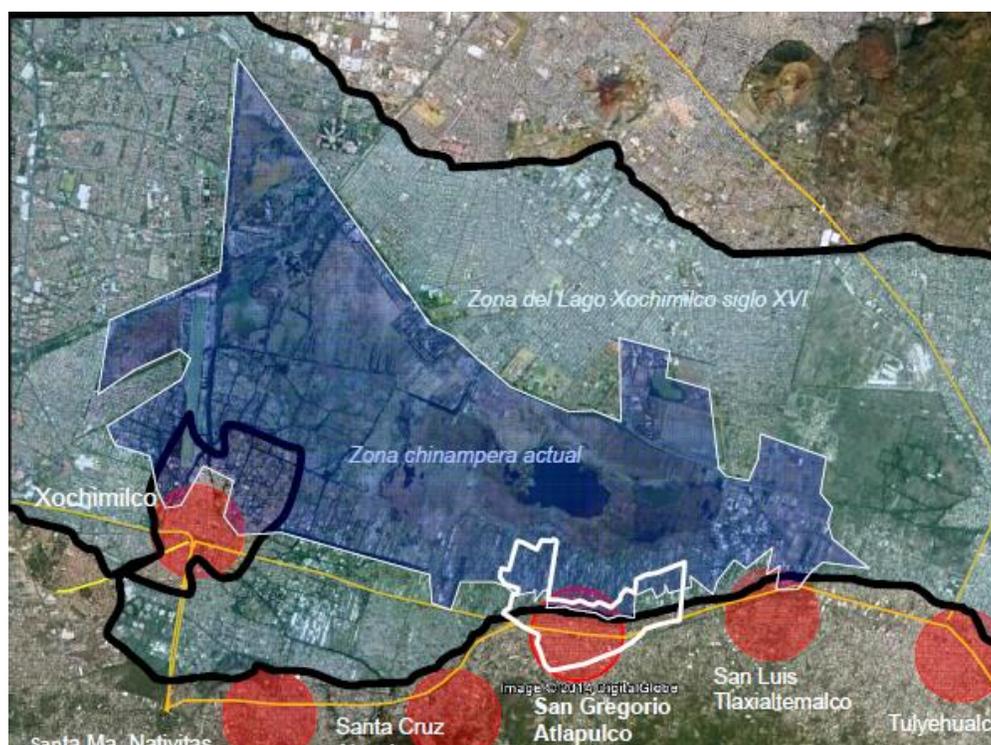
Construcción propia a partir de imágenes en la web.  
Fuentes: (Gifex, n.d.; Wikipedia, 2017)

En la época prehispánica, se sabe que las *chinampas* eran una estructura sobre el lago, sin embargo, con el paso del tiempo se fue azolvando el lago, dando lugar a la reducción de la profundidad del suelo; así las *chinampas* se convirtieron en islas que tienen contacto con el sedimento (González-Pozo, Ensástiga, Chiapa, & Ruz-Varas, 2016; Quiñónez, 2005), esto

se pudo constatar en el trabajo de campo llevado a cabo de diciembre a marzo de 2018. En algunas zonas bien delimitadas, las *chinampas* se encuentran construidas en medio de canales cuyas profundidades varían de 0.5m (canales navegables) a 2 m, dependiendo de la zona en la que se encuentren (González-Pozo et al., 2016).

Las *chinampas* que se encuentran en el humedal o lago de Xochimilco son los remanentes de este sistema agro-productivo cuya existencia se ubica cerca de los 700 u 800 años de nuestra era, cerca de la antigua ciudad de Teotihuacan. Para finales del siglo XV la chinampería era la principal fuente de alimento de la gran Tenochtitlan (González-Pozo et al., 2016; Quiñónez, 2005). De acuerdo con la última catalogación de la zona, se sabe que la extensión de las *chinampas* es de tan sólo 2215 hectáreas (González-Pozo et al., 2016).

Fig. 1. 2 Polígono del Área Natural Protegida



Fuente: (Lina & Zárate, 2014)

La técnica de la chinampería consiste en la utilización de los recursos del humedal, como la materia vegetal para la elaboración de la *chinampa*, y para su cultivo, se utiliza el sedimento del lago para los germinados (almácigos o *chapines*), y el agua de los canales para riego. Por lo tanto, esta tecnología de cultivo se encuentra estrechamente ligada a los servicios ecosistémicos del lago de Xochimilco.

Dentro del gran sistema de canales de Xochimilco, se encuentra una zona de protección llamada “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” (EXSGA), ubicada en las porciones centro y norte de la Delegación Política de Xochimilco, cuya extensión es de 2,657 08-47 hectáreas (Presidencia de la república, 1992).

Esta zona, designada como Área Natural Protegida (ANP) en 1992, ha sufrido un deterioro significativo en su extensión y en la calidad de agua de sus canales (Terrones, 2004), lo anterior derivado de varios factores entre los que destacan: la desecación de manantiales naturales por causas antropogénicas, el vertimiento de agua tratada y/o deficientemente tratada en los canales, la expansión de la urbanización, el asentamiento de viviendas irregulares, descargas de aguas residuales directo en los canales del lago (Terrones, 2006), la introducción de nuevas técnicas de cultivo y utilización de fertilizantes artificiales (Narchi, 2013).

Debido a la estrecha relación que existe entre el humedal y las *chinampas*, la degradación continua del humedal las impacta directamente, al grado de que algunas se están perdiendo físicamente, otras han cambiado de tipo de uso de suelo y otras simplemente se han abandonado.

El hecho de que las nuevas generaciones hayan dejado de interesarse por las tradiciones de la localidad, la diversificación de las actividades laborales y de subsistencia, ha contribuido al abandono y poca atención en la preservación de las funciones básicas de las *chinampas*.

Aunado a esta situación, existen otros factores que afectan los cultivos, como la salinización del agua del humedal, la mala calidad de agua de las plantas de tratamiento que surten a los canales, el vertimiento de desechos directamente al lago, falta de apoyos y de presencia gubernamental.

Actualmente, el agua de la zona lacustre se encuentra impactada por varios contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos, sintéticos y sales disueltas (Reyes, Galicia, & Ramos, 2015), situación que no solo ha impactado la capacidad productiva de las *chinampas* (Narchi, 2013) y el valor turístico de la región, sino también la capacidad de regeneración del sistema con consecuencias graves para la biodiversidad existente en el lago, y por ende en su potencial de sostenibilidad. El lago de Xochimilco alberga aproximadamente 139 especies de fauna y 146 especies de flora, entre ellas 6 especies endémicas (Secretaría de Medio Ambiente, 2004). De acuerdo con Zambrano-González, la situación de degradación del agua y deterioro de los canales de Xochimilco, requieren de una acción inmediata, como el control y regulación del crecimiento de la mancha urbana, así como de las descargas de los drenajes domiciliarios sin tratamiento y deficientemente tratados de las plantas de tratamiento, mismos que son descargados a los canales, lo que está contribuyendo a que el humedal de Xochimilco se pierda para el año 2050 (Agencia Reforma, 2011; MFH, 2017).

La literatura sobre la necesidad de intervención en el sistema, así como la importancia de la preservación de la diversidad biológica, tecnológica y cultural, es abundante. Comunidades, universidades e incluso instancias internacionales han puesto interés en el rescate de este ecosistema. Las iniciativas internacionales han volteado a ver la zona con interés de rescate por dos principales razones, la primera por los servicios ambientales que representa la existencia del humedal de Xochimilco, siendo reconocido por la convención de Ramsar como humedal de importancia internacional. La segunda razón, son las *chinampas*, esta forma de agricultura intensiva capaz de producir durante todo el año sin afectar negativamente al ambiente cuando se lleva a cabo de manera tradicional. La zona tiene el reconocimiento de la UNESCO de patrimonio de la humanidad (Jefatura de Gobierno del Distrito Federal, 2016) y recientemente se reconoce a la zona chinampera como Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM) (Gobierno de la Ciudad de México [GCM], 2017).

Sin embargo, aún no ha podido observarse una postura gubernamental fuerte para enfrentar ese desafío, que más allá de la conservación, requiere medidas de restauración no invasivas con el medio ambiente ni con los medios de vida tradicionales de la zona.

En el caso de las *chinampas*, se sabe que son muchas las funciones que tiene como un sistema agrícola, incluso se le atribuye el adjetivo de sostenible (Torres-Lima, Canabal-Cristiani, &

Burela-Rueda, 1994), sin embargo, las interacciones y consecuencias biológicas de este método de cultivo, no se encuentran bien definidas. Pareciera que el interés sobre el rescate de las *chinampas* recaería únicamente en su valor cultural, restando importancia a las funciones ambientales que la *chinampa* pudiera estar prestando al sistema.

Las *chinampas* son un invento prehispánico, pero a partir del surgimiento de la visión de sostenibilidad mundial, esta técnica milenaria ha sido rescatada y revalorizada como tecnología sostenible y, el atribuirles un potencial biorremediador, puede ayudar a fomentar su conservación al resaltar su relevancia en el sistema lacustre.

Dentro de este conjunto de interacciones biológicas y culturales presentes en el lago de Xochimilco, el reto es aplicar los conocimientos tecnológicos de la biorremediación en el análisis de las funciones que las *chinampas* están desempeñando dentro del sistema, y más específicamente sus funciones como posible elemento biorremediador con un potencial para fomentar la sostenibilidad del humedal.

## 1.2 Delimitación del problema (espacio-temporal)

El área de Xochimilco declarada por la UNESCO como Patrimonio Mundial abarca y supera al polígono establecido como ANP.

La siguiente tabla muestra todos los reconocimientos de la zona lacustre de Xochimilco.

Tabla 1. 1 Reconocimientos de la zona			
Nombre	Reconocimiento	Unidad	Fecha
1. Centro histórico de la Ciudad de Mexico y Xochimilco	Patrimonio mundial cultural y natural de la humanidad		11 de diciembre de 1987
2. Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco	Área Natural Protegida	2,657 hectáreas 08-47	11 mayo de 1992
3. Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. Sitio 1363.	humedal de importancia internacional (Humedales del mundo de la UNESCO bajo convención Ramsar)	2,657 hectáreas	2 de febrero de 2004
4. Centro histórico de la Ciudad de México y Xochimilco	patrimonio mundial cultural y natural de la humanidad	El comité del Patrimonio Mundial incorpora tres fracciones adicionales: 75.34 Km2, es decir 7534.17 ha.	2014
5. Agricultura de <i>chinampa</i> en la zona patrimonio mundial natural y cultural de Xochimilco, Tláhuac and Milpa Alta	FAO: Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Mundial (SIPAM)		Julio de 2017
<p>Fuentes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. (Jefatura de Gobierno del Distrito Federal, 2012; United nations headquarters et al., 1987)</li> <li>2. (Presidencia de la república, 1992)</li> <li>3. (Jefatura de Gobierno del Distrito Federal, 2016; Secretaría de Medio Ambiente, 2004)</li> <li>4. (González-Pozo et al., 2016)</li> <li>5. (González-Pozo et al., 2016)</li> </ol>			

Esta investigación no abarcará el polígono de la UNESCO como sitio de análisis, se limita al polígono del ANP y un área buffer que se define más adelante con la utilización de sectores.

Conviene aclarar que, con respecto a las características de las *chinampas* y su construcción, se considera que todas las *chinampas* de la cuenca tenían y tienen las mismas características.

El polígono del ANP de Xochimilco es un sitio complejo debido a la heterogeneidad de las actividades humanas llevadas a cabo incluso dentro del mismo polígono. En este, es posible distinguir zonas ya urbanizadas, en transición, de recreación, de completa protección, laguna de conservación y zonas chinamperas, cada una de estas zonas con características propias (Jiménez-Moreno, 2013).

Dentro del polígono, existen divisiones que hacen los propios habitantes en el área: el pueblo de Xochimilco, el de San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxialtemalco. A pesar de que en todos los pueblos existen *chinampas*, los niveles de conservación son diferentes.

En el pueblo de Xochimilco es en donde se concentra la mayor cantidad de flujo turístico y la red de canales finos, que alimentan directamente a las *chinampas*, han prácticamente desaparecido (González-Pozo et al., 2016); sin embargo, es posible localizar *chinampas* que están siendo cultivadas, algunas incluso están siendo rescatadas a través de la concepción del cultivo de productos orgánicos, como es el caso de la *chinampa* del equipo de Restauración Ecológica y Desarrollo A.C. (REDES), con quienes se realizó el presente trabajo en campo.

En San Gregorio Atlapulco, es donde existe la mayor cantidad de *chinampas* trabajadas del polígono con alrededor de 1530 *chinampas* (González-Pozo et al., 2016). A pesar de la existencia de las *chinampas* trabajadas y una red de canales finos que las alimentan, no puede hablarse precisamente de chinampería tradicional, ya que los agricultores han introducido nuevas tecnologías para su cultivo, como es el caso de motocultores, bombas de agua, fertilizantes, plaguicidas, semillas, plantas e infraestructura de tipo intensivo e hiper-intensivo.

San Luis Tlaxialtemalco por su parte, tiene la zona chinampera de menor extensión y cuenta con una zona de invernaderos en la que se ha cambiado por completo la forma tradicional de

agricultura, con una tecnificación para la comercialización de plantas ornamentales principalmente.

Las zonas del polígono fueron descritas anteriormente con el fin de evidenciar la diversidad de influencias de la zona, sin embargo, todas las zonas serán consideradas como parte de un mismo ecosistema, sobre el que las *chinampas* tienen un efecto ambiental y al mismo tiempo una estrecha influencia sobre la sostenibilidad de cada uno de los sitios (ver Fig. 4.1).

### 1.3 Pregunta(s) de investigación

¿Podría la *chinampa* ejercer una contribución por medio de la biorremediación que influya en la sostenibilidad del humedal de Xochimilco?

### 1.4 Justificación

Al ser Xochimilco un sistema frágil y propenso al deterioro, cualquier intento por recuperarlo, puede ocasionar graves daños si no se tiene un conocimiento previo sobre el funcionamiento integral de sus componentes y de la estrategia de recuperación de su calidad ambiental.

Dado el fraccionamiento actual del conocimiento, pareciera que la *chinampa* se ubicara en un ámbito meramente cultural, sin embargo, es necesario que se la ubique como parte de un ecosistema biocultural y una ecotecnología clave para la remediación y sostenibilidad del humedal, no solamente como un elemento aislado portador de gafetes culturales.

La consideración de la capacidad natural de la *chinampa* para mejorar la calidad ambiental del humedal de Xochimilco permitirá asignar funciones de biorremediación no consideradas anteriormente en el contexto biocultural de este sitio. Una integración de este tipo permitirá establecer medidas para fomentar el desarrollo de iniciativas de sostenibilidad y toma de decisiones considerando la biorremediación y la eco-preservación de sitios frágiles y sensitivos de importancia biocultural, como es el caso de Xochimilco.

### 1.5 Objetivos de la investigación (general y particulares)

Describir y analizar las(s) contribuciones ambientales de biorremediación que lleva a cabo la unidad agrícola denominada *chinampa* tradicional y/o actual, a través de sus componentes estructurales, tomando como referentes las *chinampas* del ANP de Xochimilco, en la Ciudad de México; así como su influencia en la sostenibilidad del sitio.

La biorremediación que se cree que pudieran estar llevando a cabo las *chinampas*, se asume como una técnica de biorremediación sostenible debido a los componentes de la zona. Sin embargo, es bien sabido que los aspectos económicos, sociales y culturales de una región influyen fuertemente en la esfera ambiental y viceversa, por lo tanto, un análisis sobre biorremediación no puede dejar de lado estos datos.

Dentro de los objetivos específicos, se contextualizará la situación económica, cultural, social y ambiental del sitio, de manera en que identifique la relación de la *chinampa* como un elemento que contribuye a la sostenibilidad del humedal de Xochimilco.

### 1.6 Objetivos particulares:

- Determinar las funciones de biorremediación de la *Chinampa* tradicional a través de sus componentes estructurales.
- Determinar la contribución de la *chinampa* en la sostenibilidad del humedal de Xochimilco.

### 1.7 Hipótesis

Los componentes estructurales de las *chinampas* poseen propiedades a las cuales son atribuibles potenciales de biorremediación, lo que a su vez tiene un impacto en la sostenibilidad del humedal.

Por lo tanto, debe existir una revalorización de la *chinampa* como tecnología de cultivo capaz de llevar a cabo funciones de remediación en el humedal.

## 1.8 Estrategia metodológica

El registro de información y colecta parcial de datos se realizó del 3 al 5 de agosto de 2017 y del 27 de diciembre de 2017 al 11 de marzo de 2018 en *chinampas*, canales y zonas delimitadas y seleccionadas del humedal de Xochimilco, como abajo se explica.

La elección del sitio de estudio se hizo con base en la existencia de *chinampas*, así como sus principales componentes: canales, vegetación, arbolado y cultivos agrícolas.

Para la sección de “*Chinampas: estructura y funcionamiento*”, se realizó una evaluación de la estructura de *chinampas* actuales, así como de las tradicionales. Estas últimas se caracterizaron mediante investigación en artículos, libros, revistas, diarios oficiales, así como estudios gubernamentales, para definir la estructura de una *chinampa* tradicional. De igual manera, se obtuvieron datos para determinar cuáles son los principales contaminantes del lago de Xochimilco.

Se registraron las especies vegetales que se encuentran dentro del polígono del ANP, ya sea endémicas o introducidas, con un potencial para llevar a cabo funciones de biorremediación. Además del registro personal, se apoyó en revisión bibliográfica. Así, se determinaron los principales procesos que intervienen en biorremediación e indicadores de calidad del agua, tales como: tratamiento de aguas residuales a través de la eliminación de nutrientes, acumulación de metales pesados, degradación de pesticidas, etc., debido a que son los principales contaminantes de la zona. A pesar de que la zonificación en el ANP de Xochimilco es muy marcada de acuerdo con las diferencias en las actividades productivas que se llevan a cabo por parte de los habitantes, se decidió tomar como unidad de investigación a la *chinampa* y analizar su potencial, independientemente de la zona en la que se encuentre. Sin embargo, se esperaba que una vez conociendo las características de cada especie, se pueda incentivar la restauración del sitio de acuerdo a las características especiales del sistema.

Para la sección de *chinampas* y sostenibilidad, se hicieron consultas bibliográficas de las características del territorio del polígono del ANP de Xochimilco. Esta investigación incluyó localización geográfica de los pueblos y sus medios de vida. Por medio de trabajo de campo,

se recopilaron opiniones de agricultores, de personas de la sociedad civil, así como evidencia fotográfica de las técnicas de cultivo y situación actual del humedal.

La evaluación de la calidad del agua de los sectores y canales de Xochimilco se realizó construyendo una base de datos integrada por registros de parámetros de calidad del agua seleccionados de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) Información proveniente de instituciones reconocidas
- b) Resultados previamente validados por comités académicos, cuerpos editoriales, comités ad-hoc y/o autoridades reconocidas.
- c) Información oficial procedente de instituciones gubernamentales

Los valores de calidad del agua aquí presentados representan a distintos sitios ubicados dentro del ANP de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

Para ello, Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de 115 documentos con datos descriptivos de la calidad ambiental de la zona de Xochimilco, entre ellos artículos científicos, tesis, publicaciones y proyectos gubernamentales, así como de asociaciones que trabajan en el sitio. De esta revisión, se seleccionaron 14 documentos con mediciones de calidad de agua de los canales y apantles de Xochimilco.

Adicionalmente, se utilizaron las siguientes bases de datos de CONAGUA: “Datos de calidad de agua 5000 sitios de monitoreo” (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2017) y “calidad de agua superficial 2012-2015” (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2015) . Ambas bases de datos se trabajaron depurando datos hasta llegar a obtener solo aquellos que correspondían a mediciones hechas dentro del polígono del ANP de los EXSGA, y en el caso de “calidad de agua superficial” se tuvo que hacer un cambio de formato para trabajar ambas en Excel.

El resultado de dicha compilación fue una base de datos con 357 registros de calidad de agua de 210 sitios, tomados de 16 fuentes diferentes. En un inicio se consideró que los datos para el trabajo debían tomarse en cuenta a partir de 2010 a la fecha más reciente, sin embargo, esta decisión implicaba dejar de lado aportaciones valiosas de 231 registros de 2000 a 2009.

A pesar de que la zona lacustre de Xochimilco es muy dinámica, el considerar los registros a partir del 2000 ayudó a garantizar valores más representativos de la calidad del agua actual.

La base de datos con 357 registros fue trabajada en Excel y sometida a una depuración, misma que se basó en la selección de los registros que pudieran agruparse por sectores. Los sectores fueron establecidos de acuerdo con las zonas propuestas por González-Pozo (2016), y se trazaron visualmente en Google Earth para la elaboración de mapas. Los sectores en la zona de San Gregorio Atlapulco fueron modificados, ya que se agruparon algunas zonas que González-Pozo (2016) divide por así convenir a sus fines de caracterización.

Los sectores quedaron establecidos de la siguiente manera:

Tabla 1. 2 Sectores del área de estudio		
Pueblo	Sectores	Actividad
Xochimilco	1	Chinampera
Xochimilco	2	Urbana
Xochimilco	3	Turística
Xochimilco	4	Chinampera
San Gregorio	5	Inundación
San Gregorio	6	Inundación
San Gregorio	7	Urbana
San Gregorio	8	Chinampera
San Luis Tlaxialtemalco	9	Invernaderos
Elaboración propia Nota: Se decidió dividir el polígono de San Gregorio únicamente en cuatro zonas, con el fin de unir los datos referidos como: zona chinampera, en un mismo sector.		

Los primeros datos en ser considerados fueron aquellos con coordenadas geográficas, ya que esto permitió ubicarlos geográficamente en un sector a través de la utilización de sistemas de información geográfica como Google Earth y Qgis.

En un inicio se tenían 98 registros que contaban con coordenadas geográficas correspondientes a 45 sitios (ubicación geográfica), sin embargo 10 registros de medición de

suelos y sedimentos fueron descartados ya que no contenían información relevante para el cálculo de calidad del agua.

Esta selección dio como resultado un total de 88 registros de los 45 sitios que se tenían inicialmente. Para lograr su ubicación geográfica, se tuvieron que estandarizar las coordenadas en sistemas decimal y finalmente se ubicaron en un mapa con la utilización de Qgis.

Estos puntos se exportaron de Qgis a Google Earth. De esta manera se lograron integrar en un mapa los sectores trazados previamente en Google Earth junto con los 45 sitios que contaban con coordenadas geográficas. Esto permitió asignar un sector a cada uno de los datos, este registro se llevó a cabo en una tabla de Excel.

Una vez que se tuvieron ubicados los datos que contaban con coordenadas geográficas, se procedió a ubicar los canales principales en el mapa, esta fue una recopilación de diversas fuentes (Contreras, Martínez-Meyer, Valiente, & Zambrano, 2009; Flores-Serrano, Pérez-Casimiro, & Iturbe-Argüelles, 2015; González-Pozo et al., 2016; Juárez-Figueroa, Silva-Sánchez, Uribe-Salas, & Cifuentes-García, 2003; Sánchez Meza, Romero Jarero, Negrete Redondo, López Simeon, & Malpica Sánchez, 2009; Solís, Sandoval, Pérez-Vega, & Mazari-Hiriart, 2006; Stephan-Otto, 2005; Zambrano, Contreras, Mazari-Hiriart, & Zarco-Arista, 2009; Zambrano, Valiente, & Vander Zanden, 2010), ya que no se logró encontrar un mapa completo en el que se tuvieran la ubicación y nombre de los canales del polígono del ANP de Xochimilco. Cabe resaltar que el anexo 5 del censo de descargas de aguas negras y grises fue el archivo más completo que se pudo encontrar, a pesar de ello, algunos nombres de los canales no concordaban con los descritos por otros autores.

Con respecto a la base de datos de “sitios sin coordenadas”, se descartaron 20 sitios con 20 registros, por tratarse de calidad de agua subterránea. Por lo tanto, los datos a trabajar fueron 239 registros de 145 sitios.

Con base en los nombres, ubicaciones y descripciones de los sitios que sí contaban con coordenadas geográficas, y con la ubicación y nombre de los canales, se logró asignar un sector a 226 registros de los 239 que no contaban con información geográfica para ubicarlos.

De los registros restantes, 6 fueron ubicados en lugares dentro del ANP, sin embargo, no se encontraban dentro de los polígonos trazados para consideración de calidad de agua, por lo tanto, estos fueron considerados como información adicional útil para analizar los resultados. Finalmente, 13 registros fueron descartados, ya que no fue posible ubicarlos geográficamente y por ende asignarles un sector.

Posteriormente, se unieron las bases de datos “con y sin” coordenadas geográficas en un archivo de Excel. Esta base de datos se conformó por 182 sitios con 314 registros de mediciones de agua.

Los datos de algunos artículos mostraban intervalos de mediciones de un parámetro, por ejemplo: nitratos  $4.05 \pm 0.07$ mg/L, en estos casos se realizó un promedio entre ambos valores para poder llevar a cabo el análisis de calidad de agua utilizando tablas dinámicas en Excel. Adicionalmente, los valores que se encontraban debajo del límite de detección fueron descartados del análisis de parámetros.

Con la utilización de tablas dinámicas se promediaron los valores de los parámetros Oxígeno Disuelto (OD), Turbidez, Conductividad, Nitratos, Amonio y Fosfatos, de manera que se obtuvo un dato promedio de cada uno de los parámetros por sector del mapa. El sector 9 de San Luis Tlaxialtemalco tuvo que se descartado debido a que no se obtuvieron suficientes datos. Por otra parte, los sectores 6 y 7, aunque sí fueron incluidos en la tabla de análisis, se considera que los resultados obtenidos no son tan confiables debido a que sólo se contaba con dos parámetros para contabilizar en el índice.

El índice utilizado se calculó asignando un número a cada uno de los parámetros por sector, dependiendo al nivel de calidad de agua al que le correspondía (Véase Tabla 4.2). Por ejemplo: Para obtener el índice de calidad del agua de la pista de canotaje, se identificaron aquellos parámetros que tenían condiciones adecuadas y se les asignó el número 3, a aquellos con condiciones no apropiadas el número 2 y finalmente el 3 a los parámetros con malas condiciones.

Tabla 1. 3 Metodología para obtener el índice de calidad de agua

Sector	OD (mg/L)	Turbidez NTU	Conductividad K25 (µS cm-1)	Nitratos NO3- mg/L	Amonio NH4+ mg/L	Fosfatos PO4-P (mg/L)	Índice	Calidad
Canotaje	5.185	105.33	0.9	0.65	0.77	8.67	78%	57-78

	Descripción	No. Asignado
Condiciones adecuadas:	Adecuado para las capacidades de supervivencia y reproducción de los organismos nativos	3
Condiciones no apropiadas:	Las variables pueden ser adecuadas para algunos organismos, pero no todos	2
Malas condiciones:	La mayoría de los organismos nativos no son capaces de sobrevivir	1

Sector	OD (mg/L)	Turbidez NTU	Conductividad K25 (µS cm-1)	Nitratos NO3- mg/L	Amonio NH4+ mg/L	Fosfatos PO4-P (mg/L)	Índice	Calidad
Canotaje	3	1	3	3	3	1	78%	57-78

Elaboración propia

Se promediaron los números asignados al sector Ej.  $(3+1+3+3+3+1) / 6 = 2.33$ , y posteriormente se dividió esta cantidad entre la cantidad de rubros del índice, es decir 3. Esto significa que la puntuación más baja que un sitio podría obtener es de 33%.

Finalmente se asignó un rango para ubicar a las puntuaciones dentro de un índice de calidad, siendo el más alto de 79 – 100 para aquel que tuviera condiciones adecuadas, 57 -78 para designar a alguno con condiciones no apropiadas y finalmente 33-56 para aquellos con malas condiciones.

Para los sectores en los que se hizo un análisis de calidad de agua de cada uno de los canales, se siguió la misma metodología.

En el caso de los datos que fueron asignados a algún sector pero que no pudieron ser ubicados geográficamente para asignarse a algún canal, no fueron tomados en cuenta para la

elaboración de las tablas por sector, aunque sí se tomaron en cuenta en la tabla de promedios generales.

Una vez que se tuvieron identificados los canales y su calidad de agua, se procedió con su ubicación en el mapa y haciendo uso de Google Earth se identificaron con colores de acuerdo con su calidad.

Para el análisis se sobrepusieron los datos encontrados en los mapas de Gonzalez-Pozo (2016) con los resultados obtenidos de calidad de agua. Esto permitió ubicar los lugares en los que existía mayor, menor o nula concentración de *chinampas* en cada uno de los sectores y observar la relación existente entre estas zonas y la calidad de agua.

Finalmente, se elaboró una relación con las contribuciones que lleva a cabo la existencia de una *chinampa* en el humedal tomando en cuenta los medios de vida de las personas del ANP, así como las características propias de cada sector. Se registró la estructura vegetal y de microorganismos de *chinampas*, así como su contribución y potencial de Biorremediación y sus diferentes componentes, así como registros de calidad del agua y su relación con las diferentes esferas de Sostenibilidad.

## II. HUMEDALES

### 2.1 ¿Qué son y cuál es su importancia en los servicios ecosistémicos?

El término humedal no se encuentra bien definido, existe un gran debate sobre el tipo de cuerpos de agua que debe abarcar su definición (Brinson, 2004), sin embargo, desde el punto de vista científico se considera a los humedales como ecosistemas biológicamente diversos y altamente productivos que funcionan como un área de transición entre los ecosistemas acuáticos y los terrestres (Hansen, Kraus, Bachand, Horwath, & Bachand, 2018; Mulkeen et al., 2017) y, de acuerdo con sus características especiales, moderan el flujo del intercambio de materiales y nutrientes entre ambos ecosistemas (Hansen et al., 2018; Maynard, Dahlgren, & O'Geen, 2014). También suele considerárseles como áreas o ecosistemas acuáticos con carácter somero, generalmente con estratificaciones bien definidas, aunque sujetas a variaciones climatológicas, que funcionan como refugio de una gran diversidad de especies como aves, crustáceos, peces, insectos, moluscos, gramíneas, plantas ribereñas, etc., con gran probabilidad de endemismos (Abarca, 2007).

Mientras esas definiciones son precisas y un tanto estrictas, dejando fuera habitats que pudieran ser importantes desde el punto de vista ecológico, existe otra más inclusiva y que tiene como finalidad encausar la conservación y uso sostenible de los recursos naturales a escala mundial. La Convención sobre los humedales, comúnmente conocida como la Convención de Ramsar, es un tratado intergubernamental que reconoce a los humedales como ecosistemas extremadamente importantes para la conservación de la biodiversidad y el bienestar humano (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013).

De acuerdo con esta convención, en su artículo 1.1 los humedales son *“las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”* (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013).

La existencia de esta convención no solo sirve para dar una definición general de los humedales, sino que trata de incentivar acciones locales y nacionales para contribuir al desarrollo sostenible mundial.

Xochimilco, como ya se mencionó anteriormente, cuenta con el sitio 1363 reconocido por la Convención de Ramsar como humedal de importancia internacional (Jefatura de Gobierno del Distrito Federal, 2016), y por lo tanto el Estado mexicano debe comprometerse a su conservación.

La importancia de los humedales en el bienestar humano radica en que son capaces de suministrar servicios esenciales, como el agua potable, a través de la mejora de calidad de agua, y alimentos; además de otros servicios ecológicos y económicos como materiales de construcción, soporte de biodiversidad, recarga de aguas subterráneas, abatimiento de las inundaciones, secuestro de dióxido de carbono, entre otros (Convención de Ramsar, n.d.; Miller, Tyler; Spoolman, 2012; Mulkeen et al., 2017).

A pesar de la importancia de estos servicios, cada uno de ellos se han ido degradando en la subcuenca de Xochimilco, que forma parte de la cuenca del Valle de México (Figueroa Torres, Linares Jauregui, Ferrara Guerrero, & Castro Mejía, 2014). La continua extracción de agua potable para suministrarla a la Ciudad de México, llevó a una sobreexplotación de los manantiales y acuífero de Xochimilco, situación que obligó a los habitantes del lago a cambiar el agua de manantial por agua de las plantas de tratamiento de la Ciudad de México, agua que ellos utilizan hasta la fecha para mantener actividades productivas, principalmente la agricultura y turismo (Figueroa Torres et al., 2014; González-Pozo et al., 2016; Terrones, 2006). En este sentido, la afectación también se vio reflejada en la economía y cultura de los habitantes. Después de este cambio, le siguieron problemas de inundación que obligaron en parte, a cambiar la técnica de la chinampería por invernaderos, y debido a la baja calidad del agua, aquellos que continúan cultivando en *chinampas* han visto mermada su producción, ante esto, las medidas reactivas de los habitantes ha sido la utilización de agroquímicos, situación que ha deteriorado aún más la calidad del humedal (Espinosa, Ana; Mazari-Hiriart, 2007).

El daño causado al agua, llevo posteriormente al daño a la biodiversidad del lago, despojando ahora a sus pobladores y al ecosistema de especies como: los acociles, serpientes, jumiles, insectos y sus larvas, camarones de río (*Macrobrachium sp.*), subespecies del pez blanco (*Iztamichin*), ajolote o Axolótl- mexicano (*Ambystoma mexicanum*), charal de Xochimilco (*Chirostoma humboldtianum*), ranas (*Rana spp.*), tortugas (*Kinosternon spp.*), algas verde-azul (*Spirulina spp.*), etc. (Stephan-Otto, 1998; Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

Esta situación de reacción en cadena sobre los daños al ambiente, a la economía y a la cultura, nos habla de un ecosistema altamente frágil pero también de un ecosistema que se resiste a desaparecer, más por acción natural que por medidas de prevención y conservación que resultan poco efectivas ante el embate de las actividades antropogénicas negativas. Esta interacción y fortaleza del sistema nos lleva a pensar en un grado de resiliencia.

La historia del humedal de Xochimilco y su degradación no se encuentra aislada de la situación en general de los humedales. Existen cifras que estiman la destrucción del 50% de los humedales originales en la tierra (Mitsch and Gosselink, 2007 en (Mulkeen et al., 2017), y datos más recientes contabilizan la pérdida de humedales con una oscilación entre 64 y 71% en el s. XX en algunas regiones y con ello la abundancia de las poblaciones que en ellos habitan (Ramsar, 2015). Lo que significa que la superficie y calidad de los humedales sigue disminuyendo en la mayoría de las regiones del mundo, poniendo en riesgo los servicios ecosistémicos. Al respecto, el humedal de Xochimilco es único en el mundo aparte de su origen histórico y cultural, que alberga al sistema de *chinampas*. Esta característica única y *sui- generis* predispone una función de las *chinampas* que pudieran estar coadyuvando a la subsistencia del Lago por ejercer alguna acción de biorremediación con incidencia directa en la calidad del agua.

Existen diversos factores que afectan la supervivencia de los humedales, sin embargo las principales actividades humanas que están degradando los servicios ecológicos y económicos de los humedales son: la construcción de infraestructura que fragmenta los ecosistemas y aquellas obras que desconectan a los humedales de sus llanuras de inundación, descargas de materiales nocivos, provenientes de granjas o del área urbana, y la transformación de los humedales para la construcción de áreas de cultivo o algún tipo de infraestructura urbana (Miller, Tyler; Spoolman, 2012), entre otras. Una situación similar está ocurriendo en el

humedal urbanizado de Xochimilco que recibe de manera casi constante descarga de tierra de mala calidad, sólidos de diferente origen y basura, mención aparte merece el desarrollo habitacional con poco o nula planeación. Las *chinampas* de Xochimilco siempre han estado asociadas con este sistema lagunar, en situaciones de todo tipo, desde fenómenos naturales (sismos, vientos, tormentas, salinización), descarga de aguas residuales y microambientes de sitios aislados de la presencia y acción antropogénica. Sin embargo, a pesar del embate natural y antropogénico, prevalecen las *chinampas* y en cualquier situación: buena, mala, regular, mantienen el agua a determinada calidad por la acción combinada y mancomunada de organismos, algunos con funciones reconocidas como biorremediadores, otros con características potenciales y/o con función de intermediarios de biorremediadores tanto de *chinampas* como de agua de canales.

## 2.2 Humedales urbanizados en la sostenibilidad urbana

### 2.2.1 Sostenibilidad de las ciudades

Actualmente alrededor de la mitad de la humanidad, 3500 millones de personas, vive en ciudades, y para el 2030 se estima que el 60% de la población vivirá en zonas urbanas (Organización de las Naciones Unidas [ONU], n.d.). Esta situación ha llevado a una mayor investigación sobre los procesos que ocurren en ellas debido a que las decisiones tomadas en estos centros humanos tendrán grandes repercusiones. No es de sorprenderse que las relaciones entre las ciudades y el medio ambiente global, estén siendo transformadas por las características de la urbanización contemporánea, lo que conduce a la idea de que la urbanización tendrá grandes impactos sociales, económicos y ambientales en este siglo (Seto, Sánchez-Rodríguez, & Fragkias, 2010).

Las consecuencias de la urbanización, se manifiestan con la presión sobre los recursos naturales, el abastecimiento de agua dulce, la generación de aguas residuales, los medios de vida, la salud pública (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas [WWAP], 2016), transformación de la cubierta terrestre, pérdida y alteración de hábitat y extinción de especies vegetales y animales (Seto et al., 2010).

La urbanización, ligada con el sistema económico en el que vivimos, ha llevado a considerar que la expansión de la sociedad por medio de ciudades implica una apropiación y degradación de la naturaleza. Por lo tanto, un incremento en la población conlleva mayor demanda de energía, comida, transporte, plantas de tratamiento, etc., incrementando el monto de recursos naturales requeridos, lo que hace insostenible el estilo de vida moderno a lo largo del tiempo (Faulkner, 2004; Lezama & Domínguez, 2006).

A partir del documento “Nuestro futuro común” mejor conocido como informe Brundtland en 1987, se marcó la pauta para que todos los actores gubernamentales y de la sociedad civil empezaran a trabajar hacia un desarrollo sostenible. De acuerdo con el reporte, este desarrollo implica un compromiso con las necesidades futuras en el que la sociedad actual cuidará de los recursos naturales de manera en que las próximas generaciones serán capaces de satisfacer sus propias necesidades (Brundtland, 1987). Esta situación conduce a la necesidad de lograr un aumento en la eficiencia de utilización de recursos y energía, así como impulsar la innovación tecnológica (Seto et al., 2010).

Existen diversas teorías sobre la manera de llegar a una sociedad sostenible, y no existe un consenso sobre cómo alcanzarla. Sin embargo, se han logrado avances a través el uso de mecanismos como la tecnología, el mercado, la fuerza del Estado y la sociedad civil o ciudadana. (Scoones, 2016)

La tecnología trata de llevar a la sostenibilidad, ya sea por medio de la eficiencia tecnológica que permita “hacer más con menos” o con innovaciones que ayuden a la limpieza de ecosistemas ya en riesgo. El mercado, también puede liderar un cambio hacia la sostenibilidad a través de la fijación de precios o la creación de nuevos mercados. El estado como un actor importante para la transformación de la sostenibilidad a través de leyes, programas u otros mecanismos, o los ciudadanos como líderes de este cambio, ya sea a través de concientización, presión, etc. (Scoones, 2016).

Los grandes avances que se han tenido sobre sostenibilidad indican que no hay una forma universal para alcanzarla, y todos los mecanismos pueden ser válidos o inútiles, depende del lugar como espacio geográfico, de sus elementos físicos y también de sus elementos económicos, sociales y culturales (Scoones, 2016). Sin embargo, un gran acierto es tener en

cuenta la vocación productiva de los ecosistemas, de lo contrario, su capacidad de renovarse se verá amenazada (Quintero-Angel & González-Acevedo, 2018).

Esta reconfiguración territorial con ciudades ha tenido impactos muy evidentes en los ecosistemas y específicamente en los humedales. Históricamente, las sociedades han preferido hacer sus asentamientos en lugares cerca de los aprovisionamientos de agua potable (Toledo & Barrera-Bassols, 2008). Por lo tanto, no es posible considerar el análisis de un humedal como Xochimilco dejando de lado todos los conflictos ambientales, económicos, sociales y culturales y también los beneficios de estar inmersos en una región prácticamente urbanizada.

La idea de que para el 2030 las ciudades estén enfocadas a llevar a cabo una planeación en pro de la sostenibilidad, podría beneficiar, dada su proximidad, a los humedales que de alguna u otra manera están aportando beneficios para el mantenimiento de la ciudad. Sin embargo, los problemas que las ciudades han acarreado a estos sitios desde hace años, son el mapa actual de los ecosistemas. En este escenario, Xochimilco tendrá que encontrar su estrategia de sostenibilidad, ante lo cual y considerando la estructura ecológica de Xochimilco como un sistema resiliente, la presencia y respectiva estructura y función de las *chinampas* adquiere relevancia.

### 2.2.2 Humedales Urbanizados Afectaciones al ecosistema

Uno de los grandes problemas de los humedales que se encuentran en zonas aledañas a las ciudades, es que debido al alto valor de la tierra, son más susceptibles a su transformación que aquellos que se encuentran en zonas rurales (Faulkner, 2004); además el daño al ecosistema es mayor debido a que las funciones de los ambientes urbanos son completamente diferentes a aquellas que conservan áreas naturales, como las zonas agrícolas (Marzluff and Ewing, 2001 en Faulkner, 2004). Por lo tanto, cuando un humedal se transforma en urbano, su alteración es prácticamente permanente y aunque el hábitat sea restaurado, rara vez se logra restaurar su hidrología (Faulkner, 2004).

Independientemente de los humedales que son alterados mediante una completa transformación, los ecosistemas que logran sobrevivir en espacios cercanos a las ciudades, generalmente son impactados directa o indirectamente en su estructura y funcionamiento,

mediante alteración en el régimen hidrológico, fraccionamiento del hábitat y cambios biogeoquímicos relacionados con la sedimentación, ciclo de los nutrientes y fuentes contaminantes (Aguilar-Ibarra, Alonso; Zambrano, Valiente, & Ramos-Bueno, 2013; Faulkner, 2004; Lee et al., 2006). Los cambios se dan a través de actividades como la creación de drenajes, actividades recreativas, introducción de especies exóticas, etc. (Lee et al., 2006), estos impactos, evidentemente después se traducen en daños a la abundancia de especies como aves, anfibios, macroinvertebrados, etc. (Faulkner, 2004), y a las comunidades humanas que encuentran sus medios de vida en estos ecosistemas, como las afectaciones a la productividad agrícola (Aguilar-Ibarra, Alonso; Zambrano et al., 2013).

- Fragmentación del hábitat

La fragmentación del hábitat es peligrosa sobre todo por sus efectos en cascada, que entre otras cosas, ocasiona efectos en la hidrología, atmósfera, cambios en los ciclos biogeoquímicos e impactos negativos en la abundancia de especies de flora y fauna, en su distribución, y composición de comunidades, abriendo el paso a especies exóticas e invasivas (Faulkner, 2004). Cada humedal posee características únicas, por lo tanto, los endemismos son habituales en estos lugares. Ante un cambio en las condiciones del hábitat, las especies endémicas como el axolotl mexicano, se ven gravemente amenazadas (Aguilar-Ibarra, Alonso; Zambrano et al., 2013). Los anfibios en específico, presentan una sensibilidad mayor a este tipo de cambios, debido a que dependen de los espacios de los humedales para refugio y reproducción (Faulkner, 2004).

- Régimen hidrológico

Las alteraciones en el régimen hidrológico de los humedales urbanizados, generalmente tiene repercusiones en la calidad del agua, a través de modificaciones a las fuentes de agua del humedal y a las descargas hacia este, como la construcción de presas o extracción de agua debido a la demanda en el área urbanizada (Lee et al., 2006). En el caso del lago de Xochimilco, el agotamiento de los manantiales naturales y las transformaciones al entorno que ahora aportan agua tratada y aguas residuales sin tratamiento, dan una idea muy clara de esta tendencia.

El cambio de la hidrología debido a la urbanización también trae consigo el flujo y deposición de materia orgánica (Lee et al., 2006), además de la presencia de altas concentraciones de Nitrógeno y Fosforo en el agua de los humedales, equiparables únicamente a las concentraciones encontradas en zonas adyacente a áreas de cultivo (Faulkner, 2004). Las descargas de aguas residuales tratadas tienen altas concentraciones de nitrógeno y fósforo, al igual que metales tóxicos, por lo tanto se dice que estas descargas aumentan los nutrientes y los contaminantes (Lee et al., 2006).

- Ciclos biogeoquímicos

Como parte del efecto cascada de la segmentación del hábitat y la modificación hidrológica, los ciclos biogeoquímicos se ven alterados con el aporte de nutrientes y contaminantes en la química del sedimento (Ellery, Dahlberg, Strydom, Neal, & Jackson, 2003) y del agua.

El N y el P son nutrientes que pueden tener muchos beneficios para algunas actividades, pero que, al mismo tiempo en caso de presentarse en grandes cantidades, traen consigo fuertes alteraciones a los ecosistemas, afectando por completo el ciclo de los nutrientes (Faulkner, 2004), lo que posteriormente se traduce en problemas de eutrofización.

Otro de los problemas asociados a los elementos o contaminantes aportados por las ciudades, es la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (Van Metre, Mahler, & Furlong, 2000) sedimentos de construcciones, bacterias (Lee et al., 2006) y metales pesados (Faulkner, 2004). Afortunadamente, las investigaciones llevadas a cabo en Xochimilco no reportan problemas graves con hidrocarburos, sin embargo, el agua presenta contaminación por N y P, además de metales pesados, bacterias, virus y parásitos (Espinosa y Mazari-Hiriart, 2006 en Espinosa, 2008).

Dentro del complejo de interacciones presentes en los humedales entre agua y sedimento, la toxicidad de los contaminantes puede variar de acuerdo a condiciones físicas y químicas del área, como la temperatura, el pH, salinidad, etc. (Lee et al., 2006). Es necesario tomar en cuenta, que cuando se habla de humedales, las temporadas son vitales para entender el funcionamiento del ecosistema; esto se debe a que sus características varían de acuerdo a la temporada de lluvias o de sequía (W. Jordan, Gilpin, & Aber, 1992). Independientemente de

estas variaciones y cambios naturales e inducidos en la ecología de Xochimilco, su impacto a nivel de *chinampas*, de alguna manera esta siendo controlado y regulado considerando su resiliencia ante los efectos negativos de las actividades antropogénicas.

Este control y regulación se pudiera estar dando a través de los ciclos biogeoquímicos. Considerando los elementos importantes en la calidad del agua como el nitrógeno, es muy probable que se estén realizando actividades de nitrificación y desnitrificación considerando los niveles de oxígeno (> 4 mg/l) prevaleciente en diferentes estudios (véase Tabla 4. 3 de Calidad de agua de los sectores del ANP de Xochimilco) (Abeja-Pineda, López-López, Favari, & Sedeño-Díaz, 2015; López-Mendoza, Tavera, & Novelo, 2015; Nandini, Ramírez García, & Sarma, 2016; Zambrano et al., 2009). Con respecto a la remoción de fósforo en la forma de fosfatos, también existen reportes que indican la presencia de microorganismos con capacidad de biotransformación y utilización de estas formas de nutrientes como bacterias, microalgas, cianobacterias y consorcios de los mismos que se sabe realizan la bioremediación efectiva de agua contaminada con materia orgánica (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017).

### 2.2.3 Afectaciones al agro-ecosistema

Tomando como estandarte la zona lacustre de Xochimilco, no es factible únicamente analizar las afectaciones al ambiente natural. A pesar de que el agroecosistema que se lleva a cabo en la zona también es parte de una intrusión antropogénica, la chinampería es reconocida mundialmente por sus características amigables con el ambiente (Espinosa, 2008). Sin embargo, tanto la técnica de cultivo como la población de la zona se han visto afectadas por los cambios ambientales del humedal y por el contexto urbano de la zona.

Al existir un cambio en las técnicas de cultivo, la chinampería ha pasado de ser un sistema agrícola ejemplar, a un problema más que aporta N y P al humedal, además de otra serie de elementos provenientes de plaguicidas, asemejándose a los grandes sistemas industriales de agricultura que justifican el daño a la naturaleza por un ingreso económico (Quintero-Angel & González-Acevedo, 2018).

El nexo entre los agroecosistemas y el ambiente natural es indiscutible, todas las afectaciones que se hagan al medio, como las mencionadas anteriormente, afectarán directamente en la

productividad agrícola. De igual manera, se debe considerar que la agricultura está inmersa en una serie de regulaciones sociales, como el mercado, el estado, la cultura, etc.

La zona urbana aledaña al lago de Xochimilco tiene una gran influencia sobre las practicas que ahí se llevan a cabo.

En la siguiente tabla, se muestran los principales problemas relacionados con la zona urbana que enfrentan los trabajadores de la zona:

Tabla 2. 1 Problemáticas de la zona		
Urbanización	ANP Xochimilco	Impactos a la cultura, ambiente o económicos
Oferta de profesiones	Acceso de los pobladores a otras oportunidades	Las nuevas generaciones toman oportunidades en la ciudad y abandonan la agricultura. Predios abandonados.  La ciudad atrae trabajadores de otras zonas con poco conocimiento de la técnica de chinampería tradicional
Agua: Demanda de agua potable / Sobreexplotación de acuíferos	Hundimientos	Cambio de las <i>chinampas</i> inundadas por invernaderos en otras zonas.  Una laguna de inundación sin nuevas alteraciones (Laguna de San Gregorio)
Descarga de agua de planta de tratamiento  Descargas de aguas negras de asentamientos irregulares (non point source)	Impacto en la calidad del agua	Daño a la biodiversidad del lago, axolotl en peligro de extinción, desaparición de especies endémicas.  Impacto en la productividad de las <i>chinampas</i> , los pobladores utilizan plaguicidas y fertilizantes, sin mucho conocimiento de su aplicación.  La percepción de la población en la Ciudad de México sobre la verdura de Xochimilco es mala.
Necesidad de esparcimiento	Turismo	Cambio de uso de suelo de <i>chinampas</i> Diversificación de actividades productivas, otros ingresos.
	Pesca deportiva	Introducción de especies al ecosistema con daño a la cadena trófica.
Fuente: Elaboración propia a partir de trabajo de campo		

Una de las grandes afectaciones como se puede observar, es la calidad del agua y el daño en el sedimento, con el cambio en las técnicas de cultivo, de un cultivo tradicional agroecológico a uno en el que se utilizan pesticidas y fertilizantes artificiales. En este punto, incluso el sistema de cultivo que se está llevando a cabo en Xochimilco, está alterando la estructura y funciones del humedal.

A pesar de este complejo enmarañado de causas y consecuencias, ventajas y desventajas de un sistema agrícola que se lleva a cabo en un humedal urbanizado, no se debe perder de vista que en este sitio no se está buscando una sostenibilidad urbana en la que el peso en las esferas social, económica y ambiental se pueden “repartir” uniformemente, sino que se trata de un sitio en el que la sostenibilidad ambiental es el elemento primordial para soportar las otras dos dimensiones del humedal, por lo tanto, la configuración ambiental del sistema debe tener un lugar privilegiado en los análisis de la zona (Lezama & Domínguez, 2006).

### 2.3 Componentes de los humedales, lagos y su degradación

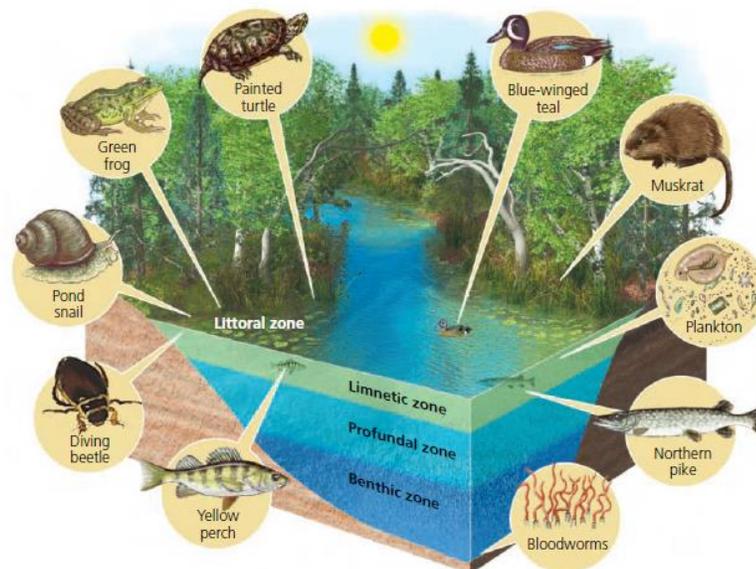
Los lagos pueden entenderse como los cuerpos de agua naturales formados por la precipitación y escorrentía de arroyos o ríos, es decir que las áreas circundantes proveen de agua a los lagos (Miller, Tyler; Spoolman, 2012).

Todos los lagos son diferentes en cuanto a nutrientes, profundidad y tamaño, sin embargo, es posible comparar los procesos que se llevan a cabo en ellos a través de una zonificación tomando en cuenta su profundidad. A continuación, se presenta una descripción:

Tabla 2. 2 Clasificación de zonas de los lagos	
Zona	Descripción
Litoral:	Es la zona más cercana a la orilla, poco profunda y por ende alcanza a iluminarse por el sol hasta la profundidad en que las plantas dejan de crecer. Su diversidad biológica suele ser elevada gracias a la luz solar y a los aportes de nutrientes de la zona terrestre cercana. Las especies que habitan en esta zona son grandes y pueden incluir plantas enraizadas, tortugas, ranas, algunos peces, etc. Suele ser una zona de reproducción de ciertas especies.
Limnética:	Es la zona iluminada por el sol y alejada de la orilla, se extiende hasta la profundidad en que penetra el sol, por ello, se trata de la principal área fotosintética del lago, en la que se produce el oxígeno y la comida (fitoplancton y zooplancton principalmente) que sostienen a la mayoría de los individuos del humedal.

Profunda	Zona profunda con luz insuficiente para la realización de la fotosíntesis. Debido a la falta de luz solar y plantas, los niveles de oxígeno suelen ser bajos.
Bentónica	Esta habitada por organismos llamados bentos. La zona bentónica se nutre principalmente de materia proveniente de las zonas limnética y litoral.
Fuente: (Miller, Tyler; Spoolman, 2012)	

Fig. 2. 1 Zonas del lago de acuerdo con su profundidad



Fuente: (Miller, Tyler; Spoolman, 2012)

## 2.4 Procesos biogeoquímicos de los humedales

### 2.4.1 Importancia de los humedales en la calidad del agua

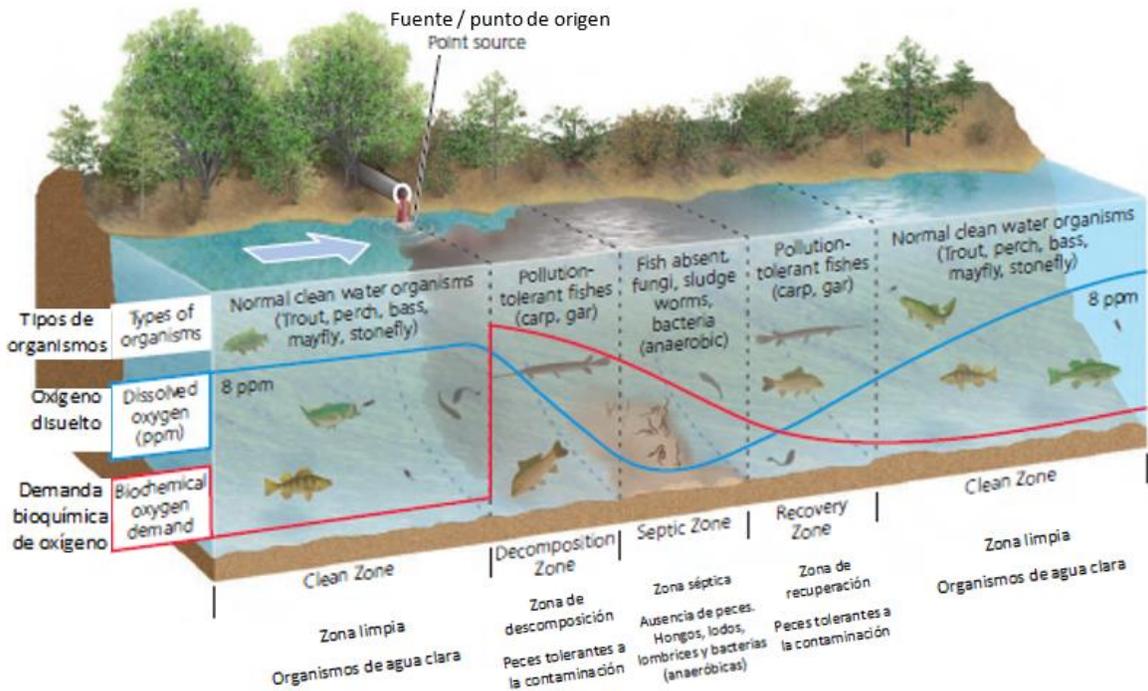
Los humedales son capaces de recuperarse naturalmente de niveles moderados de disturbios, como desechos biodegradables arrojados a los cuerpos de agua, esto es posible debido a una combinación entre la dilución del desecho y el trabajo de bacterias degradadoras presentes en el agua o sedimento (Miller, Tyler; Spoolman, 2012).

La actividad de las bacterias en la naturaleza es muy importante, puesto que son ellas quienes permiten que la materia se recicle indefinidamente, dando origen a los ciclos biogeoquímicos (Corrales, Antolinez, Bohórquez, & Corredor, 2015).

Los procesos de degradación en los humedales existen de manera aerobia y anaerobia, dependiendo de la capa profunda en la que se lleve a cabo la actividad bacteriana. La degradación consiste en que los desechos que generan un grupo de bacterias se convierten en nutrientes de otros organismos o grupos bacterianos (Corrales et al., 2015). Al igual que los humedales, las bacterias generalmente se encuentran estratificadas: cercanas a la superficie, las bacterias fotosintéticas, como las *Cianobacterias*, que utilizan la luz solar y son productoras de oxígeno y materia; debajo de ellas, se encuentran las heterotróficas aerobias, que consumen materia orgánica y oxígeno y las quimioautotóxicas, que también requieren de oxígeno para oxidar los compuestos, finalmente, en las capas más profundas, se localizan las bacterias anaerobias (Corrales et al., 2015). Todas ellas llevan a cabo diferentes procesos de transformación de los compuestos que ayudan a mantener los ciclos de los ecosistemas y en el caso de humedales impactados, benefician la degradación de contaminantes.

La siguiente imagen muestra la corriente de humedal con un punto de contaminación, se puede observar que, gracias al flujo de agua, el contaminante se va diluyendo hasta llegar nuevamente a una zona limpia. A la par de la dilución, es posible observar dos curvas, la curva de oxígeno disuelto (OD), muestra la cantidad de oxígeno disponible en el agua para los organismos que habitan en ella, y la curva de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que mide la cantidad de oxígeno que necesitan las bacterias para degradar el contaminante. Es por ello que la cantidad de OD cae abruptamente en cuanto se introduce el desecho y la DBO aumenta.

Fig. 2. 2 Proceso de recuperación del humedal



Fuente:(Miller, Tyler; Spoolman, 2012) con traducción propia

Este proceso natural es posible cuando los desechos son moderados, existe un flujo que permita la dilución y la introducción de OD en el agua, y cuando se da el suficiente tiempo para que el humedal lleve a cabo el proceso. Adicionalmente, esta capacidad natural de los humedales solo es efectiva cuando se trata de desechos biodegradables; en el caso de materiales no degradables, este proceso no podría ayudar a mejorar la calidad del agua. (Miller, Tyler; Spoolman, 2012).

Mientras las bacterias consumen una gran cantidad de OD para la degradación, los demás organismos del humedal que requieren del OD dejan de estar presentes en la zona, hasta que existan las condiciones para habitarla.

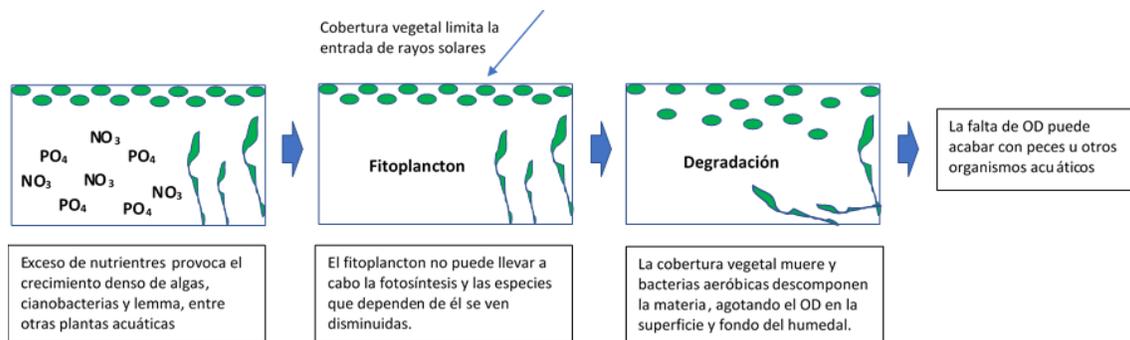
A diferencia de los ambientes costeros y marinos, los lagos son menos eficaces en relación a la dilución de contaminantes debido a la existencia de capas estratificadas que permiten poca mezcla vertical y al poco flujo presente en estos cuerpos de agua (Miller, Tyler; Spoolman, 2012).

El ANP en el lago de Xochimilco, es un humedal permanente en una cuenca cerrada, lo que implica que no tiene un gran flujo como los sistemas que tienen conexión al mar ni una gran dilución de contaminantes (Figuroa Torres et al., 2014), esto indica que los tiempos de retención del agua en una zona específica pueden ser largos, dependerá prácticamente del movimiento que los chinamperos hagan en el sistema a través del control de diques en los canales, el bombeo y transportación en trajineras. En las zonas de canales cercanos a las *chinampas*, se asume que el movimiento será mayor debido a la actividad de las personas y a que las profundidades varían de 0.5m hasta los 2m (González-Pozo et al., 2016), sin embargo en algunas lagunas dentro del ANP, las profundidades pueden llegar entre los 3 y 6 m (Figuroa Torres et al., 2014), que serían las zonas menos perturbadas socialmente hablando.

Como se mencionó, los principales impactos a la calidad de servicios ecosistémicos de los lagos es el aporte excesivo de nutrientes, nitratos y fosfatos principalmente, provenientes de la agricultura y/o áreas urbanas cercanas, ocasionando un incremento en la productividad primaria del humedal y cambios en la comunidad, a este proceso se le conoce como eutrofización y se da generalmente en los lagos poco profundos (W. Jordan et al., 1992; Miller, Tyler; Spoolman, 2012). La eutrofización implica un incremento en la población de algas y microalgas, una elevada turbidez con tonalidad verdosa o café en el agua, reducción en el oxígeno disuelto y cambios en fauna acuática, lo que generalmente se considera como una disminución en la calidad del agua (W. Jordan et al., 1992).

A continuación, se muestra el esquema de lo que ocurre al ecosistema durante el proceso de eutrofización:

Fig. 2. 3 Proceso de eutrofización



Elaboración propia

\*Nota: La sombra no es la única manera en que la cobertura vegetal puede inhibir al fitoplancton; también puede existir una competencia por los nutrientes y reducen la turbulencia del agua, lo que implica un menos transporte de nutrientes y aumenta la sedimentación del plancton (W. Jordan et al., 1992)

En la figura se puede identificar, que el nitrógeno y el fósforo son los dos nutrientes importantes para el crecimiento de algas y plantas acuáticas dentro de los humedales (Abarca, 2007; W. Jordan et al., 1992). Normalmente, el N circula disuelto, mientras que el P puede ubicarse en partículas unidas al sedimento (Faulkner, 2004).

El nitrógeno (N) puede existir en diversas formas, como gas,  $[N_2]$  nitratos  $[NO_3^-]$ , nitritos  $[NO_2^-]$  o amoníaco  $[NH_3^+]$ , y las bacterias generalmente presentes en el agua, convierten los nitritos en nitratos. Al tratarse de un nutriente, el N estimula la vida vegetal y es un elemento clave en la práctica de la agricultura (Flores-Verdugo, Agraz, & Benitez, 2007), sin embargo las reacciones de los  $NO_3^-$  en el agua dulce pueden causar falta de oxígeno en el agua, situación que impacta en la vida de los organismos del ecosistema (Abarca, 2007), como el caso del *Axolotl mexicanum*, y otros organismos endémicos de Xochimilco.

Las bacterias juegan un papel muy importante dentro del ciclo del N. Aquellas bacterias especializadas, son capaces de degradarlo aeróbicamente en sus formas más asimilables por

las plantas, que son el nitrato o el amonio (Flores-Verdugo et al., 2007), a este proceso se le conoce como nitrificación. Por otra parte, los procesos anaerobios de las bacterias eliminan el nitrato del sistema transformándolo en formas de gas molecular  $N_2$  y óxido nitroso  $[N_2O]$  (Hunter & Faulkner, 2001; T. E. Jordan, Weller, & Correll, 1998), por medio de la desnitrificación. Al proceso de reducción del N hasta una forma asimilable se le conoce como fijación biológica del nitrógeno (Corrales et al., 2015).

Las bacterias capaces de llevar a cabo la fijación del N, como las *cyanobacterias*, en ocasiones se convierten en las fuentes de N para varios organismos, este tipo de asociaciones también se da entre algunas plantas como las legumbres y bacterias fijadoras de N, de manera que se vuelven imprescindibles en el crecimiento de las plantas (Corrales et al., 2015; Rodriguez, Sevillano, & Subramaniam, 1985)

El fósforo [P] por su parte, es muy tóxico en su forma elemental, sin embargo, cuando se encuentra en forma de fosfatos  $[PO_4^-]$  es clave en el crecimiento de plantas y animales. Es común que los fosfatos terminen en los humedales debido su filtración de suelos agrícolas. Esto puede estimular el crecimiento del plancton y en consecuencia, la cadena trófica, sin embargo, el exceso de fosfatos también puede provocar situaciones de anoxia con el crecimiento excesivo de plantas que requieran el oxígeno del agua (Abarca, 2007)

Además de la situación de anoxia en el humedal, las altas concentraciones de N podrían tener efectos en la salud provocando metahemoglobinemia ó “enfermedad de los bebés azules”, lo que también puede indicar presencia de contaminantes más peligrosos como bacterias o pesticidas provenientes de la agricultura (Abarca, 2007).

Se considera que la causante de las peculiaridades de los procesos de productividad primaria o eutroficación, es la relación N:P, más que la presencia individual de cada uno de ellos (Rhee 1978 en Sánchez et al., 2007).

A través de estos procesos biológicos llevados a cabo por los microorganismos, algunos compuestos orgánicos pueden metabolizarse hasta producir dióxido de carbono o metano, a esto se le llama mineralización.

Otros compuestos preocupantes en los humedales son los provenientes de plaguicidas. Las estructuras de estos compuestos son complejas, pero al contener carbonos en su estructura primaria y ser compuestos orgánicos, pueden ser mineralizados por procesos microbianos (Environmental Response Division, 1998). En este proceso, esos compuestos contaminantes del humedal, sirven como fuentes de carbono y energía para el metabolismo microbiano, utilizando una porción del carbono para el crecimiento y reproducción celular (Environmental Response Division, 1998).

Existen compuestos sintéticos que pueden o no ser degradados por microorganismos, esto depende principalmente de su estructura molecular; hay más posibilidad de degradar aquellos que se asemejan a compuestos naturales que aquellos con estructuras únicas (Environmental Response Division, 1998).

Dentro de la estructura de los humedales, es muy importante considerar al sedimento, ya que los metales y el fósforo, generalmente se adhieren a las partículas finas (Walker, 2001), y quedan retenidos a través de los procesos de sedimentación (Faulkner, 2004)

El sedimento juega un papel fundamental en la degradación y retención de contaminantes influyendo en su biodisponibilidad. La existencia de organismos transformadores capaces de eliminar los contaminantes es muy probable debido a que los sedimentos se consideran los principales sumideros de contaminantes en humedales (Whitehouse et al. 2000 citado en Lee et al., 2006). Sin embargo, también debe tenerse en cuenta la posibilidad de que las actividades productivas, las lluvias, el viento y las corrientes pueden eventualmente resuspender los contaminantes sedimentados.

Estos procesos de retención y transformación son mecanismos valiosos para la calidad del agua de los humedales, para la recuperación de la biodiversidad y para mantener el funcionamiento del ecosistema.

Aun conociendo estos atributos naturales de los humedales, se sabe que los ritmos de depuración de la naturaleza son lentos, por lo tanto, es posible que el sistema sí llegue a recuperarse por sí mismo, pero a lo largo de mucho tiempo. Dadas las características de crecimiento de la población en un humedal como Xochimilco (Abarca, 2007), resultaría irreal

esperar que el funcionamiento natural del humedal degrade los contaminantes para la recuperación del ecosistema en una escala de tiempo humana.

Es necesario no solo pensar en una solución inmediata de recuperación, sino en un plan a largo plazo, que permita desarrollar actividades humanas y mantener la funcionalidad del ecosistema en esta época moderna, en otras palabras, es necesario una recuperación del humedal y un plan de desarrollo sostenible en la zona.

Es en este punto en el que el ingenio de los pobladores de la zona y los conocimientos científicos deben tener un objetivo común, la aplicación de esta sabiduría conjunta para la restauración de la calidad del humedal.

## 2.5 Conocimiento científico: Biorremediación

Utilizando el conocimiento de la atenuación y otros mecanismos llevados a cabo naturalmente, se han desarrollado técnicas que utilizan organismos vivos para llevar a cabo la restauración de ambientes terrestres y acuáticos. Esta técnica es conocida como biorremediación y surge como una alternativa biotecnológica adecuada para lograr la sustentabilidad de ambientes acuáticos y marinos (Paniagua-Michel & Rosales, 2015)

La biorremediación se refiere al método que utiliza agentes biológicos para remover desechos tóxicos del ambiente y reciclar tanto materiales orgánicos como separar iones inorgánicos, logrando destruir o hacer inofensivos diversos contaminantes, entre ellos moléculas orgánicas y metales pesados (Castillo\_Rodríguez et al., 2005; Kaur & Parihar, 2014). Esto se logra a través de la actividad biológica de los organismos, ya sea aquellos propios del sitio o mediante cultivos de microorganismos con capacidades específicas de degradación, esto implica el uso de plantas, microorganismos, hongos, etc. (Kaur & Parihar, 2014). La biorremediación es capaz de acelerar la velocidad natural de degradación de los organismos, complementándolos con fuentes de carbono, nutrientes o donantes de electrones o introduciendo organismos con características especiales para degradar un contaminante en específico (Kaur & Parihar, 2014).

Dentro de la biorremediación, existen diversas técnicas para tratar un ambiente, estas incluyen los biorreactores, biofiltros, fitorremediación, extracción de tierra, entre otras (Bonaventura & Johnson, 1997). Sin embargo, la fitorremediación tiene ventaja sobre muchas de ellas debido al bajo costo y a ser llevada a cabo in situ; en esta técnica se utilizan plantas para descontaminar los ambientes (Pilon-Smits, 2005).

La fitorremediación utiliza plantas terrestres o acuáticas y sus microorganismos asociados para tratar ambientes contaminados, ya sea suelo, agua o aire, a través de la inmovilización, degradación, volatilización o extracción de los contaminantes orgánicos o inorgánicos (Kaur & Parihar, 2014; Newman & Reynolds, 2004; Pilon-Smits, 2005). Esta tecnología utiliza los procesos naturales de las plantas y las interacciones de los microorganismos en su rizosfera, por lo tanto, dependiendo de las características del contaminante, este puede ser inmovilizado, volatilizado o degradado en la zona de la raíz o en la planta (Newman & Reynolds, 2004; Pilon-Smits, 2005).

Algunos contaminantes orgánicos liberados al ambiente por actividades como la agricultura o la industria, han sido exitosamente tratados con la fitorremediación, ejemplos de estos son: herbicidas, gasolina, benceno, PCBs, etc. (Pilon-Smits, 2005). Por otra parte, los contaminantes inorgánicos que han sido tratados son: macronutrientes como el N y el P (Horne, 2000) o metales como Fe, Cu, Mn, Zn, etc. (Pilon-Smits, 2005).

El hecho de que la fitorremediación haya sido probada para remediar ambientes agrícolas y agua tratada, ambas con nutrientes, metales y otros compuestos (Pilon-Smits, 2005), hace esta técnica altamente atractiva para ser utilizada en un ambiente como el de Xochimilco, en que se tienen descargas constantes y existe contaminación de este tipo.

Como se mencionaba anteriormente, los microorganismos son básicos para la degradación, y en la fitorremediación se les puede ubicar en la parte de la rizosfera. La planta posee mecanismos naturales que promueven la existencia de estos alrededor de las raíces, se trata de una simbiosis natural (Kaur & Parihar, 2014; Pilon-Smits, 2005). Por lo tanto, para considerar un tratamiento de fitorremediación, se deben tomar en cuenta tanto los procesos llevados a cabo por los tejidos de las plantas como aquellos realizados por los

microorganismos; cuando el contaminante es degradado por ellos en la rizosfera se le llama rizodegradación (Pilon-Smits, 2005).

Tanto las plantas como los microorganismos en su rizosfera pueden llevar a cabo la degradación de contaminantes, sin embargo, ambas tienen su especialización, la rizorremediación generalmente se lleva a cabo con contaminantes orgánicos que no pueden ser absorbidos por la planta, como los PCBs; mientras que la planta lleva a cabo la degradación de aquellos contaminantes que pueden moverse por sus tejidos, como los herbicidas (Pilon-Smits, 2005).

Algunas particularidades de la fitorremediación es que las plantas deben poder actuar sobre el contaminante, lo que implica que estas crezcan o existan en el medio contaminado y que las raíces tengan la profundidad necesaria para alcanzar el contaminante (Pilon-Smits, 2005). Esto que podría ser limitante para llevar a cabo la fitorremediación, no pareciera serlo en un contexto como el de Xochimilco. Tomando en cuenta la existencia de las *chinampas* como islas en el lago con profundidades de menos de 2m en el área de *chinampas* (González-Pozo et al., 2016) las raíces de plantas tendrían contacto con los medios contaminados, adicionalmente, el bombeo de agua para regar puede ser considerada como una herramienta más para llevar a cabo este contacto.

La biorremediación trabaja con dos herramientas básicas, la bioaumentación y la bioestimulación, la bioaumentación introduce especies u organismos a un sistema, natural o controlado, para estimular la remediación del hábitat. Por otra parte, la bioestimulación consiste en agregar nutrientes o de alguna manera transformar el entorno (sustrato) para que los organismos del sitio sean más eficientes (Environmental Response Division, 1998).

Sin embargo, considerando que la biorremediación es un tratamiento para el mejoramiento del ambiente y por tanto se puede considerar como una técnica de restauración, esta tecnología debería apegarse a los principios de la restauración ecológica, sobre todo cuando se trata de la bioaumentación. Las técnicas de restauración en general sugieren recuperar los sitios evitando a toda costa la introducción de especies exóticas que pudieran causar un desequilibrio al ecosistema.

Los organismos pueden realizar funciones de remediación gracias a su capacidad de adaptar su catabolismo y utilizar como fuente de alimento a los contaminantes que se encuentren en el medio (Bonaventura & Johnson, 1997), por lo tanto no es de extrañarse que estos organismos sean autóctonos de la mayoría de los ambientes (Environmental Response Division, 1998). Sólo en los caso de ambientes extremadamente estresados, la presencia de bacterias capaces de metabolizar compuestos naturales pudiera estar limitada, en los demás ambientes se considera que estos microorganismos están propagados (Environmental Response Division, 1998). Esta es una ventaja significativa, debido a que la teoría indica que los organismos que ya se encuentran adaptados en el ANP de Xochimilco, deberían de ser los más indicados para llevar a cabo las funciones de biorremediación y por ende de restauración de la zona.

Adicionalmente, la restauración sostenible, indica que se deben considerar todas las causas del impacto al ecosistema, tanto las económicas como las sociales, no solo las bióticas o químicas, para llevar a cabo un plan de restauración (Gunderson & Pritchard, 2002). Por lo tanto, cualquier modelo de conservación debe considerar los modos de vida tradicionales de los habitantes del lugar y mantener la vocación natural del ecosistema a fin de lograr una integración (Abarca, 2007).

En este sentido, al considerar a la *chinampa* como un elemento capaz de ayudar a la restauración del lago, y de contribuir al desarrollo social, es una tecnología ideal para implementar debido a que no resultaría intrusiva y tiene potencial para mantenerse en el tiempo debido al sustento cultural y económico que representa para la población.

Los organismos que se utilizan en la fitorremediación son específicos para cada contaminante y, por lo tanto, cuando se establece un tratamiento se debe considerar el contaminante para saber la especie de planta a utilizar. Sin embargo, en este caso, la intención es averiguar si las especies de plantas de la zona se conocen por tener un potencial biorremediador, la teoría indica que, si naturalmente los humedales poseen la capacidad de degradar los contaminantes, en Xochimilco debería haber especies nativas de plantas y microorganismos capaces de llevar a cabo actividades de degradación.

Ciertamente existen muchas maneras distintas de remediar un ambiente, sin embargo el poder aprovechar y aprender de los procesos adaptativos y estrategias de supervivencia que llevan a cabo los organismos nativos de cada ecosistema (Junk & Nunes De Cunha, 2005), podría asegurar una mayor compatibilidad entre remediación y ambiente, lo que eventualmente lleve a una sostenibilidad del proceso de remediación.

En esta idea de compatibilidad, radica la importancia de revalorizar las funciones ambientales de la *chinampa* como una eco-tecnología milenaria que lleva a cabo funciones de biorremediación a través de su componentes.

## 2.6 Conocimiento tradicional Humedales y sostenibilidad

El conocimiento de los habitantes de Xochimilco no puede ser menospreciado por toda la tecnología y sus atributos expuestos en el apartado anterior. Generalmente se considera que este conocimiento tradicional es amenazado por los procesos de la modernidad (Toledo & Barrera-Bassols, 2008); sin embargo, en este caso es importante reconocer que en la memoria de muchos habitantes de Xochimilco, aún vive ese conocimiento resultado del encuentro entre lo biológico y lo cultural, que llevaría a la implementación de mejores prácticas en el ANP de Xochimilco.

Para ello, se debe reconocer y respetar la sabiduría de los Xochimilcas como conocimiento tradicional. Su modo de vida, los ha llevado a entender mejor que nadie que los seres humanos no existen únicamente gracias a sus vínculos sociales sino de aquella dependencia entre hombre y naturaleza (Toledo & Barrera-Bassols, 2008). Y es a partir de esta comunión que se entiende la diversificación biológica y cultural que se ha dado no solo en Xochimilco, sino también en muchas comunidades que comparten una historia social de comprensión y adaptación al medio natural (Gavin et al., 2015; Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

Las prácticas agrícolas y actividades diarias que los Xochimilcas llevaron a cabo se entienden sólo a partir de la diversidad biológica y cultural en conjunto, dada la dependencia de su medio natural. Expresiones como creencias, instrumentos, arte, vestimenta, cocinas locales, innovaciones etc., forman parte de esa diversidad cultural que parte de conocimientos especiales sobre la naturaleza y su diversidad biológica (Gavin et al., 2015; Toledo &

Barrera-Bassols, 2008). Esta situación refleja no solo un detallado registro de observaciones sino una evolución de saberes transmitidos a lo largo del tiempo (Toledo & Barrera-Bassols, 2008), proceso que los convierte en científicos del medio natural que los rodea, ya que sin duda han utilizado sabiamente el método científico utilizado hasta nuestros días para el avance del conocimiento.

Todas aquellas expresiones mencionadas, forman un complejo biológico-cultural, producto de miles de años de experiencias y conocimiento transmitido sobre la interacción entre las culturas y sus ambientes naturales (Toledo & Barrera-Bassols, 2008). Tomando esto en cuenta, no es de sorprenderse que las *chinampas* sean consideradas como uno de los más sofisticados sistemas hidráulicos creados con tecnología tradicional (Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

#### 2.6.1 Prácticas tradicionales

La cosmovisión de los antiguos habitantes de Xochimilco, con el conocimiento del sitio y la necesidad de adaptarse a las bondades de su entorno, construyeron las *chinampas*, herencia biocultural y tecnológica resultado de la unión de conocimientos empíricos y que subsiste hasta nuestros días.

La chinampería tradicional, implicaba un respeto a los ciclos del sistema, por lo tanto, la estructura de la *chinampa* fue diseñada para causar el menor impacto posible al humedal, al igual que sus prácticas agrícolas. Ya se mencionó que actualmente las características socioeconómicas del sitio y de la sociedad moderna han forzado a sus habitantes a introducir otro tipo de técnicas que están impactando al sitio, sin embargo, el conocimiento sobre la forma tradicional de hacer chinampería, aún persiste en la memoria de algunos de ellos y afortunadamente, también en los libros de texto que se han dado a la tarea de describir esta actividad.

Además de la chinampería, los habitantes de Xochimilco actualmente llevan a cabo otras técnicas y acciones en el humedal que favorecen el mejoramiento del hábitat, como son el desazolve de canales, la utilización de desechos orgánicos como restos de cosechas anteriores, plantación de árboles, etc.

La estructura de la *chinampa* y sus bondades con el ecosistema, a pesar de ser parte importantísima de esta tecnología tradicional, son temas que se abordarán en el siguiente capítulo. En este apartado por tanto vale la pena resaltar aquellas prácticas relacionadas con la chinampería que se llevaban a cabo tradicionalmente para el mejoramiento del hábitat y que desafortunadamente algunas de ellas han ido desapareciendo en la zona o se han modificado por la introducción de técnicas modernas de cultivo, poniendo en riesgo la sostenibilidad tanto del entorno biocultural como del humedal.

El ciclo de los nutrientes era clave para mantener la productividad de las *chinampas*, y se obtenía mediante prácticas como la restauración de la capa superficial del suelo, la prevención de inundaciones, el composteo y manejo de los flujos de agua para evitar la salinización (Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

Dentro de la comprensión de los ciclos de los nutrientes del humedal, los Xochimilcas observaron que la tierra más fértil podía ser aquella que se encontraba en el sedimento del lago y por eso era utilizada para los germinados o *chapines*, en los cuales se crece la plántula antes de ser trasplantada en la *chinampa* (Stephan-Otto, 1998). Incluso la forma de combinar las plantaciones con los árboles al borde, tenía la intención de aprovechar el N ofrecido por plantas fijadoras como el frijol (Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

Las técnicas para mejorar la fertilidad del suelo consistían en procesos de descomposición de la materia orgánica, es decir composteo. En ello se utilizaban residuos de las cosechas, como maíz, paja, maleza y hierbas acuáticas, y por otra parte, el abono orgánico se preparaba con la mezcla de la composta estiércol e incluso excrementos humanos (Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

Una técnica que también comparte la teoría de los agro-ecosistemas, es la utilización de especies arvenses, o malas hierbas, que los agricultores chinamperos respetan dentro del ciclo de crecimiento y además utilizan como alimento, abono, forraje, etc., en lugar de ver en ellas un problema indeseable como se perciben en la agricultura industrial (Stephan-Otto, 1998).

Por otra parte, el manejo hidráulico y la estructura de la *chinampa*, permitía el desarrollo de los cultivos aun en condiciones limitadas de humedad (cuando bajaba el agua de los canales).

Esto se daba gracias a la subirrigación o percolación de las aguas subterráneas y, a que el alto contenido de materia orgánica del suelo permitía la retención de agua durante largos períodos de tiempo (Toledo & Barrera-Bassols, 2008). Esta característica del suelo chinampero también permite reducir la frecuencia necesaria de riego de los cultivos.

A lo largo de los bordes de las *chinampas*, se utilizaban árboles como el ahuejote (*Salix bonplandiana*), para retener la tierra de cultivo, amortiguar el viento, regular cambios de temperatura e incluso para construir nuevas *chinampas* (Toledo & Barrera-Bassols, 2008). Estos árboles son ideales debido a que toleran la humedad y al ser altos y delgados permiten que la luz solar penetre en las parcelas.

Es en este contexto de bioculturalidad y de nuevos conocimientos científicos, en el que se debe revalorizar a la *chinampa* como un patrimonio biocultural que funge como vínculo entre el conocimiento tradicional e innovación científica. Concebir su existencia no solo como una herencia cultural, sino como una tecnología potencial para la restauración del hábitat que involucra un conocimiento biocultural, ayudará a la sostenibilidad de la *chinampa* y el humedal. El utilizar el conocimiento tradicional e implementarlo en las medidas de restauración de los hábitats deberá incrementar la capacidad adaptativa de las comunidades humanas y biológicas ante nuevos disturbios (Gavin et al., 2015).

### III. LA CHINAMPA: UNA ECOTECNOLOGIA DEL INGENIO AZTECA

La construcción del sistema de *chinampas* es uno de los logros en ingeniería más grandes producto del ingenio y necesidad de los aztecas. No se sabe con exactitud cuándo y quienes construyeron las primeras *chinampas* (González-Pozo et al., 2016; Pisanty et al., 2016; Toledo & Barrera-Bassols, 2008). Se especula la existencia de *chinampas* desde el período pre clásico (siglo V) (Toledo & Barrera-Bassols, 2008), mientras que algunos las sitúan en el período clásico (floreció en los años 700 de nuestra era) en sitios cercanos a Teotihuacán y debido a ciertas similitudes entre la traza urbana de Teotihuacan y las zonas chinamperas, se cree que pudieran tener origen Teotihuacano (González-Pozo et al., 2016). Entre los siglos IX y XIII surge la llegada de tribus nahuas que se asentaron cerca de cuerpos lacustres del Valle de México, quienes se apropiaron de la tradición chinampera ya existente (González-Pozo et al., 2016). Sin embargo fueron los aztecas, última tribu en llegar al Valle, quienes consolidaron esta técnica en el gran sistema de *chinampas* que más tarde se convirtió en Tenochtitlan (González-Pozo et al., 2016).

La agricultura intensiva llevada a cabo en estas islas artificiales, misma que permitía producir durante todo el año, permitió a los aztecas alimentar a una población en constante crecimiento. Una de las características más relevantes de esta técnica, reside en la posibilidad de abastecer de agua a la producción de alimentos aún sin lluvias, por lo tanto, la ciudad Azteca tenía comida suficiente durante todo el año. Esta estabilidad alimentaria, explica en parte la fortaleza económica de los Aztecas para su expansión (González-Pozo et al., 2016)

Los registros indican que en el territorio chinampero de Xochimilco – Chalco llegaron a existir decenas de miles de *chinampas* (González-Pozo et al., 2016).

Este método de cultivo eco-agrícola tuvo su máximo desarrollo alrededor del 1519-1521 (Espinosa, 2008; González-Pozo et al., 2016). Los pantanos se drenaban y llenaban por acción natural, la irrigación de cultivos y jardines se realizaban según las necesidades sirviéndose de la hidrodinámica lacustre natural (Toledo & Barrera-Bassols, 2008). Fue la producción en estos sistemas, lo que permitió a los exploradores españoles conocer y ofrecer estos vegetales exóticos a Europa.

Actualmente es posible diferenciar entre una ecotecnología tradicional y original y una moderna debido a los contrastes existentes, principalmente ambientales y antropogénicos. A pesar de estas diferencias, la *chinampa* prevalece y mantiene sus objetivos: ofrecer alimento y territorio, sirviéndose de las propiedades y capacidades para mantener una calidad de agua de acuerdo con sus potencialidades. El contexto moderno en el que se desempeñan las *chinampas* puede considerarse indicativo de otras funcionalidades que contribuyeron a su permanencia a pesar de condiciones negativas como el efecto de los gases tipo invernadero, metales, plásticos y basura de la vida moderna incluyendo electrónicos, etc. La *chinampa*, se considera un sistema de producción vegetal único en el mundo, mismo que se construye aprovechando las bondades del cuerpo de agua del sistema en que se desarrolla que por sus características se denomina humedal. Su elevada fertilidad del sustrato les permitió integrarse y desarrollarse fácilmente en el humedal de Xochimilco, al origen con abundancia de agua (Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

Desde un inicio, esta técnica se concibió como una forma de alimentación eco-agrícola (cultivo de verduras y hortalizas) (Jiménez-Moreno, 2013) con fines de autoconsumo y producción de excedentes para su intercambio o comercialización. Este sistema de cultivo se sirve de las condiciones someras de los lagos, mismos que se alimentaban de acuíferos del sitio, lo que lo hacía independiente de cualquier otra fuente de agua (riego artificial o de agua de lluvia). Las *chinampas* pueden ser de diferente tipo dependiendo de su ubicación: la de tierra adentro, que recibe agua de los canales y la de laguna adentro, que se construye circundada de agua en una laguna permanente (Quiñónez, 2005).

A pesar de lo milenario de su origen, su permanencia puede deberse a su valor como tecnología sostenible, sin embargo, son sus condiciones naturales las que le han permitido prevalecer y resistir a su embate y extinción. Al mismo tiempo, la *chinampa* es considerada una forma propia de cultivar la tierra sin afectar permanentemente el paisaje.

En general los campos elevados de cultivo, como se consideran las *chinampas*, son una tecnología agrícola considerada muy productiva y altamente sostenible, debido a que permite mantener grandes poblaciones, absorbe trabajo, puede ser cultivada ininterrumpidamente, el suelo se renueva constantemente y su estructura genera microclimas que protegen a los cultivos fríos y heladas (Morehart & Frederick, 2014).

A pesar de las características de agricultura intensiva que se confieren a las *chinampas*, estas no son capaces de competir, en términos de volumen de producción, con la agricultura industrial moderna. Sin embargo, cuando se les compara tomando en cuenta beneficios secundarios, las *chinampas* resultan ser más eficientes para satisfacer una población que busca sostenibilidad, uno de los grandes retos globales modernos (Merlín-Uribe et al., 2013).

Las *chinampas* han mostrado ser eficaces para satisfacer las necesidades de una población en la escala local, sin embargo, el contexto local con el que se enfrenta la agricultura chinampera no es el usual. Este sistema agrícola se encuentra dentro de una de las ciudades más habitadas del planeta. Por lo tanto, su escalamiento superior hacia intensificar la producción podría no cumplir con los requerimientos sostenibles y problemas de distribución que aquejan al mundo actual.

Este buen ejemplo del ingenio azteca y de una agricultura sostenible condicionada, es una evidencia viviente de historia continuada hasta nuestros días, aunque en un número sensiblemente menor del original y que merma conforme pasa el tiempo. Sin embargo, la duda aún prevalece: hasta que momento y en qué condiciones prevalecerán las *chinampas*.

### 3.1 Las *chinampas*: estructura y función, potencial de biorremediación

Las *chinampas* son parte de uno de los sistemas tradicionales de agricultura hidráulica intensiva que fueron creados a partir de la revolución agrícola en el período neolítico (Toledo & Barrera-Bassols, 2008). Este sistema altamente productivo abarcaba alrededor de 12,000 hectáreas y fue creado para satisfacer las necesidades alimentarias de 228,000 personas (Denevan, 1982 citado en Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

Este agroecosistema también cumplió una función de urbanización al ganar terreno al lago, lo que permitió la expansión de la ciudad de México-Tenochtitlan. El humedal prehispánico de Xochimilco y sus *chinampas*, a pesar de su importancia biocultural es un ecosistema en peligro de extinción. La falta de una acción mancomunada entre gobierno y sociedad que favorezcan la conservación de las propiedades naturales de este humedal urbanizado, los canales, *chinampas* y las especies endémicas podrían desaparecer y con ello una biodiversidad y ecotecnología agrícola milenaria y única de los orígenes de la cultura

mexicana. Ante el agravio, y degradación constante de las *chinampas* de este ecosistema, se requiere una revalorización de esta ecotecnología milenaria y, por lo tanto, un análisis de las funciones biológicas y sociales que están desempeñando dentro del humedal de Xochimilco.

Las actividades de producción agrícola, biodiversidad y desarrollo socio-cultural, predispone un análisis de las funciones que han ejercido las *chinampas* en relación con sus potencialidades de sobrevivir y adaptarse a la calidad del agua fluctuante (buena, regular y mala) y demás componentes del humedal de Xochimilco.

La decisión de establecer la capital del imperio Azteca fundada sobre una isla, en el centro de un lago, fue determinante para catalogar al agua como el recurso más abundante y básico para su desarrollo. Así, con poca disposición de tierra y con agua abundante, el sistema de *chinampas* se desarrolló y expandió produciendo los alimentos que fueron la base del sustento de la población y su desarrollo. Este invento fue concebido hace más de mil años cuando no existían los términos: biorremediación ni sostenibilidad. Sin embargo, sí existía una plena concepción de la importancia de cada uno de los elementos naturales de su entorno y había un conocimiento de las funciones que estos eran capaces de desempeñar, al grado de incorporarlos por completo en su cultura y cosmovisión (Toledo & Barrera-Bassols, 2008).

Este gran avance de la tecnología ecológica Xochimilca y Azteca cumplió y sigue cumpliendo, en la medida de sus capacidades con sus objetivos iniciales (alimentos y territorio), sin mencionar la diversificación de sus funciones originales. Los componentes estructurales de las *chinampas* para lograr estos objetivos interrelacionan los siguientes elementos: agua-sedimento, plantas, vegetales, algas y bacterias, componentes principales de la biorremediación en medios acuáticos como los humedales.

### 3.2 Estructura y Función General de *Chinampas*: Endémicos y exóticos

Las *chinampas* y su estructura permiten regular y optimizar la utilización de sus elementos naturales de sustrato y agua, sin alterar al ecosistema, las figuras 1 y 2 muestran la estructura de una *chinampa*.

Las *chinampas* tradicionales eran terrenos de cultivo construidos a mano en el lago, formando una estructura rectangular con estacas, cañas o carrizos a manera de cerca (Espinosa, 2008;

Stephan-Otto, 1998). Dentro de la estructura se ponían esteras y se vertían capas de fango extraído del fondo del lago, con capas de materia vegetal intercaladas, hasta que la tierra sobresaliera alrededor de 30 a 60 cm sobre el nivel del agua (Espinosa, Ana; Mazari-Hiriart, 2007; Espinosa, 2008; Stephan-Otto, 1998). De estas características proviene el nombre de la *chinampa*, deriva del náhuatl *chinamitl*, “cerca o valla de cañas o juncos” (Stephan-Otto, 1998; Toledo & Barrera-Bassols, 2008) y *apam*, “terreno plano” (Toledo & Barrera-Bassols, 2008). Posteriormente, se plantaban ahuejotes (*Salix bonplandiana*) alrededor de la *chinampa* con el fin de retener el suelo y proteger los cultivos (Stephan-Otto, 1998).

Las *chinampas* ayudan a la retención del agua y permiten la filtración de líquidos hacia el subsuelo evitando la erosión y la aparición de grietas y fallas por asentamientos. Una capa de composta filtra y empaca las capas superiores. La raíz del ahuejote o sauce se expande de manera horizontal superficial y forma una barrera contra el sol y los vientos que pudieran afectar los cultivos (Fig. 3.1) Las capas se entrelazan con raíces de varios ahuejotes que son sembrados en las orillas de las *chinampas* para impedir la erosión de la tierra. Son estas raíces, el lodo y los desechos post-cosecha lo que permite el máximo aprovechamiento de los recursos.

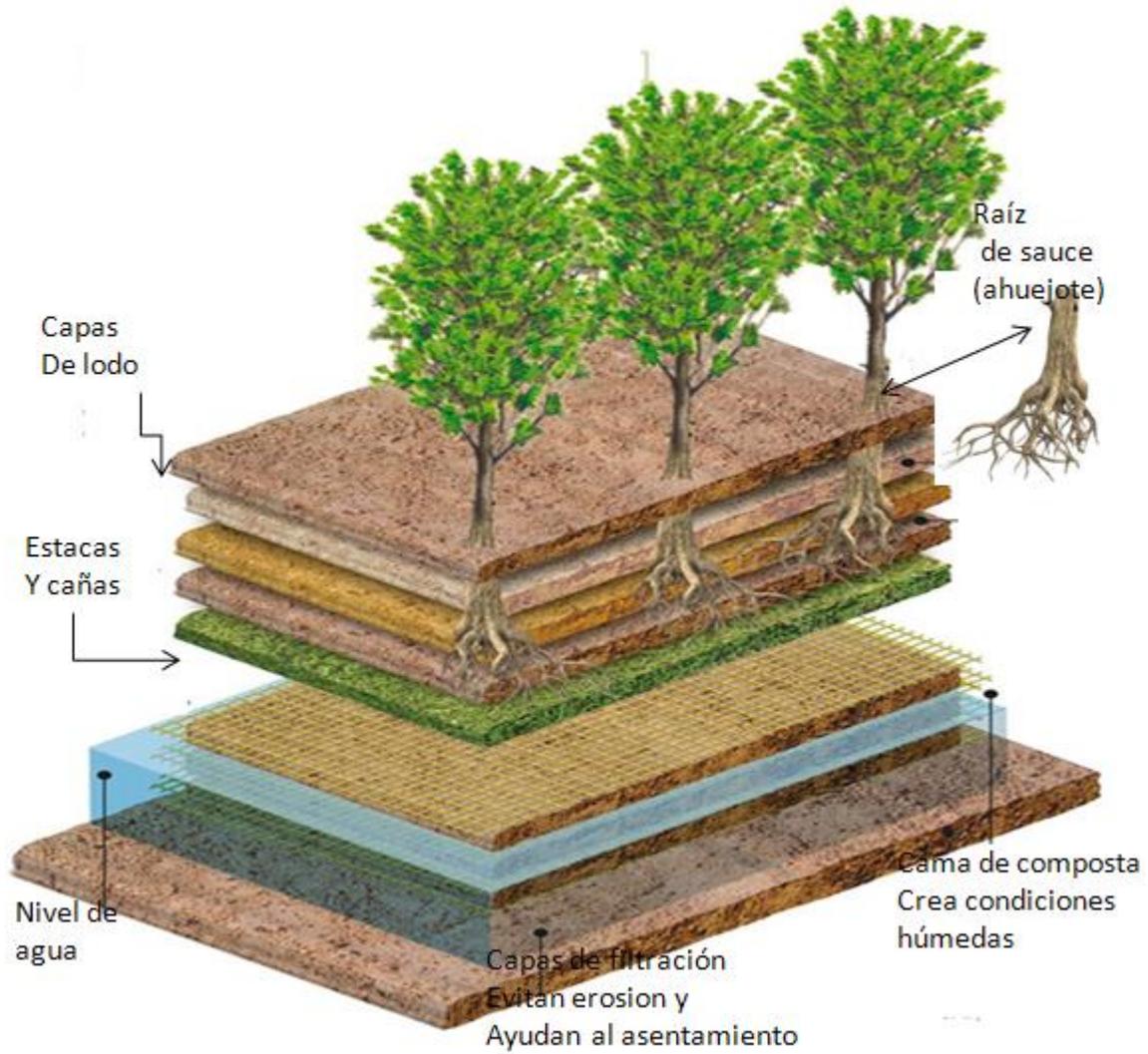
Las *chinampas* tradicionales estaban rodeadas por *acalotes* y *apantles* (Espinosa, Ana; Mazari-Hiriart, 2007; Espinosa, 2008), de donde se extraía el agua para los cultivos, la diferencia entre ellos es básicamente la extensión y profundidad. Un *acalote* es un canal ancho y grande, considerado como vía principal de circulación de canoas, mientras que un *apantle* es un canal chico y angosto utilizado como división entre *chinampas* y como fuente de agua para riego (Espinosa, Ana; Mazari-Hiriart, 2007), estos requieren un esfuerzo de conservación y mantenimiento por parte de los agricultores, debido a que se azolvan con relativa facilidad.

Las *chinampas* fueron construidas en áreas palustres o lacustres poco profundas cercanas a la orilla del lago (Stephan-Otto, 1998). Estas características de la *chinampa* crean las condiciones necesarias para una agricultura sostenible e intensiva, asegurando un suelo altamente fértil con disponibilidad de nutrientes, fácil acceso al agua, reduce la necesidad de riego permitiendo que el suelo mantenga humedad por capilaridad (Espinosa, Ana; Mazari-

Hiriart, 2007; Espinosa, 2008; Stephan-Otto, 1998) y mantiene una relación agua-aire equilibrada (Stephan-Otto, 1998).

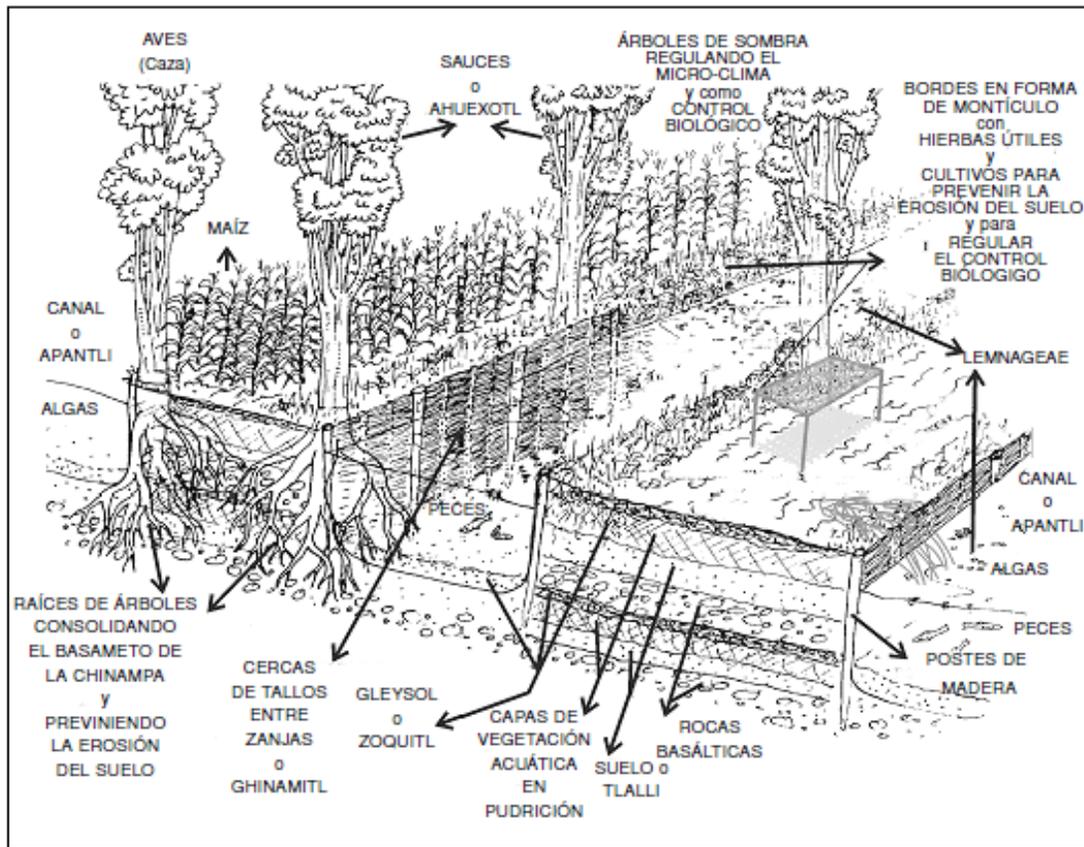
A continuación, se muestra un esquema de los componentes principales de una *chinampa*:

Fig. 3. 1 Estratos de la *chinampa* tradicional



Fuente: (Scoopnest, 2017)

Fig. 3. 2 Estructura de la *chinampa* tradicional



Fuente: (Toledo & Barrera-Bassols, 2008)

### 3.3 Principales contaminantes del ANP de Xochimilco:

El ANP de Xochimilco es un sitio altamente heterogéneo, cuenta con diversas influencias dentro del mismo polígono, y esta situación hace que los contaminantes que afectan a la zona sean muy diversos dependiendo del sector en el que nos ubiquemos.

De acuerdo con la literatura, se han clasificado zonas considerando el espacio geográfico, el uso de suelo y la influencia de fuentes contaminantes, quedando sitios de: uso de suelo

agrícola con chinampería, zona de influencia de asentamientos urbanos, zona urbanizada, sitio mixto con *chinampas* agrícolas, abandonadas, urbanizadas y de recreación y zona de entrenamiento deportivo (Zambrano González et al., 2012).

Esta heterogeneidad propicia que en la zona agrícola pudiera haber mayor presencia de fertilizantes y pesticidas, mientras que en la zona urbana el mayor impacto sean aguas negras y grises, y así sucesivamente (Zambrano et al., 2010). Esta diferencia en la calidad del agua pone en evidencia, la estructura y función en las *chinampas* y su capacidad para activar mecanismos de regulación para fines de mantenimiento y funcionalidad dentro del humedal.

Con el fin de presentar el potencial de la *chinampa* de biorremediar la zona, se tomaron en cuenta los contaminantes existentes en el ANP sin hacer una zonificación especializada en función de la presencia de estos, sin embargo, para la realización de una propuesta de biorremediación focalizada, se recomienda tomar en cuenta por separado cada zona del ANP, así como sus principales fuentes contaminantes. El requisito básico para los fines antes mencionados es que las zonas seleccionadas deben poseer un nivel de agua en las proporciones requeridas por las *chinampas*. Una vez satisfecha esta necesidad, las condiciones existentes son pertinentes para activar procesos de biorremediación.

Se entiende que el agua de Xochimilco está contaminada por formas de N y P, además de bacterias, plaguicidas y metales pesados (Espinosa y Mazari-Hiriart, 2006 en Espinosa, 2008). El agua de los canales y las *chinampas* están íntimamente relacionados, al estar en contacto permanente, los metales, microorganismo, sales, etc., que se encuentren en el agua se encontrarán presentes en el suelo chinampero.

Con el fin de dar un panorama amplio sobre la situación de suelo, agua e incluso de análisis realizados a las hortalizas cultivadas en Xochimilco, se muestra la siguiente tabla con los metales presentes.

Tabla 3. 1 Metales pesados presentes en Xochimilco			
Metal	1. Agua	2. Hortalizas	3. Suelo
Mn	x		
Zn	x	x	x
Sr	x		
V	x		
Cr	x	x	x
Ni	x		x
Cu	x	X	x
Pb	x	X	x
As	x	X	
Cd		X	x
Hg		X	
Elaboración propia con datos de: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. (Carrión et al., 2012)</li> <li>2. (Zambrano González et al., 2012)</li> <li>3. (Ramos-Bello, Cajuste, Flores-román, &amp; García-calderón, 2001)</li> </ol> Nota: Se marca el Plomo (Pb) como una preocupación urgente a atender, pues a pesar de la existencia de otros metales tóxicos como el Cr, Ni, Cu y Cd, el Pb es el único que se encontrado por arriba de los límites permisibles por las normas mexicanas.			

Por otra parte, la salinidad es otro factor que se debe tomar en cuenta en algunos sectores de Xochimilco. De acuerdo a un estudio del suelo chinampero, estas son las principales sales presentes en la zona: Na>Mg>Ca>Ky SO4>Cl>HCO3>CO3 (Ramos-Bello et al., 2001). Un efecto negativo de la salinidad e inmediato en la calidad del agua se observa en la eficiencia de nitrificación, misma que podrá ser rápida o lenta en función con las poblaciones y/o consorcios microbianos existentes en los sitios.

#### 3.4 Componentes de las *Chinampas* y su relación con la Biorremediación (fotos):

El análisis de las componentes estructurales y funcionales de las *chinampas* se consideró para fines de evaluación de su función. De acuerdo con su estructura, las *chinampas* están concebidas para optimizar la utilización de elementos naturales de sustrato y agua, siendo factible alternar la agricultura estacional para la producción agrícola.

De acuerdo con la imagen de estructura chinampera, se puede observar que además de suelo, la *chinampa* cuenta con especies vegetales que ayudan al mantenimiento. Los siguientes elementos vegetales fueron obtenidos de la ficha de descripción que llenó la Secretaría del Medio Ambiente para la inscripción del ANP de Xochimilco como humedal de importancia internacional, entre otros textos.

En la tabla se evidencian la existencia de especies exóticas como *Washingtonia robusta* o *Phoenix canariensis* y nativas como *S. bonplandiana* en el área. Lo ideal es que las especies utilizadas para llevar a cabo una estrategia de restauración sean nativas. Sin embargo, en este ejercicio únicamente se trató de analizar el potencial de todas las especies existentes. En una segunda fase para futuras investigaciones, se deberá evaluar la pertinencia de utilizar especies exóticas que resulten invasivas para el sitio.

Tabla 3. 2 Cruce de información: Vegetación de Xochimilco vs Capacidades de biorremediación				
Nombre	Nom. Científico	Remediación	Remoción	Fuente
Zacahuixtle	<i>Eragrostis obtusiflora</i>	No hay suficiente información		
Romerito	<i>Suaeda torreyana</i>	No hay suficiente información		
Altamisa	<i>Bidens laevis</i>	No hay suficiente información		
Atlanchán	<i>Cuphea angustifolia</i>	No hay suficiente información		
Ficus	<i>Ficus benjamina</i>	No hay suficiente información		
Higo	<i>Ficus carica</i>	No hay suficiente información		
Hule	<i>Ficus elastica</i>	No hay suficiente información		
Tepalacate	<i>Hydromystria laevigata</i>	No hay suficiente información		
Hierba del cáncer	<i>Lythrum vulneraria</i>	No hay suficiente información		
Ninfa	<i>Nymphaea mexicana</i>	No hay suficiente información		
Palma canaria	<i>Phoenix canariensis</i>	No hay suficiente información		
Ahuehuete	<i>Taxodium mucronatum</i>	No hay suficiente información		
Palmera mexicana / Palmera de	<i>Washingtonia robusta</i>	No hay suficiente información		

abanico mexicana				
Berro / Palmita de agua	<i>Berula erecta</i>	No hay suficiente información		
Lirio acuático / Jacinto de agua” o “Lechuguín	<i>Eichhornia crassipes</i>	Sí	Nutrientes / metales Pb, Cd, Cu, Fe, Ni, As, Cr, Mn, Al, Zn, Hg, etc.	(Carrión et al., 2012; Covarrubias & Peña Cabriales, 2017; Jaramillo-Jumbo & Flores-Campoverde, 2012; Poveda, 2014; Viteri & Velasteguí, 2014)
Chichicastle / Lentejas de agua	<i>Lemna gibba</i>	Sí	Nutrientes y metales	(Barrett, Dave, & Wunnava, 2012; Basílico et al., 2016; Curt-Fernandez de la mora, 2005; Delgadillo-López, González-Ramírez, Prieto-García, Villagómez-Ibarra, & Acevedo-Sandoval, 2011)
Helecho acuático	<i>Azolla spp.</i>	Sí	Nutrientes N2	(Delgadillo-López et al., 2011; León-Suárez, 2017; Poveda, 2014)
Lentejilla	<i>Lemna minuscula</i>	Sí	Nutrientes	(Curt-Fernandez de la mora, 2005; Jaramillo-Jumbo & Flores-Campoverde, 2012; Poveda, 2014)
Paragüitas	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	Sí	Nutrientes, Hg	(Basílico et al., 2016; Huamán-Tito & Rumaja-Santos, 2017)
Lechuga de agua	<i>Pistia stratiotes</i>	Sí	Nutrientes / metales Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	(Delgadillo-López et al., 2011; Jaramillo-Jumbo & Flores-Campoverde, 2012; León-Suárez, 2017; Masache-Granda, 2016)
Chilacastle / Lenteja	<i>Wolffia columbiana</i>	Sí	Nutrientes / Cr	(Ahila, Stevens Jones, & Sam Manohar, 2015; Barrett et al., 2012; Curt-Fernandez de la mora, 2005)
Ahuejote	<i>Salix bonplandiana</i>	Sí	Metales / Nitrientes	(González Aragón, Beltran Villavicencio, Ayala Quiroz, Vaca Mier, & Vázquez Morillas, 2012)
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Sí	Metales Zn, As, Pb y Cd	(Díaz-Martínez, Alarcón, Ferrera-Cerrato, Almaraz-Suarez, & García-Barradas, 2013; González Aragón et al., 2012; Khan Rao & Khatoon, 2017; Salas-Luévano, Mauricio-Castillo, González-Rivera, Vega-Carrillo, & Salas-Muñoz, 2017; Shanker, Ravichandran, & Pathmanabhan, 2005)
Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>	Sí	Nutrientes / Cu	(González Aragón et al., 2012; Salas-Luévano et al., 2017)
Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	Sí	Metales	(Adler, Karacic, & Weih, 2008; Chen, Liu, Zhang, & Owens, 2012)
Pirul	<i>Schinus molle</i>	Sí	Metales Pb, Zn, Cu y Cd	(Netzahuatl-Muñoz et al., 2010; Ortega-Larrocea et al., 2010; Pereira et al., 2016; Salas-Luévano et al., 2017)
Junco	<i>Scirpus americanus</i>	Sí	Metales Pb, Cd, Cr, Mn	(Covarrubias & Peña Cabriales, 2017; León-Suárez, 2017)
Espadaña	<i>Typha latifolia</i>	Sí	Metales Pb, Cd, Cr, Mn / Fe, Cu, Zn, Pb, Hg	(Anning, Korsah, & Addo-Fordjour, 2013; Curt-Fernandez de la mora, 2005)

Zacate bermuda / Césped	<i>Cynodon dactylon</i>	Sí	Metales Mn, Zn, Cd, Cu y Pb	(Carrillo-González & González-Chávez, 2006; Covarrubias & Peña Cabriales, 2017)
Carrizo	<i>Phragmites australis</i>	Sí	Nutrientes	(Adler et al., 2008)
Pasto salado	<i>Distichlis spicata</i>	Sí	Suelos salinos / Metales Se	(Bañuelos, Lin, Arroyo, & Terry, 2005; Hasanuzzaman et al., 2014; Semenova, Fomina, & Biel, 2010)
Zacate azul	<i>Poa annua</i>	Sí	Metales Hg	(Pedron et al., 2011; Pedron, Petruzzelli, Barbaferi, & Tassi, 2013)
Ortigas	<i>Urtica dioica</i>	Sí	Metales Pb, Cr, Cu, Zn, Pb, Cd, and Hg	(Grubor, 2008; Shams et al., 2010)
Ricino	<i>Ricinus communis</i>	Sí	Suelos salinos / Metales	(Huang et al., 2011; Ruiz Olivares, Carrillo-González, González-Chávez, & Soto Hernández, 2013; Wu, Zhang, Li, Liu, & Qin, 2012)
Jacaranda	<i>Jacaranda mimosaeifolia</i>	Tolerancia / No hay suficiente información		
Fitolaca	<i>Phytolacca icosandra</i>	Tolerancia metales / No hay suficiente información		
Ciperácea	<i>Cyperus sp.</i>			
Eucalipto	<i>Eucalyptus spp</i>			
Junco	<i>Juncus sp</i>			
Fuente de la vegetación existente en Xochimilco: Elaboración propia a través de la recopilación de diversas fuentes: (Espinosa, Ana; Mazari-Hiriart, 2007; Jiménez-Moreno, 2013; Secretaría de Medio Ambiente, 2004; Zambrano González et al., 2012) La fuente de las propiedades de remoción de cada especie se encuentra en la quinta columna.				

### 3.4.1 Árboles (Nombre coloquial/científico):

#### Ahuejote (*Salix bonplandiana*)

Este tipo de sauce es uno de los principales componentes de la *chinampa*, y ayuda a la retención del suelo con sus raíces. Esta especie es ideal debido a que tolera la humedad y genera microclimas adecuados para los cultivos, sin embargo, además de estas características, posee habilidades de remediación benéficas para el ecosistema.

Fig. 3. 3 Barrera de ahuejotes (*S. bonplandiana*) al borde de las *chinampas*



25/01/2018 -Fotografía propia, tomada en San Gregorio Atlapulco dentro del ANP de Xochimilco

El género *Salix* es reconocido por su habilidad adaptativa a ambientes adversos como: pobres en nutrientes, secos, húmedos o contaminados, particularmente con alta resistencia a los metales (Dimitriou & Aronsson, 2005; Dos Santos Utmazian, Wieshammer, Vega, & Wenzel, 2007; Gomes, Lara Lanza, Silva, & Soares, 2011). Estas características cumplen con una de las condiciones de la fitorremediación, que indica que una especie debe ser capaz de crecer y sobrevivir en un ambiente contaminado.

Por otra parte, el género *Salix* también ha demostrado capacidades de fitoextracción de metales, aunque las cantidades varían dependiendo del tipo de sauce, de las condiciones ambientales, así como de la concentración de los metales (Dimitriou & Aronsson, 2005; Dos Santos Utmazian et al., 2007), estas capacidades de extracción se han comprobado en el *S. bonplandiana* (Gomes et al., 2011). El escenario ideal de una especie utilizada para fitorremediación debería producir grandes cantidades de biomasa y ser capaz de acumular bastas cantidades de metales. Entre otros metales como el As, Ni, Cu (González Aragón et

al., 2012), el Cadmio (Cd) y el Cinc (Zn), son dos de los metales que se sabe que los géneros *Salix*, y en particular el *S. bonplandiana*, son capaces de fitoextraer en sus hojas (Dos Santos Utmazian et al., 2007; Gomes et al., 2011).

Adicionalmente, Gomes et al., (2011) advierten que con excepción del Pb y el Cu en la parte aérea del *S. bonplandiana*, el nivel de metales pesados en las plantas era afectado por el incremento de metales en el suelo, siendo esta una relación directamente proporcional.

Por otra parte, se ha comprobado que algunas especies de *Salix*, como *Salix viminalis*, *S. dasyclados* y *S. schwerinii* pueden tratar aguas residuales con alrededor de 200kg de N de manera anual, por medio de la desnitrificación e incorporación de N al suelo (Aronsson & Perttu, 2001). Dentro del mismo estudio, que algunos componentes peligrosos como el amonio pueden ser absorbidos o retenidos por los sauces (Dimitriou & Aronsson, 2005). Las especies de *Salix* anteriormente mencionadas (*Salix viminalis*, *S. dasyclados* y *S. schwerinii*) no fueron incluídas en la tabla 3.2, debido a que no se tiene registro de su existencia en la zona de estudio. Sin embargo, sugieren la necesidad de hacer más estudios con la especie *S. bonplandiana* considerando que estas habilidades del género *Salix* podrían también atribuírsele. Por lo tanto, hasta no tener evidencia experimental de ello, se sigue considerando una capacidad potencial.

El ahuejote por lo tanto, cumple con las características de una especie fitorremediadora, al poder sobrevivir en un ambiente con metales pesados y mantener un balance nutricional favorable con poca influencia de los metales para la producción de biomasa (Gomes et al., 2011).

Diversos estudios han rastreado la presencia de metales pesados en el agua de Xochimilco, al considerarse que los metales generalmente se adhieren a las partículas orgánicas y que el agua de los canales con metales es utilizada para el riego de las *chinampas*, se entiende que tanto el suelo de la *chinampa* como el sedimento de los apantles y acalotes tiene presencia de estos metales. La especie de sauce *S. bonplandiana*, mejor conocida como ahuejote, tiene las características fitorremediadoras de su género, por lo tanto, es una especie valiosa por sus aportes de retención de metales pesados, además de las características degradadoras de nutrientes.

## Rizosfera

La zona de las raíces de las plantas es otro mundo de interacciones y procesos, relacionados sí con la planta, pero también con todos los microorganismos que se encuentran en el suelo.

Por ejemplo, los hongos denominados Endófitos Septados Oscuros (DSE, Dark Septate Endophytes) DSE se encuentran asociados a las raíces de las plantas, y algunos como el *Phialocephala Fortinii* incrementan las concentraciones de P y N en las hojas de las plantas, sin embargo, una asociación positiva, negativa o neutral, dependerá del tipo de planta, hongo y del suelo (Heredia-Acuña, Alarcón, Hernández-Cuevas, Ferrera-Cerrato, & Almaraz-Suarez, 2014). Se sabe que los DSE tienen funciones de mineralización de compuestos orgánicos ricos en P y N (Heredia-Acuña et al., 2014). La presencia de los DSE en ambientes acuáticos es constante, por lo tanto, hay gran probabilidad de que también existan en Xochimilco y más específicamente en el ahuejote.

Se tiene conocimiento de que en otra especie de *Salix* (*Salix humboldtiana*), las raíces se encuentran colonizadas, en algunos ambientes, por DSE del tipo *P. fortinii* además de otras especies de hongos micorrizicos arbustulares y ectomicorrízicos (Wagg et al., 2008; Becerra et al., 2009; en (Heredia-Acuña et al., 2014). Por lo tanto, de existir la presencia de estos hongos en el *S. bonplandiana*, estos podrían estar beneficiando la asimilación de nutrientes por parte del ahuejote.

La tolerancia de los DSE a metales pesados como el Cd y el Pb (Deram, Languereau-Leman, Howsam, Petit, & Haluwyn, 2008) los hace atractivos para su uso en biorremediación; al mismo tiempo dada la posibilidad de que funjan como promotores del crecimiento vegetal, los DSE podrían tener también un valor para las especies agrícolas cultivadas en las *chinampas*.

## Casuarina (*Casuarina equisetifolia*)

La *Casuarina equisetifolia* es una especie exótica fijadora de nitrógeno con propiedades antibacteriales cuyas hojas han sido tratadas químicamente y utilizadas como bioabsorbentes

de metales pesados, gracias a los bajos costos que estas representan (Khan Rao & Khatoun, 2017).

Esta especie es considerada en la restauración dada su tolerancia a suelos salinos contaminados con diesel y aquellos contaminados por la industria minera (Díaz-Martínez et al., 2013). Adicionalmente, esta especie es capaz de acumular cromo (CrIII), principalmente en sus raíces (Shanker et al., 2005) y otros metales como el Zn, As, Pb y Cd en sus brotes, además de ser considerada hiper-acumuladora de Cu (Carrillo-González & González-Chávez, 2006; González Aragón et al., 2012; Salas-Luévano et al., 2017). A pesar de su tolerancia al diesel, se ha demostrado que en determinadas concentraciones este afecta el crecimiento de la *Casuarina*, sin embargo, la bioestimulación a nivel microbiano puede incentivar benéficamente el crecimiento de este árbol aun en ambientes adversos (Díaz-Martínez et al., 2013).

A pesar de las propiedades enlistadas de la *C. equisetifolia*, también debe considerarse que se trata de una especie australiana, considerada como una especie invasora (González-Gutiérrez, Suárez-Terán, Hechavarria-Schwesinger, & Oviedo, 2009) con distintas afectaciones. Debido al crecimiento profuso de las raíces de la *C. equisetifolia* estas pueden desplazar e inhibir el crecimiento de vegetación nativa, así como de la fauna asociada a ella. En algunos lugares de México, incluso se han creado programas para el control y erradicación de esta especie (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP] & Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2015; Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2017).

La *C. equisetifolia* es una especie que ya se encuentra en el sitio, sin embargo, la presencia de esta especie debe ser cuidadosamente analizada para saber las funciones que está realizando actualmente, y para futuros planes de restauración se deberían considerar mecanismos de control para esta especie.

### Fresno (*Fraxinus uhdei*)

Al igual que la Casuarina, este árbol tiene resistencia a suelos contaminados con metales pesados y capacidad de acumulación de Cu, Ni (González Aragón et al., 2012), Pb, Cd y principalmente As (Salas-Luévano et al., 2017).

### Pirul (*Schinus molle*)

Este árbol también es capaz de contener metales pesados en sus brotes, aunque las cantidades de As son mucho menores a las del *F. Uhdei* y *C. equisetifolia*, este árbol es un buen acumulador de Pb y Zn (Carrillo-González & González-Chávez, 2006; Salas-Luévano et al., 2017), con respecto a las capacidades de acumular Cu, existen pruebas que indican que es capaz de absorber Cu y Cd en menores concentraciones (Carrillo-González & González-Chávez, 2006) y en otras, ha podido acumular altas concentraciones de Cu, siendo consistente con su alta capacidad de acumulación de Zn y Pb (Doganlar, Doganlar, Erdogan, & Onal, 2012). Una característica importante de esta especie, es su capacidad de ajustar la estructura y funcionamiento de las hojas para hacer frente a los contaminantes (Pereira et al., 2016). A pesar de no ser considerado una especie hiperacumuladora, este árbol también se considera adecuado para la estabilización de metales (Ortega-Larrocea et al., 2010).

Adicionalmente, la corteza de este árbol ha sido probada por su capacidad de eliminar Cr de soluciones acuosas, resultando que su corteza elimina este metal gracias a mecanismos de biorreducción y principalmente biosorción (Netzahuatl-Muñoz et al., 2010).

### Sauce llorón (*Salix babylonica*)

Se considera que el género *Salix* tiene potencial para la fitorremediación en suelos con metales pesados debido a su tolerancia, capacidad de acumulación y alta producción de biomasa en estos ambientes (Białowiec, Wojnowska-Baryła, & Agopsowicz, 2007; Chen et al., 2012). De igual manera, el *Salix sp.*, es considerado por su capacidad de captación de nutrientes (Adler et al., 2008).

El *Salix babylonica* demostró alta resistencia a las anegaciones y ambiente contaminado con Cu, la afectación en el *S. babylonica* fue una disminución en la biomasa y aumento del Cu

en la raíz, disminuyendo su presencia en tallos y hojas (Chen et al., 2012). Esta resistencia es lo que lo hace indicado para la biorremediación en humedales.

#### Consideraciones

La ventaja del tratamiento con árboles en los sistemas de remediación con respecto a especies bioacumuladoras de plantas vasculares, consiste en los alcances que puede tener la raíz de los árboles para el tratamiento tanto de suelo como de agua (Białowiec et al., 2007; Chen et al., 2012; Fillion, Brisson, Guidi, & Labrecque, 2011). Como se mencionó en cada una de las especies, las raíces son zonas sumamente importantes para la acumulación de metales pesados; a pesar de que estos también se han encontrado acumulados en hojas y tallos, las mayores concentraciones han sido ubicadas en la raíz, sobre todo en los ambientes que exhiben una mayor concentración de contaminantes.

Con respecto a la concentración de nutrientes, se entiende que los tallos de los árboles son las estructuras en las que se acumulan, por lo tanto, si se quisiera remover nutrientes de un sistema, la tala del tallo sería una medida (Adler et al., 2008).

#### 3.4.2 Plantas vasculares: terrestres

##### *Ortiga (Urtica dioica)*

Esta planta es considerada comúnmente para ser utilizada en tratamientos de remediación, tiene una capacidad natural para la captura de metales pesados como el Cu, Zn, Cd y Hg (Edwards, Macleod, & Lester, 1996; Khan & Joergensen, 2006; Shams et al., 2010), muy efectiva en la extracción de Cr (Shams et al., 2010) e hiper-acumuladora de Pb (Grubor, 2008).

La ortiga tiene capacidad para acumular los metales en tallo, hojas y raíces, sin embargo, pareciera que la parte de la raíz tiene una mayor captación. Por ejemplo, en el caso del plomo, este es encontrado en mayores concentraciones en la raíz, seguido por hojas y las menores concentraciones en el tallo (Grubor, 2008); siendo consistente con el Cr, el cual fue captado mayormente por raíz, seguido por hojas y una mínima captación en tallo, en este caso, la

captación de la cantidad del Cr en raíz varía dependiendo de la concentración de contaminante (Shams et al., 2010).

El comportamiento de la ortiga es interesante debido a que acumula la mayor cantidad de nutrientes en las hojas, sin embargo cuando se enfrenta a niveles altos de contaminación por un metal, la concentración de nutrientes en hojas disminuye, mientras en las raíces aumenta, esto ocurre con nutrientes primarios como K y P, situación que indica una prioridad para la planta, la supervivencia ante el incremento de contaminantes, y posteriormente el crecimiento y fungir como un elemento remediador (Shams et al., 2010).

Con respecto a las concentraciones de N, estas son afectadas dependiendo de la disponibilidad de otros nutrientes como el azufre (S), que puede incidir en que bajen los niveles de captación de N en un ambiente más contaminado (Shams et al., 2010)

#### Ricino (*Ricinus communis*)

El ricino se ha utilizado en la remediación de suelos extremadamente salinos a orilla del mar (Wu et al., 2012). Esta planta tiene una alta tolerancia a la salinidad y puede crecer de 2 a 5m en un ambiente adecuado (Li et al., 2010 en Wu et al., 2012). Se demostró que con la plantación del ricino, el suelo disminuyó su salinidad y aumentó la actividad y diversidad de microorganismos, en especial bacterias halófilas, solubilizadoras de P y K, descomponedoras de celulosa, amonificadoras, nitrificadoras y fijadoras de N (Wu et al., 2012). Sin embargo, se debe tomar en cuenta que este tratamiento requiere de una cantidad elevada de nitrógeno para llevarse a cabo (Wu et al., 2012).

Existen muchos tratamientos utilizados para mejorar la salinidad del suelo, el lavado de suelos es uno de los más utilizados, sin embargo, tomando en cuenta las condiciones del humedal de Xochimilco, esta no es una opción ni redituable ni sostenible. En lo anterior, radica la importancia de la utilización de especies que sean capaces de controlar la salinidad.

Fig. 3. 4 Cultivo de jitomate en una chinampa con suelo salino en Xochimilco



26/01/2018 Fotografía propia (acervo personal)

Nota: La fotografía muestra una plantación de jitomate que se vio afectada en su crecimiento debido al exceso de sal en el agua de riego tomada de uno de los canales cercanos. La salinización puede observarse en las dos canaletas del lado derecho de la fotografía.

Con respecto a los metales, el ricino muestra tolerancia a suelos contaminados con metales y concentra algunos de ellos la raíz. La literatura difiere sobre su capacidad de acumulación de metales pesados. En algunos análisis se le ha asignado un valor bajo de factor de traslocación de metales, por lo tanto, no se la considera una planta acumuladora (Ruiz Olivares et al., 2013). Sin embargo, en otros experimentos los resultados han sido diferentes, otorgando al ricino una buena capacidad de acumulación de metales, tolerancia a la contaminación y un crecimiento rápido (Huang et al., 2011; Rajkumar & Freitas, 2008), esta situación bien podría obedecer al genotipo de planta utilizado (Huang et al., 2011), a las concentraciones de los contaminantes u otros factores del medio. A pesar de ello, se considera que el ricino puede ser útil en la fitoestabilización de estos residuos (Ruiz Olivares et al., 2013).

Con respecto a pesticidas como el DDT y sus residuos de metabolitos, el ricino presenta capacidad de acumulación de DDT en su sistema de raíz (Huang et al., 2011).

### 3.4.3 Plantas vasculares: Herbáceas acuáticas

#### Junco (*Scirpus americanus*)

Es una especie que se caracteriza por su capacidad de acumular metales (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017), de hecho debido a su tolerancia en ambientes contaminados y su capacidad de expansión, es junto con *Typha latifolia*, ampliamente utilizado en humedales artificiales para la extracción de metales como Pb, Cd, Cr, Mn (Carranza-Álvarez, Alonso-Castro, Alfaro-De La Torre, & García-De La Cruz, 2008; Covarrubias & Peña Cabriales, 2017).

Se considera que la sinergia *Typha sp.-scirpus sp.*, es conveniente para aumentar la eficiencia de los tratamientos de biorremediación, para la eliminación de coliformes fecales (León-Suárez, 2017).

#### Rizósfera

Debido a la amplia utilización del junco en humedales artificiales, se ha incentivado el estudio de las comunidades microbianas en su rizosfera, con el fin de determinar cuáles son aquellas comunidades que intervienen en los procesos de remediación. De ello se conoce la existencia de comunidades como *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Microbacterium*, *Curtobacterium*, *Rhodococcus*, *Xanthomonas* y *Pseudomonas*, estas con capacidad de reducir el Cr (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017; Mauricio-Gutiérrez, Peña-Cabriales, & Maldonado-Vega, 2010).

Aunque como se ha dicho anteriormente, la existencia de ciertos microorganismos puede estar en función del medio y no únicamente de la especie vegetal de la que se trate.

#### Espadaña (*Typha latifolia*)

Las características de la *Typha sp.*, permiten que sus raíces estén en contacto con el sedimento y su estructura emerja del agua (Curt-Fernandez de la mora, 2005). Esta macrofita, es una de las más utilizadas en humedales artificiales se ha comprobado su efectividad para la extracción de metales pesados. Es reconocida como una planta de uso común para la fitorremediación e incluso es considerada hiper-acumuladora (Anning et al., 2013).

*T. latifolia* es capaz de acumular diversos metales como Pb, Cd, Cr, Mn (Carranza-Álvarez et al., 2008; Covarrubias & Peña Cabriales, 2017), en especial posee una habilidad para acumular Fe, Pb y Cu, este último incluso en concentraciones consideradas tóxicas, y lo llevó a cabo concentrando la mayor cantidad en los brotes, seguido en acumulación por la raíz (Anning et al., 2013). De acuerdo a Anning et al. (2013), el metal que más se acumula es Fe, y lo hace mayormente en la raíz seguido por los brotes.

#### 3.4.4 Pastos

##### Carrizo (*Phragmites australis*)

Es utilizado para remoción debido a su alta eficiencia como acumulador de nutrientes, comparado con la *U. dioica*, este pasto no sólo tiene una mayor captación sino una mayor constancia en acumulación de biomasa frente a diferentes condiciones de sustrato (Adler et al., 2008)

Para el caso de los nutrientes, específicamente P, se considera que la *P. australis* tiene una ventaja sobre especies de árboles como el *Salix sp.* o el *Populus sp.*, ya que su biomasa y acumulación de nutrientes no disminuyen mucho durante la fitorremediación (Adler et al., 2008). Sin embargo, antes de decidir entre una especie u otra, se debe tomar en cuenta el balance N:P y los niveles de contaminación. También es importante tomar en cuenta que el hecho de que el carrizo almacene la mayor cantidad de nutrientes en su rizoma (Adler et al., 2008), puede implicar un mayor esfuerzo en el manejo del tratamiento.

##### Pasto salado (*Distichlis spicata*)

La *D. spicata* es reconocida por su tolerancia a los ambientes salinos y a su capacidad de acumulación de sales (Semenova et al., 2010). Se han llevado a cabo estudios para el tratamiento de suelos salinos, y se considera dentro de las especies con potencial para la remediación (Hasanuzzaman et al., 2014; Semenova et al., 2010). Se reconoce que hacen falta mayor investigación y se ubican especies con mayor capacidad de retención salina (Hasanuzzaman et al., 2014), sin embargo, es necesario considerar el ambiente de desarrollo de la planta, por lo tanto se mantiene la teoría de que la utilización de plantas que se

encuentren en el sitio debería ser la mejor opción para los tratamientos de biorremediación y restauración.

Por otra parte, este pasto salado también capaz de acumular Se S B Cl y volatilizar Se, siendo la capacidad de fitoextracción mucho mayor que la volatilización (Bañuelos et al., 2005).

#### Zacate azul (*Poa annua*)

Se ha demostrado que con la acción conjunta de sustancias que aumentan la biodisponibilidad de mercurio (Hg), esta planta es capaz de retenerlo tanto en los brotes como en la raíz, siendo esta última en donde se alcanzaron los mayores niveles de retención (Pedron et al., 2011, 2013).

#### Zacate bermuda / Césped (*Cynodon dactylon*)

Este césped es considerado un acumulador de Mn (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017; Hernández-Acosta, Mondragón-Romero, Cristobal-Acevedo, Rubiño-Panta, & Robledo-Santoyo, 2009).

Dentro de sus capacidades de concentración de metales, esta puede almacenar Cu, Pb y Zn y Cd en mayor proporción (Carrillo-González & González-Chávez, 2006). A pesar de las concentraciones y variaciones que se obtengan de una investigación a otra, es importante mencionar que los resultados están influidos por el entorno, lo que aumenta o disminuye la capacidad de acumulación de cada especie.

#### 3.4.5 Acuáticas flotantes

##### Chichicastle / lentejas de agua (*Lemna gibba*)

Esta planta herbácea flotante crece generalmente en aguas eutróficas y tiene una alta productividad de biomasa; considerando que la *Lemna sp.*, tiene un alto contenido de N, entonces es posible que al retirar periódicamente esta planta de un humedal se pueda disminuir la cantidad de nutrientes en el sistema (Curt-Fernandez de la mora, 2005). Sin embargo, debe tenerse un buen plan de manejo sobre las estaciones adecuadas para retirar la

planta, de lo contrario podrían generarse condiciones contrarias a las que se buscan (W. Jordan et al., 1992).

Debido a las características mencionadas, *L. gibba* es utilizada para la remoción de nutrientes (N, P y C), así como coliformes fecales y escherichia coli. A pesar de que *L. gibba* muestra una buena efectividad en remoción, la utilización de dos especies diferentes ha mostrado mejores resultados de humedales construidos (Basílico et al., 2016).

Uno de los beneficios de la remoción de nutrientes con *L. gibba* es su potencial uso como biocombustible, debido a que se muestra como un recurso viable para la producción de etanol (Barrett et al., 2012).

Además de remover nutrientes, *L. gibba* también se conoce por su capacidad de acumular metales como Pb, As, Cu, Cd, Ni, Cr, Al, Fe, Zn, Mn (Delgadillo-López et al., 2011).

#### Lentejilla (*Lemnas minúscula*)

A pesar de no haber suficientes estudios para esta macrofita en particular, se sabe que las *Lemnas* pueden doblar su biomasa en poco tiempo al absorber los excesos de nutrientes en aguas superficiales, situación que las hace ideales para el tratamiento de aguas residuales (Curt-Fernandez de la mora, 2005; Jaramillo-Jumbo & Flores-Campoverde, 2012; Poveda, 2014).

Con respecto a su tolerancia a metales pesados, son necesarios estudios específicos de esta especie para analizar su capacidad de acumulación.

#### Chilacastle / lenteja de agua (*Wolffia columbiana*)

A esta especie se la relaciona con la *Lemna sp.*, por ser una planta herbácea flotante utilizada en la eliminación de nutrientes (Barrett et al., 2012; Curt-Fernandez de la mora, 2005). *Wolffia columbiana* puede concentrar los minerales en agua altamente contaminada, por drenaje, agricultura o ganadería, mientras que la *Lemna sp.*, suele ser más sensible a los cambios del ambiente (Ahila et al., 2015).

Las lentejas de agua como se las conoce, son las plantas más pequeñas y no tienen distintivamente hoja ni tallo, por lo que a su estructura se le denomina “fronde”, en el caso de *Wolffia sp.* se conoce por su ausencia de raíz (Curt-Fernandez de la mora, 2005).

Al igual que *Lemna sp.*, la *W. columbiana* tiene alta capacidad para producir biomasa y esta siendo considerada para la producción de etanol (Barrett et al., 2012).

Por otra parte, *W. columbiana*, ha sido exitosamente utilizada en el tratamiento de Cr (Ahila et al., 2015), aunque la literatura indica que estas plantas son capaces de extraer también otro tipo de metales pesados.

#### Paragüitas (*Hydrocotyle ranunculoides*)

Esta macrofitas no ha sido tan ampliamente estudiada por su capacidad fitorremediadora, sin embargo se conoce que también presenta tolerancia a la contaminación con metales y tiene capacidad acumuladora de Hg tanto en la parte aérea de la planta como en la raíz, siendo esta última en donde se acumula mayor cantidad (Huamán-Tito & Rumaja-Santos, 2017).

*H. ranunculoides* también ha sido probada por su capacidad para la remoción de nutrientes, coliformes fecales y *Escherichia coli*. A pesar de no ser tan efectiva como *L. gibba* en la remoción de N, P y C, esta planta demostró una mayor remoción de materia suspendida que la mencionada *L. gibba* (Basílico et al., 2016).

#### Jacinto de agua / Lechuguín (*Eichhornia crassipes*)

La especie *Eichhornia crassipes* es una planta acuática generalmente considerada como especie invasora, sin embargo se ha comprobado su capacidad de depuración de agua residual, al ser utilizada en la construcción de humedales artificiales para el tratamiento de este tipo de agua (Viteri & Velasteguí, 2014).

*E. crassipes* es comunmente utilizada en los sistemas de fitorremediación, no solo por su capacidad de remover nutrientes, sino por su alta tolerancia y capacidad de acumulación de metales pesados como Pb, Cd, Cu, Fe, Ni, As, Cr, Mn, Al, Zn, Hg, etc. (Carrión et al., 2012; Covarrubias & Peña Cabriales, 2017; Jaramillo-Jumbo & Flores-Campoverde, 2012; Poveda,

2014; Viteri & Velasteguí, 2014). Más importante aún, la propuesta ha sido evaluada con las especies de Xochimilco, así como su capacidad para remover algunos contaminantes y los resultados fueron positivos logrando entre otras cosas, una acumulación intensa de Cr y Mn (Carrión et al., 2012).

Esta planta demostró que la raíz de la planta puede tener una concentración del quintuple de metales de los que puede retener en la parte aérea, siendo la raíz el principal acumulador (Carrión et al., 2012).

Con respecto a nutrientes y generación de biomasa, *E. crassipes* remueve grandes cantidades de N, P, sólidos suspendidos y reduce microorganismos patógenos, además de ayudar a la oxigenación del agua (Poveda, 2014; Viteri & Velasteguí, 2014). Incluso esta especie puede incrementar la fotosíntesis cuando esta expuesta a bajas concentraciones de metales pesados (Pereira et al. 2011, 2014 citados en Pereira et al., 2016).

Helecho acuático / (*Azolla spp.*)

*Azolla* es una macrófita acuática flotante que cuenta con raíces. Al igual que otras macrofitas, tiene la capacidad de generar grandes cantidades de biomasa, de hecho, *Azolla spp.* puede duplicarla en tres días y es considerada un hiperacumulador de N<sub>2</sub> (Poveda, 2014).

A pesar de que la capacidad de tolerar metales depende de la especie y genotipo, existen algunos tipos de *Azolla* como *Azolla caroliniana* que son capaces de acumular Hg, Cr Sr, Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Au (Delgadillo-López et al., 2011; León-Suárez, 2017). Con respecto a la especie de *Azolla sp.*, encontrada en Xochimilco, es necesario llevar a cabo una mejor identificación y posteriores evaluaciones sobre su bioacumulación.

Lechuga de agua / (*Pistia stratiotes*)

*Pistia stratiotes* es una especie recomendada para fitorremediación en la remoción de nutrientes y metales pesados, incluso podría presentar una ventaja sobre *E. crassipes* por tener un crecimiento menos acelerado (León-Suárez, 2017). Se ha demostrado su efectividad para remoción nutrientes (Masache-Granda, 2016), de bacterias *E. Coli* y se considera adecuada para el tratamiento de aguas negras, aumentando su efectividad cuando se buscan sinergias con otras especies (León-Suárez, 2017).

Por otra parte, *P. stratiotes* es una hiperacumuladora capaz de retener cuatro o más metales, entre ellos: Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn (Delgadillo-López et al., 2011; Jaramillo-Jumbo & Flores-Campoverde, 2012).

#### 3.4.6 Microorganismos y su función en la Bioremediación

Otro grupo de componentes estructurales de las *chinampas* son las bacterias y las microalgas que se consideran microbiomas básicos y primordiales para realizar la biorremediación. De hecho, son los grupos taxonómicos que realizan la remoción de nutrientes disueltos en el agua contaminada. Así, los procesos de nitrificación y de desnitrificación, producto de la estabilización del nitrógeno se realizan mediante la asociación alga-bacteria.

En un monitoreo de Xochimilco, se estudiaron cinco efluentes y cinco canales, para la cuantificación de coliformes fecales, enterococos, colífagos somáticos, quistes de *Cryptosporidium sp.* y quistes de *Giardia sp.* El resultado del agua tratada que descarga en los canales mostró cantidades bajas de coliformes fecales (media de 40.4/100 ml), enterococos (media de 58.8/100 ml) y quistes de *Cryptosporidium* (media de 13.2/100 l) (Juárez-Figueroa et al., 2003). Los quistes de *Giardia* y los colífagos estuvieron presentes en gran cantidad (media de 1467.5/100 ml y 1199.8/100 l, respectivamente) (Juárez-Figueroa et al., 2003), sugiriendo que el tratamiento del agua puede ser ineficaz para remover estos agentes. En los canales de irrigación de vegetales se encontró una cantidad significativamente menor de quistes de *Giardia* (media de 45/100 l) y no se encontraron ooquistes de *Cryptosporidium*.

Con respecto a las microalgas, los estudios sobre las diferentes especies encontradas dentro del Área Natural Protegida, arrojaron 370 de las cuales, 36 % pertenecieron a Clorofitas; 24 % a Euglenofitas; 24 % a Diatomeas, 12 % a Cianoprocaritas, 3 % a Dinoflagelados y 1 % a Cromofitas, con 27 nuevos registros para San Gregorio Atlapulco (Figueroa-Torres, Arana-Magallón, Almanza-Encarnación, Ramos-Espinosa, & Ferrara-Guerrero, 2015). Entre las especies registradas y dominantes en estos cuerpos de agua se puede mencionar *Microcystis aeruginosa* y *Peridinium willei*, que forman florecimientos algales tóxicos, por lo que se debe tener especial precaución en monitorear y controlar su distribución en este cuerpo de agua (Para el caso de las Clorofitas, diatomeas y cianobacterias, estas han estado asociadas a la

biorremediación de efluentes y agua residual, incluidos los humedales como Xochimilco (Figueroa-Torres et al., 2015).

### 3.4.7 *Chinampa* modelo

La catalogación de *chinampas* en Xochimilco arrojó como resultado que las *chinampas* en promedio tienen 12m de ancho y tienen entre 1000 a 2000 m<sup>2</sup> (González-Pozo et al., 2016). Por lo tanto, para el siguiente modelo de *chinampa*, se consideró como una *chinampa* ideal de 12m de ancho por 125m de largo, con un total de 1500 m<sup>2</sup>.

De acuerdo con González-Pozo (2016) la condición óptima de una *chinampa* debería evaluar factores como el número de cauces y cauces navegables por *chinampa*, la cantidad de árboles que alberga y el estado de los bordes. En este análisis se considera que la condición más favorable implica una *chinampa* rodeada (en cuatro lados) por cauces navegables, un árbol cada cinco metros en el perímetro de la *chinampa* y bordes cuidados (esto implica que el agricultor no permita derrumbes de tierra).

Considerando una *chinampa* modelo de 12m x 125m, la cantidad de árboles por *chinampa* debería ser de 55.

A esta condición debe agregarse que, para mantener un canal navegable, es necesario remover periódicamente la vegetación acuática que obstruye los canales. Los comentarios de los agricultores, obtenidos en trabajo de campo, se refirieron a que la vegetación extraída de los canales se utilizaba como abono para los cultivos. Considerando que las macrófitas acuáticas tienen la capacidad de extraer metales pesados, debería considerarse la conveniencia de reutilizarlas como abono en las *chinampas*. Un estudio más detallado debería llevarse a cabo a este respecto teniendo en cuenta que los metales presentes poseen propiedades que pudieran o no estar afectando a los cultivos y ser o no un peligro para la salud humana. Por otra parte, los metales pudieran estar de esta forma quedando detenidos en la tierra y por ende reduciendo la biodisponibilidad de estos.

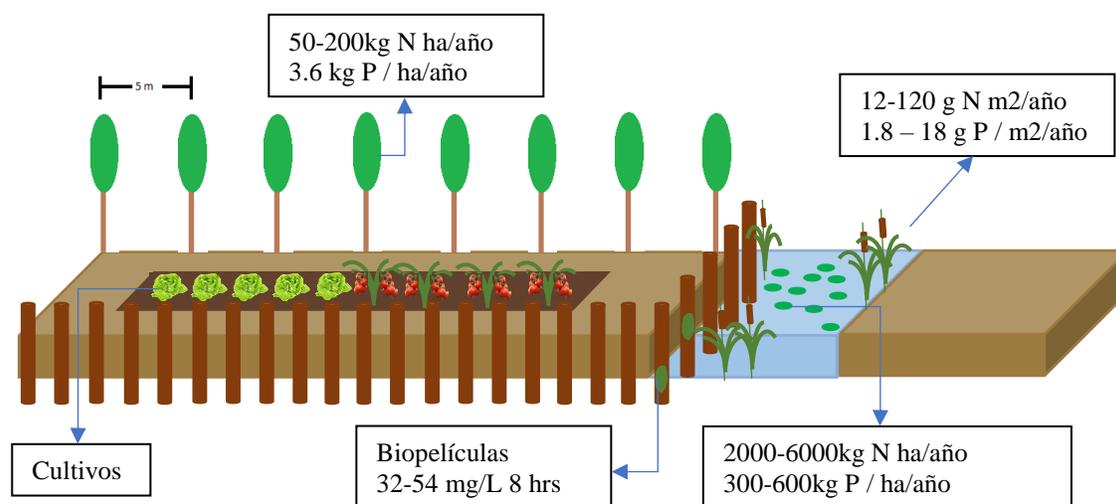
Por otra parte, la reparación o cuidado de los bordes, podría implicar el cercado con postes de madera en el que se formarían biopelículas de manera natural. Estas son utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en la construcción de humedales artificiales. Otra medida para la conservación de los bordes de la *chinampa* es la utilización de maleza que ayuda a

retener la tierra con la raíz. Estas plantas, también pueden ser consideradas parte de la fitorremediación dependiendo de sus capacidades.

Finalmente, el cultivo agrícola, que es uno de los principales componentes de la *chinampa*, está dejando de ser considerado un elemento principal debido al cambio en los medios de vida de la población. La agricultura, dependiendo de los productos sembrados, puede ser un aporte valioso para la extracción y utilización del exceso de nutrientes existente en este sistema.

El siguiente esquema muestra el potencial de cada de los elementos de la *chinampa*, sin embargo, las cifras difieren dependiendo el sistema en el que se encuentre la vegetación y las condiciones propias del ecosistema designado.

Fig. 3. 5 Tasas de asimilación de nutrientes



Elaboración propia con datos de: (Bernal, González, & González, 1996; Curt-Fernandez de la mora, 2005; Dimitriou & Aronsson, 2005; Pineda, Bosque, Gómez, & Franco, 2011)

En el caso de las biopelículas, es más difícil poder dar una tasa de remoción determinada debido a que las cantidades de remoción varían de acuerdo a la concentración de materia orgánica, a la cantidad de agua residual que se esté tratando y a los tiempos de retención, esto suponiendo que factores como PH y temperatura sean óptimos y constantes.

Por otra parte, los cultivos deben considerar algunas reglas de la agroecología en las que la rotación y asociación de cultivos (policultivos) son indispensables. Estas prácticas no les son ajenas a los agricultores de Xochimilco, ya que se han venido aplicando de manera tradicional (comunicación personal). El conocimiento empírico de los chinamperos, basado en observaciones sobre el crecimiento de los cultivos, les ha permitido intercalar la siembra de semillas en función de los nutrientes que se requieren para crecer.

### 3.5 Consideraciones

La capacidad de acumulación de las plantas, en este caso de las macrófitas, depende tanto de la concentración de los contaminantes en el medio, como de la especie vegetal utilizada. Se sabe que, a determinadas concentraciones, algunas plantas son capaces de bioacumular el contaminante, sin embargo, a determinado rango, sobre todo en concentraciones muy elevadas, las macrófitas disminuyen su nivel de acumulación.

Otros elementos con diferente función a la de las plantas, son aquellos que plantean interacciones positivas para mejorar la adaptabilidad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas, como el caso del silvopastoreo (Aguirre, 2017), policultivos asociados con animales de granja, el cultivo de peces, ranas y ajolotes, así como su integración en acuaponía (Gómez-Merino et al., 2015), utilización de abejas para la polinización de los cultivos (Quezada-Euán, 2009), etc. Estas son actividades que pueden realizarse simultáneamente a la chinampería y que contribuyen con la utilización de recursos de manera ambientalmente compatible y por ende encaminadas a la sostenibilidad (Gómez-Merino et al., 2015).

De acuerdo con la estructura y función de los componentes de las *chinampas*, así como de los reportes de investigaciones realizadas en las mismas y en el humedal de Xochimilco, podemos concluir que los organismos que las constituyen realizan la biorremediación de la calidad del agua del humedal de Xochimilco, involucrándose en el proceso la atenuación natural (biorremediación intrínseca), bioaugmentación y bioestimulación. Esta capacidad de biorremediación está asociada con el potencial de las *chinampas* para subsistir en presencia de agua, requisito básico para realizar la biorremediación generándose biomasa y la continuación de los procesos y ciclos biogeoquímicos de los cuales depende su sostenibilidad.

## IV. CHINAMPAS Y SOSTENIBILIDAD

### 4.1 Contexto socioeconómico del sitio

Las *chinampas* son un elemento que toma en cuenta la vocación productiva del ecosistema, utiliza esta capacidad para renovarse continuamente y aporta elementos de biorremediación. Estas características de adaptación al ambiente, reutilización y conservación de recursos locales, desarrollo a pequeña escala, así como fomento a la producción con excedentes que permitan un desarrollo socioeconómico a pequeños y medianos agricultores, denotan un elemento sostenible para el ecosistema (Altieri, 1999).

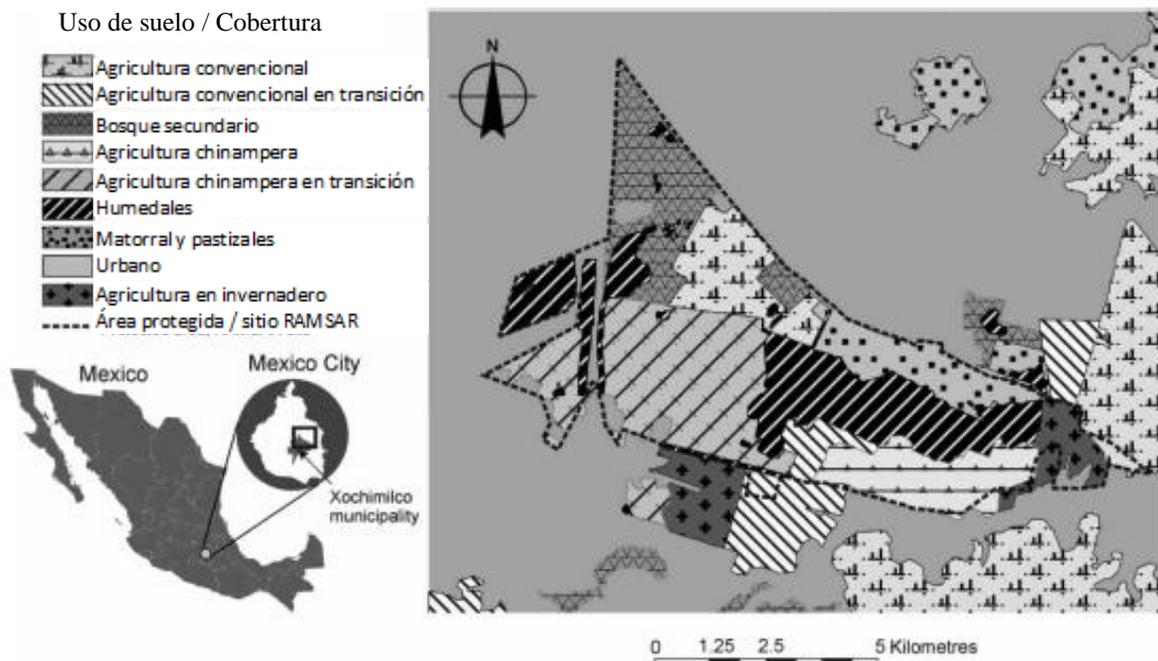
Como se demostró, las *chinampas* en su estructura contienen elementos capaces de llevar a cabo funciones de biorremediación, sin embargo, se debe tomar en cuenta que, sin la cooperación de la sociedad con acciones de recuperación, una técnica de biorremediación establecida mediante las *chinampas* no podría llevarse a cabo.

Los agricultores día a día identifican la necesidad de plantar más árboles, poner una cerca o limpiar un canal. Las personas, llevan a cabo esas actividades con la expectativa de obtener un beneficio en la *chinampa* que están cultivando y algunos de ellos también lo hacen porque quieren una mejora en el ecosistema. Ellos notan los síntomas graves de la degradación del sistema y una merma en su resiliencia (Jiménez-Moreno, 2013), desde la ausencia de abejas, ajolotes, camarones, hasta cambios en la calidad del agua (comunicación personal).

Dentro de las secciones del ANP de Xochimilco, es posible identificar el valor que se le ha asignado a la *chinampa* por parte de los propios habitantes de la zona. En algunos de estos sectores ha habido cambios en las actividades de sus habitantes: se ha cambiado la agricultura de chinampería por paseos en lancha para turismo, algunas personas han preferido urbanizar sus *chinampas* (a pesar de ser ilegal dentro del ANP), en otras zonas se continúa practicando la agricultura en *chinampas* y en otros lugares se han intercambiado las *chinampas* por invernaderos como forma de cultivo (González-Pozo et al., 2016; Jiménez-Moreno, 2013; Merlín-Uribe et al., 2013).

Este cambio de actividades obedece a ciertos patrones, por lo que es posible dividir el polígono del ANP en diferentes zonas.

Fig. 4. 1 Zonificación dentro del polígono del ANP de Xochimilco



Fuente: (Merlín-Uribe et al., 2013)

Como se puede observar en el mapa, los sectores de chinampería se encuentran en un estado de transición hacia la urbanización en el lado oeste, que corresponde al pueblo de Xochimilco. La zona ubicada como “agricultura *chinampera*” corresponde a San Gregorio Atlapulco y finalmente la zona marcada como agricultura en invernaderos “agricultura en invernaderos” corresponde a San Luis Tlaxialtemalco. Esta división refleja la situación heterogénea del ANP.

En la siguiente Tabla González-Pozo (2016) identifica el número de *chinampas* que se encuentran dentro del polígono de la UNESCO Patrimonio de la Humanidad, este es mayor al del ANP de Xochimilco y por lo tanto abarca más pueblos; vale la pena aclarar que el ANP se encuentra dentro del polígono de la UNESCO. En esta caracterización se muestra que San Gregorio Atlapulco es por mucho la zona en que se conservan más *chinampas*, mientras que,

en Xochimilco, a pesar de contar con una mayor superficie, se ha dejado que las *chinampas* se deterioren.

A pesar de que en San Pedro Tláhuac y San Andrés Mixquic existe una cantidad importante de *chinampas*, estos se encuentran fuera del alcance de este proyecto.

Tabla 4. 1 Características del sistema chinampero						
Zonas chinamperas	Sectoros o parajes	Superficie (ha)	Superficie %	Cantidad de <i>chinampas</i>		
				activas	potenciales	Totales
1. Xochimilco	18	1059	47%	864	15000	15864
2. San Gregorio Atlapulco	23	484	22%	1530	530	2060
3. San Luis Tlaxialtemalco	16	103	5%	430	170	600
4. San Pedro Tláhuac	9	165	8%	474	666	1140
5. San Andrés Mixquic	10	404	18%	288	970	1258
<b>Total</b>	<b>76</b>	<b>2215</b>	<b>100%</b>	<b>3586</b>	<b>17336</b>	<b>20922</b>

Fuente: Tabla modificada con datos de (González-Pozo et al., 2016)

#### 4.1.1 San Gregorio Atlapulco

San Gregorio Atlapulco se caracteriza por ser un área agrícola que lleva a cabo la chinampería, y conserva su red canalera fina, sus apantles, en buen estado (González-Pozo et al., 2016). Los apantles representan una separación o delimitación física entre las *chinampas* y su importancia radica en que de ellos se obtiene agua para riego.

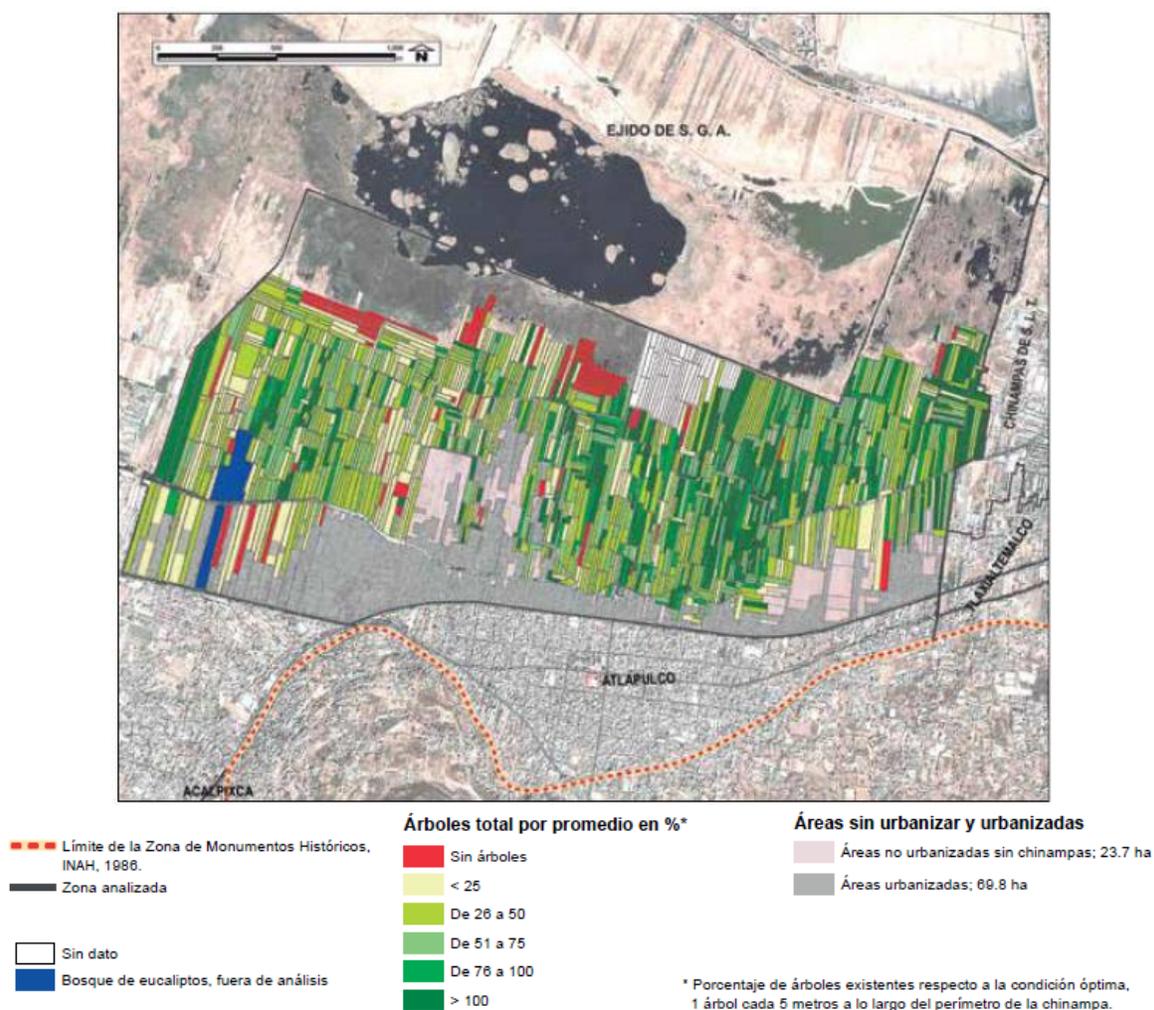
En siguiente Figura se muestra el sitio de San Gregorio Atlapulco con la catalogación de las *chinampas*. La imagen muestra el avance de la urbanización dentro del ANP, así como la laguna de San Gregorio, el área de inundación a su alrededor y el número de árboles en la *chinampa*.

El número de árboles impacta directamente en la calidad del sistema al considerarse que el ahuejote tiene la capacidad de biorremediar agua y suelo, y es la principal especie con la que los agricultores reforestan los bordes de las *chinampas*. Por otra parte, los árboles también

influyen en la estabilidad de la *chinampa* y en su capacidad para resistir embates naturales como los sismos.

La laguna de San Gregorio se considera zona núcleo y en ella no se llevan a cabo actividades productivas. Alrededor de esta se ha formado un cinturón en el que antes hubo *chinampas* pero han quedado abandonadas y/o se han perdido debido a las inundaciones (Jiménez-Moreno, 2013).

Fig. 4. 2 Mapa de San Gregorio Atlapulco: índice de reforestación de las *chinampas* de acuerdo al número de árboles encontrados.

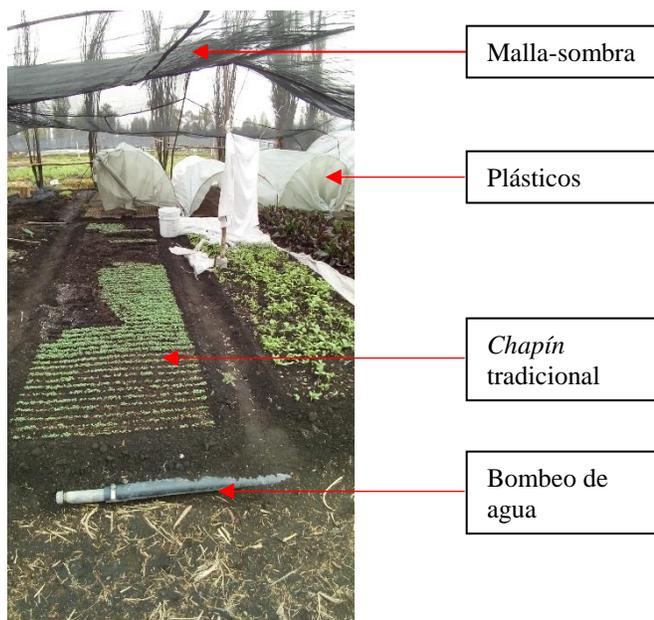


Fuente: (González-Pozo et al., 2016)

Nota: En el mapa se hace una diferenciación de las *chinampas* de acuerdo a la cantidad de árboles que posean, cada recuadro del mapa representa una *chinampa*. Se espera que aquellas con más árboles tengan una mayor capacidad de biorremediación.

A pesar de que las personas en San Gregorio tienen un gran arraigo por las tradiciones y se valora el trabajo agrícola, la situación de mercado ha hecho que los agricultores introduzcan técnicas modernas para aumentar la producción de sus *chinampas*. Estas técnicas van desde el uso de agroquímicos, bombas para riego, plásticos o malla-sombra para proteger los cultivos, hasta el uso de maquinaria motorizada. Algunas de las técnicas terminan siendo perjudiciales para el ambiente, ya sea por la mala aplicación, por el mal manejo de residuos, efectos secundarios de la técnica, etc.

Fig. 4. 3 Mezcla de técnicas modernas y tradicionales



Fuente: 25/01/2018 Foto propia o (acervo personal) tomada en trabajo de campo

Nota: La imagen muestra la combinación de técnicas tradicionales y elementos tecnológicos nuevos. La imagen muestra brotes de mostaza y chícharo, se cultivan en almácigos y son cortados y vendidos cuando tienen 3 o 4 cm de largo aproximadamente. El uso de plásticos es para la protección solar de los cultivos y generar microclimas que aceleren su crecimiento, funciones que tradicionalmente eran realizadas por los árboles (ahuejotes) y vegetación plantada en las orillas de la chinampa.

Es justo decir que los agricultores de San Gregorio poseen en sus técnicas agrícolas una mezcla de tradición y modernidad. Sin duda el legado biocultural transmitido por

generaciones se ha ido enriqueciendo, en parte gracias al trabajo diario y al interés de atender los llamados de capacitación que hacen diversas asociaciones.

Fig. 4. 4 Mezcla de técnicas modernas



Fuente: 25/01/2018 Fotografías propias

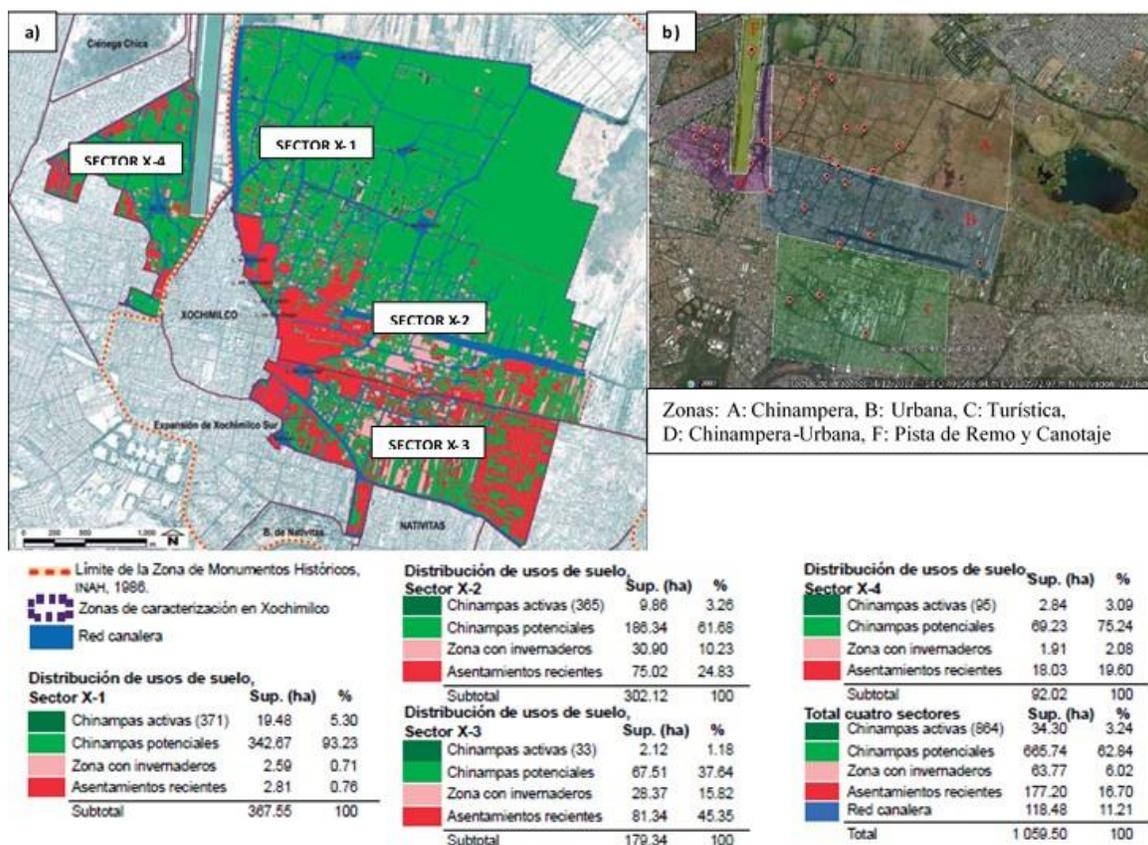
Es indudable el daño ambiental que existe en el sitio y que muchas de las técnicas modernas de cultivo tienen impactos en el ecosistema, sin embargo, también es evidente que los chinamperos estarían dispuestos a utilizar nuevas técnicas menos agresivas con el ambiente, siempre que se den los incentivos y planes adecuados por parte de los actores gubernamentales. Es importante recordar que los agricultores son los principales afectados ante cualquier cambio del sistema.

#### 4.1.2 Xochimilco

En Xochimilco existe una diversidad con respecto a los usos de suelo y las actividades que se llevan a cabo. En la parte noroeste del polígono del ANP hay áreas en que se practican actividades de conservación (Jiménez-Moreno, 2013), como en el Parque Ecológico de Xochimilco que se encuentra a cargo de un patronato y se encarga de la administración del parque, sin embargo, a pesar de estos esfuerzos el área se encuentra deteriorada (Senado de la República, 2017).

A continuación, se muestran dos mapas de Xochimilco con dos zonificaciones diferentes del mismo terreno. El mapa a) muestra el estado de las *chinampas*, en él se observa que no existe una red canalera fina y una delimitación chinampera como la de San Gregorio, sin embargo, existe un gran potencial para reactivar *chinampas* (González-Pozo et al., 2016). En el segundo mapa b) se hace una zonificación contemplando los diferentes usos de suelo y la perturbación del ecosistema (Zambrano González et al., 2012). En ambos mapas pueden encontrarse similitudes con respecto a la sectorización, las actividades que se llevan a cabo y la existencia de *chinampas* con relación a dichas actividades.

Fig. 4. 5 Zonificación de Xochimilco



Fuente:

a) (González-Pozo et al., 2016)

b) Merlo, 2010 en (Zambrano González et al., 2012)

Debajo del área de conservación, zona A – sector X-1, se encuentra un espacio territorial destinado en su mayor parte a la agricultura en *chinampas*, sin embargo, también se llevan a cabo actividades turísticas, deportivas, de recreación y ganadería dentro de ellas, en ocasiones sustituyendo su vocación agrícola por estas actividades (Zambrano González et al., 2012).

De acuerdo con González-Pozo (2016), el sector X-1 corresponde al área menos urbanizada y con una mayor área potencial para la recuperación de las *chinampas*. Es importante mencionar que en los límites de Z-A, S-X1, se encuentra la laguna de Tezhuiloc, lugar en donde se está llevando a cabo un proyecto de recuperación a través agricultura orgánica en la *chinampa* “*apantle*” del grupo REDES.

En la Zona B, Sector X-2, se muestra un sitio de transición en el cual, a pesar de existir una gran superficie de *chinampas* potenciales, también muestra una importante invasión de la mancha urbana, sobre todo en la parte sur, y una aparición mucho mayor de invernaderos. Adicionalmente, los canales de Cruxtitla y de Apatlaco ubicados en la parte sur de la zona B, tienen influencia del agua proveniente del sitio turístico Caltongo (Zambrano González et al., 2012).

La Zona C, Sector X-3 es un área prácticamente urbanizada, con muchos asentamientos irregulares, con presencia de algunos invernaderos y muy pocas *chinampas* potenciales. Los asentamientos irregulares han propiciado una mala calidad del agua debido a descargas de aguas negras y grises provenientes de las casas (Zambrano González et al., 2012).

Las actividades productivas de esta área se han volcado a ofrecer servicios turísticos, así como el cultivo de flores y plantas de ornato (Fig. 4.6)

Fig. 4. 6 Actividades del sector X-3



Fuente: Fotografía propia.

a) invernadero b) casa sobre chinampa y bordes descuidados c) turismo: trajineras

Una buena parte hacia el sur de esta zona ya no forma parte del ANP, sin embargo, la gran influencia de la zona de amortiguamiento (buffer) está afectando en el cambio de tipo de uso de suelo y actividades productivas dentro del polígono de estudio.

La Zona D, Sector X-4, en esta área, la principal actividad aún es la chinampería a pesar de sufrir invasión de invernaderos y asentamientos irregulares. Esta zona aún conserva su red canalera y amplia superficie para chinampas potenciales.

Finalmente, la Zona F se trata del canal de Cuemanco en el que está la pista olímpica de remo y canotaje Virgilio Uribe en la que se lleva a cabo únicamente entrenamiento deportivo.

#### 4.1.3 San Luis Tlaxialtemalco

En este sitio el modo de cultivo ha cambiado drásticamente. Las chinampas fueron sustituidas en su mayoría por invernaderos, en ellos se cultivan flores y plantas de ornato que crecen en bolsas o plantas, sin hacer uso del suelo de la *chinampa* (González-Pozo et al., 2016). Se considera que la construcción de invernaderos acerca la zona a un paso de la urbanización ya que esto implica estructura construida a largo plazo y mayores inversiones, lo que va en contra de la conservación ambiental que se busca en Xochimilco.

Fig. 4. 7 Canal e invernadero en San Luis Tlaxialtemalco



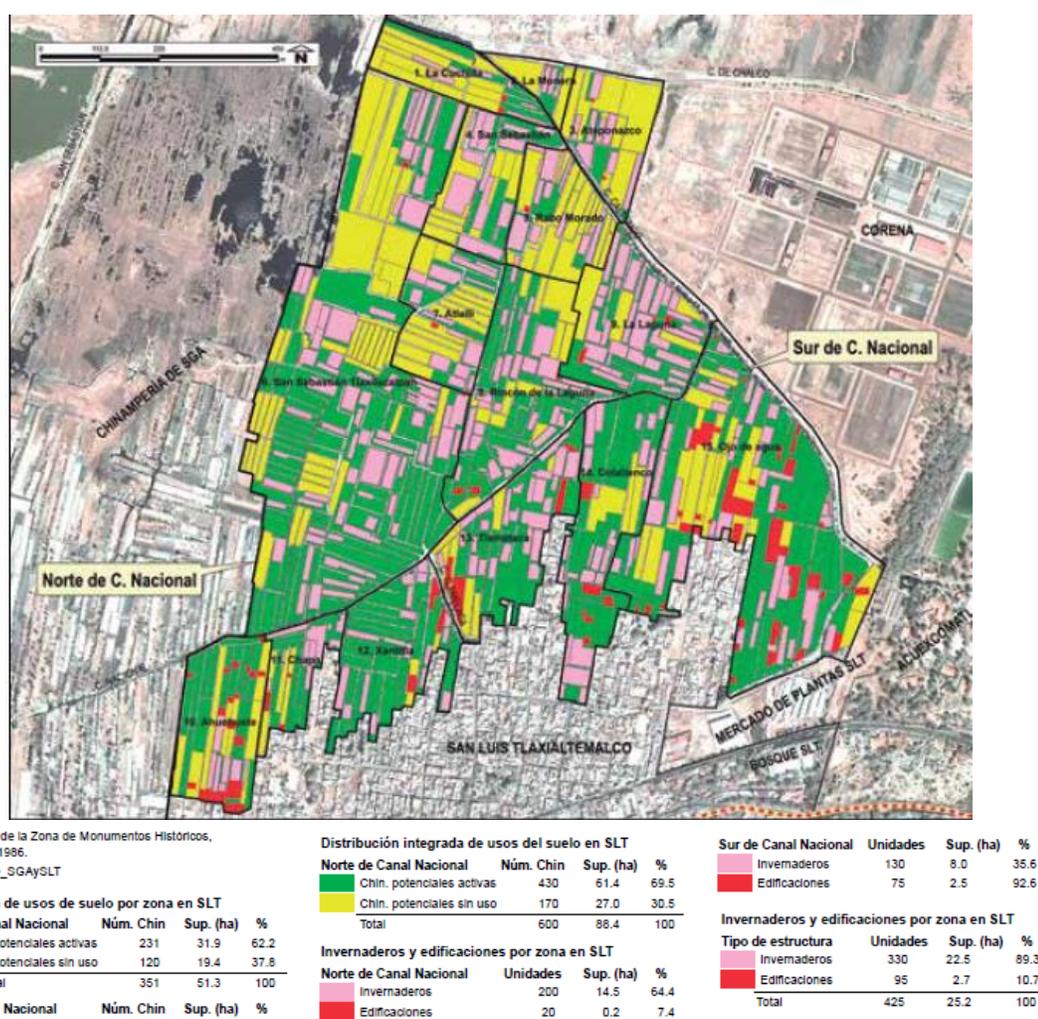
Fuente: (Josué-Fernando, n.d.)

Las *chinampas* en San Luis Tlaxialtemalco fueron afectadas a raíz del terremoto de 1985, ya que recibieron escombros de los edificios de la Ciudad de México (Mérlin, 2009 citado en

González-Pozo et al., 2016), sin embargo, treinta años después este uso de vertederos de cascajo se sigue dando.

La zona sur de San Luis Tlaxialtemalco aún conserva una zona abundante de *chinampas*, sin embargo, el resto muestra *chinampas* abandonadas, o *chinampas* e invernaderos indistintamente, encontrando también algunas edificaciones. La proliferación de invernaderos se pone de manifiesto con 330 en la zona contra 430 *chinampas* activas (González-Pozo et al., 2016).

Fig. 4. 8 Usos de suelo de San Luis Tlaxialtemalco

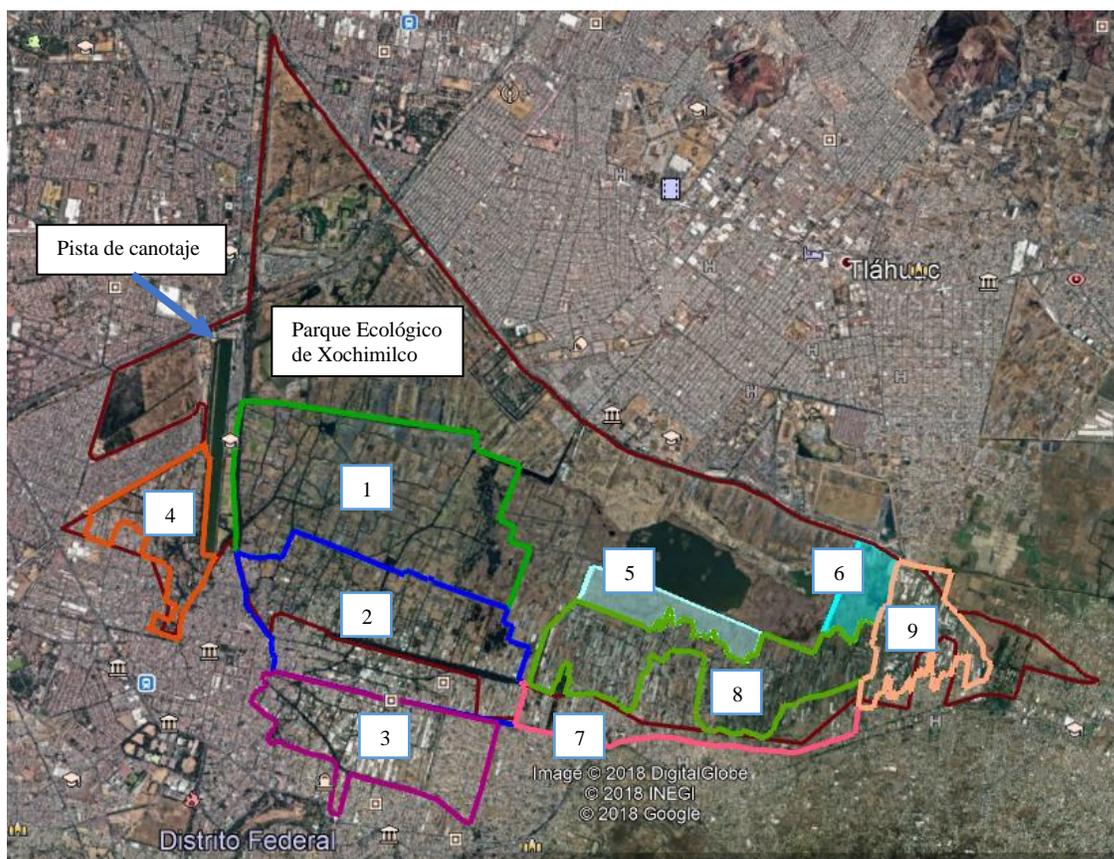


Fuente: (González-Pozo et al., 2016)

## 4.2 Situación de calidad de agua

Tomando en cuenta la información anterior, se llevó a cabo el siguiente mapa en el que se trazaron los sectores descritos por González-Pozo (2016) en el polígono del ANP, así como una zona aledaña con influencia urbana y turística.

Fig. 4.9 Mapa del polígono del Área Natural Protegida de los Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco dividido en sectores



Elaboración propia con base en los sectores propuestos por (González-Pozo et al., 2016)

— Línea límite del ANP de Xochimilco

Sector 1. *Chinampas* de Xochimilco

Sector 2. Zona de transición de rural a urbano

Sector 3. Zona turística

Sector 4. Zona chinampera

Sector 5. Laguna de inundación

Sector 6. Laguna de inundación

Sector 7. Zona urbana

Sector 8. Zona chinampera de San Gregorio

Sector 9. Zona de invernaderos de San Luis Tlaxialtemalco

En cada uno de los sectores se llevó a cabo un promedio con los datos de calidad de agua recopilados, estos promedios son los que se muestran en la tabla 4.3. El índice de calidad de agua que se tomó como referencia fue el utilizado por Zambrano et al. (2009) con los siguientes parámetros:

Tabla 4. 2 Parámetros de calidad del agua para Xochimilco

	Descripción	OD (mg/L)	Turbidez NTU	Conductividad K25 (µS cm-1)	Nitratos NO3- mg/L	Amonio NH4+ mg/L	Fosfatos PO4-P (mg/L)
<b>Condiciones adecuadas:</b>	Adecuado para las capacidades de supervivencia y reproducción de los organismos nativos	>3.1	0-40	0-65	0-5	0-1	0-3
<b>Condiciones no apropiadas:</b>	Las variables pueden ser adecuadas para algunos organismos, pero no todos	1.1-3	41-70	66-93	5.1-10	1.1-1.6	3.1-7
<b>Malas condiciones:</b>	La mayoría de los organismos nativos no son capaces de sobrevivir	0-1	>71	>94	>10.1	>1.7	>7.2

Elaboración propia con base en el índice elaborado por Zambrano et al. (2009).

Tabla 4. 3 de Calidad de agua de los sectores del ANP de Xochimilco

Etiquetas de fila	OD (mg/L)	Turbidez NTU	Conductividad K25 (µS cm-1)	Nitratos NO3- mg/L	Amonio NH4+ mg/L	Fosfatos PO4-P (mg/L)	Índice	Calidad
Canotaje	5.185	105.33	0.9	0.65	0.77	8.67	78%	57-78
Parque	9.385	442.2133	434.35	0.9275	0.1	5	72%	57-78
4	4.65	38.712	806.0514	4.2313	1.8714	10.4	67%	57-78
1	6.3993	48.7146	724.0431	10.7223	3.3833	6.478125	56%	33-56
2	3.7874	33.2026	708.7063	16.6356	2.8404	9.005	56%	33-56
3	5.6219	39.1757	663.6230	16.8862	4.0435	8.225	56%	33-56
8	2.8571	10.6871	769.1472	16.2976	1.4553	7.2433	56%	33-56
5	6		2831.6	0.1	0.1	3.75	80%	79-100
6	9.84		3053.74				67%	57-78
7	2.7		1277.8				50%	33-56
		<b>% de índice de calidad de agua</b>						
<b>Condiciones adecuadas:</b>		79-100 %						
<b>Condiciones no apropiadas:</b>		57-78 %						
<b>Malas condiciones:</b>		33-56 %						

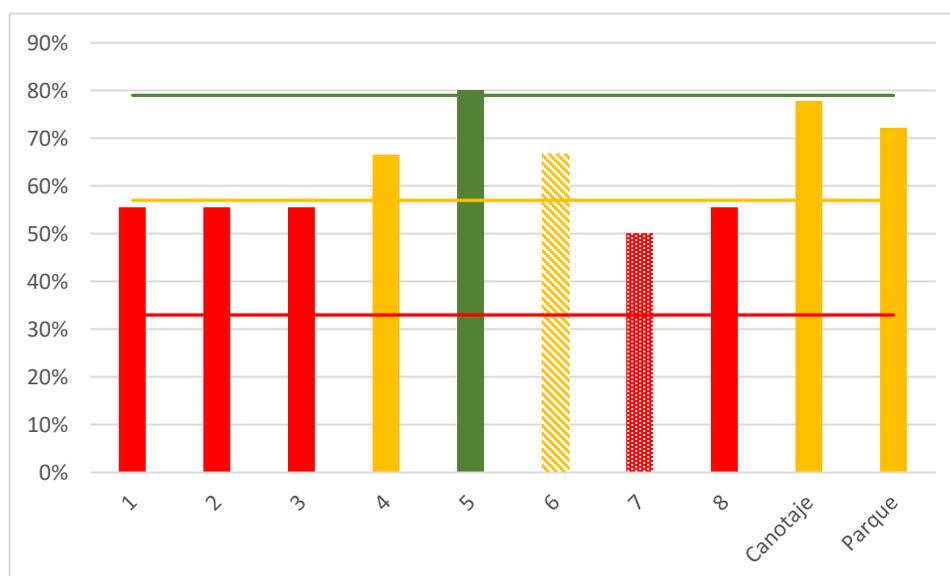
Elaboración propia con base en recopilación de datos de diversas fuentes:

“Datos de calidad de agua 5000 sitios de monitoreo” y “calidad de agua superficial 2012-2015” (Contreras et al., 2009; Flores-Serrano et al., 2015; González-Pozo et al., 2016; Juárez-Figueroa et al., 2003; Sánchez Meza et al., 2009; Solís et al., 2006; Stephan-Otto, 2005; Zambrano et al., 2009, 2010)

Los resultados obtenidos muestran que los sitios con mejor calidad de agua son la Pista de canotaje, el Parque Ecológico de Xochimilco y la laguna de inundación de San Gregorio marcada con el número 5. La ubicación de estos lugares y las barreras físicas que los aíslan del resto del sistema, han resultado benéficos para la conservación de la calidad del agua.

Los sectores 6 y 7 fueron separados en la tabla, ya que no se cuenta con la suficiente información para establecer un índice confiable de calidad de agua. De igual manera, el sector 9 correspondiente a San Luis Tlaxialtemalco no pudo ser tomado en cuenta debido a la falta información de monitoreos en esta zona.

Fig. 4. 10 Representación gráfica de índice de calidad de agua de los diferentes sectores



Elaboración propia con base en recopilación de datos de diversas fuentes: “Datos de calidad de agua 5000 sitios de monitoreo” y “calidad de agua superficial 2012-2015” (Contreras et al., 2009; Flores-Serrano et al., 2015; González-Pozo et al., 2016; Juárez-Figueroa et al., 2003; Sánchez Meza et al., 2009; Solís et al., 2006; Stephan-Otto, 2005; Zambrano et al., 2009, 2010)

Los sectores 4 y 1 en la Tabla 4. 3 de Calidad de agua de los sectores del ANP de Xochimilco pertenecen al pueblo de Xochimilco y se identifican por ser sitios en los que se lleva a cabo la agricultura en *chinampas*.

Tabla 4. 4 Superficie ocupada por *chinampas* en los sectores de Xochimilco

Sectores Xochimilco	Superficie total (ha)	<i>Chinampas</i> (ha)	% ( <i>Chinampas</i> (ha) / Sup. Total (ha))	No. <i>Chinampas</i>	No. <i>Chinampas</i> / ha	Invernaderos + asentamientos (ha)	% (Inv+asent (ha) / Sup. Total (ha))
1	367.55	19.48	5.30	371	19.045	5.4	1.47
2	302.12	9.86	3.26	365	37.018	105.92	35.06
3	179.34	2.12	1.18	33	15.566	109.71	61.17
4	92.02	2.84	3.09	95	33.451	19.94	21.67

Elaboración propia con base en información de González-Pozo et al., 2016

Los resultados en el sector 4 con índice de calidad de agua del 67% eran esperados como uno de los mejores, debido a que de acuerdo con los datos de la Tabla 4. 4 Superficie ocupada por *chinampas* en los sectores de Xochimilco en este sector existen 33 *chinampas* por hectárea, representando el 2.8% de la superficie total del sector. En este sitio el 21.67% de la superficie total esta impactada con invernaderos y asentamientos humanos. Adicionalmente, se sabe que el muelle de Fernando Celada, ubicado en este sector, recibe el efluente de la planta de tratamiento del cerro de la estrella (Juárez-Figueroa et al., 2003), situación que debería ayudar con la circulación de oxígeno en el sistema, aunque también estaría inyectando nutrientes. La concentración de *chinampas* en el sector 4 podría estar beneficiando a la calidad de agua de la zona, a pesar de encontrarse en contacto directo con la urbanización y tener 5 canales que reportan de 10 a 19 descargas y 2 canales con más de 20 descargas de aguas residuales (Flores-Serrano et al., 2015). Es necesario un monitoreo más exhaustivo sobre la cantidad de árboles existentes en la zona y mayor cantidad de mediciones de los diferentes canales del sitio para poder comparar y determinar con mayor precisión la influencia de las *chinampas* sobre la calidad del agua. A pesar de todas las afectaciones este sector es de los más altos en cuanto a calidad de agua considerando que no se encuentra aislado como en el caso de los otros tres puntos mencionados anteriormente.

En el caso del sector 1, fue una sorpresa que la calidad de agua estuviese en un nivel de mala calidad junto con sectores que tienen una mayor superficie impactada con invernaderos y asentamientos irregulares como los sectores 2 y 3. En el sector 1 se esperaba que, aunque la

concentración de *chinampas* sea de 19 *chinampas* por hectárea, al tener apenas un 1.47% de superficie impactada, la calidad de agua estuviese sobre estos sectores en el índice.

En el sector 2, el 35% de la superficie esta impactada con invernaderos y asentamientos. Se considera una zona de transición entre la zona agrícola y zona urbano-turística, por lo que aún se conserva una gran cantidad de *chinampas* en la parte norte del sector (37 *chinampas* por hectárea). Esta zona abarca el límite del ANP y un área buffer fuera del polígono de protección.

El sector 3 se encuentra completamente fuera del área de protección y la presencia de *chinampas* disminuye notablemente a 15 *chinampas* por hectárea. En este sitio, la mayoría de los canales tiene descargas de aguas residuales de entre 10 a más de 20 puntos contaminantes. En este sitio el muelle de Zacapa recibe efluentes de la planta de San Luis (Juárez-Figueroa et al., 2003), situación que podría estar ayudando a mejorar la calidad de agua de la zona.

Finalmente, el sector 8 corresponde a San Gregorio Atlapulco y se trata de la zona en la que mejor se conserva la red canalera fina, así como las *chinampas* y la agricultura. Sin embargo, este es un sitio de difícil acceso, debido a que los agricultores no están acostumbrados a los visitantes y desconfían de las personas que llegan al sitio (comunicación personal). En San Gregorio, es posible tener contacto con los agricultores y sus *chinampas* a través de las asociaciones civiles que llevan tiempo trabajando con ellos o por medio de algunas instituciones gubernamentales y educativas. Sin embargo, los datos de calidad de agua, suelo, censos y otras mediciones, no son fácilmente asequibles para quienes no forman parte de estas instituciones. Adicionalmente dado el dinamismo de la zona, es difícil tener un mapa de los canales y apantles del sitio, así como sus nombres. Sin embargo, es necesario hacer un mapa oficial de los principales canales para poder llevar un mejor control de las mediciones.

Al igual que en el sector 1, se esperaba que el sector 8 tuviera mejor calidad de agua considerando que este sector reporta la mayor cantidad de *chinampas* trabajadas. Sin embargo, se puede ver que la calidad de agua no se aleja de aquella obtenida en los sectores 1, 2 y 3. Esto puede deberse en gran medida a la forma de cultivo. Se tiene conocimiento de

que los agricultores en esta zona utilizan agroquímicos para incrementar la producción, situación que empeora la calidad de agua del área.

Para el sector 8 se pretendía hacer una revisión más detallada del sitio, como la llevada a cabo para los sectores 1, 2 y 3, sin embargo, esto no fue posible debido a la limitada información de ubicación geográfica de puntos de muestreo y canales principales.

#### 4.2.1 Sector 1: *Chinampas* de Xochimilco

En este sector, de acuerdo con lo mencionado anteriormente, se esperaba que la calidad de agua fuera mayor, sin embargo, en un acercamiento de la zona se pudo comprobar que existen impactos que van más allá de la superficie medible de invernaderos y asentamientos irregulares en el sitio. Esta situación se refiere a la hidrología, la cual pudiera estar jugando en contra del desempeño de biorremediación de las *chinampas*.

En la siguiente tabla se puede observar que los canales con mejor calidad de agua son Apampilco, el Bordo, Cuemanco y la Virgen, siendo Apampilco el de mejor calidad y el que tiene mayor presencia de *chinampas* a sus costados. Los tres primeros canales, forman parte de los bordes del sector y se trata de canales con mayor longitud que el resto, esto probablemente este ayudando a la dilución de contaminantes. Por otra parte, la Virgen se encuentra en un punto céntrico del sector, en el que, si bien no existe tanta presencia de *chinampas* activas, están presenten grandes islotes con vegetación y sin perturbación de invernaderos o asentamientos. El hecho de que la laguna y canal de la Virgen tenga uno de los índices de calidad de agua más altos estando en el centro del sector, podría denotar que la atenuación natural de las *chinampas* inactivas del sitio está siendo un factor importante para la descontaminación del área y un posible refugio para la fauna nativa en caso de mejorar un poco más su calidad.

Tabla 4. 5 Índice de calidad del agua de sector 1 en Xochimilco

Etiquetas de fila	OD (mg/L)	Turbidez NTU	Conductividad K25 ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Nitratos NO <sub>3</sub> -mg/L	Amonio NH <sub>4</sub> +mg/L	Fosfatos PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	Indice	Calidad
Apampilco	5.41		1.38	1.67	7.77	5.43	80%	79-100
Bordo	6.005	68.146	695.615	6.416	0.477	2.6025	78%	57-78
Cuemanco	8.8389	27.4	770.8182	3.8118	0.9656	8.6	78%	57-78
Virgen	5.2833	89.5	0.7	0.3667	0.2394	8.4	78%	57-78
Japon	6.8262	39.21	592.3462	16.7427	1.2614	6.0867	67%	57-78
Texhuilo	3.9575	36.9333	722.9288	6.6578	2.9291	7.6	61%	57-78
Trancatitla	5.8	28.45	694.09	11.96	1.855		60%	57-78
Chicoco	8.792		836.2	9.148	5.9507		58%	57-78
Almoleya	5.798	50.3	801.6	13.048	4.584	10.2	50%	33-56
Atizapa	6.4764	57.9	673.9845	14.1344	9.4068	8.15	50%	33-56
Comunidad	4.9425	52.4	865.0313	12.5057	2.4391	10.2	50%	33-56
Paso del águila	6.744	42.2667	876.5714	17.1457	6.436	10.1	50%	33-56
Tlilac	6.0588	103	755.2467	16.5171	1.7408	6.3	50%	33-56

Elaboración propia con base en recopilación de datos de diversas fuentes:

“Datos de calidad de agua 5000 sitios de monitoreo” y “calidad de agua superficial 2012-2015” (Contreras et al., 2009; Flores-Serrano et al., 2015; González-Pozo et al., 2016; Juárez-Figueroa et al., 2003; Sánchez Meza et al., 2009; Solís et al., 2006; Stephan-Otto, 2005; Zambrano et al., 2009, 2010)

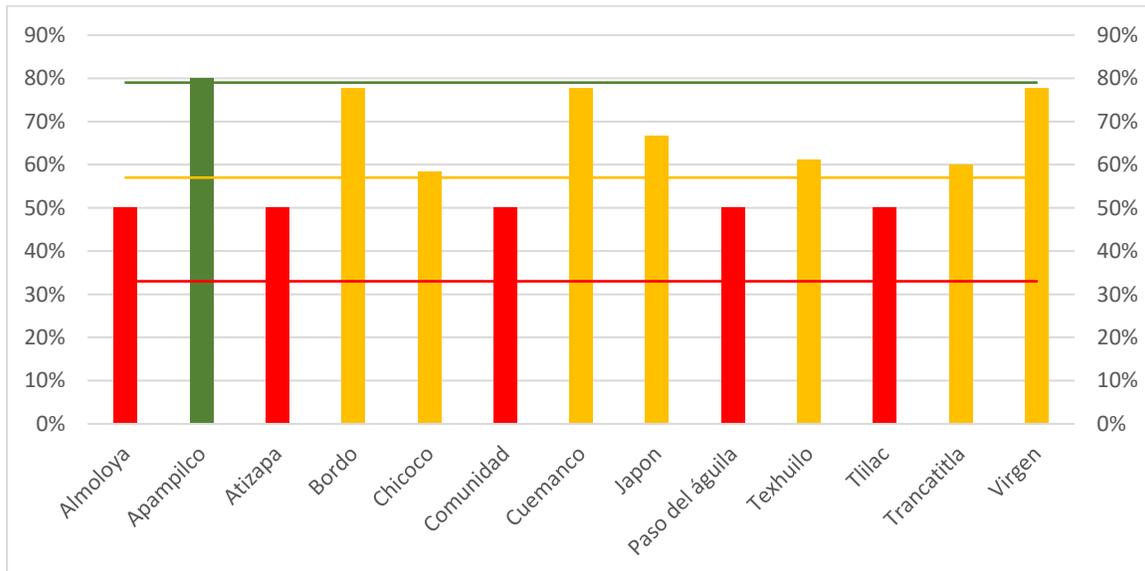
Un área que cuenta con presencia cercana de una concentración de *chinampas* activas es la laguna de Texhuilo (Ver Fig. 4. 5 Zonificación de Xochimilco). Esta laguna es sumamente interesante, debido a que se trata de un cruce entre el canal de Ampampilco con buena calidad de agua y Paso del águila con mala calidad. En el mapa es posible observar que la zona aledaña a la laguna de Texhuilo presenta una calidad media de 62%, debido a que se esperaría que la laguna presente un mayor tiempo de retención del agua, podría inferirse que es en esta zona en la que podría encontrarse un trabajo biorremediador por parte de las *chinampas* activas. Adicionalmente, se sabe que en este punto, existen *chinampas* que intentan trabajarse con métodos de cultivo orgánicos, aunque hace falta más información para poder atribuirle a estos alguna mejoría en la calidad de agua.

Fig. 4. 11 Mapa del sector 1 con canales y la calidad del agua



Elaboración propia.  
 Azul: polígono sector 1  
 Verde: Canal con alta calidad de agua  
 Amarillo: Calidad media  
 Rojo: Mala calidad

Fig. 4. 12 Representación gráfica del índice de calidad del agua del sector 1



Elaboración propia  
 Verde: Canal con alta calidad de agua  
 Amarillo: calidad media  
 Rojo: Mala calidad

Como se mencionó anteriormente, en este sector no existe una gran presencia de invernaderos o asentamientos urbanos, por lo que podría esperarse que las descargas de aguas residuales y por ende, los contaminantes tuvieran menos presencia. Sin embargo, son varios los canales que se muestran en rojo y amarillo. En la siguiente Figura, se eliminaron las líneas de calidad de agua y se resaltan aquellos canales que tienen de 10 a 19 descargas o más de 20 descargas. Se aprecia que estos canales son aquellos que cruzan a través de los sectores 1 y 2, lo que explica en gran medida que debido a la hidrología del lugar la contaminación de una zona está sobre pasando los límites por sector.

Las descargas se concentran en los canales del lado oeste, como el caso del canal de Trancatitla hasta la laguna de Tlilac y una parte del canal de Cuemanco. Esta situación explica la calidad de agua de los canales del lado oeste del sector 1 y posiblemente de aquellos conectados a la Laguna de Tlilac, sin embargo, valdría la pena investigar ¿a qué se debe la baja calidad de agua de los canales del lado este? Es posible que se deba a la conexión hidrológica entre canales, pero también pudiera tratarse de fuentes contaminantes dentro del sector que no han sido identificadas.

Fig. 4. 13 Mapa de sector 1 con canales que tienen descargas de aguas negras y grises



Elaboración propia con información de (Flores-Serrano et al., 2015)

Amarillo: más de 20 descargas

Verde: 10 a 19 descargas

Para la restauración de la zona, debe tomarse muy en cuenta la hidrología del sitio y evaluar la conveniencia de poner barreras naturales que impidan la dispersión de los contaminantes en el sistema y que al mismo tiempo permitan el paso del agua de los canales.

De acuerdo con los porcentajes del índice que se manejan en la Tabla 4. 5 Índice de calidad del agua de sector 1 en Xochimilco el promedio de estos es de un 62%, lo que pondría al sector en un nivel de calidad de agua media. La diferencia entre este resultado y el obtenido en la Tabla 4. 3 de Calidad de agua de los sectores del ANP de Xochimilco del 56% radica en los promedios para obtener el índice. Como se aprecia en la tabla del sector 1, existen algunos espacios en blanco en algunos parámetros y para obtener el índice de cada canal, fueron divididos entre la cantidad de parámetros existentes, cosa que no sucedió en el concentrado general, ya que todos los promedios fueron divididos entre 6 (correspondiente a la cantidad de parámetros que integran el índice). Adicionalmente, para poder mostrar la calidad de agua de cada uno de los canales, se tuvo que dejar de considerar un dato que no se pudo ubicar geográficamente en el sector, pero que sí fue contabilizado en la tabla general.

Este desglose, por lo tanto, da una idea más aproximada de la calidad de agua del sitio y muestra que se encuentra ligeramente por encima de los sectores 2 y 3, a diferencia de lo que se obtuvo en un primer análisis.

#### 4.2.2 Sector 2: Sector de transición de Xochimilco

La situación del sector 2 refleja en gran medida lo obtenido en el promedio general con una mala calidad del agua. Esto es debido a los promedios que se dan entre canales de calidad media con los de mala calidad.

La tabla nuevamente refleja que el canal con mejor calidad del sector es aquel que limita en la parte norte con el sector chinampero. Le sigue un canal que recibe el efluente de la planta de tratamiento del cerro de la estrella, lo que probablemente ayuda a mejorar su calidad, y finalmente Apatlaco que a pesar de estar catalogado como un canal en el que se localizan más de 20 descargas de aguas residuales, se trata de un canal con mayor profundidad, ancho y longitud que el resto, lo que probablemente ayuda a la dilución de contaminantes. Este canal es un límite físico del fin del polígono del ANP en la parte sur.

Los cinco canales restantes, que cuentan con datos, se encuentran ubicados cerca del área urbana y muestran mala calidad de agua. Finalmente, un sitio fue descartado debido a que no se cuenta con información para ubicarlo geográficamente y dos sitios fueron descartados por no contarse con suficiente información para formar un índice confiable.

Tabla 4. 6 Índice de calidad del agua de sector 2 de Xochimilco

Canales	OD (mg/L)	Turbidez NTU	Conductividad K25 ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Nitratos NO <sub>3</sub> - mg/L	Amonio NH <sub>4</sub> + mg/L	Fosfatos PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	Indice	Calidad
Huahualco	5.9075		813.5	1.9225	1.295		75%	57-78
San Diego	3.182	18.1667	706.2857	22.2357	1.0929	8.9	67%	57-78
Apatlaco	6.1475	41.2	746.0125	11.874	1.01836	7.73	61%	57-78
Cotetexpa	1.8267	23.1875	550.235	8.348	2.918	10.17	56%	33-56
Pizocoxpa	2.6986	33.4333	744.2778	20.24	1.3325	8.4	56%	33-56
Seminario	2.742	20.4	841.4286	7.62	6.8643	11.1	56%	33-56
Huexocoapa	2.6		786	14.1	4.155		42%	33-56
Santísima	2.6778	78.65	656.0418	31.08	4.592		40%	33-56
ND	0.86		917					
Texhuilo	9.1		801.8					
Xilopa	4.6		0.71					

Elaboración propia con base en recopilación de datos de diversas fuentes:

“Datos de calidad de agua 5000 sitios de monitoreo” y “calidad de agua superficial 2012-2015” (Contreras et al., 2009; Flores-Serrano et al., 2015; González-Pozo et al., 2016; Juárez-Figueroa et al., 2003; Sánchez Meza et al., 2009; Solís et al., 2006; Stephan-Otto, 2005; Zambrano et al., 2009, 2010)

En este sector, es necesario implementar medidas rápidas para frenar el cambio de uso de suelo. En la Fig. 4. 5 Zonificación de Xochimilco es posible observar que el canal de Apatlaco ha fungido como una barrera para detener el avance de la urbanización, sin embargo, el avance se ha dado entrando al polígono en una de las orillas del canal. El incentivar la agricultura en esta zona y mantener un monitoreo constante debería ser una prioridad para detener el avance urbano y por consiguiente hacer frente al deterioro ambiental.

#### 4.2.3 Sector 3: Sector de turístico-urbano de Xochimilco

El sector 3 con apenas 33 *chinampas* activas correspondientes a 1.18% del total del sector, podría considerarse perdido para recuperar la chinampería. Este sector vive del turismo, sin

embargo, esta actividad también está en riesgo si el deterioro del humedal continúa, debido a que el turismo se basa en gran medida en la venta de un atractivo visual idílico y la experiencia de un paseo por canales bellos. En cambio, existen canales que ahora desprenden malos olores y puede encontrarse basura en ellos, situación poco atractiva para los visitantes.

Tabla 4. 7 Índice de calidad del agua del sector 3 de Xochimilco

Etiquetas de fila	OD (mg/L)	Turbidez NTU	Conductividad K25 (µS cm-1)	Nitratos NO3- mg/L	Amonio NH4+ mg/L	Fosfatos PO4-P (mg/L)	Índice	Calidad
Xaltocan	10.0315	55.5333	786.1333	8.4729	4.4674	6.2	61%	57-78
Zacapa	4	22.05	1001.25	12.6275	1.7725		60%	57-78
Santa Cruz	5.1211		749.8144	16.38	0.68	8.33	60%	57-78
Nativitas	3.8733	31.765	608.61	27.3533	4.6915	9.185	50%	33-56
San Cristóbal	2.6667		441.56	9.475	7.605		50%	33-56
Miramar	3.2		463.83	28.32	3.845		50%	33-56
Ayocotitla	1.6		446.1667	22.065	3.535		42%	33-56
Ayac	2.6667		312.6767	14.5	3.985		42%	33-56
Curva	3.6		0.59					

Elaboración propia con base en recopilación de datos de diversas fuentes:

“Datos de calidad de agua 5000 sitios de monitoreo” y “calidad de agua superficial 2012-2015” (Contreras et al., 2009; Flores-Serrano et al., 2015; González-Pozo et al., 2016; Juárez-Figueroa et al., 2003; Sánchez Meza et al., 2009; Solís et al., 2006; Stephan-Otto, 2005; Zambrano et al., 2009, 2010)

La calidad de agua como lo muestra la tabla es mala, situación comprensible debido a las constantes descargas de aguas residuales que reciben los canales. Como se muestra en la Fig. 4. 14 Mapa de sector 3 con canales que tienen descargas de aguas negras y grises, en este sector casi la totalidad de canales que bordean al sector han sido catalogados como canales con descargas, al igual que los canales principales del sitio.

Fig. 4. 14 Mapa de sector 3 con canales que tienen descargas de aguas negras y grises



Elaboración propia con datos del censo de descargas de aguas negras y grises  
 Amarillo más de 20 descargas  
 Verde de 10 a 19 descargas

A pesar del escenario adverso que pueda verse en este sector, es importante que se implementen medidas a la brevedad para proteger la calidad del agua, ya que este sitio puede fungir como un área de contención para la zona urbana y brindar protección a los sectores 1 y 2.

#### 4.3 Restauración ecológica y sostenibilidad

Como se puede observar, todos los pueblos y sectores son diferentes incluso dentro de un mismo polígono de protección. La heterogeneidad no solo consiste en el espacio geográfico y las influencias que reciben del exterior, sino también en el modo de vida de las personas que trabajan en este sitio. Al mismo tiempo, las diferencias socioeconómicas afectan al ambiente a través de diferentes vías y en diversos modos, como se mencionó anteriormente, las características de la zona pueden determinar la presencia o ausencia de un contaminante

como los hidrocarburos con mayor presencia en la zona turística o aledañas, o agroquímicos provenientes de sitios con *chinampas* e invernaderos (Carrión et al., 2012).

Estas diferencias hacen que la implementación de un proyecto de restauración no pueda aplicarse de manera indistinta, debido a que la consideración de los medios de vida de los pobladores se consideran un factor clave para alcanzar la sostenibilidad (Biggs et al., 2015).

El conocimiento tradicional de las *chinampas*, las técnicas para el manejo de la tierra y el ambiente son elementos que las personas del polígono comparten, sin embargo, los intereses pueden diferir. Por lo tanto, cuando se plantea llevar a cabo una restauración, es necesario introducir en sus principios la consideración de los medios de vida de la población y no solo la restauración ecológica.

El ANP se considera un sistema con afectaciones en su estructura y funcionamiento, las fuentes naturales ya no son la principal fuente de alimentación del lago y la diversidad de especies animales y vegetales se ha deteriorado. Existe un especial interés en rescatar este ecosistema que alberga especies endémicas en peligro de extinción, una técnica tradicional agrícola considerada patrimonio mundial, un centro turístico nacional e internacional, una zona que brinda sustento a muchos habitantes de la Ciudad de México y zonas aledañas, además de ser una fuente que brinda seguridad alimentaria.

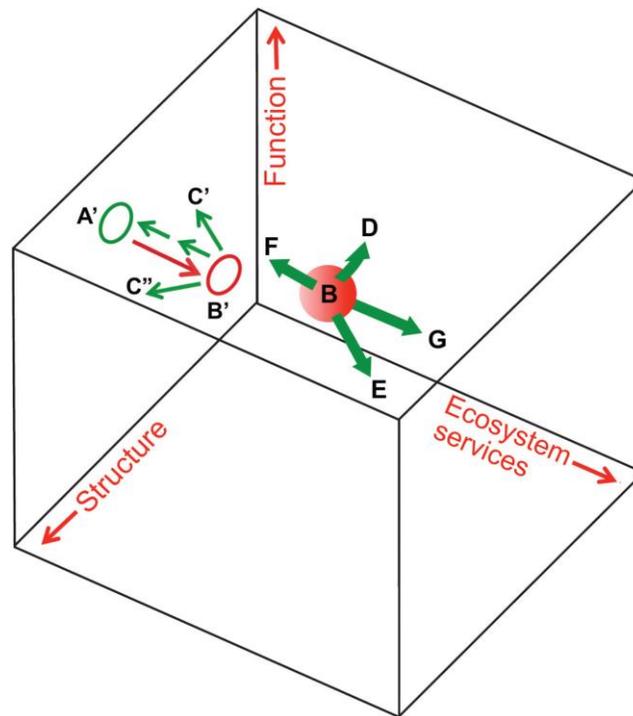
Esta situación ubica a la restauración en un punto en el que no solamente debe reestablecer la estructura y funcionamiento del humedal, sino que debe cuidar que el ecosistema sea capaz de brindar los servicios ecosistémicos que se requieren para mantener los medios de vida de la población y el medio natural.

Estando en un mismo ecosistema, el hablar de restauración en un ambiente heterogéneo se convierte en buscar puntos de equilibrio para llegar a un fin común. Esto implica que los esfuerzos de restauración deban planear las metas centrándose en elementos socio-ecológicos, y no únicamente en aquellos elementos que aseguren una restauración ambiental (Abelson et al., 2016). En el caso de Xochimilco, las *chinampas* representan ese elemento social y ecológico que se quiere conservar dentro de un entorno natural, que sería el humedal. En la Fig. 4.9 se muestra que la función y estructura del humedal pudieran ser restablecidos

de muchas maneras, sin embargo, al considerar el componente social (el cual requiere de los servicios ecosistémicos), las metas de restauración y por tanto de biorremediación deben ir dirigidas a metas socio-ecológicas, por ejemplo: una estrategia de conservación de las *chinampas* que reestablezca la calidad ambiental del humedal.

Debido al deterioro existente y a los cambios drásticos del ecosistema, se considera que ya no es posible regresarlo a su estado original, sin embargo, con la restauración socio-ecológica es posible hacer adecuaciones para mejorar la calidad del ANP y asegurar los servicios ecosistémicos, sin que se pretenda esperar que la restauración lleve al humedal a su estado natural original (Abelson et al., 2016).

Fig. 4. 15 Esquema de una intervención de restauración



Fuente: (Abelson et al., 2016)

Nota: Ilustración de los efectos de las intervenciones de restauración en la estructura del ecosistema, la función del ecosistema y los servicios del ecosistema. Se muestran escenarios hipotéticos que pueden ocurrir a medida que los ecosistemas degradados se recuperan hacia su estado original o cambian hacia otras direcciones mejoradas (C-F). Las matrices A 'a C', corresponden a la ilustración de los escenarios que pueden ocurrir hacia la recuperación de un sistema de (B' hacia A': estado original ó C y C' escenarios de restauración ; B, B 'al ecosistema degradado; D a una función, estructura y servicios mejorados; E a la función declinada y una ligera mejora de la estructura y los servicios; F para mejorar la función y la estructura, pero sin cambios significativos en los servicios; G a ninguna mejora de la estructura y función de un determinado sitio del ecosistema, sino a servicios mejorados localmente necesarios.

Por lo general, el hablar de medios de vida implica traer a la mente degradación, ya sea erosión de suelos, contaminación del agua, etc., sin embargo, también es posible que las actividades humanas conserven y beneficien un sitio, por ejemplo, a través de la reforestación, de la creación de refugios de especies, de la agro-biodiversidad, etc (Biggs et al., 2015; Tompkins et al., 2013).

Considerando las *chinampas* como medio de vida en Xochimilco, estas tienen un valor y una influencia diferente en cada uno de los sectores, sin embargo, estas son un elemento existente dentro de todo el polígono y ellas son capaces de albergar los elementos necesarios para llevar a cabo un tratamiento de fitorremediación.

Al tomarse en cuenta la restauración ambiental y las actividades socio-económicas de la población, se considera que el tratamiento de fitorremediación a través de las *chinampas* es sostenible para aquellas que guardan una estructura tradicional.

#### 4.4 Beneficios y uso de las *chinampas* en el ANP

La agricultura es el origen de la creación de las *chinampas*, sin embargo, actualmente sus usos se han diversificado dentro y fuera del polígono de Xochimilco.

A continuación, se muestra una tabla con los usos actuales que se dan a la *chinampa* dentro del ANP, así como los beneficios que estas proveen a la sociedad y ambiente, de acuerdo con el uso de suelo que se les asigna: urbano, agrícola o turístico.

Para la elaboración de la siguiente tabla, una *chinampa* se consideró como la isla dentro del polígono del ANP de Xochimilco que posee aún tierra, árboles y/o cercas en los bordes y especies vegetales en sus orillas, aun cuando estas *chinampas* no estén siendo cultivadas.

Por lo tanto, se debe considerar que las características de las *chinampas* varían de acuerdo con el uso de suelo que se les esté dando y, por consiguiente, los beneficios que se obtienen de ellas son diferentes.

En el caso del área agrícola, las *chinampas* se encuentran cuidadas, generalmente tienen una cerca, una valla de árboles en los bordes y se encuentran rodeadas por apantles y/o canales

que se limpian de manera regular para mantener la navegabilidad. Estas son las que aportan una mayor cantidad de servicios ecosistémicos, siempre y cuando se cultiven de manera tradicional.

En el área turística, las *chinampas* no se encuentran bien delimitadas y en ocasiones sólo es posible ver bloques de tierra. Los bordes de las *chinampas* no se reforestan y los apantles son prácticamente inexistentes. Sin embargo, algunas zonas se arreglan con plantas para rentar los espacios y mejorar el paisaje; de igual manera los grandes canales son limpiados continuamente para permitir los paseos en trajineras que se rentan a turistas.

Finalmente, el área urbana es la que reporta las *chinampas* más descuidadas y que aportan menos beneficios al ambiente. Estas *chinampas* generalmente tienen bordes descuidados con pocos árboles y viviendas irregulares en ellas.

Tabla 4. 8 Beneficios y usos de las <i>chinampas</i> en el ANP de acuerdo con las esferas de la sostenibilidad y tipo de uso de suelo existentes en los sectores ubicados dentro del polígono.				
	Esferas	Agricultura	Turismo y recreación	Urbana - Invernadero
	Económica	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alimentos para autoconsumo</li> <li>-Alimentos excedentes para venta: ya sea simples o transformados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Renta de espacios para eventos</li> <li>-Paisaje para recreación y paseos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Producción de flores y plantas ornamentales</li> </ul>
	<i>Chinampa</i> Socio-cultural	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Seguridad alimentaria</li> <li>-Rescate de conocimiento tradicional y patrimonio cultural</li> <li>-Paisaje y satisfacción personal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Promoción de la cultura xochimilca</li> <li>-Paisaje (en caso de chinampas cuidadas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Estructura para vivienda / almacén</li> </ul>

Ambiental	-Agrobiodiversidad- conservación del suelo, fertilidad y control de plagas.	-Atenuación natural: proceso lento de recuperación
	-Mantenimiento de la <i>chinampa</i> : Existencia de una gran cantidad de árboles y plantas para fitorremediación: calidad de agua y suelo.	-Diversidad biológica espacios para aves migratorias
	-Atenuación de la contaminación atmosférica de la CDMX.	-Educación ambiental
Fuente: Elaboración propia		

#### 4.4.1 Sector agrícola

De acuerdo con la Tabla 4.8 las *chinampas* utilizadas para la agricultura, turismo y cultivo en invernaderos proporcionan ventajas económicas para quienes las trabajan. Sin embargo, en la esfera sociocultural, la agricultura muestra más ventajas que el turismo, invernaderos y viviendas, ya que la seguridad alimentaria y la preservación de la técnica de cultivo se destacan por ser preocupaciones internacionales. Finalmente, en la esfera ambiental, la utilización de las *chinampas* para la agricultura tiene actualmente mayores beneficios al ecosistema que el resto de los tipos de uso de suelo. Cabe destacar, que a pesar de que las otras esferas son importantes para el desarrollo local, la esfera ambiental tiene en este caso un peso especial al tener como principal objetivo la restauración y conservación del humedal.

**Economía.** - En este sector las *chinampas* permiten una diversidad en el autoconsumo y venta de excedentes, situación que no ocurre con los invernaderos, que se vuelven completamente dependientes de las fluctuaciones del mercado (Merlín-Uribe et al., 2013).

En otros sitios con características similares, los agricultores deben tener diferentes ocupaciones para poder mantener a la familia, en el caso de los *chinamperos*, tienen la ventaja

de poder cultivar todo el año puesto que la riqueza del sistema permite alrededor de cinco cosechas anuales, dependiendo del producto que se siembre.

Otra ventaja, es que el suelo es tan rico en nutrientes, que los productores han introducido especies poco comunes y estas se han podido desarrollar, de manera que han podido cubrir la demanda de todo tipo de productos.

Sin embargo, el mercado esta jugando en contra de la conservación del sistema. Los agricultores tienen problemas para llevar sus productos a los consumidores finales y terminan vendiéndolos a mayoristas que pagan un precio muy bajo, como la central de abastos (comunicación personal). Esta situación implica que los agricultores obtienen ganancias por volumen, y en consecuencia utilizan agroquímicos para mejorar la productividad de sus *chinampas*.

También vale la pena rescatar, que existen agricultores que han podido organizarse y encontrar mercados “selectos” en los que sus productos tienen un mayor precio.

Socio-cultural. – La conveniencia de una zona agrícola dentro de la Ciudad de México, implica que hay un mercado que está siendo abastecido localmente, sin externalizar las consecuencias de su consumo a nivel regional. Adicionalmente, un cultivo que es capaz de sobrevivir con insumos locales favorece la seguridad alimentaria y contribuye con la cadena de valor en la sociedad.

Al mismo tiempo, el conocimiento agrícola reconocido ahora por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) como SIPAM tiene un valor incalculable, por ser una tecnología altamente productiva, rica en biodiversidad, base de producción de alimentos, elemento paisajístico y legado de las sociedades prehispánicas (Altieri, Miguel; Koohafkan, 2014).

Adicionalmente, el paisaje y la satisfacción de los agricultores quienes dicen ejercer la chinampería por amor al campo, también presenta un valor y un servicio ambiental de este ecosistema (Merlín-Uribe et al., 2013).

Ambiental. - La agricultura incentiva la agrobiodiversidad, es decir la diversidad de los cultivos, esto ayuda a la retención y fertilidad del suelo, sobre todo cuando se aplica la rotación de cultivos (Merlín-Uribe et al., 2013). La rotación es una técnica agroecológica tradicionalmente utilizada por los chinamperos, en la que se alterna la plantación de especies vegetales con diferentes necesidades de nutrientes. Algunos agricultores no conocen esta técnica por su nombre, pero son capaces de describir que para que obtengan una buena producción de acelga antes deben plantar dos cosechas de lechuga (comunicación personal). Adicionalmente, la agrobiodiversidad es un control natural de plagas (Merlín-Uribe et al., 2013).

Las *chinampas* cultivadas para fines agrícolas además de contar con la vegetación en las laderas de la *chinampa* y barreras naturales y construidas con madera, tendrán un mayor aporte al sistema dado que el método de cultivo implica diversas técnicas benéficas (González & Torres, 2014) como la remoción de sedimento de los apantles (inyectando oxígeno al sistema), la utilización de maleza como abono (reciclado de nutrientes), remoción de plantas acuáticas de los canales (son el acceso a las *chinampas* y fuente de agua) , etc.

Y finalmente, como se demuestra en el capítulo anterior, el cuidado y mantenimiento de las *chinampas* potencializa la fitorremediación para el mejoramiento de la calidad de agua, suelo y de los mismos productos. La continua reforestación de ahuejotes es un ejemplo de este principio.

#### 4.4.2 Sector turístico

Si bien es cierto que el sector turístico no presenta tantos beneficios a la sostenibilidad como el sector agrícola, también es cierto que sus beneficios no son despreciables y las condiciones podrían mejorar si se llegase a implementar un tipo de turismo más sostenible, teniendo en cuenta que el modelo actual pareciera propiciar el abandono, descuido y/o afectación de las *chinampas* y el sistema.

Economía. – En este sector la renta de espacios para eventos recreativos representa un insumo para los propietarios, sin embargo, la disposición de residuos de estos eventos representa daños directos al sistema. Adicionalmente, esta actividad que pudiera propiciar un buen mantenimiento de la *chinampa*, aun sin fines agrícolas, está siendo neutral ante el deterioro.

Los paseos en trajinera son probablemente el principal atractivo hacia Xochimilco como destino turístico y es uno de los principales ingresos de los trabajadores del lugar. Algunos de los agricultores incluso han diversificado y/o modificado sus actividades para atender al turismo. El hecho de limitar el uso de vehículos motorizados y permitir las trajineras, que son usualmente impulsadas con palos de madera, reduce significativamente los daños al sistema. Sin embargo, existen otro tipo de daños como la basura arrojada por los turistas y el establecimiento de “negocios” dentro de las *chinampas*.

Fig. 4. 16 *Chinampa* con bordes deteriorados y expendio de pulque



Fuente: 05/03/2018 Fotografía propia tomada en el pueblo de Xochimilco durante trabajo en campo

Esta actividad representa un importante ingreso para las personas del sitio y de alguna manera ayuda a que la atención nacional e internacional se pose sobre este humedal y la urgencia de rescatarlo, sin embargo, el tipo de turismo, así como el modo de llevarlo a cabo, debe de replantearse hacia la sostenibilidad ecológica del sitio.

Un beneficio de la importancia turística de Xochimilco es el apoyo que tiene por parte de las instituciones gubernamentales de limpiar los canales periódicamente. Durante estas limpiezas se extrae basura y plantas acuáticas, para permitir el paso de las trajineras (comunicación personal). Recordando los beneficios de las plantas acuáticas, esta acción gubernamental ayuda a la extracción de nutrientes y metales pesados retirando las plantas del sistema, sin embargo, un siguiente paso para la sostenibilidad, sería analizar la disposición final de estos residuos. Al mismo tiempo, la continua limpieza de los canales genera el crecimiento de nuevas plantas, lo que pudiera beneficiar a mantener buenos niveles de captación de nutrientes y metales pesados por parte de estas.

Un avance en el turismo sostenible que vale la pena mencionar es el agroturismo y/o el turismo científico. Este turismo ya se lleva a cabo por medio de asociaciones nacionales como REDES o internacionales como Earthwatch (experiencia propia), y promueven el involucramiento de personas ajenas al sitio en las problemáticas locales, de manera que exista una retroalimentación entre personas locales y externas.

Socio-cultural. – En este mismo tenor, el desarrollo del turismo enfocado a la promoción de la cultura Xochimilca puede ser benéfico para el rescate de la zona, ya sea por atracción de apoyos o incremento en las ganancias por turismo. Sin embargo, el modo turístico actual no parece vender el atractivo cultural y ambiental por igual, si bien es cierto que la gastronomía, música e idiosincrasia mexicana sí está presente en estos recorridos, la cultura de la chinampería, sus técnicas agrícolas y el conocimiento ambiental que esto conlleva, no se ven representados por completo en esos recorridos.

Ambiental. – De acuerdo con los mapas, el sector turístico es el que muestra más *chinampas* no activas y no urbanizadas, lo que implica que las *chinampas* a pesar de no estar siendo mantenidas adecuadamente tampoco están siendo perturbadas, por lo tanto, están llevando a cabo un proceso de atenuación natural (biorremediación intrínseca), que se considera un proceso lento de recuperación del ecosistema.

Adicionalmente, los espacios de tierra amplios del sector turístico permiten el reposo de una gran cantidad de aves de diversos tamaños.

Finalmente, dentro de algunas de las actividades que se llevan a cabo en las *chinampas* está la educación ambiental, en la que continuamente se ofrecen cursos de composteo, agricultura urbana, cultivo de peces, granjas de ajolote, etc.

#### 4.4.3 Sector urbano y de invernaderos

Este es el sector que menos beneficios conlleva para el ecosistema. Las viviendas irregulares se caracterizan no solo por descuidar el mantenimiento de la *chinampa*, sino por verter aguas negras y grises directamente a los canales. Un sitio con viviendas convierte a las *chinampas* en cimientos, sin un uso adicional, por lo tanto, no se consideraron actividades productivas.

En la literatura existen casos de avances tecnológicos altamente eficientes que llegan a liderar grandes avances hacia la sostenibilidad, por lo que los invernaderos pudieran considerarse apropiados en condiciones en que los ecosistemas presenten alguna adversidad. Sin embargo, en el caso de Xochimilco, la presencia de invernaderos no obedece a utilizar la vocación del ecosistema, por el contrario, representa una tendencia de cambio de uso de suelo hacia la urbanización y actividades diferentes a las tradicionales.

Economía. - Los invernaderos representan claramente una inversión en infraestructura, lo que indica una permanencia a largo plazo. La actividad que se desarrolla en ellos es el cultivo de flores que son almacenada generalmente en la misma *chinampa* y posteriormente vendidas en un mercado de flores que se encuentra en zonas aledañas. La ventaja de este mercado es que representa un punto de contacto entre los productores y los consumidores finales, sin la necesidad de transportar el producto fuera de la localidad.

Las técnicas del invernadero requieren una mayor inversión que las *chinampas* y presentan una continua dependencia de insumos externos al ecosistema, por lo que se considera que el costo-beneficio es ligeramente mejor para las *chinampas* (Merlín-Uribe et al., 2013).

Socio-cultural. – A pesar de que el cultivo de flores sí era una tradición en Xochimilco, ni las técnicas actuales de cultivo ni las especies vendidas representan un valor cultural xochimilca. Mas aún, las *chinampas* pierden completamente su valor al fungir únicamente como cimientos de la infraestructura montada en ellas, ya sea invernaderos o viviendas irregulares.

Ambiental. – En este punto, la *chinampa* deja de representar un elemento sostenible debido a que pierde sus funciones naturales. Adicionalmente, este tipo de acciones implica una mayor degradación ambiental por contaminación de descargas irregulares y uso de agroquímicos.

#### 4.5 Consideraciones

Con el fin de alcanzar la restauración del ecosistema a través de la biorremediación, es necesario trazar un plan con metas concretas y programas de monitoreo que permitan medir los avances de la restauración ecológica. Estas mediciones, deberán concentrarse en un marco o índice que integre al mismo tiempo mediciones económicas, ambientales y socioculturales para permitir identificar el nivel de sostenibilidad alcanzado por la restauración.

Dadas las condiciones en Xochimilco es necesario expresar parámetros de medición a nivel local que puedan contribuir a las mediciones de sostenibilidad. Por ejemplo: una de las metas a perseguir en la restauración debería ser el establecimiento de parámetros de calidad de agua para la zona chinampera, que permitan tanto el riego de las *chinampas* que cultivan productos consumo humano, como la vida sin estrés de los organismos acuáticos que se pretenden mantener en la zona.

El registrar una marca “bandera” bajo la cual los productores de Xochimilco puedan tener un valor agregado a sus productos, puede ser un incentivo para unificar la calidad de la producción y cumplir con ciertos estándares. Sin embargo, es necesario identificar a los actores que deberían estar liderando esta integración. Algunas asociaciones civiles que tratan de trabajar en conjunto con grupos de agricultores han puesto sobre la mesa iniciativas de esta índole, sin embargo, la falta de organización por parte de los grupos de agricultores de la zona, el desconocimiento sobre el mercado externo, el limitado financiamiento y la falta de presencia gubernamental, han sido factores clave que no han permitido el desarrollo a largo plazo de un proyecto de este tipo.

En el campo agroecológico, un estándar deseable sería la producción de alimentos orgánicos. Esta forma de cultivo permitiría, en teoría, incentivar la economía local al dar un valor agregado a los productos y eliminar el uso de agroquímicos perjudiciales para el ambiente.

Sin embargo, esta iniciativa requiere del trabajo en conjunto de los agricultores de una zona, puesto que los parámetros para denominar a un producto como “orgánico”, son muy rigurosos. En el caso de Xochimilco, los agricultores comparten una misma fuente de agua y un mismo espacio, por lo tanto, si un agricultor decidiera utilizar agroquímicos, los cultivos aledaños a su *chinampa* se verían afectados por la dispersión atmosférica y acuática de estos elementos, impidiéndoles obtener la denominación de cultivos orgánicos a las plantaciones de la zona.

Con respecto a las zonas de invernaderos, se debe evaluar la factibilidad agrícola y ambiental de reconvertir los campos en zona de *chinampas*. Es importante recordar que esta adaptación de cultivo puede obedecer a la incapacidad del suelo (principalmente debido a la salinidad) de producir alimentos. Adicionalmente, debe evaluarse si existe disposición de los productores a cambiar los invernaderos por *chinampas*. Una vez que se cuente con esta evaluación, será posible proponer un plan para la restauración del sistema y avanzar hacia la sostenibilidad. Por el momento, la teoría indica que el revertir un cambio de esta índole es complicado. Dado que los invernaderos son considerados como una de las principales fuentes de agroquímicos, sería conveniente que, en el corto plazo, se tratara de incentivar el cultivo orgánico en estos lugares, así como la implementación de técnicas que se consideran benéficas, tal es el caso de la producción de miel en invernaderos.

El agroturismo o ecoturismo pareciera ser una buena opción para incentivar la economía local, tanto para la zona turística como para la agrícola. En la zona turística se incentivaría el restablecimiento de *chinampas* improductivas y podría aprovecharse la gran afluencia turística del sitio. Por otra parte, la implementación del agroturismo en la zona agrícola sería un reto mayor, dado que los agricultores por lo general son reacios a involucrarse en otras actividades debido a falta de tiempo o interés (comunicación personal). Aunque también podría ser una oportunidad para involucrar a otros miembros de la familia como las esposas o hijos e hijas de los agricultores, muchos de los cuales iniciaron estudios a nivel medio superior y superior, o bien para aquellos que cuentan con estudios truncaos, quienes actualmente tienen poca participación dentro de las actividades productivas del sitio.

Es aconsejable aprovechar el potencial turístico de la región para la implementación de proyectos que reactiven la chinampería tradicional, como aquellos en los que se invita a los

pobladores de áreas cercanas a sembrar en conjunto, similar a los huertos urbanos y familiares. Asociados a la actividad turística se han implementado talleres de educación ambiental, sin embargo, hace falta una mejor promoción de estos para tener una mayor participación de la comunidad. Aunado a lo anterior, existen proyectos que pueden llevarse a cabo en paralelo, por ejemplo: recorridos de avistamiento de aves.

Otro de los estándares deseables para el funcionamiento del humedal, es el restablecimiento de la fauna nativa, por lo tanto en las *chinampas* en las que se pudiera estar llevando un mantenimiento, ya sea por turismo o agricultura, podría elevarse su valor ambiental si se implementan los “refugios para ajolotes”, mismos que ya han sido propuestos en algunas iniciativas (Zambrano González et al., 2012).

## CONCLUSIONES

### Biorremediación y sostenibilidad

Las *chinampas*, de acuerdo a su estructura y función, muestran ventajas ambientales indicativas de biorremediación de la calidad del agua, así como elementos de sostenibilidad, como abajo descrito:

1. Aumento del valor del agua. Las *chinampas* facilitan la transformación de cuerpos de agua de baja calidad en parques vivientes sin alterar la infraestructura existente. Esto crea un aumento en la aceptación pública y recreación, incrementando el valor y calidad de las propiedades circundantes.
2. Aumento de la reserva de organismos. Las raíces de la sub superficie crean refugios para peces e invertebrados menores así como condiciones ideales de sitios para alimentarse lo que aumenta la calidad de la reserva de organismos.
3. Aumento de la calidad del agua. Las raíces sumergidas crean un hábitat ideal para millones de microorganismos que se sirven de algas, carbono y exceso de nutrientes en el agua como fuente de alimento, purificando el agua. Estos microorganismos se distribuyen del ecosistema flotante para mejorar la calidad del agua en grandes áreas por muchos años.
4. Es un sitio seguro para organismos y Pájaros. Las plataformas diseñadas especialmente proveen los nidos ideales y hábitats para pájaros y otros organismos habitantes. En áreas urbanas con poco espacio de hábitat, las islas ofrecen refugios protegidos, seguro de disturbios. Asimismo, se puede crear una mezcla de tipos de hábitat para determinadas especies.

A pesar de que las especies vegetales listadas en esta tesis cumplen con características de biorremediación, el uso y manejo de las especies deben ser diferentes y sumamente cuidadosos para cada una de ellas. Las plantas listadas, a pesar de tener un potencial benéfico para la calidad del humedal, pueden ser un problema cuando se rebasa la capacidad de carga del ecosistema. Los casos del lirio, lemna, typha, etc., son los más conocidos, ya que son las plantas que tienen mayor capacidad para la biorremediación del sitio debido a la cantidad de biomasa que son capaces de acumular, sin embargo, en caso de no ser manejadas

adecuadamente, esa misma generación de biomasa jugaría en contra de la restauración al provocar condiciones de anoxia, turbidez, impedir que pasen rayos solares, etc.

Es importante considerar que, en el caso de la fitorremediación por medio de la acumulación de metales pesados, no basta con retenerlo en el tejido de las plantas, sino que se necesita una disposición final. A la par de este proceso, debe darse una disminución paulatina de la descarga de aguas residuales al sistema, esto aceleraría la capacidad del sistema de recuperarse.

Por otra parte, existen especies que son grandes fijadoras de nitrógeno en los suelos, por lo que debería evaluarse la conveniencia de incentivar el incremento de nitrógeno en Xochimilco. La fitorremediación de un sistema con exceso de nutrientes deberá buscar que las plantas utilizadas sean capaces de absorber la mayor cantidad de nutrientes (Adler et al., 2008) y dependiendo del manejo del sistema, se deberá decidir si una mayor o menor producción de biomasa es adecuada. En el caso de Xochimilco, las cantidades de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes son excesivas y atípicas incluso comparado con otros humedales impactados. La introducción de aguas residuales provenientes de los drenajes y otros contaminantes de distintas fuentes se encuentra por encima de la capacidad del sistema de autorregularse, por lo tanto, en caso de no limitarse estas entradas al sistema, es improbable que solo las plantas, o el conjunto de ellas, puedan eliminar esas grandes cantidades de nutrientes.

Para poder determinar la influencia exacta de cada una de las especies vegetales sobre la calidad del agua, es necesario un monitoreo constante de cada uno de los canales. Durante esta investigación se pudo comprobar que hace falta un mapa con información de los canales que se encuentran dentro del ANP y en la zona circundante de dicho polígono en Xochimilco. La información sobre los nombres, longitud, profundidad y calidad de agua de los canales tuvo que recopilarse de diversas fuentes y en ocasiones la información contrastaba en cada una de ellas. La zona es cambiante y estos parámetros varían durante las estaciones, sin embargo, un monitoreo más constante y un mapa oficial de los nombres de los canales sería de gran ayuda para dar fluidez a los próximos estudios de la zona.

Para la elaboración de esta tesis, se utilizaron los sectores trazados por Gonzalez-Pozo (2016), sin embargo, hacer una zonificación más minuciosa dentro de estos sectores, podría ayudar a tener datos más puntuales de la calidad ambiental de la zona. Los datos que se manejan en este y en otros estudios, son promedios por sector y en muchas ocasiones estos están afectados por puntos específicos en que la calidad es muy buena promediándose con datos de calidad de agua muy pobres, situación que no refleja la situación de todo el sector. Al mismo tiempo, el promediar datos evita identificar fácilmente puntos críticos de contaminación cuando estos son promediados con datos de alta calidad ambiental.

Una catalogación de la presencia de árboles tan exhaustiva como la llevada a cabo en San Gregorio Atlapulco es necesaria para el pueblo de Xochimilco, ya que con ella podría sobreponerse geográficamente la mayor presencia de árboles sobre los canales y su calidad de agua. De esta manera podría hacerse más evidente si los árboles están influyendo positivamente sobre la calidad del agua.

Por otro lado, en San Gregorio Atlapulco, hacen falta más mediciones de calidad de agua de los diferentes canales. Cabe resaltar que en esta zona el monitoreo por parte de las universidades e instituciones gubernamentales podría ser un poco más complicado, ya que los agricultores no permiten el libre paso de las personas en la zona chinampera. Por lo tanto, en los monitoreos y cualquier programa de mejora de calidad de agua que se pretenda implementar, debe considerarse el involucrar activamente a los agricultores. Sin embargo, sí debe considerarse que la recopilación y análisis de datos debería llevarse a cabo por medio de una institución, debido a que, por el momento, los agricultores no parecen contar con los medios para llevarlos a cabo.

Desafortunadamente, a pesar de que la zona cuenta con un gran interés y estudios de calidad de agua llevados a cabo constantemente, la zona es tan heterogénea y los estudios tan diversos, que no fue posible correlacionar de manera directa la influencia de las *chinampas* sobre la calidad del agua. Adicionalmente, se encontró que los estudios de monitoreo del sitio se llevan a cabo de manera fragmentada (calidad de agua, suelo, aire, flora y fauna) y de esta manera sólo se tiene una visión parcial del problema. Esta situación no es nueva y existen proyectos que intentan tener una visión de cuenca más integral (Figuroa Torres et al., 2014),

sin embargo, los monitoreos son intermitentes y peor aún, esta información pareciera no estar teniendo el impacto deseado en el plan de manejo de la zona.

Para la agenda de investigación sería interesante que con monitoreos constantes se pudiera graficar la calidad de agua de un canal a través del tiempo (estaciones-meses o años) y de esta manera localizar aquellos factores que tienen mayor o menor impacto sobre los canales.

Sostenibilidad: Influencia sobre el humedal

La restauración a través de la biorremediación es una técnica que debe ser parte de un plan de manejo integral en el que se tomen en cuenta las actividades antrópicas y naturales que están incidiendo sobre el sistema. El considerar a la *chinampa*, un elemento ya existente dentro de Xochimilco, como soporte para llevar a cabo la biorremediación, confiere una ventaja para la implementación de la técnica.

Para llevar a cabo la biorremediación, deben tomarse muy en cuenta las propiedades características de la zona del humedal, debido a que se trata de un sitio heterogéneo, tanto en los medios de vida como en los parámetros de calidad de agua y suelo. Un sistema con estas características representa un reto para todos los habitantes de la Ciudad de México, desde la investigación, docencia, consumidores de productos Xochimilcas, voluntarios, asociaciones civiles, agricultores, entidades gubernamentales, etc.

La sostenibilidad puede ser alcanzada en la zona, siempre y cuando se apliquen medidas diseñadas para cada zona. Los medios de vida que llevan los habitantes de Xochimilco deben ser tomados en cuenta para proponer soluciones de conservación o restauración.

Las zonas del polígono, aun cuando se encuentren fuertemente perturbadas, tienen algo que aportar al humedal (en mayor o menor grado), si se toma en cuenta que la *chinampa* sobre la que ejercen sus actividades tiene la capacidad de mejorar la calidad ambiental. Es decir, aun cuando la *chinampa* este siendo ocupada como base para vivienda, la calidad ambiental podría mejorarse si se insta a la población a la recuperación de los bordes mediante la plantación de árboles, cercado con madera y no materiales sintéticos, no verter aguas negras y grises sobre el agua del canal, etc. Lo anterior se considera cierto siempre y cuando la

*chinampa* tenga las características de encontrarse rodeada total o parcialmente por agua y que las raíces de los árboles estén en contacto con suelo y agua.

Para futuros proyectos, es necesario identificar las vías por las cuales es posible alcanzar la sostenibilidad de la zona.

Sostenibilidad por medio de:

- Mercado: La organización de los productores en conjunto con entidades gubernamentales para la creación de una marca Xochimilca, el cultivar orgánicos para dar valor agregado a los productos, promover el ecoturismo
- Tecnología: Aumentar eficiencia de las plantas de tratamiento, implementación de un sistema de drenajes para frenar la contaminación del sistema, utilización de técnicas de biorremediación, construir refugios para fauna nativa,
- Entidades gubernamentales: Evaluar los programas de pagos por servicios ambientales, poner en marcha de un plan integral de manejo de la cuenca de Xochimilco con monitoreos constantes de la calidad ambiental del humedal, programas de participación ciudadana.
- Sociedad/asociaciones civiles: Voluntariado, cooperar con agricultores e instancias gubernamentales para lograr un flujo de la información evitando desinformar.

Como se mencionó anteriormente, el mercado, la tecnología, las instituciones gubernamentales y la sociedad civil serán importantes para marcar la pauta del avance hacia la sostenibilidad, y, en consecuencia, todas estas áreas deberán interactuar entre sí. Dentro de esta planeación, la revalorización de la *chinampa* como una tecnología de limpieza y de ecoproducción agrícola contribuye, mediante la biorremediación, a la subsistencia del humedal e incita a cuestionarse si la existencia de las *chinampas* es la diferencia con respecto a la desaparición de otros humedales y en qué medida la reorganización de un sistema de *chinampas* que aporta función y estructura coadyuvante a la calidad de agua y reciclamiento de materia orgánica, compuestos y nutrientes contaminantes, se vuelve un elemento clave para la sostenibilidad.

Esta investigación es una primera aproximación para integrar métodos tecnológicos de mejora ambiental en una visión no invasiva de avance hacia la sostenibilidad. Existen discusiones y estudios que dan un valor ambiental y/o cultural a la chinampa, sin que se tomen en cuenta las preocupaciones de las personas que trabajan en el área. En este esquema, se revaloriza un elemento cultural de la zona como un elemento tecnológico clave para la sostenibilidad.

Muy recientemente (Abril del 2018), las Chinampas de Ciudad de México fueron reconocidas y celebradas por la FAO como Sistema de Patrimonio Agrícola de Importancia Global. Además de ser una fuente importante de alimentos frescos para esta ciudad, una de las más pobladas del mundo, ahora se reconoce como uno de los trece nuevos entornos paisajísticos SIPAM. Se debe festejar esta inmensa esencia de excelencia que representan las chinampas cuya salud y permanencia podría depender de su capacidad para realizar biorremediación, lo encontrado en esta investigación así lo indica por primera ocasión. Y como pleitesía a esta Joya del ingenio e innovación prehispánica: un tributo y homenaje para un sistema modelo de sostenibilidad mundial.

## BIBLIOGRAFÍA

Abarca, F. (2007). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de humedales y otros ecosistemas acuáticos. In O. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Marquéz, & L. Zambrano (Eds.), *Perspectivas sobre Conservación de Ecosistemas Acuáticos en México*. (pp. 113–144). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Abeja-Pineda, O., López-López, E., Favari, L., & Sedeño-Díaz, J. E. (2015). Algal growth potential and oxidative stress in *Ankistrodesmus falcatus* exposed to waters from Xochimilco Lake system, México. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 18(2), 221–231. <https://doi.org/10.1080/14634988.2015.1040709>

Abelson, A., Halpern, B. S., Reed, D. C., Orth, R. J., Kendrick, G. A., Beck, M. W., ... Nelson, P. A. (2016). Upgrading Marine Ecosystem Restoration Using Ecological-Social Concepts. *BioScience*, 66(2), 156–163. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv171>

Adler, A., Karacic, A., & Weih, M. (2008). Biomass allocation and nutrient use in fast-growing woody and herbaceous perennials used for phytoremediation. *Plant and Soil*, 305(1–2), 189–206. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9551-2>

Agencia Reforma. (2011). Perderá México al ajolote en 15 años. Retrieved August 12, 2017, from <http://www.elvigia.net/suplementos/2011/3/22/perdera-mexico-ajolote-anos-39611.html>

Aguilar-Ibarra, Alonso; Zambrano, L., Valiente, E. L., & Ramos-Bueno, A. (2013). Enhancing the potential value of environmental services in urban wetlands: An agroecosystem approach. *Cities*, 31, 438–443. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2012.08.002>

Aguirre, S. (2017). *Policultivos y silvopastoreo como estrategias agroecológicas de productores familiares en Colonia Gestido*. Universidad de Antioquia.

Ahila, A., Stevens Jones, R. D., & Sam Manohar, D. S. (2015). Pre and post treatment toxicity of chrome plating industry effluent to *Poecilia reticulata* Peter 1859. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 2(4), 153–156.

Altieri, Miguel; Koohafkan, P. (2014). SIPAM: un legado mundial de paisajes agrícolas notables. *Agroecología*, 30(3), 6–10. Retrieved from <http://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol30n3.pdf#page=6>

Altieri, M. (1999). Capítulo 5: Diseñando agroecosistemas sustentables. In E. Nordan-Comunidad (Ed.), *Agroecology: The science of sustainable agriculture* (pp. 87–102). Montevideo. <https://doi.org/10.1007/BF02345332>

Anning, A. K., Korsah, P. E., & Addo-Fordjour, P. (2013). Phytoremediation of Wastewater with *Limnocharis Flava*, *Thalia Genuiculata* and *Typha Latifolia* in Constructed Wetlands. *International Journal of Phytoremediation*, 15(5), 452–464. <https://doi.org/10.1080/15226514.2012.716098>

Aronsson, P., & Perttu, K. (2001). Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production. *Forestry Chronicle*, 77(2), 293–299. <https://doi.org/10.5558/tfc77293-2>

Bañuelos, G. S., Lin, Z. Q., Arroyo, I., & Terry, N. (2005). Selenium volatilization in vegetated agricultural drainage sediment from the San Luis Drain, Central California. *Chemosphere*, 60(9), 1203–1213. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.02.033>

Barrett, A. M., Dave, N., & Wunnava, J. (2012). *Duckweed: Dual Platform for Renewable Fuels and Wastewater Remediation*.

Basílico, G., Magdaleno, A., Paz, M., Moretton, J., Faggi, A., & De Cabo, L. (2016). *Accepted Article: Agro-industrial effluentt phytoremediation with Lemna gibba and Hydrocotyle ranunculoides in water recirculating mesocosms*. <https://doi.org/10.1002/eji.201445427>.This

Bernal, A., González, Ó., & González, S. (1996). Remoción biológica de nitrógeno en un reactor discontinuo con biomasa suspendida. *Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, (25), 1–8.

Białowiec, A., Wojnowska-Baryła, I., & Agopsowicz, M. (2007). The efficiency of evapotranspiration of landfill leachate in the soil-plant system with willow *Salix amygdalina* L. *Ecological Engineering*, 30(4), 356–361. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.04.006>

Biggs, E. M., Bruce, E., Boruff, B., Duncan, J. M. A., Horsley, J., Pauli, N., ... Imanari, Y. (2015). Sustainable development and the water – energy – food nexus : A perspective on livelihoods. *Environmental Science and Policy*, 54, 389–397. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.002>

Bonaventura, C., & Johnson, F. (1997). Healthy Environments for Healthy People : Bioremediation Today and Tomorrow. *Environmental Health Perspectives*, 105. <https://doi.org/10.1289/ehp.97105s15>

Brinson, M. (2004). Conceptos y desafíos de la clasificación de humedales. In *Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina* (pp. 25–36).

Brundtland, G. H. (1987). Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. *United Nations Commission*, 4(1), 300. <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>

Carranza-Álvarez, C., Alonso-Castro, A. J., Alfaro-De La Torre, M. C., & García-De La Cruz, R. F. (2008). Accumulation and distribution of heavy metals in *Scirpus americanus* and *Typha latifolia* from an artificial lagoon in San Luis Potosí, México. *Water, Air, and Soil Pollution*, 188(1–4), 297–309. <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9545-3>

Carrillo-González, R., & González-Chávez, M. C. A. (2006). Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes. *Environmental Pollution*, 144(1), 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.01.006>

Carrión, C., León Ponce-de, C., Cram, S., Sommer, I., Hernández, M., & Vanegas, C. (2012). Aprovechamiento potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en xochimilco para fitorremediación de metales. *Agrociencia*, *46*(6), 609–620. <https://doi.org/10.1300/J144v03n01>

Castillo\_Rodríguez, F., Roldán, M., Blasco, R., Huertas, M., Caballero, F., Moreno, C., & Martínez, M. (2005). *Biotecnología ambiental*. S.L. Madrid: Editorial Tébar.

Chen, G. C., Liu, Z., Zhang, J., & Owens, G. (2012). Phytoaccumulation of copper in willow seedlings under different hydrological regimes. *Ecological Engineering*, *44*, 285–289. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.04.018>

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], & Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2015). La CONANP fortalece acciones para el control y erradicación de la “Casuarina” en Quintana Roo. Retrieved August 10, 2018, from [http://www.conanp.gob.mx/difusion/pdf.php?id\\_subcontenido=932](http://www.conanp.gob.mx/difusion/pdf.php?id_subcontenido=932)

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2015). Calidad del agua superficial 2012-2015. Monitoreo de la calidad del agua en México. Retrieved from <https://www.gob.mx/conagua/documentos/monitoreo-de-la-calidad-del-agua-en-mexico>

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2017). Datos de calidad del agua de 5000 sitios de monitoreo. Red Nacional de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Nacionales. Retrieved from <https://datos.gob.mx/busca/dataset/red-nacional-de-monitoreo-de-la-calidad-de-las-aguas-nacionales>

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2017). Casuarina equisetifolia. Retrieved August 10, 2018, from [http://www.enciclovida.mx/pdfs/exoticas\\_invasoras/Casuarina equisetifolia.pdf](http://www.enciclovida.mx/pdfs/exoticas_invasoras/Casuarina_equisetifolia.pdf)

Contreras, V., Martínez-Meyer, E., Valiente, E., & Zambrano, L. (2009). Recent decline and potential distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Biological Conservation*, *142*, 2881–2885. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.07.008>

Convención de Ramsar. (n.d.). La importancia de los humedales. Retrieved April 23, 2018, from <https://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-importancia-de-los-humedales>

Corrales, L., Antolinez, D., Bohórquez, J., & Corredor, A. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*, *13* (23), 55–81.

Covarrubias, S. A., & Peña Cabriales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *33*, 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>

Curt-Fernández de la Mora, M. (2005). Capítulo 7. Macrofitas de interés en fitodepuración. In *Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación* (pp. 91–106). Fundación

Global Nature.

Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *14*, 597–612.

Deram, A., Languereau-Leman, F., Howsam, M., Petit, D., & Haluwyn, C. Van. (2008). Seasonal patterns of cadmium accumulation in *Arrhenatherum elatius* (Poaceae): Influence of mycorrhizal and endophytic fungal colonisation. *Soil Biology and Biochemistry*, *40*(3), 845–848. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.09.023>

Díaz-Martínez, M. E., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suarez, J. J., & García-Barradas, O. (2013). Crecimiento de *Casuarina equisetifolia* (Casuarinaceae) en suelo con diésel, y aplicación de bioestimulación y bioaumentación. *Revista de Biología Tropical*, *61*(3), 1039–1052.

Dimitriou, I., & Aronsson, P. (2005). Saucos para energía y fitorremediación en Suecia. *Unasylva*, *56*(221). Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/008/a0026s/a0026s11.htm>

Doganlar, Z. B., Doganlar, O., Erdogan, S., & Onal, Y. (2012). Heavy metal pollution and physiological changes in the leaves of some shrub, palm and tree species in urban areas of Adana, Turkey. *Chemical Speciation and Bioavailability*, *24*(2), 65–78. <https://doi.org/10.3184/095422912X13338055043100>

Dos Santos Utmazian, M. N., Wieshammer, G., Vega, R., & Wenzel, W. W. (2007). Hydroponic screening for metal resistance and accumulation of cadmium and zinc in twenty clones of willows and poplars. *Environmental Pollution*, *148*(1), 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.10.045>

Edwards, S. C., Macleod, C. L., & Lester, J. N. (1996). The bioavailability of copper and mercury to the common nettle (*Urtica dioica*) and the earthworm *Eisenia Fetida* from contaminated dredge spoil, 75–90.

Ellery, W. N., Dahlberg, A. C., Strydom, R., Neal, M. J., & Jackson, J. (2003). Diversion of water flow from a floodplain wetland stream: An analysis of geomorphological setting and hydrological and ecological consequences. *Journal of Environmental Management*, *68*(1), 51–71. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(03\)00002-1](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(03)00002-1)

Environmental Response Division. (1998). FUNDAMENTAL PRINCIPLES OF BIOREMEDIATION ( An Aid to the Development of Bioremediation Proposals ). *Microbial Ecology*, (April).

Espinosa, Ana; Mazari-Hiriart, M. (2007). Pueblos indígenas de México y agua: Xochimilcas. *Atlas de Culturas Del Agua En América Latina y El Caribe*.

Espinosa, A. (2008). Agricultura peri-urbana: Las chinampas de la Ciudad de México. In I. Sandre Osorio & D. Murillo (Eds.), *Agua y Diversidad Cultural en México* (pp. 67–73). UNESCO.

Faulkner, S. (2004). Urbanization impacts on the structure and function of forested wetlands. *Urban Ecosystems*, 7, 89–106. <https://doi.org/10.1023/B:UECO.0000036269.56249.66>

Figuroa-Torres, M. G., Arana-Magallón, F., Almanza-Encarnación, S., Ramos-Espinosa, M. G., & Ferrara-Guerrero, M. J. (2015). Microalgas del Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. *Ciencia UAT*, 9(2), 15–29.

Figuroa Torres, M. G., Linares Jauregui, F., Ferrara Guerrero, M. J., & Catstro Mejía, J. (2014). Manejo integral de la Cuenca de Xochimilco y sus Afluentes. *E-Bios*, 124.

Fillion, M., Brisson, J., Guidi, W., & Labrecque, M. (2011). Increasing phosphorus removal in willow and poplar vegetation filters using arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecological Engineering*, 37(2), 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.09.002>

Flores-Serrano, R., Pérez-Casimiro, G., & Iturbe-Argüelles, R. (2015). Censo de descargas de aguas negras y grises en los canales de Xochimilco. Proyecto para rehabilitar el área de canales en Xochimilco, San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxialtemalco. Anexo 5. Ciudad de México: SECITI, Instituto de Ingeniería UNAM.

Flores-Verdugo, F. J., Agraz, C., & Benitez, D. (2007). Ecosistemas acuáticos costeros: importancia, retos y prioridades para su conservación. In O. Sánchez, M. Herzig, E. Peters, R. Marquéz, & L. Zambrano (Eds.), *Perspectivas sobre Conservación de Ecosistemas Acuáticos en México*. (pp. 147–166).

Gavin, M. C., McCarter, J., Mead, A., Berkes, F., Stepp, J. R., Peterson, D., & Tang, R. (2015). Defining biocultural approaches to conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 30(3), 140–145. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.12.005>

Gifex. (n.d.). La delegación de Xochimilco. Retrieved August 12, 2018, from <https://www.gifex.com/America-del-Norte/Mexico/Ciudad-de-Mexico-DF/Xochimilco/index.html>

Gobierno de la Ciudad de México [GCM]. (2017). Declara la FAO a la zona chinampera de Xochimilco como Sistema Importante del Patrimonio Agrícola Mundial. Retrieved August 9, 2018, from <http://cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/declara-la-fao-la-zona-chinampera-de-xochimilco-como-sistema-importante-del-patrimonio-agricola-mundial>

Gomes, M., Lara Lanza, T., Silva, G., & Soares, A. (2011). Utilization of Willow (*Salix humboldtiana* Willd) as a species for phytoremediation of zinc industry waste. *Scientia Forestalis*, 39(89), 117–123.

Gómez-Merino, F. C., Ortega-López, N. E., Trejo-Téllez, L. I., Sánchez-Páez, R., Salazar-Marcial, E., & Salazar-Ortiz, J. (2015). La acuaponía: alternativa sustentable y potencial para producción de alimentos en México. *Agro-Productividad*, 8(3), 60–65. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fap&AN=108617504&site=ehost-live>

González, E., & Torres, C. (2014). La sustentabilidad agrícola de las chinampas en el Valle

de México: caso Xochimilco. *Revista Mexicana de Agronegocios*, XVIII(34), 699–709.

González-Gutiérrez, P., Suárez-Terán, S., Hechavarría-Schwesinger, L., & Oviedo, R. (2009). Plantas exóticas invasoras o potencialmente invasoras que crecen en ecosistemas naturales y seminaturales de la provincia Holguín, región nororiental de Cuba. *Botanica Complutensis*, 33, 89–103.

González-Pozo, A., Ensástiga, E., Chiapa, F., & Ruz-Varas, N. (2016). *Las Chinampas Patrimonio Mundial de la Ciudad de México*.

González Aragón, A., Beltrán Villavicencio, M., Ayala Quíroz, I., Vaca Mier, M., & Vázquez Morillas, A. (2012). Contaminación por metales pesados en un suelo urbano industrial y en la vegetación del sitio. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*, 5(2), 1–10.

Grubor, M. (2008). Lead uptake, tolerance, and accumulation exhibited by the plants *Urtica dioica* and *Sedum spectabile* in contaminated soil without additives. *Archives of Biological Sciences*, 60(2), 239–244. <https://doi.org/10.2298/ABS0802239G>

Gunderson, L. H., & Pritchard, L. J. (2002). *Resilience and the behavior of large scale systems*. (L. H. Gunderson & L. J. Pritchard, Eds.). Washington, USA: Island Press.

Hansen, A. M., Kraus, T. E. C., Bachand, S. M., Horwath, W. R., & Bachand, P. A. M. (2018). Wetlands receiving water treated with coagulants improve water quality by removing dissolved organic carbon and disinfection byproduct precursors. *Science of the Total Environment*, 622–623, 603–613. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.205>

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Bhowmik, P. C., Hossain, M. A., Rahman, M. M., ... Fujita, M. (2014). Potential use of halophytes to remediate saline soils. *BioMed Research International*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/589341>

Heredia-Acuña, C., Alarcón, A., Hernández-Cuevas, L., Ferrera-Cerrato, R., & Almaraz-Suarez, J. (2014). Diversidad, ecología e importancia potencial de los hongos endófitos septados oscuros en México. *Botanical Sciences*, 92(3), 321–333.

Hernández-Acosta, E., Mondragón-Romero, E., Cristobal-Acevedo, D., Rubiño-Panta, J. E., & Robledo-Santoyo, E. (2009). Vegetación, residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 15(2), 109–114.

Horne, A. (2000). Phytoremediation by constructed wetlands. In N. Terry & G. Bañuelos (Eds.), *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. Boca Raton. <https://doi.org/10.1002/047147844X.gw851>

Huamán-Tito, J., & Rumaja-Santos, A. (2017). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies vegetales *Nasturtium officinale* W. T. Aiton (Berro) e *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. (Matecillo) en relación a la contaminación con mercurio a diferentes concentraciones*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.

Huang, H., Yu, N., Wang, L., Gupta, D. K., He, Z., Wang, K., ... Yang, X. e. (2011). The phytoremediation potential of bioenergy crop *Ricinus communis* for DDTs and cadmium co-contaminated soil. *Bioresource Technology*, 102(23), 11034–11038. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.067>

Hunter, R. G., & Faulkner, S. P. (2001). Denitrification Potentials in Restored and Natural Bottomland Hardwood Wetlands. *Soil Science Society of America Journal*, 65(6), 1865. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.1865>

Jaramillo-Jumbo, M. del C., & Flores-Campoverde, E. D. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales lemna minor (Lenteja de agua) y Echhornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera*. Universidad Politécnica Saleciana. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>

Jefatura de Gobierno del Distrito Federal. (2012). Decreto por el que se crea la Autoridad de la Zona Patrimonio Mundial Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, como un Órgano de apoyo a las actividades de la Jefatura de Gobierno en las Delegaciones Xochimilco, Tláhuac y Mi. *Gaceta Oficial Del Distrito Federal*, 1499. Retrieved from <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Distrito Federal/wo76119.pdf>

Jefatura de Gobierno del Distrito Federal. (2016). Acuerdo por el que se aprueba el programa de manejo del área natural protegida con carácter de zona de conservación ecológica “Ejidos De Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.” *Gaceta Oficial Del Distrito Federal*, 5.

Jiménez-Moreno, M. (2013). *Resiliencia Y Adaptabilidad Del Sistema Chinampero De Xochimilco*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Jordan, T. E., Weller, D. E., & Correll, D. L. (1998). Denitrification in surface soils of a riparian forest: Effects of water, nitrate and sucrose additions. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(7), 833–843. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(98\)00013-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(98)00013-3)

Jordan, W., Gilpin, M., & Aber, J. (1992). *Restoration ecology a synthetic approach to ecological research*. (J. Jordan, William; Gilpin, Michael; Aber, Ed.) (4ta ed.). Cambridge University Press.

Josué-Fernando. (n.d.). Mexico / Distrito Federal / Mexico City / San Luis Tlaxialtemalco. Retrieved August 12, 2018, from <http://www.flickrriver.com/places/Mexico/Distrito+Federal/Mexico+City/San+Luis+Tlaxialtemalco/search/>

Juárez-Figueroa, L. A., Silva-Sánchez, J., Uribe-Salas, F. J., & Cifuentes-García, E. (2003). Microbiological indicators of water quality in the Xochimilco canals, Mexico City. *Salud Publica de Mexico*, 45(5), 389–395. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342003000500009>

Junk, W. J., & Nunes De Cunha, C. (2005). Pantanal: A large South American wetland at a crossroads. *Ecological Engineering*, 24(4 SPEC. ISS.), 391–401. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.11.012>

Kaur, P., & Parihar, L. (2014). Bioremediation : Step towards Improving Human Welfare. *Annual Research & Review in Biology*, 4(20), 3150–3164.

Khan, K. S., & Joergensen, R. G. (2006). Decomposition of heavy metal contaminated nettles (*Urtica dioica* L.) in soils subjected to heavy metal pollution by river sediments. *Chemosphere*, 65(6), 981–987. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.038>

Khan Rao, R. A., & Khatoon, A. (2017). Aluminate treated *Casuarina equisetifolia* leaves as potential adsorbent for sequestering Cu(II), Pb(II) and Ni(II) from aqueous solution. *Journal of Cleaner Production*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.160>

Lee, S. Y., Dunn, R. J. K., Young, R. A., Connolly, R. M., Dale, P. E. R., Dehayr, R., ... Welsh, D. T. (2006). Impact of urbanization on coastal wetland structure and function. *Austral Ecology*, 31(2), 149–163. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2006.01581.x>

León-Suárez, R. J. (2017). *Inventario de plantas recomendadas para fitorremediación de coliformes fecales en aguas negras*. Universidad de Guayaquil. Retrieved from [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/17560/1/ROBERT LEON INGENIERIA AMBIENTAL.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/17560/1/ROBERT_LEON_INGENIERIA_AMBIENTAL.pdf)

Lezama, J., & Domínguez, J. (2006). Medio ambiente y sustentabilidad urbana. *Papeles de Población*, (49), 154–176.

Lina, P., & Zárate, D. (2014). *Sustentabilidad del turismo cultural y su implicación socio ambiental. San Gregorio Atlapulco, Xochimilco*. Retrieved from [http://www.ciemad.ipn.mx/Eventos/Documents/pdf/30\\_Aniversario\\_CIEMAD/04JUNIO\\_2014/05\\_04JUNIO2014.pdf](http://www.ciemad.ipn.mx/Eventos/Documents/pdf/30_Aniversario_CIEMAD/04JUNIO_2014/05_04JUNIO2014.pdf)

López-Mendoza, Z., Tavera, R., & Novelo, E. (2015). El fitoplancton de un canal de Xochimilco y la importancia de estudiar ecosistemas acuáticos urbanos. *Tip*, 18(1), 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.05.002>

Masache-Granda, C. (2016). *Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies vegetales (*pistia stratiotes* L) y (*Hydrocotyle ranunculoides*) en el tratamiento de las aguas contaminadas por la porcicultura en la granja “el guayabal” del barrio Nambija Bajo, Cantón Zamora*. Universidad Nacional de Loja.

Mauricio-Gutiérrez, A., Peña-Cabriales, J. J., & Maldonado-Vega, M. (2010). Isolation and characterization of hexavalent chromium-reducing rhizospheric bacteria from a Wetland. *International Journal of Phytoremediation*, 12(4), 317–334. <https://doi.org/10.1080/15226510902968118>

Maynard, J. J., Dahlgren, R. A., & O’Geen, A. T. (2014). Autochthonous and allochthonous carbon cycling in a eutrophic flow-through wetland. *Wetlands*, 34(2), 285–296. <https://doi.org/10.1007/s13157-013-0474-1>

Merlín-Uribe, Y., González-Esquivel, C. E., Contreras-Hernández, A., Zambrano, L., Moreno-Casasola, P., & Astier, M. (2013). Environmental and socio-economic sustainability

of chinampas (raised beds) in Xochimilco, Mexico City. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 11(3), 216–233. <https://doi.org/10.1080/14735903.2012.726128>

MFH. (2017). Xochimilco, en riesgo por problemas ambientales. *El Economista*. Retrieved from <https://www.eleconomista.com.mx/politica/Xochimilco-en-riesgo-por-problemas-ambientales-20170226-0034.html>

Miller, Tyler; Spoolman, S. (2012). *Living in the environment. Learning* (17e ed.). California, USA: Brooks/Cole, Cengage Learning.

Morehart, C. T., & Frederick, C. (2014). The chronology and collapse of pre-Aztec raised field (chinampa) agricultur...: EBSCOhost, 88, 531–548. Retrieved from <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=e3c8fe74-a4ed-4ced-9d3b-d1b85141b593%40sessionmgr114&vid=1&hid=109>

Mulkeen, C. J., Gibson-Brabazon, S., Carlin, C., Williams, C. D., Healy, M. G., Mackey, P., & Gormally, M. J. (2017). Habitat suitability assessment of constructed wetlands for the smooth newt (*Lissotriton vulgaris* [Linnaeus, 1758]): A comparison with natural wetlands. *Ecological Engineering*, 106, 532–540. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.005>

Nandini, S., Ramírez García, P., & Sarma, S. S. S. (2016). Water quality indicators in Lake Xochimilco, Mexico: Zooplankton and *Vibrio cholerae*. *Journal of Limnology*, 75(1), 91–100. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2015.1213>

Narchi, N. E. (2013). Deterioro Ambiental en Xochimilco: Lecciones para el cambio climático global. *Veredas, Revista Del Pensamiento Sociológico*, 27(November), 177–197.

Netzahuatl-Muñoz, A. R., Aranda-García, E., Cristiani-Urbina, M. D. C., Barragán-Huerta, B. E., Villegas-Garrido, T. L., & Cristiani-Urbina, E. (2010). Removal of hexavalent and total chromium from aqueous solutions by *Schinus molle* Bark. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19(12), 2911–2918.

Newman, L. A., & Reynolds, C. M. (2004). Phytodegradation of organic compounds. *Current Opinion in Biotechnology*, 15(3), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2004.04.006>

Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (n.d.). Ciudades sostenibles. Retrieved August 12, 2018, from <http://www.un.org/es/sustainablefuture/cities.shtml>

Ortega-Larrocea, M. del P., Xoconostle-Cázares, B., Maldonado-Mendoza, I. E., Carrillo-González, R., Hernández-Hernández, J., Garduño, M. D., ... González-Chávez, M. del C. A. (2010). Plant and fungal biodiversity from metal mine wastes under remediation at Zimapán, Hidalgo, Mexico. *Environmental Pollution*, 158(5), 1922–1931. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.10.034>

Paniagua-Michel, J., & Rosales, A. (2015). Marine Bioremediation - A Sustainable Biotechnology of Petroleum Hydrocarbons Biodegradation in Coastal and Marine Environments. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 06(02).

<https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000273>

Pedron, F., Petruzzelli, G., Barbafieri, M., & Tassi, E. (2013). Remediation of a Mercury-Contaminated Industrial Soil Using Bioavailable Contaminant Stripping. *Pedosphere*, 23(1), 104–110. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60085-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60085-X)

Pedron, F., Petruzzelli, G., Barbafieri, M., Tassi, E., Ambrosini, P., & Patata, L. (2011). Mercury mobilization in a contaminated industrial soil for phytoremediation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(22), 2767–2777. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.622823>

Pereira, M. P., Rodrigues, L. C. de A., Corrêa, F. F., de Castro, E. M., Ribeiro, V. E., & Pereira, F. J. (2016). Cadmium tolerance in *Schinus molle* trees is modulated by enhanced leaf anatomy and photosynthesis. *Trees - Structure and Function*, 30(3), 807–814. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1322-0>

Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56(1). <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>

Pineda, N., Bosque, J., Gómez, M., & Franco, R. (2011). Análisis de los factores inductores de los cambios ocurridos en la superficie forestal del Estado de México en el período 1993-2000. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 56, 9–34.

Pisanty, I., Almeida, L., González, T., & Mazari-Hiriart, M. (2016). Sección 8. Servicios Ecosistémicos. Servicios de provisión. In *La biodiversidad en la Ciudad de México* (pp. 70–114).

Poveda, R. (2014). *Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Universidad Técnica de Ambato. Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/8455>

Presidencia de la república. (1992). Declaratoria que establece como una prioritaria de preservación y conservación en del equilibrio ecológico y se declara como área natural protegida, bajo la categoría de zona sujeta a conservación ecológica, la superficie que se indica de los ejidos de Xo. *Diario Oficial de La Federación*.

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas [WWAP]. (2016). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2016: Agua y Empleo*. (UNESCO, Ed.), *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2016: Agua y Empleo*. París. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002441/244103s.pdf>

Quezada-Euán, J. J. (2009). Potencial de las abejas nativas en la polinización de cultivos. *Acta Biológica Colombiana*, 14(2), 169–172. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v14n2/v14n2a14.pdf>

Quiñónez, C. (2005). *Chinampas y Chinamperos : Los horticultores de San Juan Tezompa*.

Universidad Iberoamericana, Ciudad de México.

Quintero-Angel, M., & González-Acevedo, A. (2018). Tendencias and challenges for the assessment of agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254(April 2017), 273–281. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.030>

Rajkumar, M., & Freitas, H. (2008). Influence of metal resistant-plant growth-promoting bacteria on the growth of *Ricinus communis* in soil contaminated with heavy metals. *Chemosphere*, 71(5), 834–842. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.11.038>

Ramos-Bello, R., Cajuste, L. J., Flores-román, D., & García-calderón, N. E. (2001). Metales pesados, sales y sodio en los suelos de Chinampa en México. *Agrociencia*, 35(4), 385–395. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30235402>

Ramsar. (2015). Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas: una recopilación de análisis recientes. *State of the World's Wetlands and Their Services to People: A Compilation of Recent Analyses.*, 20. Retrieved from <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/bn7s.pdf>

Reyes, A., Galicia, M., & Ramos, R. (2015). Dinámica de micronutrientes, sustancias húmicas y enzimas en la zona lacustre Xochimilco-San Gregorio-Tláhuac, México, D.F. *Ier Congreso Iberoamericano Sobre Sedimentos y Ecología.*, 1–8.

Rodríguez, C., Sevillano, F., & Subramaniam, P. (1985). La fijación de nitrógeno atmosférico. Una biotecnología en la producción agraria. Salamanca: Centro de edafología y biología aplicada (C.S.I.C.).

Ruiz Olivares, A., Carrillo-González, R., González-Chávez, M. del C. A., & Soto Hernández, R. M. (2013). Potential of castor bean (*Ricinus communis* L.) for phytoremediation of mine tailings and oil production. *Journal of Environmental Management*, 114, 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.023>

Salas-Luévano, M. A., Mauricio-Castillo, J. A., González-Rivera, M. L., Vega-Carrillo, H. R., & Salas-Muñoz, S. (2017). Accumulation and phytostabilization of As, Pb and Cd in plants growing inside mine tailings reforested in Zacatecas, Mexico. *Environmental Earth Sciences*, 76(23), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7139-y>

Sánchez Meza, P. E., Romero Jarero, J., Negrete Redondo, P., López Simeon, R., & Malpica Sánchez, A. (2009). Aprovechamiento de los ambientes reducidos para la producción de organismos acuáticos susceptibles a cultivo, para el consumo humano. *Veterinaria Mexico*, 40(1), 55–67.

Scoones, I. (2016). The Politics of Sustainability and Development. *Annual Review of Environment and Resources*, 41(1), 293–319. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-090039>

Scoopnest. (2017). Arquitectura chinampera. Retrieved August 12, 2018, from <https://www.scoopnest.com/es/user/diario24horas/837147452117413888-sabes-como-son->

las-chinampas-que-constituyen-xochimilco-te-cuentas-sus-amenazas-en

Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)*. Secretaría de la Convención de Ramsar (6ta edición, Vol. 6). Gland (Suiza). <https://doi.org/10.1080/10256016.2013.831089>

Secretaría de Medio Ambiente. (2004). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar ( FIR )*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

Semenova, G. A., Fomina, I. R., & Biel, K. Y. (2010). Structural features of the salt glands of the leaf of *Distichlis spicata* “Yensen 4a” (Poaceae). *Protoplasma*, 240(1), 75–82. <https://doi.org/10.1007/s00709-009-0092-1>

Senado de la República. (2017). Exhorta Congreso a Mancera revisar situación de Parque Ecológico de Xochimilco. Retrieved from <http://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/comision-permanente/boletines-permanente/46-grupos-parlamentarios/boletin-de-prensa/38418-exhorta-congreso-a-mancera-revisar-situacion-de-parque-ecologico-de-xochimilco.html>

Seto, K. C., Sánchez-Rodríguez, R., & Fragkias, M. (2010). The New Geography of Contemporary Urbanization and the Environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 35, 167–194. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-100809-125336>

Shams, K. M., Tichy, G., Fischer, A., Sager, M., Peer, T., Bashar, A., & Filip, K. (2010). Aspects of phytoremediation for chromium contaminated sites using common plants *Urtica dioica*, *Brassica napus* and *Zea mays*. *Plant and Soil*, 328(1), 175–189. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0095-x>

Shanker, A. K., Ravichandran, V., & Pathmanabhan, G. (2005). Phytoaccumulation of chromium by some multipurpose-tree seedlings. *Agroforestry Systems*, 64(1), 83–87. <https://doi.org/10.1007/s10457-005-2477-2>

Solís, C., Sandoval, J., Pérez-Vega, H., & Mazari-Hiriart, M. (2006). Irrigation water quality in southern Mexico City based on bacterial and heavy metal analyses. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 249, 592–595. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2006.03.062>

Stephan-Otto, E. (1998). Plan de manejo integral de la zona chinampera. *Ciclo de Conferencias: “Las Chinampas y Los Canales de Xochimilco y Tláhuac”*, 1–33.

Stephan-Otto, E. (2005). *Xochimilco hoy: una realidad insustentable* (Primera ed). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Terrones, M. E. (2004). *A la orilla del agua. política, urbanización y medio ambiente. Historia de Xochimilco en el siglo XX*. Ciudad de México: Gobierno del Distrito Federal, Delegación Xochimilco.

Terrones, M. E. (2006). *Xochimilco sin arquetipo. Historia de una integración urbana*

acelerada en el siglo XX. *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*.

Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural: La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*.

Tompkins, E. L., Mensah, A., King, L., Long, K., Lawson, E. T., Hutton, C., ... Bood, N. (2013). An investigation of the evidence of benefits from climate compatible development. *Centre for Climate Change Economics and Policy*, (124), 1–31.

Torres-Lima, P., Canabal-Cristiani, B., & Burela-Rueda, G. (1994). Urban sustainable agriculture: The paradox of the chinampa system in Mexico City. *Agriculture and Human Values*, 11(1), 37–46. <https://doi.org/10.1007/BF01534447>

United nations headquarters, U., Committee, W. H., Lanka, Educational, S., Republic, U., States, U., Council, I., ... Educational, A. (1987). *Report of the world heritage committee. Eleven session*.

Van Metre, P. C., Mahler, B. J., & Furlong, E. T. (2000). Urban sprawl leaves its PAH signature. *Environmental Science and Technology*, 34(19), 4064–4070. <https://doi.org/10.1021/es991007n>

Viteri, M., & Velasteguí, R. (2014). *Combinación biológica de dos especies en humedales vegetales sucesivos como biofiltros para la descontaminación de aguas residuales en la planta de tratamiento “El Peral” EP-EMAPA AMBATO*. Universidad Técnica de Ambato, Campus Querochaca, Cevallos-Ecuador.

Walker, D. J. (2001). Modelling sedimentation processes in a constructed stormwater wetland. *Science of the Total Environment*, 266(1–3), 61–68. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00730-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00730-0)

Wikipedia. (2017). Plantilla: mapa de México con nombres. Retrieved from [https://es.wikipedia.org/wiki/Plantilla:Mapa\\_de\\_México\\_con\\_nombres](https://es.wikipedia.org/wiki/Plantilla:Mapa_de_México_con_nombres)

Wu, X. hua, Zhang, H. shi, Li, G., Liu, X. cai, & Qin, P. (2012). Ameliorative effect of castor bean (*Ricinus communis* L.) planting on physico-chemical and biological properties of seashore saline soil. *Ecological Engineering*, 38(1), 97–100. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.10.016>

Zambrano González, L., Valiente Riveros, E. L., Levy Gálvez, K., Cordova Tapia, F., Tovar Garza, A., Sastré Báez, L., ... Mondragón Gaytán, V. (2012). Informe Final Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre de Xochimilco y del Ajolote, 1–110.

Zambrano, L., Contreras, V., Mazari-Hiriart, M., & Zarco-Arista, A. E. (2009). Spatial heterogeneity of water quality in a highly degraded tropical freshwater ecosystem. *Environmental Management*, 43(2), 249–263. <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9216-1>

Zambrano, L., Valiente, E., & Vander Zanden, M. J. (2010). Stable isotope variation of a

highly heterogeneous shallow freshwater system. *Hydrobiologia*, 646(1), 327–336.  
<https://doi.org/10.1007/s10750-010-0182-2>

# **ANEXO: ENCUESTA PERSONALIZADA DE LA PROBLEMÁTICA Y PERCEPCION AMBIENTAL DE CHINAMPAS Y AREA DE ESTUDIO DEL HUMEDAL XMILCO**

## **1. Perfil y Particularidades de Encuestados**

Rango de Edad: 35-60 años;

Numero de encuestados: 10

Escolaridad: Educación básica e intermedia

Actividad: Sustento económico de Chinampas

## **2. Testimoniales de Calidad Ambiental de Xochimilco y Chinampas:**

### a) Estatus de Biota:

Disminución sensible observada de especies como ajolote, abejas, camarones y plantas que solían utilizar como abono.

Las plagas (malacosoma) han destruido muchos árboles y no se ha reforestado en algunas partes.

### b) Técnicas de cultivo empleadas:

Rotación de cultivos: Sembrar una especie diferente después de cada cosecha.

Asociación de cultivos / policultivos: siembra múltiple de especies en una chinampa.

Almácigos o *chapines*.

### c) Herramientas de cultivo

Remoción de tierra con azadón y/o motocultor

Plásticos, malla sombra y bombas de agua.

Colchones plásticos u orgánicos para evitar la hierba en los cultivos.

Fertilizantes artificiales y/o abonos naturales (excremento de animales crudo y/o en composta, uso del lirio y residuos post-cosecha).

Pesticidas artificiales y/naturales (por ejemplo: rociar con chile).

### d) Actividades paralelas de los productores:

Elaboración de compostas y/o fertilizantes.

Colocar trampas / refugios para ajolotes.

Reforestar los bordes de la chinampa continuamente.

Levantar cercas alrededor de la chinampa

Trabajar con universidades o instituciones tomando muestras de los canales (productor preocupado por la salinidad y metales existentes)

e) Actividades productivas paralelas:

Venta de ensaladas en las que se utilizan productos de la chinampa que de otra manera no se venderían por su tamaño o por sobreproducción.

Atender visitas turísticas a sus chinampas

Promoción de sus productos en los mercados, ferias e internet.

f) Efecto Post-terremoto 19 Sept 2017:

Aparición de manchas de aceite

Hundimiento y Fractura de Chinampas

Mayor cantidad de plagas en cultivos

### **3. Problemáticas que enfrentan**

Pérdida de cultivos debido a salinización

Pérdida de chinampas debido a hundimientos

Problemas para transportar sus productos fuera de la zona chinampera y/o repartirlos.

En el mercado se enfrentan con una mala percepción de los productos de Xochimilco

### **4. Conciencia social**

Interés en organizarse para para solicitar a las autoridades eficientizar las plantas de tratamiento y por ende la calidad de agua que sustentan las chinampas.

Disminución del uso de fertilizantes artificiales y conciencia de tomar cursos para aprender a aplicarlos.

Organización para la limpieza de los canales por parajes, se tiene la idea de que CORENA (institución gubernamental) debe cooperar también de manera periódica con esta limpieza.

Los productores envían a sus hijos a la escuela, algunos de ellos tienen título universitario.

La mayoría de los hijos de agricultores eligen una profesión diferente a la del campo.

Los agricultores han trabajado en industrias y algunos de ellos regresan después de su jubilación.

### **5. Actividades de mitigación de la calidad del agua en desarrollo por parte de algunos agricultores**

Problemática: Salinización del agua del humedal

Acción en desarrollo: Dilución de la Salinidad mediante aporte externo de agua dulce.

Problemática: Percepción de mala calidad de agua del humedal

Acción en desarrollo: Instalación de humedal artificial en tinas (experimento en proceso)